

MB 89-63

CONSIDERATIONS TYPOLOGIQUES ET METALLOGENIQUES SUR DES GISEMENTS AURIFERES DU DISTRICT DE VAL-D'OR

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

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

Énergie et Ressources
naturelles

Québec 

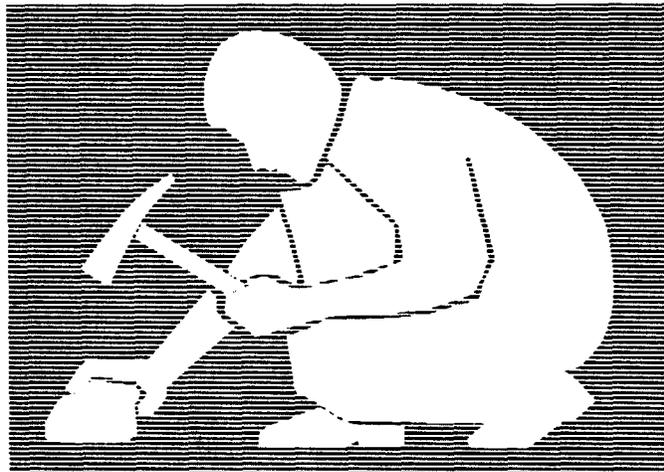


Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Service géologique du Nord-Ouest

Considérations typologiques et métallogéniques sur des gisements aurifères du district de Val-d'Or

Laszlo Imreh

Pierre Trudel



SÉRIE DES MANUSCRITS BRUTS

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

MB 89-63

1990

R É S U M É

Ce mémoire sur la typologie et les métallotectes des gisements aurifères du secteur de Val d'Or vise à situer ces derniers dans leur cadre géologique redéfini lors de travaux de terrain débutés en 1972. De ce fait, nous avons inséré les minéralisations dont l'or est le produit principal dans leur cadre géodynamique, stratigraphique, volcanologique, paléogéographique et structural.

L'évolution du volcanisme dans le secteur de Val d'Or est caractérisée essentiellement par deux types majeurs de mise en place des produits:

a) Le volcanisme fissural tholéiitique de type plaine sous-marine des bassins marginaux et

b) le volcanisme de type central des arcs insulaires de lignée tholéiitique et calco-alkaline, dont la répartition n'est pas aléatoire. Le contexte ainsi défini est typiquement celui des zones de subduction récentes et anciennes.

Les métallotectes principaux sont intimement associés à l'évolution précinématique du sillon volcanique. Ils englobent tout phénomène ou objet géologique susceptible de provoquer l'enrichissement métallifère à l'échelle globale ou suprarégionale.

L'asymétrie métallogénique régionale si frappante entre le secteur de Rouyn-Noranda - Val d'Or et son arrière-pays septentrional, résulte, en premier lieu, de la différence d'évolution des deux régions, différence dont les composants intramagmatiques, volcanologiques et paléogéographiques ont le plus d'importance. En effet, le paroxysme de la minéralisation aurifère se situe dans la section la plus évoluée du volcanisme de type plaine, dans les termes du volcanisme transitionnel et dans les diverses unités de type arc insulaire. Les métallotectes principaux sont donc intimement liés à l'évolution géodynamique du sillon volcanique et, en particulier, à la proximité de la zone de subduction.

Les métallotectes de second ordre comprennent les diverses manifestations de la tectonique cassante (zones de cisaillement, distensions locales ou régionales, fractures de Riedel, fractures P, fentes en échelon, fentes sigmoïdes, etc.), pourvu que celles-ci se situent à l'intérieur de la zone régionale des métallogènes principaux. Dans ce cas, ces métallogènes sont responsables de l'enrichissement local. En effet, les mêmes manifestations, rencontrées à l'extérieur de cette zone, restent stériles.

Il en résulte que la relation d'intersection entre métallogènes principaux et de second ordre constitue le théorème fondamental de contrôle hiérarchisé de la minéralisation.

À l'intérieur des limites évolutionnelles définies plus haut, selon la répartition spatio-temporelle des gisements, trois groupes typologiques majeurs se distinguent:

- A: Gisements directement associés aux plutonites (avec 2 sous-types; 18 % de la production);
- B: gisements en terrain volcanique (avec 3 sous-types; 80 % de la production);
- C: gisements en terrain sédimentaire (avec 2 sous-types; 2 % de la production).

Cette classification met en évidence un phénomène reconnu dans l'ensemble des ceintures de roches vertes archéennes, soit l'association préférentielle de la minéralisation aurifère avec les formations volcaniques.

La typologie élaborée est universelle, puisque son cadre conceptuel est transposable à tout autre contexte géologique. De plus, exempte de tout postulat, elle conserve une grande indépendance vis-à-vis des théories sujettes aux changements ou à la désuétude.

La perception des gisements aurifères serait cependant demeurée incomplète si l'on n'avait pas pris en considération leur dimension économique dans leur contexte géologique. Cette approche géo-économique a permis de dégager certaines lois fondamentales -- telles que l'association étroite entre minéralisation et événements géodynamiques, volcanologiques et structuraux -- présentes à l'échelle mondiale. Cette loi universelle, avec tout ce qu'elle implique, préside à l'enrichissement, à l'accumulation et à la mise en place de tous les gisements aurifères.

ABSTRACT

This report on the classification and metallogenesis of the gold deposits of the Val d'Or area is intended to locate them in their geological context, which has been reinterpreted following field work initiated in 1972. Consequently, mineralizations in which gold is the main product have been inserted in their stratigraphic, volcanological, geodynamic, paleogeographic and structural framework.

Volcanism evolution in the Val d'Or area is characterized by two major types of emplacement of the products: a) fissural volcanism typical of submarine plains of marginal basins, of komatiitic to tholeiitic affinity and b) central-type volcanism typical of island arcs, of tholeiitic to calc-alkaline affinity. Each of these types has a specific distribution. The context thus defined is typical of ancient and modern subduction zones.

The first order metallogenesis are intimately associated with the precinematic evolution of the volcanic belt. They include any geological object or phenomenon susceptible to cause metallic enrichment on a regional scale.

The remarkable regional metallogenetic asymmetry between the Rouyn-Noranda - Val d'Or area and its northern hinterland results mainly from their different evolution, of which the intramagmatic, volcanological and paleogeographic aspects are the most important. In effect, the culmination of gold mineralization is associated with the most evolved section of submarine plain volcanism, with transitional volcanism and with island arc volcanism. The first order metallogenesis are therefore intimately associated with the geodynamic evolution of the volcanic belt and particularly with the proximity of the subduction zone.

The second order metallogenesis include the different structures caused by the tectonic activity (shear zones, regional or local faults, Riedel fractures, P fractures, en échelon cracks, sigmoidal fissures, etc.), as long as these features are located within the regional zone of the first order metallogenesis. In these cases, the second order

metallotects are responsible for the local enrichment. Otherwise, the same structures present to the exterior of the favourable zone remain barren.

As a consequence, the intersection relationship between the first and second order metallotects constitutes the fundamental theorem of hierarchised mineralization controls.

Within the evolutional limits already discussed, and according to their spatial and temporal distribution, three major groups of ore-bodies can be distinguished:

A: deposits directly related to plutonic rocks (with two subtypes; 18% of the total production);

B: deposits in volcanic terrane (with three subtypes; 80% of the total production);

C: deposits in sedimentary terrane (with two subtypes; 2% of the total production).

This classification confirms a phenomenon recognized in all the archaean greenstone belts, that is the preferential association of gold mineralization with the volcanic formations.

The proposed classification is universal and can be transposed to any other geological context. Moreover, being entirely factual, it is independent relative to theories that are subject to change or disuse.

The perception of gold deposits would however have remained incomplete without considering their economic dimension in their geological context. This geoeconomic approach has permitted to draw some fundamental laws - like the close association between mineralization and the geodynamic, volcanological and structural evolution - that exist on a world scale. These universal laws, with all their implications, preside to the enrichment, accumulation and emplacement of all the gold deposits.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION (L. Imreh)

- 1.1 Fond politico-économique
- 1.2 Connaissance actuelle
- 1.3 Objectif
- 1.4 Idée directrice et mode d'approche
- 1.5 Plan adopté
- 1.6 Organisation

2. CADRE GÉOLOGIQUE (P. Trudel et L. Imreh)

- 2.1 Considérations générales
- 2.2 Réflexions historiques sommaires
- 2.3 Aperçu géologique général
- 2.4 Géologie locale

3. ÉCONOMIE DE L'OR DANS SON CADRE GÉOLOGIQUE (L. Imreh)

- 3.1 Considérations générales
- 3.2 Marché international de l'or
 - Prix
 - Production d'or mondiale
 - Or recyclé
 - Demande industrielle et thésaurisation
- 3.3 Contexte géologique des minéralisations aurifères à l'échelle mondiale
 - Distribution temporelle de l'accumulation aurifère
 - Quantification de l'accumulation et de la distribution de l'or
- 3.4 Cadre géodynamique de la distribution des minéralisations aurifères
 - La chaîne péripacifique - une zone de références
 - Cadre géodynamique archéen
 - Gisements d'or secondaires et cadre géodynamique
 - Conclusions

3.5 L'économie géologique de l'or au Canada

3.5.1 Contexte canadien s.s.

- Production
- Distribution géographique et géologique de la production

3.5.2 Contexte québécois

- Données de production
- Distribution régionale de la minéralisation et notion du potentiel géologique
- Taux d'épuisement et de renouvellement

3.5.3 Secteur de Val d'Or

- Données de production et potentiel aurifère dans leur cadre géologique
- Réserves, taux d'épuisement et de renouvellement

4. TYPOLOGIE DES GISEMENTS AURIFÈRES (L. Imreh)

4.1 Réflexions générales

4.2 Anciennes classifications des gisements métallifères

4.3 Anciennes classifications des gisements d'or

4.4 Typologie proposée

- Classification des gisements aurifères

4.5 Corollaire

5. MÉTALLOTECTES (L. Imreh et P. Trudel)

Considérations générales

5.1 Les métallotectes principaux et leur cadre géodynamique

5.2 Les métallotectes de second ordre

5.3 Les métallotectes "indicateurs"

5.4 Conclusions

6. RÉFLEXIONS FINALES (L. Imreh)

- Métallotectes et minéralisations
- Typologie et répartition des gisements

LISTE DES ILLUSTRATIONS
par chapitre

CHAPITRE 1

- Figure 1.1 Organigramme de l'action concertée MER - IREM - Université Laval.
- Tableau 1.1 Tableau synoptique de la présentation des descriptions de gisements.

CHAPITRE 2

- Figure 2.1 Esquisse de la province orogénique abitibienne (moins la bande de Frotet-Evans). D'après Goodwin et Ridler (1970) modifiée par Pyke et al. (1973), Dimroth et al. (1982) et Imreh (1984). La figure montre en pointillé la localisation du secteur étudié.
- Figure 2.2 Coupe schématique de l'anticlinal archéen majeur de La Motte-Vassan.
- Figure 2.3 Types de volcanisme définis.
- Figure 2.4 Entités volcaniques avec carte.
- Figure 2.5 Relation entre les éléments structuraux du type tabulaire et la contrainte maximale N-S.
- Tableau 2.1 Principaux traits discriminants des zones externes et internes.
- Tableau 2.2 Évolution de la nomenclature stratigraphique de l'Abitibi méridional de 1925 à 1980 (dépliant).
- Tableau 2.3 Correspondance des éléments stratigraphico-structuraux de 1940 et 1984.
- Tableau 2.4 Tableau lithostratigraphique du Sillon de La Motte-Vassan; d'après MM 82-04.

- Tableau 2.5 Tableau des traits discriminants du volcanisme; d'après DV 83-11.
- Tableau 2.6 Correspondance entre les unités lithostratigraphiques et les entités volcaniques de la région.
D'après Dimroth et al. 1983a, modifié par Imreh, 1989.

CHAPITRE 3

- Figure 3.1 Composant du prix de l'or (d'après Laliberté, 1984).
- Figure 3.2 Évolution du prix de l'or entre 1968 et 1986 (d'après Milling-Stanley, 1987, légèrement modifiée).
- Figure 3.3 L'or recyclé, éclaté selon sa provenance (d'après les chiffres de Milling-Stanley, 1987).
- Figure 3.4 Demande industrielle de l'or éclatée par secteur dans les pays développés et en voie de développement (d'après les données de Milling-Stanley, 1987).
- Figure 3.5 Consommation d'or en électronique, en 1986 (d'après les chiffres de Milling-Stanley, 1987).
- Figure 3.6 Consommation d'or en dentisterie en 1986 (d'après Milling-Stanley, 1987).
- Figure 3.7 Production d'or de la préhistoire à nos jours en fonction des périodes d'accumulation majeures (d'après Woodall, 1986).
- Figure 3.8 Production et, ou accumulation d'or à l'échelle mondiale (compilation des données de Schneiderhöhn, 1955 et Woodall, 1979 et 1986).
- Figure 3.9 Distribution des gisements d'or en fonction des chaînes orogéniques et des plaques récentes (compilation de Boyle, 1979, Derry et al. 1980; Girod et al., 1978; Mattauer, 1973. Sasaki et al., 1985; Windley, 1984) (polychrome).
- Figure 3.10 Production d'or canadienne entre 1902 et 1985 (source Canadian Mining Handbook).
- Figure 3.11 Production d'or canadienne en 1985, éclatée par province (source Canadian Mining Handbook).

- Figure 3.12 Production d'or canadienne élatée en fonction des divers types de gisements (selon Thomas and Boyle Jr., 1986, modifié).
- Figure 3.13 Évolution de la production aurifère canadienne de 1902 à 1985 en fonction des provinces productrices (selon Thomas and Boyle Jr. 1986, reformulé).
- Figure 3.14 Production d'or québécoise de 1910 à 1987 (d'après "Portrait statistique de l'industrie minière québécoise 1900-1985"; Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la statistique, complété).
- Figure 3.15 Production d'or, argent, cuivre, zinc en Abitibi et en d'autres régions de Québec, source DV 85-08 MER.
- Figure 3.16 Entités géo-gîtologiques retenues pour cette étude (fond de la carte au 1/1 500 000 de DV 85-09 d'Avramtchev) MER.
- Figure 3.17 Répartition de l'or en fonction des entités géologiques naturelles.
- Figure 3.18 Indice d'épuisement et de renouvellement des principales régions minières au Québec.
- Figure 3.19 Métal réserve et métal extrait (or) des diverses régions du Québec.
- Figure 3.20 Répartition du potentiel aurifère (exprimé en métal total) en fonction des unités lithostratigraphiques et des intrusions majeures.
- Figure 3.21 Répartition des gisements en fonction du rapport indice de renouvellement et d'épuisement/tonnes d'or réserve > 1 tonne.
- Figure 3.22 Métal-réserve et métal extrait (or) des mines et gisements mis en valeur du secteur de Val-d'Or.
- Tableau 3.1 Sommaire du marché mondial de l'or des pays à économie libre (d'après Milling-Stanley, 1987, modifié).
- Tableau 3.2 Les dix premiers producteurs d'or et demandeurs d'or industriel des pays à marché libre en 1986 (d'après Milling et Stanley, 1987, modifié).
- Tableau 3.3 Les treize et onze premiers producteurs d'or en 1983 (selon Lofty *et al.*, 1985 et Milling-Stanley, 1987).
- Tableau 3.4 Importance relative des quatre districts miniers majeurs en fonction du rapport des métaux (potentiel minier) précieux et usuels.

- Tableau 3.5 Nombre et pourcentage des mines dont la production d'or a dépassé 10 tonnes.
- Tableau 3.6 Potentiel du secteur de Val d'Or exprimé en métal total en fonction des principaux groupes typologiques.
- Tableau 3.7 Tonnes d'or total des sous-groupes B.1, B.2 et B.3 (gisements étudiés).

CHAPITRE 4

- Figure 4.1 Schéma des opérations mentales de base, caractéristiques et avantages.
- Tableau 4.1 Classification typologique des gisements aurifères.
- Tableau 4.2 Tableau synoptique des gisements aurifères étudiés (dépliant).

CHAPITRE 5

- Figure 5.1 Métallotectes principaux et de second ordre.
- Figure 5.2 Répartition géographique des divers types de volcanisme (plaines, complexes). D'après Imreh et Dimroth 1983.
- Figure 5.3 Carte minérale du Québec. D'après Avramtchev (1986). Partie Abitibi-Témiscamingue, modifiée.
- Figure 5.4 Répartition des gisements métallifères en fonction de l'évolution du volcanisme et de la lithostratigraphie. Modifiée, d'après Imreh (1984).
- Figure 5.5 Phases de l'évolution géodynamique de l'Abitibi (d'après Dimroth et al., 1983, modifiée in Imreh 1984).
- Figure 5.6 Orientation des contraintes responsables de la mise en place des veines. Les contraintes, reconnues dans plusieurs gisements, sont d'ordre régional. (D'après Sauvé et al., 1986, légèrement modifié).
- Figure 5.7 Fractures dans une zone de cisaillements: fractures Riedel (R et R'), fractures Skempton (T), fentes de tension (T), joints stylolithiques (S).

- Figure 5.8 Carte schématique montrant les failles reconnues en particulier dans la zone méridionale de la ceinture d'Abitibi (légèrement modifiée d'après Ludden et al., 1986.
- Figure 5.9 Relation d'intersection entre métallotectes principaux et métallotectes de second ordre.

CHAPITRE 6

- Figure 6.1 Les gisements d'or situés dans la zone transitionnelle du volcanisme, secteur de Val-d'Or.
- Figure 6.2 Schéma unitaire de l'évolution de la minéralisation aurifère (type "filonien").
- Tableau 6.1 Métal total d'or éclaté en fonction des trois types de gisements, A, B, C (voir chapitre 5 pour la classification).
- Tableau 6.2 Métal total d'or du type B, éclaté en fonction des sous-types (voir chapitre 5 pour la classification).
- Annexe 1 Données sur les mines et gisements d'or mis en valeur du secteur de Val-d'Or; teneur, tonnage, réserves, tout-venant exploité, métal récupéré, exprimés en métal total.

Carte polychrome de la localisation des mines et gisements d'or du secteur de Val-d'Or 1/250 000 (hors-texte).

INTRODUCTION

"L'investigation scientifique n'aura de résultats effectifs et profitables que si les objectifs et les moyens d'opération ont été préalablement parfaitement déterminés et précisés"
(reformulé d'après J. Henry, 1983, p. 9).

Le but de cet ouvrage est double. Situer d'abord les gisements aurifères dans leur cadre géologique, géo-économique, typologique et métallotectique; cet objectif est confiné à la première partie, de caractère synthétique. Ensuite décrire les 24 mines et gîtes aurifères sélectionnés dans le secteur de Val d'Or; leur description est présentée dans la seconde partie, entièrement descriptive.

1.1 FOND POLITICO-ÉCONOMIQUE

Le cours de l'or est resté fixé durant plus de 30 ans, de 1935 à 1968, à 35 US\$ l'once. Ce fait n'a pas été étranger à la stagnation du marché de l'or et, surtout, au marrasme des investissements dans l'industrie minière aurifère.

La conjoncture économique étant devenue, après la libération du prix de l'or en 1968, de plus en plus favorable à la recherche minière aurifère, les services gouvernementaux ont réagi à cette situation en instaurant des programmes de recherche à longs termes.

En Ontario, les gisements aurifères archéens ont été ainsi sujet de plusieurs ouvrages collectifs dans la première moitié de la décennie 1980 (Roberts, éd., 1980; Colvine, éd., 1983; Colvine et al., 1984). Le programme québécois a débuté en 1985 et fut réalisé dans le cadre d'une action concertée par les chercheurs du Ministère de l'Énergie et

des Ressources (MERQ), de l'Institut de la recherche en exploration minière (IREM) et de l'Université Laval. L'ouvrage présenté ci-après est le fruit de cette collaboration.

Quoique l'objectif visé ait été identique - la meilleure compréhension des gisements aurifères et des phénomènes qui en sont responsables - les modalités d'approche respectives des travaux ontariens et québécois diffèrent sensiblement. Tandis que l'approche ontarienne est phénoménologique et/ou régionale, la québécoise a été réalisée dans un esprit de synthèse et de systématisation typologique.

1.2 Connaissance actuelle

Le cadre lithostratigraphique établi par Gunning et Ambrose en 1940 dans une mince bande entre Malartic et Cadillac, quoique contesté dès 1941 par Norman, a été maintenu jusqu'aux années 1970. Ce n'est qu'à la suite de la révision générale débutée en 1972 par Imreh (1976), qu'il est devenu évident que le tronçon de référence de Gunning et Ambrose ne constitue que la partie terminale d'un ensemble volcano-sédimentaire compréhensif du sillon métavolcanique de LaMotte-Vassan. Ces travaux (Imreh, 1976, 1984, Dimroth et al., 1982, 1983a et b) ont permis d'établir un modèle volcanologique et lithostratigraphique cohérent pour l'ensemble de l'Abitibi méridional. Les principaux résultats sont les suivants:

- identification des coulées ultramafiques et komatiitiques serpentini-sées cartographiées jusqu'alors comme des corps intrusifs;
- insertion compréhensive de ces coulées dans l'évolution de la région;
- élaboration d'une nouvelle lithostratigraphie;
- mise en évidence des lois de répartition des diverses minéralisations (Ni, Cu, Zn, Au, Ag);
- définition des entités volcaniques (type plaine de bassins marginaux et type arc insulaire);
- interprétation dynamique de l'évolution de ces entités;
- définition du cadre géodynamique;
- insertion de l'évolution métallifère des entités compréhensives dans le cadre évolutif et géodynamique.

Les travaux axés sur la minéralisation aurifère et présentés dans cet ouvrage ont complété les acquis par:

- l'élaboration d'une typologie universelle;
- la définition et hiérarchisation des métallotectes causaux, et l'identification des métallotectes indicateurs;
- la mise en évidence des lois fondamentales de la distribution de la minéralisation aurifère;
- l'étude quantitative et qualitative de l'or, en tant que produit économique considéré dans son contexte géologique;
- la connaissance approfondie de 24 mines et gîtes mis en valeur dans leur cadre géologique local et régional.

1.3-OBJECTIFS

Nous avons fixé l'objectif global de l'action concertée comme suit: "Étudier le caractère, le mode de mise en place des gisements aurifères dans leur cadre géologique, dans un secteur particulièrement représentatif et de superficie considérable". Le corollaire de cet objectif est d'obtenir un modèle général et unitaire transposable à d'autres régions moins connues. Les composants d'un tel modèle sont ensuite susceptibles d'être érigés en lois présidant dans la majorité des cas au comportement des variables responsables de la minéralisation (Imreh et Trudel, 1987).

Les conditions suffisantes et nécessaires pour atteindre un tel objectif, axé principalement sur l'étude des gisements dont l'or est le produit principal, se trouvent réunies dans la région de Val d'Or en Abitibi-Est:

- Entités géologiques à évolution complexe dont les produits sont fortement diversifiés;
- présence de travaux de synthèse récents basés sur des observations directes sur le terrain (Imreh, Dimroth et al., ibid, Beullac et Imreh 1987, Imreh 1987);
- Nombre suffisamment élevé de mines et de gisements mis en valeur (24) pour pouvoir généraliser;
- gisements dont l'or est le produit principal (gisements d'or type "filonien").

Soulignons que cette dernière condition ne comporte cependant aucune restriction typologique mais répond à une nécessité sémantique, puisqu'élaborer la typologie des gisements dont l'or n'est que le sous-produit deviendrait, en réalité, à la classification de gisements d'autres éléments (Cu, Zn dans l'Archéen).

Notons, enfin, que le secteur retenu pour l'étude forme une bande allongée est-ouest d'environ 1 400 km², traversant les coupures 32C/3 et 32C/4 (voir figure 2.1 et carte polychrome hors texte).

1.4 IDÉE DIRECTRICE ET MODE D'APPROCHE

L'idée directrice fondamentale est d'accorder préséance absolue aux faits directement observés; les éléments inférés ou déduits, ainsi que les allégations, "ne prennent leur valeur pour l'explication des faits géologiques que dans la mesure où elles peuvent être accordées étroitement aux observations de la nature" (Raguin, 1970, page 3).

La réalisation des objectifs définis dépend, ensuite, de la nature et de la rigueur de l'approche conceptuelle du problème, dont nous passerons en revue les principales étapes:

- démarche logique;
- perception;
- systématisation;
- induction;
- modèle probabiliste;
- recherche et définition des lois fondamentales.

La démarche logique, comprend les phases successives suivantes: perception → observation → compréhension → description → inférence → interprétation → synthèse. On conçoit aisément qu'il s'agit d'une séquence structurée où chaque étape a sa place bien définie. L'importance de la chaîne perception → observation → compréhension doit être soulignée en particulier. Plus on s'éloigne de cette réalité de base, plus la validité des éléments inférés se voit affaiblie. En termes plus concrets, la géologie se fait essentiellement sur le terrain: les vérités que l'on peut avancer sans crainte et sans limitation se trouvent sur les affleurements.

La perception varie d'une personne à l'autre. Théoriquement, il n'y a pas deux perceptions entièrement identiques, encore moins deux interprétations identiques. L'hétérogénéité des données rapportées du même objet ou phénomène géologique est souvent déconcertante. Elle résulte, principalement, de l'écart plus ou moins considérable de la perception et la compréhension de chaque personne en fonction de son expérience ou inexpérience, de sa spécialisation, etc. L'homogénéisation des données demeure alors un impératif que l'on doit effectuer sur le terrain, si on ne veut pas en voir le résultat compromis. Ce travail incombe à celui qui maîtrise le plus l'ensemble de la problématique.

La systématisation des données recueillies se fait par palier hiérarchique en observant rigoureusement les limites thématiques. Son application a permis d'exploiter à fond les éléments factuels et d'élaborer par la suite, la première partie de cet ouvrage, en particulier les chapitres 3, 4 et 5. La réalisation des tableaux synoptiques nous a parue particulièrement profitable. Ils constituent précisément une des retombées de la systématisation hiérarchisée.

La base logico-philosophique de l'élaboration de cet ouvrage est la méthode inductive. Nous devons en résumer l'essentiel. L'induction est un mode de raisonnement qui procède du particulier au particulier ou du particulier au général; elle se caractérise par le cheminement mental allant de l'observation des faits singuliers à l'assertion de lois générales. On conçoit que "le postulat capital de la science est l'induction (...) (qui) doit aboutir au résultat qu'une corrélation vérifiée dans un certain nombre de cas et jamais démentie, possède au moins un degré assignable de probabilité en tant que vérité universelle. Je propose d'admettre la validité de l'induction (...) parce qu'elle semble sous une forme quelconque essentielle à la science..." (Russel, 1965, p.136). Rappelons à ce propos que le raisonnement par induction est particulièrement important dans les sciences naturelles où il est périlleux et stérilisant d'introduire des postulats ou d'utiliser la méthode déductive (voir chapitre 4).

À la même page, Russel (ibid) introduit une autre notion capitale. "Il n'est point essentiel à la science de supposer que ses postulats sont toujours et nécessairement vrais. Il suffit qu'ils le soient souvent".

Cette assertion nous conduit directement à la notion de la probabilité. Rappelons que sciemment ou inconsciemment, nous raisonnons toujours dans le cadre d'un modèle probabiliste. En géologie -- travaillant sur une matière inerte -- la quasi-totalité des variables demeure indépendante de l'action humaine. De plus, elles sont

distribuées suivant une structuration préétablie, définie dans le temps et dans l'espace; les méthodes statistiques classiques ne sont applicables qu'avec discernement. Même lorsque la quantification statistique n'est pas réalisable, le concept de base du raisonnement peut et doit rester dans le cadre probabiliste. C'est précisément ce raisonnement qui prévaut dans la gîtologie prévisionnelle, où on ne peut définir statistiquement ni le nombre, ni l'emplacement des futurs gisements. Par contre, on est en mesure de délimiter les aires favorables dont la probabilité de renfermer des gisements exploitables est accrue.¹

La recherche des lois fondamentales est le but ultime de la recherche métallogénique. En appliquant systématiquement et à tout niveau hiérarchique les éléments du mode d'approche esquissé, les éléments suprarégionaux se laissent identifier. La réalisation de la typologie universelle, l'élaboration de modèles métallotectiques et géodynamiques en sont les exemples les plus frappants.

1.5 PLAN ADOPTÉ

1.5.1 Les parties

L'ouvrage est présentée en deux parties distinctes:

- la première partie, comprend la synthèse des données aux divers niveaux ainsi que les interprétations et les modèles établis;

- la deuxième partie renferme les descriptions individuelles, une à une, des gisements aurifères étudiés.

¹) Il est entendu que les techniques statistiques informatisées seront en peu de temps susceptibles d'offrir une modélisation. La pondération des variables demeure, cependant, affaire des gîtologues ce qui implique l'influence inévitable des facteurs subjectifs, en engendrant une certaine hétérogénéité.

La coupure, en deux parties distinctes, vise la clarté, l'efficacité, la facilité d'utilisation et de compréhension. Dans la première partie, le lecteur trouvera tous les éléments géologiques et économiques à plusieurs niveaux hiérarchiques: mondial, national, provincial, abitibien et sectoriel (région de Val d'Or), ainsi que l'ordonnement (typologie) et les facteurs de contrôle (métallotectes) des gisements aurifères étudiés. Comme nous l'avons mentionné ailleurs, la transposition des données en d'autres régions peu ou pas soumises à des investigations géologiques prévisionnelles, est permise en raison de la partie universelle des assertions.

La seconde partie est consacrée entièrement à la description individuelle des 24 gisements retenus pour étude approfondie. Si la lecture de la première partie est recommandée, dans la deuxième partie le lecteur aura une liberté de choix éclectique: approfondir ses connaissances sur un ou plusieurs gisements, ou groupes de gisements selon son champ d'intérêt.

1.5.2 Les chapitres

La première partie est composée de 5 chapitres.

1. - Dans l'introduction l'accent est mis tout particulièrement sur la définition des objectifs et de la méthodologie conceptuelle.

2. - Le cadre géologique donne une synthèse condensée de la géologie abitibienne, en particulier de celle de l'Abitibi-sud oriental (Val d'Or). Un aperçu historique, tableau synoptique à l'appui, permet au lecteur de suivre de près l'évolution et l'avancement des connaissances dans l'Abitibi-sud entier depuis la colonisation jusqu'à nos jours.

3. - Le chapitre intitulé "Économie de l'or dans son cadre géologique" est le chapitre le plus étoffé. Le marché international

actuel, le contexte géologique mondial, canadien et québécois, le cadre géodynamique, en constituent les principales entrées. On y trouve déjà en filigrane les éléments élaborés ensuite dans les deux chapitres suivants:

4. - Le quatrième chapitre est consacré à la typologie. Les groupes et sous-groupes définis dans le secteur de Val d'Or sont transposables à n'importe quel terrain géologique, indépendamment de son âge et lieu, ce qui confère un aspect universel à cette classification.

5. - Le dernier chapitre traite de la définition et de la hiérarchisation des métallotectes, que l'on peut ramener à quelques lois universelles. Leur hiérarchisation permet de mieux comprendre la complémentarité des métallotectes principaux et des métallotectes de second ordre à caractère causal. Une nette distinction est faite entre métallotectes causaux et indicateurs, afin de dissiper tout malentendu sémantique.

Deuxième partie

L'homogénéité thématique des descriptions individuelles des gisements constitue, sur le plan méthodologique, la condition sine qua non de l'exploitation adéquate des données, telles qu'utilisées dans la première partie de cet ouvrage. Aussi avons-nous fortement insisté sur la nécessité du respect du plan de rédaction proposé. Le canevas général comprend les principales unités suivantes:

Identification du gisement

Localisation

Historique

Travaux géologiques antérieurs

Cadre géologique de la mine, ou du gisement mis en valeur

Généralités

Roches encaissantes

Roches hôtes et roche-support

Structure (majeure, mineure, type)

Métamorphisme

Géologie économique

Contrôle de la minéralisation

Description des corps minéralisés

Minéralogie

Géochimie de la minéralisation

Altérations

Discussion et/ou conclusions

Le schéma esquissé n'est pas restrictif et demeure flexible en fonction des renseignements disponibles et de la complexité des paramètres géologiques. De même, nous avons préconisé l'exécution systématique de tableaux synoptiques locaux. Leur intégration aux tableaux synoptiques régionaux a été effectuée dans le cadre des chapitres 3, 4 et 5 de la première partie.

En ce qui a trait à la présentation des descriptions individuelles, nous nous sommes conformés à la classification typologique. Les mines et les gîtes mis en valeur sont présentés par conséquent, en fonction des trois groupes typologiques (chapitre 4):

- CLASSIFICATION TYPOLOGIQUE

		- NUMÉROTAGE DANS LE TEXTE ET SUR LA CARTE POLYCHROME	
		- DÉNOMINATION DES MINES ET GISEMENTS MIS EN VALEUR ÉTUDIÉS	
		- AUTEURS	
A1a	A1	mine FERDERBER (BELMORAL)	Richard DARLING ²⁾
A2a	A2	mine SULLIVAN	Pierre TRUDEL ²⁾
A2a	A3	mine DUMONT (BRAS D'OR)	Richard DARLING ²⁾
A2	A4	mines PERRON et BEAUFOR	Pierre TRUDEL ²⁾
A2	A5	mine BUSSIÈRE (COURVAN ou COURNOR)	Pierre TRUDEL ²⁾
A2	A6	mine BEVCON	Pierre SAUVÉ ²⁾
B1	B1	mine NORLARTIC	Pierre SAUVÉ ²⁾
B1	B2	gîte CALLAHAN	Alain BEAUDOIN et al. ²⁾
B1	B3	gîte WESDOME (WESTERN QUÉBEC)	Pierre SAUVÉ ²⁾
B2	B4	mine SISCOE	Pierre TRUDEL, Laszlo IMREH ¹⁾
B2	B5	mine SIGMA	Pierre SAUVÉ ²⁾
B2	B6	mine LAMAQUE	Pierre TRUDEL ²⁾
B2	B7	mine LOUVICOURT GOLDFIELD	Pierre SAUVÉ ²⁾
B2	B8	gîte CROINOR	Roch GAUDREAU et al. ³⁾
B2	B9	gîte SIGMA - 2	Réjean HÉBERT et al. ³⁾
B3a	B10	mine KIENA	Pierre TRUDEL, Guy PERRAULT ²⁾
B3a	B11	mine MARBAN	Yves MÉTHOT et Pierre TRUDEL ²⁾
B3a	B12	mine AKASABA	Pierre SAUVÉ, Jeanne LEBEL ²⁾
B3a	B13	mine GREENE - STABEL (JACOLA)	Pierre SAUVÉ ²⁾
B3a	B14	mine SHAWKEY	Pierre SAUVÉ ²⁾
B3a	B15	gîte BRUELL et AURORA	Roch GAUDREAU et al. ³⁾
B3a	B16	gîte BROSNOIR (BROSNAN)	Roch GAUDREAU et al. ³⁾
C1	C1	mine CHIMO et gîte NORDEAU	Michel ROCHELEAU et al. ³⁾

1) Ministère de l'Énergie et des Ressources (MERQ)

2) Institut de recherche en exploration minière (IREM)

3) Université Laval

Tableau 1.1 Tableau synoptique de la présentation des descriptions de gisements.

Section A: gisements directement associés aux plutonites.

Section B: gisements en terrain volcanique.

Section C: gisements en terrain sédimentaire.

Seul au sein de la section B, en raison de la grande diversité et du nombre considérable des gisements, avons-nous procédé à l'établissement de trois sous-sections.

Sous-section 3.1 gisements associés à des intrusions mineures de composition différente des volcanites encaissantes.

Sous-section 3.2 gisements associés à des intrusions mineures de composition semblable ou identique aux volcanites encaissantes.

Sous-section B.3 gisements situés dans les volcanites sans association évidente avec des corps intrusifs.

Pour alléger la désignation alpha-numérique des gisements décrits, nous avons élaboré un numérotage continu à l'intérieur des sections. Le tableau 1.1 - qui sera reproduit aussi au début de la seconde partie - comporte quatre entités: la première colonne comporte les numéros de classification typologique (cf. chap. 4); la deuxième indique la position des rapports à l'intérieur du volume, toujours en fonction de leur appartenance typologique; la troisième fournit la dénomination des mines et gisements mis en valeur étudiés; finalement la quatrième colonne comprend les noms des auteurs, avec leurs affiliations respectives.

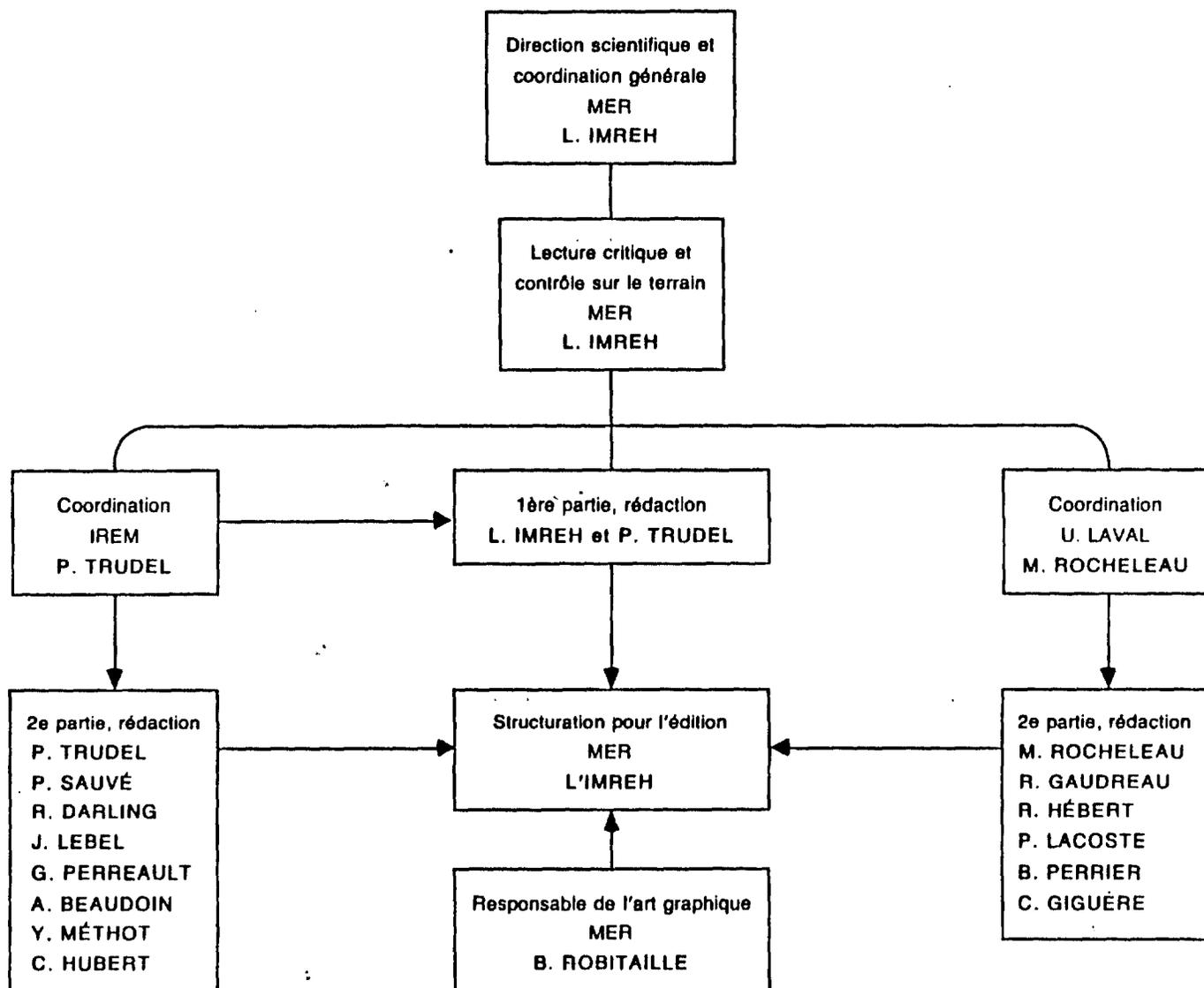


Figure 1.1 Organigramme de l'action concertée MER - IREM - Université Laval.

1.6 ORGANISATION

Grâce à une méthodologie rigoureuse et à la définition claire des objectifs ainsi que des moyens pour y parvenir, les travaux ont pu être menés à bien. L'action concertée, mobilisant une quinzaine de chercheurs, a débuté fin 1985. Les organismes ou instituts impliqués sont le Ministère de l'Énergie et des Ressources de Québec (MERQ), l'Institut de recherche en exploration minérale (IREM) et l'Université Laval, cette dernière s'est greffée sur le projet en 1987. L'organisation de cette action concertée est représentée à la figure 1.1. Comme il en ressort, elle a été coiffée par le MER dont le spécialiste dans la matière en a assumé la direction et la coordination. La lecture critique ainsi que le contrôle et les conseils sur le terrain, lui incombaient entièrement. Son principal collaborateur a été le coordinateur du groupe de l'IREM.

Quant à la composition du personnel impliqué dans ce projet, il reste à souligner qu'il s'agit surtout de professeurs d'université et de "thésards" des 2^e ou 3^e cycles. Cette concentration de chercheurs qualifiés, ou en voie de le devenir, n'est certes pas étrangère à la réussite et à la qualité scientifique des travaux. En résumé, l'organisation mise sur pied est un système synergique dont le rendement a été optimisé grâce à la définition sans équivoque des objectifs et des méthodes à appliquer. Sa force réside précisément dans la cohésion et l'intéressement des participants venus d'horizons divers; elle constitue un exemple frappant de la réussite et de la création en équipe.

Nous tenons à adresser nos remerciements à ceux dont les noms se trouvent à la figure 1.1, leur collaboration efficace a permis de réaliser ce travail de taille, dont la parution fera certainement date. Outre sa qualité scientifique intrinsèque, il nous paraît que son aspect conceptuel innovateur et la méthodologie utilisée seront à la mesure de l'importance du sujet traité.

RÉFÉRENCES

- BEULLAC, R. - IMREH, L., 1987 - Géologie du secteur de Preissac - La Pause - Cléricy (Abitibi), Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, ET-86-03, 36 pages.
- COLVINE, A.C., (éditeur), 1983 - The Geology of Gold in Ontario, Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper 110, 278 pages.
- COLVINE, A.C. - ANDREWS, A.J. - CHERRY, M.E. - DUROCHER, M.E. - FYON, A.J. - LAVIGNE, Jr M.J. - MacDONALD, A.J. - MARMONT, S. - POULSEN, K.H. - SPRINGER, J.S. - TROOP, D.G., 1984 - An integrated Model for the Origin of Archean Lode Gold Deposits, Ontario Geological Survey, Open File Report 5524, 84 pages.
- DIMROTH, E. - IMREH, L. GOULET, N. - ROCHELEAU, M., 1982 - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part I: stratigraphy and paleogeographic model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 19, no 9, pages 1729-1758.
- _____ 1983a - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Québec. Part II: tectonic evolution and geomechanical model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 20, no 9, pages 1355-1373.
- _____ 1983b - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Québec. Part III: plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 20, no 9, pages 1374-1388.
- HENRY, J., - 1983 - Méthodes modernes de géologie de terrain: Le manuel d'analyse structurale, Edition Technip-Paris, 183 pages.
- IMREH, L., 1976 - Nouvelle lithostratigraphie à l'ouest de Val d'Or et son incidence géologique. Ministère des Richesses naturelles du Québec; DPV-349, 73 pages, 1 carte au 1:100 000.
- _____ 1984 - Sillon de La Motte-Vassan et son avant-pays méridional: synthèse volcanologique, lithostratigraphique et géologique. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MM-82-04; 80 pages, 2 cartes.
- _____ 1987 - Mine Lamaque - géologie de surface; ET 87-04, (carte polychrome annotée); Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec.
- IMREH, L. - TRUDEL, P., 1987 - Métallotectes et typologie des gisements aurifères du secteur de Val d'Or; Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, DV 87-25, pages 75-83.
- RAGUIN, E., 1970 - Pétrographie des roches plutoniques dans leur cadre géologique; Masson et Cie, Paris, 230 pages.

ROBERTS, R.G., (éditeur) - 1980 - Genesis of Archean, Volcanic-Hosted Gold Deposits; Ontario Geological Survey, Open File Report 5293, 387 pages.

RUSSEL, B., 1965 - L'analyse de la matière; Payot, Paris; 313 pages.

2. CADRE GÉOLOGIQUE

2.1 Considérations générales

Le secteur minier de Val d'Or fait partie intégrante de la province du Supérieur. Plus exactement, il se situe, dans la partie méridionale de la ceinture régionale majeure de l'Abitibi, définie par Goodwin et Ridler (1970) et réinterprétée ensuite par Dimroth et al. (1982). Cette ceinture volcano-sédimentaire, de taille considérable (500 km de longueur sur 300 km de largeur), est composée de plusieurs entités volcano-sédimentaires compréhensives (sillons) dont l'évolution individuelle permet de reconstituer celle de la ceinture entière. Elle est limitée vers le nord par la ceinture des paragneiss de Quetico, à l'ouest par la zone des gneiss de Kapuskasing et tronquée au sud-est par le front du Grenville (figure 2.1).

La ceinture abitibienne est caractérisée par une asymétrie nord-sud bien exprimée, ce qui donne lieu à la définition de deux zones distinctes, la zone externe et la zone interne (Dimroth et al., 1982). L'asymétrie est particulièrement manifeste au niveau de la présence, la répartition et la masse des divers types de roches magmatiques. La zone externe est caractérisée par la présence prononcée des coulées ultramafiques et des édifices rhyolitiques à rhyodacitiques, ainsi que la rareté relative de grandes masses intrusives granitiques. À l'opposé, la zone interne est caractérisée par la présence de corps anorthositiques, de corps et filons-couches mafiques, ultramafiques et par l'extension très considérable de corps intrusifs tonalitiques, granitoïdes, trondhjémiques (tableau 2.1).

Le région étudiée (secteur de Val d'Or) se trouve dans la zone externe; sa limite méridionale est constituée par la ceinture locale de Bellecombe, comprenant les sédiments du Pontiac (figure 2.1).

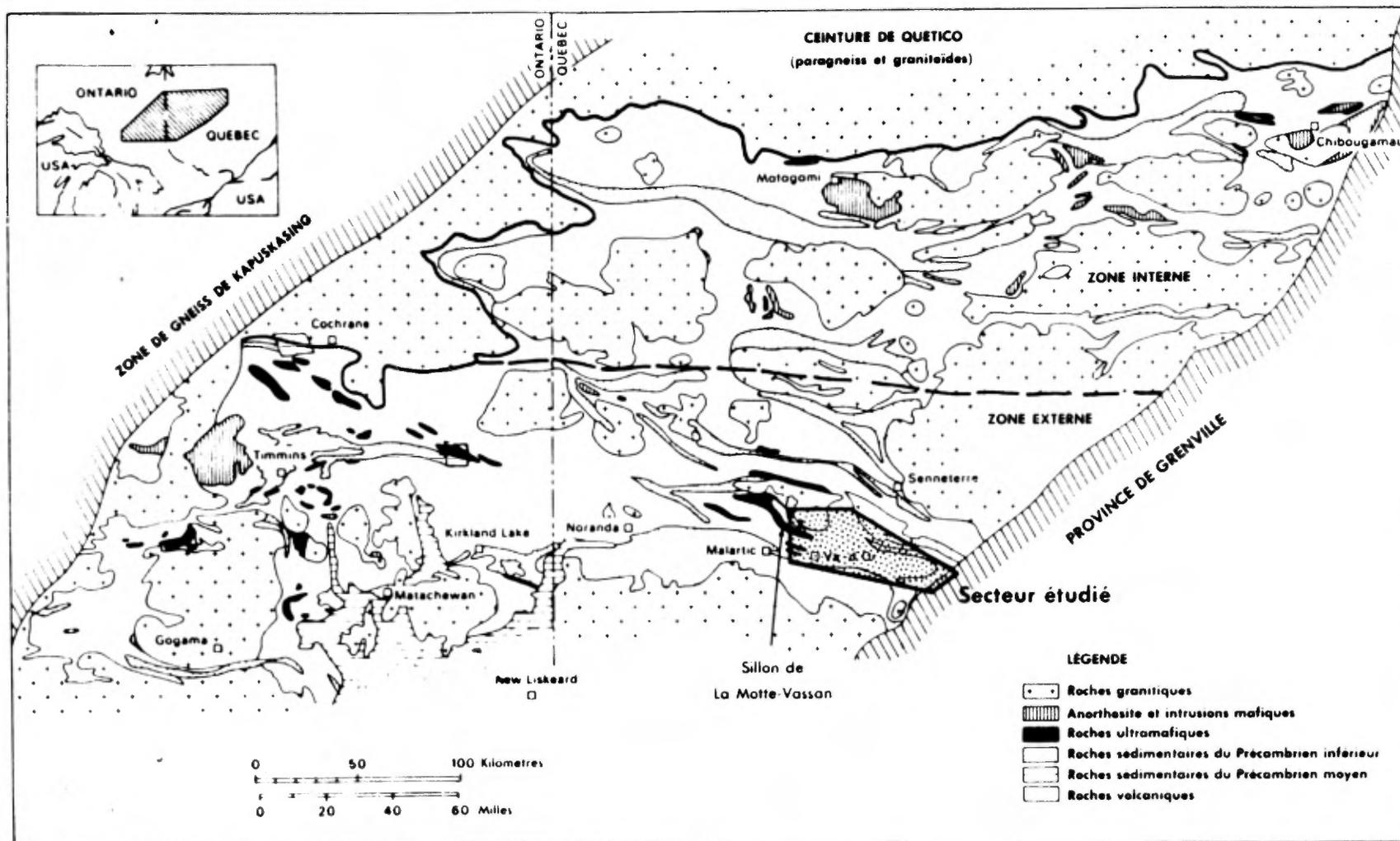


Figure 2.1 Esquisse de la province orogénique abitibienne (moins la bande de Frotet-Evans). D'après Goodwin et Ridler (1970) modifiée par Pyke et al. (1973), Dimroth et al. (1982) et Imreh (1984). La figure montre en pointillé la localisation du secteur étudié.

lithologie et géométrie entités majeures	séquences de coulées ultramafiques	édifices rhyolitiques et rhyodacitiques	masses anorthositiques	intrusions mafiques, ultramafiques	intrusions granitoïdes
ZONE EXTERNE [Rouyn-Noranda Val d'Or Belleville]	séquences puissantes <u>très répandues</u> [sillon de La Motte Vassan, zone de Munro-Cochrane- sud]	<u>très répandues</u> surtout dans le secteur de Rouyn-Noranda; <u>fréquentes</u> (de rhyodacite à dacite) dans la Formation de Val d'Or	<u>absentes</u>	petits corps sporadiques; quelques filons-couches	plusieurs masses de quelques 100km ² (La Corne, La Motte, Bourlamaque) petits corps km ² -ques
ZONE INTERNE [Chibougamau Desmaraisville Matagami Casa-Bérardi]	<u>très rares</u> [Brouillan, Casa-Bérardi]	présence faible	<u>grandes masses caractéristiques</u> [Chibougamau, Desmaraisville, Matagami]	<u>fréquentes</u> exclusivement filons-couches différenciés	grandes masses importantes > 500km ²

Tableau 2.1 Principaux traits discriminants des zones externes et internes.

2.2 Réflexions historiques sommaires

Lorsqu'on passe en revue les anciens travaux géologiques de l'Abitibi-Est, force est de constater que l'effort fut concentré, en raison de son potentiel exceptionnel, sur une bande relativement étroite entre Cadillac, Malartic et Val d'Or, comprenant, en particulier, la zone tectonique de Cadillac.

Sur le plan strictement géologique, il en est résulté que la compréhension de la géologie de l'Abitibi-Est s'est vu conditionnée par la connaissance de cette bande, coïncée, par ailleurs, entre la masse du sillon métavolcanique de La Motte au nord et le terrain métasédimentaire au Sud. Cet état de choses ne manquait pas de soulever, ensuite, de sérieux problèmes reflétés, en particulier, par de nombreux changements de la perception lithostratigraphique de la région (tableau 2.2.).

Notons d'abord que l'utilisation des noms de Malartic, Kéwagama, Blake River, Cadillac belt et Fournière revient à Gunning (1937). Quelques années plus tard Gunning et Ambrose (1940), dans leur mémoire - qui faisait date dans la géologie de l'Abitibi - ont repris la majorité de ces noms en leur octroyant le rang de groupes:

"Le Groupe de Malartic se compose de roches volcaniques appelées roches volcaniques de Malartic dans la région de Cadillac; les sédiments de Kewagama et les sédiments de Fournière de la région de Cadillac ont été mis en corrélation et constituent maintenant le Groupe de Kewagama. Les roches volcaniques de Blake River et la zone de roches volcaniques de Cadillac ont également été mises en corrélation et forment maintenant le Groupe de Blake River. Les sédiments de Cadillac sont devenus le Groupe de Cadillac" (1940, p.3).

Cette nomenclature a consacré (voir citation) explicitement l'assertion structurale de ces auteurs, à savoir que la structure majeure de la région serait le synclinal de Malartic dont les deux flancs constitueraient alors des successions stratigraphiques symétriques (tableaux 2.2 et 2.3).

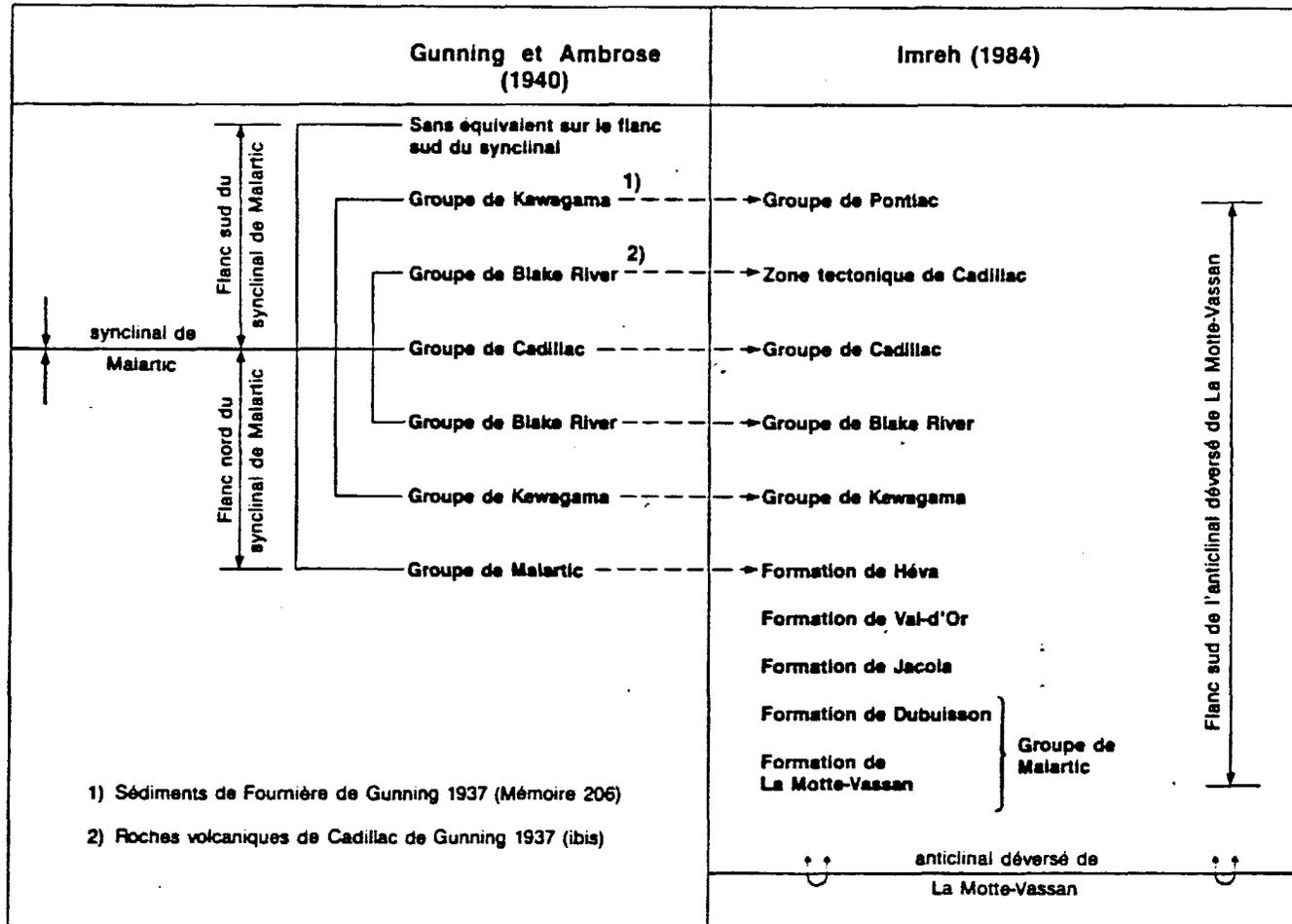


Tableau 2.3 Correspondance des éléments stratigraphico-structuraux de 1940 et 1984.

Cependant, cette assertion (Gunning et Ambrose, *ibid.*) a soulevé plus de problèmes qu'elle n'en a résolus. Dès 1941, Norman a formulé de sérieuses réserves sur la nomenclature de Gunning et Ambrose (*ibid.*), et propose même son abandon en 1946, car:

"Use of the group terms Cadillac, Blake River, Kewagama, and Malartic is discontinued because they accentuate the problem of lithological correlation and involve several structural assumptions that cannot be proved. Instead the terms Temiscaming and Keewatin (Abitibi) will be employed"(carte annotée 1941).

Les travaux de Norman furent cependant beaucoup moins connus que ceux de Gunning et Ambrose (*ibid.*) et le travail de ces derniers a continué à faire autorité pendant plus de 30 ans.

Ce n'est qu'à la suite de la révision générale, débutée en 1972 par Imreh (1976a) qu'il est devenu évident que la bande relativement étroite, où Gunning et Ambrose (*ibid.*) ont défini leur stratigraphie, ne représente qu'un tronçon limité du sillon métavolcanique de La Motte-Vassan. Ce tronçon, en raison de sa limitation géographique, sa position stratigraphique et tectonique est apparu alors inadéquat à constituer la base d'une stratigraphie dépassant le cadre local du synclinal de Malartic dont les deux flancs - contrairement à l'avis de Gunning et Ambrose (*ibid.*) - montre une asymétrie faciologique notable.

Pour faciliter au lecteur la compréhension des problèmes, nous présentons au tableau 2.3. les équivalences entre la nomenclature actuelle et celle de Gunning et Ambrose (1940) avec toutes les conséquences conceptuelles que cela implique.

Les travaux d'Imreh (1976a, 1979 et 1984) ont permis d'établir un modèle volcanologique et lithostratigraphique cohérent pour l'ensemble de la région de Malartic-Val d'Or en démontrant que:

- les ultramafites serpentinisées de la région sont d'origine volcanique, alors qu'elles avaient jusqu'alors été cartographiées comme des corps intrusifs. Cette observation a constitué l'étape décisive

FLANC SUD				FLANC NORD			
RÉGIME DOMINANT	PRODUITS & MISE EN PLACE	GROUPES	FORMATIONS, LITHOFACIÉS	FORMATIONS, LITHOFACIÉS	GROUPES	PRODUITS & MISE EN PLACE	RÉGIME DOMINANT
SEDIMENTAIRE	DÉTRITIQUE (SURTOUT GRAUWAACKES) TURBIDITE DOMINANTE	CADILLAC	Surtout des grauwaacks et des conglomérats; niveaux de formation de fer.	AMOS INFÉRIEUR	AMOS	MAFIQUE ET ULTRAMAFIGNE EFFUSIF	TYPE PLAINES S.M.
			ZONE TECTONIQUE de CADILLAC Horizons de coulées ultramafiques komatiitiques dominantes et de coulées basaltiques subordonnées.				
VOLCANIQUE	TYPE COMPLEXES CENTRAUX MAFIGNE À FELSIQUE	PONTIAC	Surtout des grauwaacks; horizons de coulées ultramafiques komatiitiques intercalaires.	FIGUERY SUPÉRIEUR	HARRICANA	BRÈCHES DE LAVE COULÉES ET BRÈCHES DE LAVE	TYPE COMPLEXES CENTRAUX MAFIGNE (PRÉPONDERANT) À FELSIQUE
			BLAKE RIVER Basaltes communs.	FIGUERY INFÉRIEUR			
VOLCANIQUE	EFFUSIF ET PYROCLASTIQUE	KEYAGAMA	Sédiments (prépondérants) et volcanoclastiques.	LANORSENNE	MALARTIC	COULÉES SUBORDONNÉES ET BRÈCHES DE LAVE	EFFUSIF DOMINANT
			MÉVA	Basaltes chloriteux, à magnétite sporadique, en coulées massives, coussinées et bréchiques; lentille de brèches de laves rhyolitiques.			
VOLCANIQUE	TYPE PLAINES SOUS-MARINES MAFIGNE PRÉPONDERANT	VAL-D'OR	Couées et brèches de coulées basaltiques, pyroclastiques, surtout andésitiques.	MÉVA	MALARTIC	COULÉES ET BRÈCHES DE LAVE	TYPE PLAINES SOUS-MARINES MAFIGNE ET ULTRAMAFIGNE
			JACOLA	Couées coussinées et brèches de laves basaltiques et andésitiques; à magnétite sporadique; lentille rhyodactitique régionale; divers types de brèches de coulées (dominantes), et coulées massives (subordonnées); épisodes épicrostiques d'origine volcanique.			
VOLCANIQUE	ULTRAMAFIGNE PRÉPONDERANT	DUBUSSON (indifférencié)	Suites séquentielles de coulées surtout basaltiques; horizons intercalaires de coulées ultramafiques komatiitiques; par endroits, épisodes volcanoclastiques felsiques sommitaux.	FREDMONT	MALARTIC	MAFIGNE PRÉPONDERANT	EFFUSIF DOMINANT
			DUBUSSON (indifférencié)	Grauwaacks et conglomérats.			
VOLCANIQUE	EFFUSIF DOMINANT	LA MOTTE-VASSAN	Suites séquentielles de coulées komatiitiques ultramafiques; épisodes basaltiques et sédimentaires subordonnés.	DUBUSSON SUPÉRIEUR	MALARTIC	ULTRAMAFIGNE PRÉPONDERANT	TYPE PLAINES SOUS-MARINES MAFIGNE ET ULTRAMAFIGNE
			LA MOTTE-VASSAN	Suites séquentielles de coulées komatiitiques, épisodes basaltiques et sédimentaires subordonnés.			

P.S. Le préfixe MÉTA est sous-entendu dans toutes les dénominations de roche

Tableau 2.4 Tableau lithostratigraphique du Sillon de La Motte-Vassan; d'après MM 82-04.

qui a rendu possible l'établissement d'une image évolutive, lithostratigraphique et structurale du sillon métavolcanique;

- l'unité géologique fondamentale de l'Abitibi-Est méridional est le sillon ultramafique-mafique de La Motte-Vassan et constitue la base stratigraphique de tout l'empilement volcano-sédimentaire;

- les coulées ultramafiques serpentinisées intercalaires du terrain sédimentaire (Groupe de Pontiac) sont identiques à celles du terrain volcanique. En conséquence, les régimes volcaniques et sédimentaires sont complémentaires et inséparables;

- la structure majeure de la région est l'anticlinal de La Motte-Vassan, et non le synclinal de Malartic;

- la zone tectonique de Cadillac représente une bande d'épanchements ultramafiques serpentinisés à épisodes mafiques en milieu sédimentaire;

- les sédiments tuffacés situés sur le flanc nord du synclinal de Malartic (Groupe de Kewagama) sont différents des grauwackes situés sur le flanc sud (Groupe de Pontiac);

- le Groupe de Malartic, tel que défini par Gunning et Ambrose (ibid.) ne comprend que la terminaison de la Formation de Dubuisson (section sommitale) et des Formations de Jacola et de Héva.

Ces observations ont permis à Imreh (1984) d'établir la nouvelle séquence stratigraphique présentée au tableau 2.4., et qui sera celle que nous utiliserons tout au long de ce travail.

2.3 Aperçu géologique régional: aspect stratigraphique, paléogéographique et géodynamique

La partie sud de la ceinture volcanique de l'Abitibi forme une bande allongée passant par Timmins, Rouyn-Noranda et Val d'Or dont le secteur minier de Val d'Or constitue la terminaison orientale (carte hors texte). L'unité géologique fondamentale de la région est le

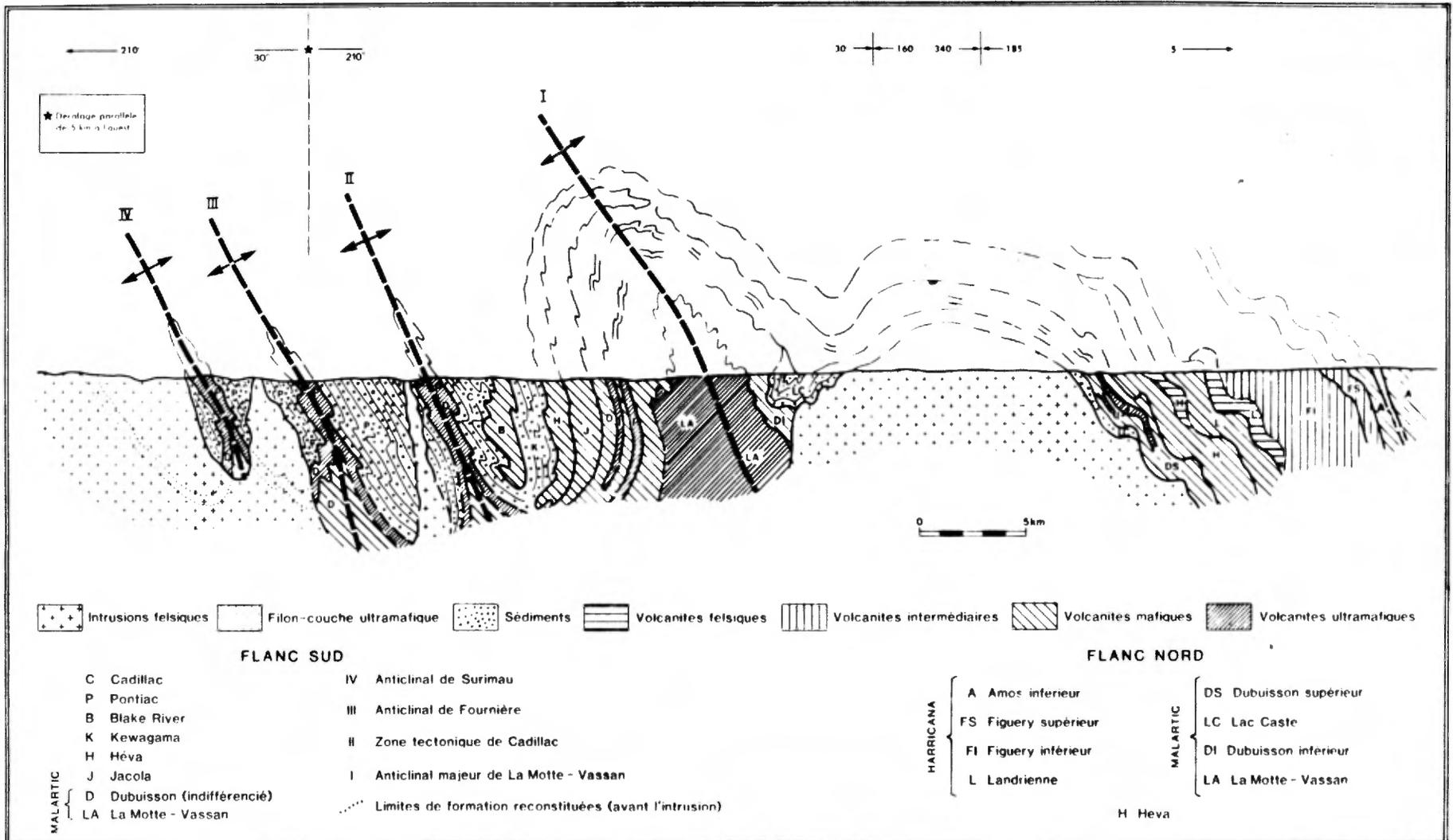


Figure 2.2 Coupe schématique de l'anticlinal archéen majeur de La Motte-Vassan.

"sillon de La Motte-Vassan", tel que défini par Imreh (1974 a, b) dans les cantons de mêmes noms. Les termes basaux du sillon de La Motte-Vassan représentent les roches les plus anciennes de la région.

Du point de vue tectonique, la région a connu deux périodes majeures: prékénoréenne et kénoréenne (Dimroth et al., 1983 a; Imreh, 1984). La première est à l'origine des zones faillées de Cadillac et de Duparquet-Destor, dont le développement a débuté au cours du volcanisme et de la sédimentation. Ces zones faillées ont ensuite été transformées durant l'orogénèse en failles inverses à fort pendage. Quant à l'activité kénoréenne, elle a produit les grands plis qui ont donné à la région son style tectonique définitif. Ces plis sont à plan axial généralement incliné et à axes plongeants, ce qui produit des discontinuités latérales. Ce style tectonique particulier résulte de l'interférence de deux phases de plissement (F_1 plus ancienne et F_2 plus récente). F_1 montre des directions E, SE et localement NE, tandis que F_2 est de direction est. L'importance des phases postérieures à F_1 et F_2 semble subordonnée (voir Dimroth et al. 1983a pour plus de détails). Dans l'avant-pays sédimentaire du Pontiac, au sud de la zone faillée de Cadillac, les plis sont de plus en plus déversés et leur fréquence augmente considérablement (Imreh, 1979).

Dans la région étudiée, la structure majeure est l'anticlinal déversé de La Motte-Vassan, qui résulte de l'interférence des phases F_1 et F_2 précitées. La coupe de la figure 2.2, de même que la carte géologique hors-texte, présentent les principales structures reconnues dans le sillon de La Motte-Vassan et son avant-pays méridional.

Dans la région de Val d'Or, comme dans l'ensemble de l'Abitibi, le métamorphisme est polyphasé (Dimroth et al, 1983b; Imreh, 1984). Les principales phases de métamorphisme qu'on peut reconnaître sont les suivantes: 1°) une "spilitisation" très précoce, associée directement à la mise en place des coulées en milieu marin; 2°) le métamorphisme régional et 3°) le métamorphisme d'auréole associé à certains batholithes.

La spilitisation a consisté en échanges chimiques plus ou moins importants entre l'eau de mer et les coulées. Elle a provoqué

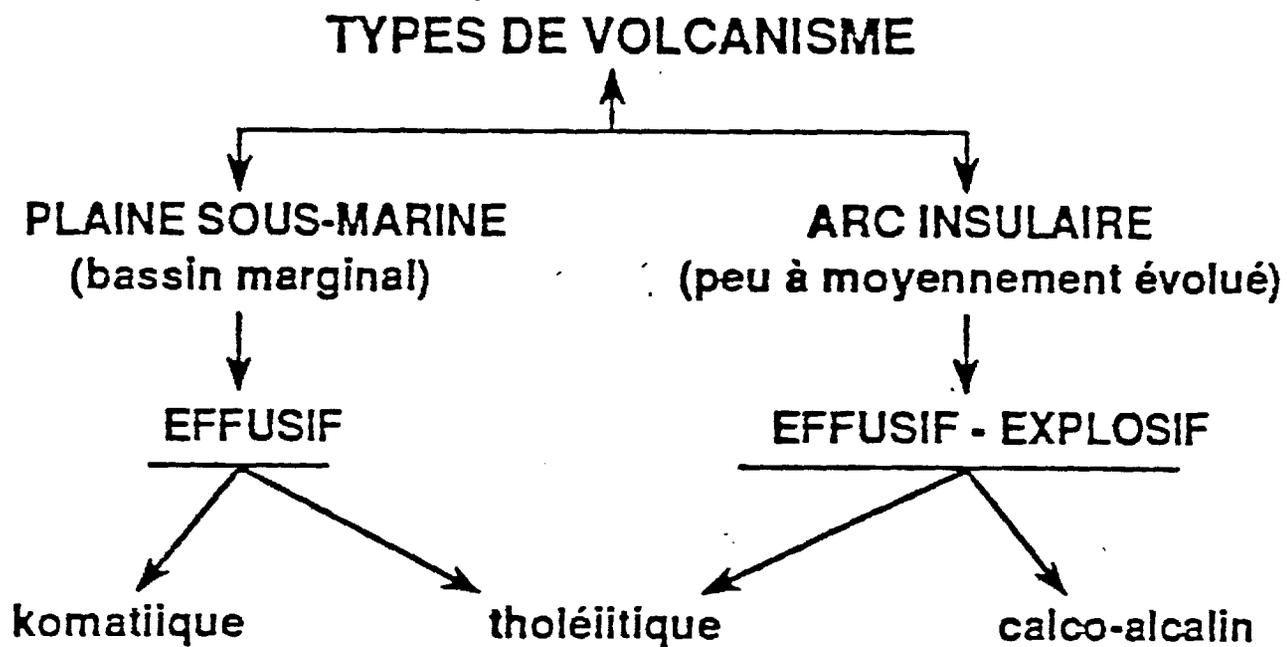


Figure 2.3 Types de volcanisme définis.

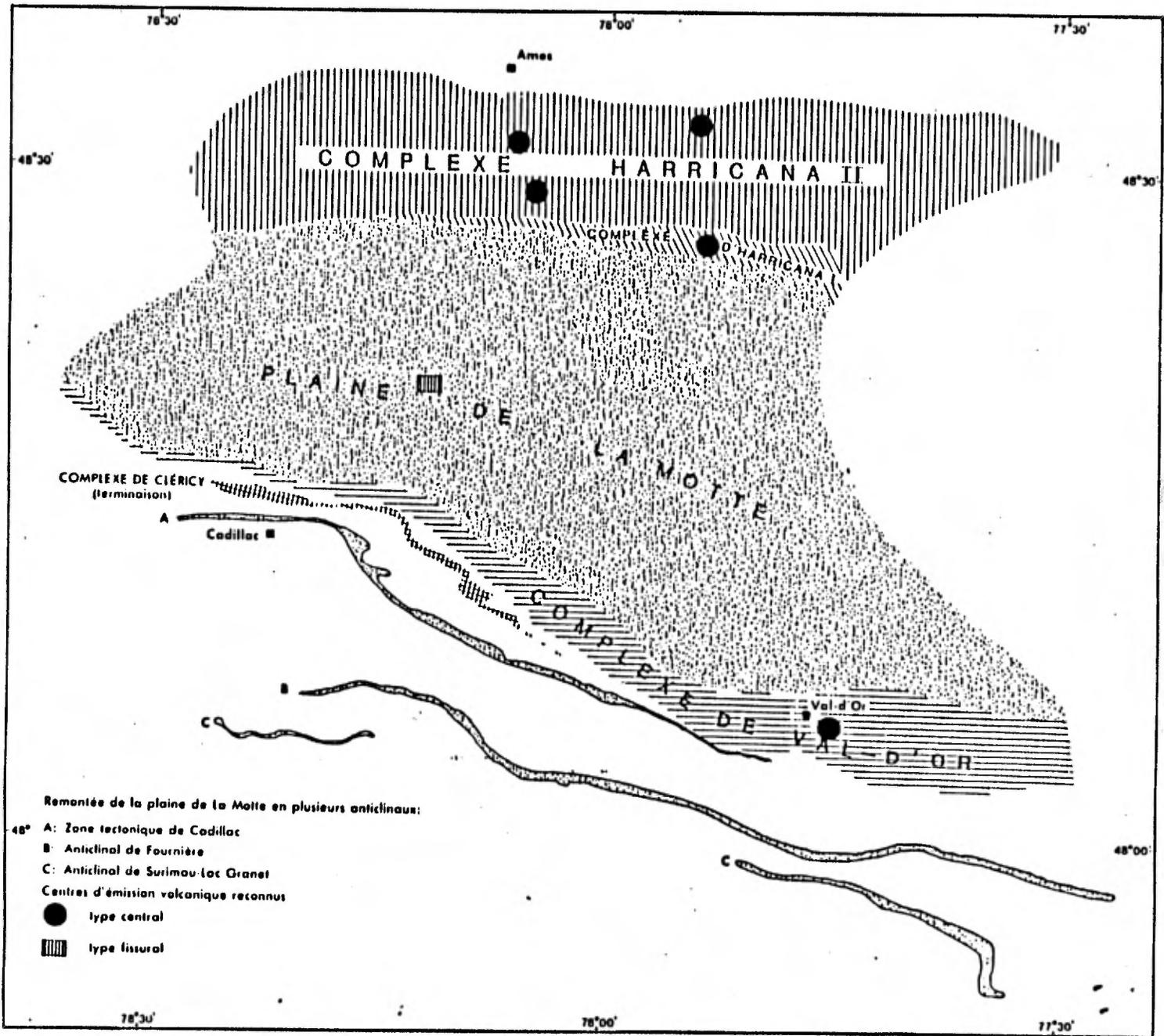


Figure 2.4 Entités volcaniques avec carte.

dans les basaltes la saussuritisation locale plus intensive qu'ailleurs, observée au centre des coussins ("boules d'épidote") et, dans les ultramafites, la serpentinitisation des minéraux ferro-magnésiens. Dans l'ensemble de la région, le métamorphisme régional est, selon la nomenclature de Winkler (1976), de degré faible, et le faciès typique est celui des schistes verts. Le degré de métamorphisme régional augmente vers le sud, et la zone de la staurotide est atteinte entre 3 et 5 kilomètres au sud de la zone tectonique de Cadillac (Imreh, 1979, et carte géologique hors-texte). Dans la partie est de la région, la largeur de la zone à staurotide est d'environ 18 kilomètres, après quoi l'isograde de la sillimanite est atteint (Rive, 1977; Imreh, 1984). Le métamorphisme d'auréole se manifeste en maints endroits autour des batholites, et est d'intensité moyenne (Winkler, 1979). Il est caractérisé, selon le faciès lithologique primitif, par la présence de staurotide, d'amphibole ou de l'association amphibole + grenat.

Imreh (1976a) a défini le sillon de La Motte-Vassan comme étant l'unité géologique fondamentale de l'Abitibi-Est méridional, et a démontré que sa structure est celle d'un anticlinal majeur déversé (figure 2.2). Une fois cette base établie, Imreh (1976a, 1976b, 1979 et 1984) a élaboré la lithostratigraphie du sillon en fonction des coupures naturelles cartographiables. Le tableau 2.4., résume la nomenclature lithostratigraphique établie en fonction de cette réalité. Les diverses formations, à dominance volcanique, présentes dans le secteur minier de Val d'Or, seront décrites plus en détail dans la prochaine section, qui traite de la géologie locale.

Les études faciologiques de Imreh (1976b, 1978 et 1980) et de Imreh et Dimroth (1983) ont de plus permis de dégager des traits discriminants entre les produits paléovolcaniques d'origine diverse (tableau 2.5) et de mettre en évidence, dans le sillon de La Motte-Vassan, deux types fondamentaux de volcanisme sous-marin (figure 2.3): le type plaine et le type complexes centraux (Imreh, 1984). De façon simplifiée, le type complexes centraux se distingue par une évolution plus poussée vers les compositions felsiques: rhyolite, dacite et andésite d'affiliation calco-alcaline, l'abondance des faciès volcanoclastiques et les changements faciologiques rapides.

TRAITS DISCRIMINANTS	VOLCANISME TYPE PLAINES SOUS-MARINES DES BASSINS MARGINAUX (en arrière des arcs)	COMPLEXES CENTRAUX DES ARCS INSULAIRES
Changements faciologiques latéraux et verticaux*	Faibles à très faibles; s'expriment surtout verticalement	Moyens à forts; directement proportionnels au stade d'évolution de l'arc
Horizons-repères	Exprimés à l'échelle régionale	Rares et absents
Diversification faciologique*	Faible à très faible; reste à l'intérieur d'un domaine faciologique majeur	Très prononcée; comprend toute la gamme des faciès de coulées de lave et de brèches de lave; s'exprime le plus par hauts-fonds
Séquentialité*	Caractéristique; s'exprime à tous les niveaux d'observation	Absente ou peu exprimée
Relation entre la position lithostratigraphique, les morphofaciès et la lithochimie	Facile à démontrer; la continuité latérale et la faible diversification constituent les conditions nécessaires et suffisantes	Difficile à démontrer, sauf dans le cas des minces niveaux de précipitation chimique
Centres d'émission*	Difficiles à localiser; la distribution des faciès proximal et distal semble aléatoire	Faciles à localiser lorsque la différenciation lithochimique est assez prononcée
Brèches de lave, hyaloclastites*	Absentes ou peu exprimées surtout au sommet des séquences	Présentes, même prépondérantes par endroits; constituent des horizons individualisés ou des intercalations
Pyroclastites*	Absentes	Présentes, même prépondérantes en environnement spécifique
Coulées ultramafiques komatiitiques*	Prépondérantes à la base, présentes par la suite	Présentes exclusivement dans le volcanisme "transitionnel" (flanc des arcs insulaires); absentes ailleurs
Coulées basaltiques	Présentes à la base, prépondérantes par la suite	Prépondérantes dans les îles en arc précoces; présentes dans les îles en arc évoluées
Coulées andésitiques*	Absentes	Présentes; prépondérantes dans les îles en arc plus évoluées
Coulées dacitiques et rhyolitiques*	Absentes	Bien exprimées dans les tronçons d'arc les plus évolués
Autopneumatolyse	Prononcée	Très faible à absente
Vésicularité	Absente ou prononcée	Souvent prononcée, surtout dans le faciès coussiné des coulées basaltiques
Associations lithochimiques	Ultramafites-basaltes	Basaltes-andésites; basaltes-andésites-dacites; basaltes-andésites-rhyolites
Différenciation lithochimique*	Faible; reste dans le domaine des ultramafites et mafites	Forte à très forte; va des basaltes aux rhyolites; constitue des cycles évolutifs
Série pétrologique*	Komatiitique et tholéiitique dominants	Tholéiitique, calco-alkaline, plus rarement alcaline; la prédominance est fonction du stade de l'évolution des arcs insulaires
Épiclastites volcaniques	Absentes	Caractérisent les hauts-fonds
ENVIRONNEMENT GÉODYNAMIQUE	Bassin marginal	Zone de subduction

N.B. Les traits suivis d'un astérisque (*) sont particulièrement importants

Le terme coulées de lave est utilisé, lorsque la précision s'impose, par opposition au terme brèches de lave (Francheteau et al., 1980). Lorsque le terme coulée est utilisé seul, les mots de lave sont sous-entendus

Le terme générique brèches de lave comprend tous les produits de laves sous-marines ayant subi, dans leur ensemble ou par unités de refroidissement (Ballard & Moore, 1977, p.20), à l'état chaud ou à l'état froid, des dislocations ou fragmentations (externes ou internes), quelle que soit la nature des dislocations ou fragmentations.

Tableau 2.5 Tableau des traits discriminants du volcanisme; d'après DV 83-11.

Entités volcaniques	Unités lithostratigraphiques
Plaine d'AMOS	— Groupe d'Amos
Complexe central de CLÉRICY (Dimroth et al., 1982)	— Groupe de Blake River
Complexe central HARRICANA II	— Groupe de Harricana: formations de Landrienne, de Figuerly inférieur et de Figuerly supérieur
Complexe central HARRICANA I	— Formation de Héva-nord
Complexe central de VAL-D'OR	— Formations de Jacola, de Val-d'Or et de Héva-sud
Plaine de LA MOTTE	— Groupe de Malartic: formations de La Motte-Vassan et de Dubuisson

Tableau 2.6 Correspondance entre les unités lithostratigraphiques et les entités volcaniques de la région.
D'après Dimroth et al. 1983a, modifié par Imreh, 1989.

Par contre, le type plaine sous-marine est caractérisé par l'épanchement fissural du magma ultramafique et mafique de caractère respectivement komatiitique et tholéitique (Imreh et Dimroth, 1983).

En se basant sur des analyses récentes et les interprétations qui en résultent (Karig, 1971, Karig et Sherman, 1975; Carey et Sigurdsson, 1984, Saunders et Tarney, 1984. Pearce et al., 1984 Windley 1984, Le Pichon et al., 1973, Girod et al., 1978, Mattauer, 1973), ces deux types de volcanisme, quoique radicalement différents, sont complémentaires et caractérisent, au même titre, la zone de bordure des plaques. Plus précisément, ils caractérisent les zones de subduction y compris les îles en arc et les bassins marginaux. Ces derniers constituent en général les zones de distension de type bassins d'arrière-arc.

Le volcanisme de type plaine sous-marine correspond, du point de vue géodynamique, à un environnement de bassin marginal, dont les produits sont essentiellement effusifs. Le volcanisme de type complexes centraux correspond, de sa part, à un environnement géodynamique d'arcs insulaires. Comme il ressort de la figure 2.3, l'activité volcanique y est effusive et extrusive, tholéitique et calco-alkaline en fonction de l'évolution de l'arc (Girod et al. 1978).

À l'intérieur de cette paléozone de subduction complexe, Imreh (1984) a reconnu cinq entités volcaniques distinctes dans le sillon de La Motte-Vassan, soit la plaine de La Motte, et les complexes centraux de Val d'Or, Harricana I, Harricana II et Cléricy, dont la distribution géographique est montrée à la figure 2.4. Le tableau 2.6 fournit la correspondance entre les unités lithostratigraphiques (tableau 2.4) et les entités volcaniques de la figure 2.4.

Dans la région qui nous intéresse particulièrement, soit le secteur minier de Val d'Or, la plaine de La Motte comprend les Formations de La Motte-Vassan et de Dubuisson, tandis que le complexe central de

Val d'Or comprend les Formations de Jacola, de Val d'Or et de Héva. Le cas de la Formation de Jacola est particulièrement intéressant, puisqu'elle représente un type intermédiaire entre les types plaine et complexes centraux. En effet, la présence de coulées ultramafiques, la séquentialité bien exprimée et la continuité faciologique latérale du côté ouest la rattachent au type plaine, tandis que la faible persistance latérale des coulées individuelles et la présence de brèches de coulée la rapprochent du type complexes centraux. Pour cette raison, Imreh (1984) qualifie la Formation de Jacola de "type transitionnel"; en effet, sa position stratigraphique entre les Formations de Dubuisson et de Val d'Or marque bien la transition entre le volcanisme de type plaine sous-marine et celui de type complexes centraux.

Imreh (1984) et Dimroth et al. (1982, 1983a, 1983b) résument ainsi l'évolution volcanologique de la région de Val d'Or:

Phase 1. Activité régionale fissurale de la plaine de La Motte en eau profonde qui débute par des épanchements ultramafiques komatiitiques pour se terminer par des épanchements mafiques. Le chimisme des laves est d'abord komatiitique et ensuite tholéitique.

Phase 2. Après la cessation de la phase 1, le volcanisme transitionnel prend la relève. Principalement basaltique, il comprend aussi de nombreux épanchements ultramafiques komatiitiques. Le volcanisme, peu évolué, est surtout tholéitique et komatiitique. Latéralement vers l'est et transversalement vers le sud, le volcanisme transitionnel passe au volcanisme typique des complexes centraux. L'activité explosive (pyroclastites) se limite au secteur situé à l'est de Val d'Or. L'évolution lithochimique se réalise d'ouest en est, du type tholéitique enrichi en fer au type mixte tholéitique-calco-alcalin et finalement au type purement calco-alcalin.

Phase 3. Diminution ou arrêt de l'activité volcanique dans le secteur de Val d'Or.

Phase 4. Intrusions de tonalites, de trondhgénites et de diorites quartziques associées au coeur du complexe central de Val d'Or.

Phase 5. La zone volcanique de Cadillac connaît un soulèvement le long d'une faille synsédimentaire régionale (zone faillée de Cadillac). En même temps, les sédiments fluviaux d'origine volcano-plutonique dévalent la pente sous-marine pour se répandre en éventail au fond de la mer.

Phase 6. Tectogenèse, représentée par les premières et secondes générations de plissements. La bande volcanique connaît alors un raccourcissement de direction N-S. Mise en place des batholites de La Corne et de Preissac-La Motte.

Phase 7. Mise en place des dernières masses intrusives post-cinématiques.

2.4 Géologie locale

Introduction

Le secteur minier de Val d'Or, tel que nous le définissons dans cet ouvrage, couvre le territoire suivant: limite ouest: rive ouest du lac De Montigny; limite est: front de Grenville à environ 70 kilomètres à l'est de Val d'Or; limite nord: un peu au nord de la rive nord du lac De Montigny; limite sud: environ 10 kilomètres au sud de Val d'Or (carte hors texte). Ce secteur minier contient 16 mines ayant produit au moins 0,5 t Au et plus; leur énumération et leur importance seront données au chapitre 3 et leur localisation, ensemble avec tous les gisements et tous les autres indices sont indiquées sur la carte hors texte. La description détaillée de chacun de ces gisements sera donnée dans le chapitre 6 de ce mémoire. À une exception près (zone sud de la mine Chimo), tous les gisements d'or étudiés sont localisés dans les roches volcaniques ou dans des roches intrusives intercalées ou circonscrites. Pour cette raison, nous nous limiterons à la description

plus détaillée de ces types de roches, en omettant les roches sédimentaires. Pour le lecteur intéressé, la nature, l'évolution et la paléogéographie de ces sédiments sont décrites en détail dans Dimroth et al. (1982).

Roches volcaniques

Les roches volcaniques du sillon de La Motte-Vassan, sur le flanc sud de l'anticlinal majeur du même nom (qui couvre la région des mines), ont été subdivisées par Imreh (1976a, 1976b, 1979 et 1984) en cinq formations qui sont, de la base vers le sommet, les Formations de La Motte-Vassan, Dubuisson, Jacola, Val d'Or et Héva. La courte description qui suit, de chacune de ces formations est tirée d'Imreh (1984):

La Formation de La Motte-Vassan est composée principalement de coulées ultramafiques komatiitiques, avec de rares intercalations de basaltes tholéitiques peu évolués. Près de la base de la formation, on note également l'occurrence sporadique de brèches de lave, et quelques minces intercalations de sédiments pyriteux.

La Formation de Dubuisson est composée essentiellement de basaltes, entre lesquels sont intercalés des horizons bien distincts de lave ultramafique d'une continuité remarquable. Du point de vue lithochimique, les basaltes de la Formation de Dubuisson, à caractère tholéitique, sont comparables à ceux de la Formation de La Motte-Vassan. Les conditions physiques de la mise en place semblent également avoir été les mêmes dans les deux cas: vésicularité très faible, matériaux hyaloclastiques intercoussinaux très peu développés, et absence de fissuration ou d'éclatement des coussins. La seule différence significative réside dans la présence d'un vaste niveau de basalte à "boules d'épidote", spécifique de la Formation de Dubuisson.

La Formation de Jacola est caractérisée par la triade composée, de bas en haut, de coulées ultramafiques, de coulées et de divers types de brèches basaltiques. Les triades peuvent être complètes ou tronquées. Dans le cas de triades tronquées, c'est le terme ultramafique qui fait défaut. Les termes les plus évolués des basaltes de la Formation de Jacola sont à cheval sur la limite des domaines tholéitique et calco-alcalin, tandis que les termes les moins évolués suivent la tendance tholéitique sans montrer toutefois un enrichissement en fer très marqué.

La Formation de Val d'Or consiste, dans sa partie ouest, en coulées coussinées de basalte et surtout, en brèches à minicoussins isolés. Vers l'est les termes andésitiques, dacitiques prennent partiellement la relève des basaltes, et les faciès effusifs font progressivement place aux produits du volcanisme explosif. Cette transition et les divers faciès volcaniques ont été étudiés en détail dans le secteur de la mine Lamaque (Imreh, 1987). Du point de vue lithochimique, la Formation de Val d'Or se distingue par son caractère franchement calco-alcalin.

La Formation de Héva peut être subdivisée de façon informelle en deux sous-formations: Héva inférieur et Héva supérieur. Le Héva inférieur, à l'ouest de Val d'Or, est composé de basalte massif à cristaux de magnétite, et de basalte coussiné avec passage à des faciès volcanoclastiques. À l'est de Val d'Or, les andésites prédominent sur les basaltes, et les intercalations dacitoïdes sont fréquentes. Le caractère tholéitique des laves prédomine, et l'enrichissement en fer est très prononcé dans les basaltes. Dans le Héva supérieur, les brèches de lave basaltique prédominent sur le faciès massif et les coulées coussinées sont très subordonnées. Les andésites ne constituent que quelques intercalations locales; on y rencontre cependant plusieurs intrusions gabbroïques. Du point de vue lithochimique, la lignée calco-alcaline prédomine dans le Héva supérieur.

Roches intrusives

Dans le secteur minier de Val d'Or, les principaux types de roches intrusives sont (si l'on excepte les dykes de diabase, d'âge beaucoup plus récent), les filons-couches de gabbro-diorite, les plutons quartzo-dioritiques, les dykes de porphyre feldspathique (parfois quartzifère), les intrusions potassiques et de nombreux dykes et cheminées intrusives dont la composition varie de felsique à mafique.

Les filons-couches de gabbro-diorite sont surtout présents dans la séquence volcanique supérieure (Formations de Jacola, Val d'Or et Héva), où leur épaisseur et leur continuité sont les plus exprimées. Par exemple le filon-couche Vicour, qui contient le gisement Sigma-2 (partie centrale du canton de Louvicourt), mesure plus de 300 mètres d'épaisseur et a été retracé sur environ 10 kilomètres. La taille de ces intrusions est cependant beaucoup plus modeste en général. Il est intéressant de noter que des faciès granophyriques, (très probablement sommitaux), sont connus à deux endroits dans le niveau gabbroïque et que ce sont précisément ces deux endroits qui contiennent des gisements d'or (Louvicourt Goldfield et Sigma-2).

Les plutons de diorite quartzique sont représentés par le batholite de Bourlamaque, le pluton de Bevcon et par quelques autres amas plus petits. Ces plutons, à texture hypidiomorphe grenue, sont riches en plagioclase (50% et plus), quartz (20%) et minéraux ferro-magnésiens (15 à 35%) fortement chloritisés et ne contiennent qu'exceptionnellement du feldspath potassique. Dans le pluton de Bevcon, la diorite quartzique passe localement à une leucotonalite très riche en quartz (40%) et presque entièrement démunie de minéraux ferro-magnésiens.

Les dykes de porphyre feldspathique, avec ou sans phénocristaux de quartz, sont présents à proximité de presque tous les gisements aurifères de Val d'Or. Ils sont composés de gros (1 - 2cm) phénocristaux (10 - 35%) de plagioclase dans une pâte fine, riche en quartz,

plagioclase, épidote, chlorite, séricite et minéraux opaques. Certaines variétés contiennent des phénocristaux plus petits (3 - 5 mm) de quartz (0 - 10%). Le porphyre feldspathique recoupe les filons-couches de gabbro-diorite, le pluton de Bevcon et le batholite de Bourlamaque.

Les intrusions calco-potassiques ne sont représentées que par les stocks de East Sullivan et de Valentin¹. L'intrusion de East Sullivan est une monzonite composées essentiellement de plagioclase, d'orthose perthitique, de biotite et de hornblende. Le stock intrusif de Valentin, situé à la limite ouest de la ville de Val d'Or, est constitué d'une roche felsique à grain moyen (2 - 3mm) caractérisée par le développement inégal de microcline et, par l'abondance relative de biotite.

Les dykes à texture hypidiomorphe et à granulométrie de 1 à 3 mm., de composition intermédiaire (diorite) à felsique (aplite), sont fréquents près des gisements de Kiena, Shawkey, Jacola, Siscoe, Sullivan et Perron. Les dykes mafiques sont également nombreux, et certains sont sûrement les conduits nourriciers des laves environnantes. Six cheminées intrusives ont également été reconnues, sous terre, sur la propriété de la mine Lamaque (Daigneault et al., 1983). Leur composition varie de la diorite à la leucotonalite.

Géologie structurale

Aucune étude structurale détaillée de la région de Val d'Or n'a été publiée jusqu'à présent. Cependant, la description des mines et des gisements comprend suffisamment d'éléments structuraux pour que les

¹) La dimension et le contour du stock Valentin appellent beaucoup de réserve. En effet, il fût défini par Ingham (1952) en se basant sur deux groupes d'affleurements assez éloignés et sur un levé géophysique et 5 sondages. Ces données ne paraissent pas justifier l'existence d'un tel corps. Il se peut qu'il s'agisse en réalité de plusieurs petits pointements isolés.

données de détail puissent être généralisées. Sur le plan régional Imreh (1984) a démontré que le secteur minier de Val d'Or est situé sur le flanc sud de l'anticlinal majeur de La Motte-Vassan. Dans la région étudiée, la direction des strates est de 110° - 120° dans la partie ouest, et d'environ 90° dans la partie située à l'est de Val d'Or. Les pendages sont subverticaux et tous les sommets identifiés sont vers le sud, sauf pour de très rares exceptions, représentant possiblement des plis mineurs locaux.

La schistosité est développée de façon très inégale dans la région étudiée. Dans certains secteurs et certains types lithologiques, la déformation est faible, ce qui n'exclut pas la présence de zones locales très schisteuses. La schistosité régionale montre sensiblement la même attitude que les unités stratigraphiques: direction environ 115° dans le secteur ouest et 90° dans la partie est, avec un pendage subvertical. Des études structurales détaillées dans les secteurs de Rouyn-Noranda (Dimroth et al., 1983a; Hubert et al., 1984) et de Malartic (Bouchard, 1979; Babineau, 1983) ont démontré la présence de deux schistosités correspondant à des phases de plissement superposées. Par conséquent, plus d'une phase de déformation sont probablement présentes aussi dans le secteur de Val d'Or, mais elles n'ont pas encore été mises en évidence, sauf ponctuellement à la mine Kiena (Roy, 1983).

Les zones longitudinales cisailées, à pendage subvertical (le plus souvent très abrupt vers le nord) sont fréquentes dans la région. Comme elles n'affleurent pas, l'importance de leur décrochement est mal connue. L'étude détaillée des gisements démontre cependant que dans plusieurs cas bien documentés, le bloc situé du côté sud de ces zones cisailées est soulevé par rapport à celui situé du côté nord. Telle est la situation dans les mines Sigma (Robert et al., 1983), Bevcon (Kempthorne, 1957), Chimo (A. Leclerc, communication personnelle) et Belmoral (Vu, 1985). Ce soulèvement systématique du compartiment sud des blocs faillés s'accorde bien avec l'augmentation du degré de métamorphisme observé dans les sédiments du Pontiac en se dirigeant vers le sud.

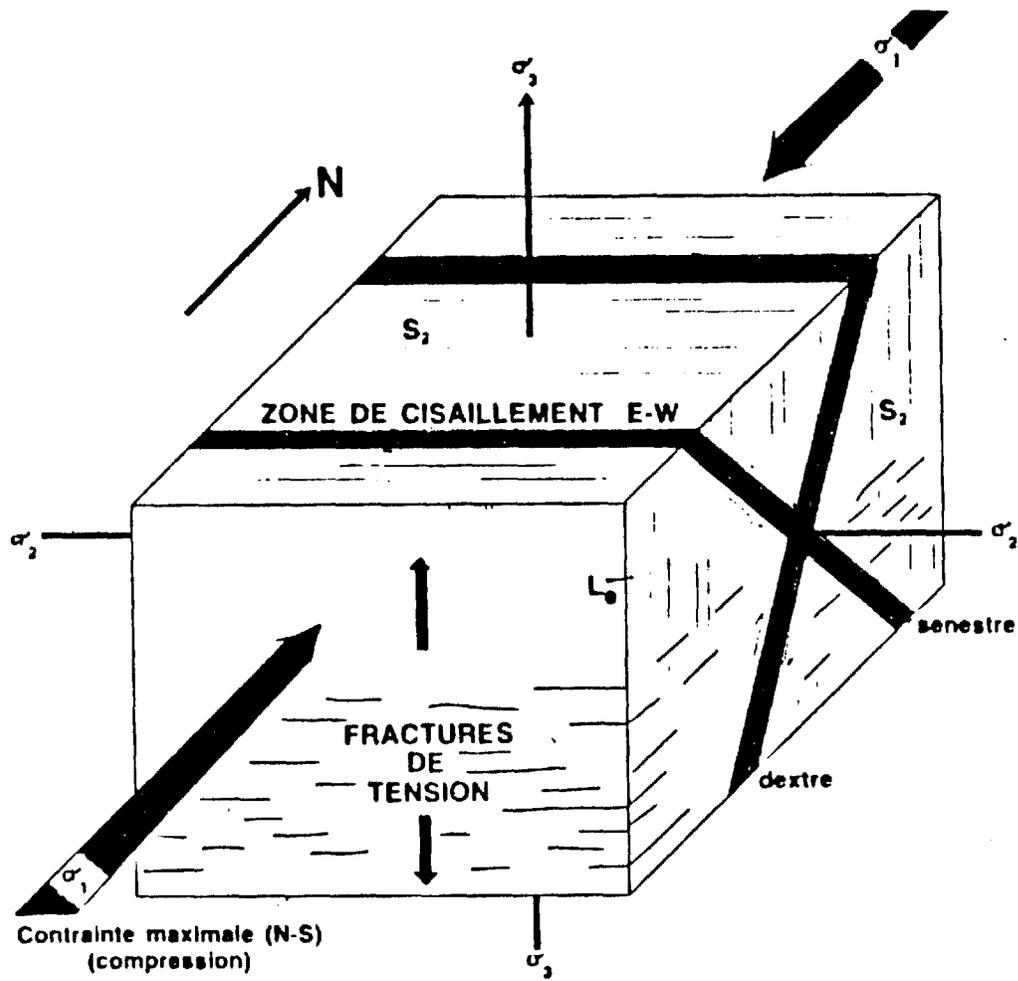


Figure 2.5 Relation entre les éléments structuraux du type tabulaire et la contrainte maximale N-S.

Les nombreuses données, provenant des gisements étudiés, permettent cependant d'établir la relation entre la contrainte de compression maximale (- N-S) et les éléments structuraux du type tabulaire qui en résultent (figure 2.5). Leur énumération peut se résumer comme suit:

Les éléments structuraux résultant d'une compression régionale nord-sud subhorizontale sont:

- La schistosité régionale (S_2) E-W subverticale.
- Le pendage des zones de cisaillement E-W, changeant de 60° Sud à 60° Nord (p.e. faille de Cadillac, zones cisillées de Sigma, Dumont et Perron).
- Les fractures de tension (en échelon ou "flats" subhorizontales (p.e. Sigma, Bevcon, etc.).
- Les linéations d'étirement (L_e), et les linéations minérales subverticales.

Les failles transversales de direction NE sont également nombreuses dans le camp minier de Val d'Or. Certaines sont tardives, comme la faille du lac Blouin, et déplacent les veines aurifères.

II METAMORPHISME

Dans la totalité du sillon de La Motte-Vassan le métamorphisme est polyphasé. La première phase, syngénétique, est associée à la mise en place des coulées sur le fond océanique. Parmi les phases suivantes, postgénétiques, la plus générale est celle du métamorphisme régional (Imreh, 1984). La nature spilitique des roches métamorphisées a été mise en évidence par Alsac (1977) et tout récemment précisée par Girault (1986) dont la thèse est articulée précisément autour de la mise en évidence des diverses phases métamorphiques reconnues dans le secteur des mines Manitou et Louvem.

Ci-après, nous ne séparerons pas le métamorphisme syngénétique du métamorphisme régional puisque les produits d'altération des deux métamorphismes superposés sont similaires, sinon identiques. Au stade de cette étude nous admettons, d'accord avec les résultats de Girault (ibid), que la spilitisation fut le facteur principal de l'albitisation des feldspaths.

Rappelons que si le comportement des divers types de roche à l'égard des contraintes des deux types de métamorphisme évoqué est, de prime abord, fonction de la composition chimique, les facteurs texturaux, granulométriques, le type de la mise en place etc. influencent beaucoup le degré de la transformation.

Cet aspect de la question, quoique étudié ponctuellement dans le secteur de la mine Lamaque (Imreh, 1984) et reproduit ci-après, peut être régionalisé et généralisé d'autant plus que les études d'autres mines concordent avec ces observations. De plus les principaux types de roche sont partout les mêmes dans le secteur de Val d'Or.

a) Les brèches de coulée basaltiques montrent la transformation la plus complète: saussuritisation, ouralitisation et chloritisation, affectent la totalité de la roche.

b) Les roches andésitiques et leurs équivalents intrusifs dénotent souvent une altération prononcée. La paragenèse est composée de clinozoïsite ± épidote ± chlorite + albite plus ou moins séricitisée + quartz. L'intensité de la transformation est en général plus forte dans le faciès explosif que dans le faciès effusif. La diorite microgrenue des essais de dykes est très fortement altérée tandis que la diorite grenue (niveau 1 200 dans la mine) l'est beaucoup moins. Les phénocristaux bien formés de feldspath transformé en albite, selon Girault (ibid) au cours de la spilitisation, résistent bien au métamorphisme régional. Le plus souvent, ils ne sont que localement ou partiellement séricitisés et épidotisés au cours de cette deuxième phase (Girault, ibid). Par contre les grands phénocristaux de hornblende sont dans leur quasi-totalité transformés en chlorite et en épidote.

Les brèches de coulée sommitales montrent une transformation plus poussée: très fortes épidotisation, chloritisation, albitisation accompagnées de néoformation de biotite. La présence de cette dernière est associée au métamorphisme régional. Si la biotite ne se présente que sporadiquement, ceci s'explique davantage par les différences de la composition chimique des diverses unités de roche que par une fluctuation hypothétique des conditions P-T à l'échelle locale.

c) Les produits de la phase felsique - dacites et diorites quartzifères - répondent très peu aux contraintes P-T du métamorphisme régional. Les phénocristaux de feldspath déjà albitisés ne sont ensuite que légèrement altérés, séricitisés. Toutefois, la pâte, composée primitivement de feldspath et de quartz, est plus métamorphisée que les phénocristaux. On y reconnaît le plus aisément le groupe clinozoïsite-épidote formant des cristaux microscopiques et quelques cristaux plus grands d'épidote de néoformation. Les rares minéraux ferro-magnésiens (surtout pyroxène) sont remplacés par l'épidote et la chlorite.

En dernière analyse, on peut conclure que toutes les roches du secteur de la mine Lamaque comprennent la paragenèse complète ou incomplète du faciès métamorphique faible de Winkler (1979) correspondant à la zone des schistes verts.

La présence quoique sporadique de la biotite permet de situer l'ensemble du secteur de la mine Lamaque dans la zone de la biotite du faciès des schistes verts. Cette constatation est en parfait accord avec celle de Girault (1986) à une quinzaine de kilomètres plus à l'est. Ceci signifie que la présence de la zone à biotite peut avoir une extension plus régionale que soupçonnée. Cette conclusion concorde par ailleurs avec celle de P. Sauvé (communication orale) relativement à ses observations dans les gisements Norlartic, Shawkey et Wesdome situées dans la partie occidentale du secteur étudié et dans la mine Louvicourt Goldfield à l'Est de Val d'Or (voir carte hors texte et chapitre 6).

En allant plus au sud, près des gisements Louvicourt Goldfield et Akasaba, la biotite est stable en présence de hornblende, et le faciès schiste vert supérieur est atteint. Plus au sud, le métamorphisme continue à croître dans les métasédiments du Groupe de Pontiac, et l'isograde de la staurotide puis de la sillimanite sont atteints respectivement à 6 et à 25 kilomètres au sud du gisement Akasaba (Imreh, 1976, 1984).

RÉFÉRENCES

- ALSAC, C., 1977 - Pétrographie et géochimie de formations volcaniques minéralisées de l'Abitibi et de l'Estrie, Ministère des Richesses naturelles, Québec, DPV 519, 93 pages.
- AMBROSE, J.W., 1941 - Cléricy and La Pause Map-Areas, Quebec, Geological Survey of Canada, Memoir 233, 86 pages.
- BABINEAU, Jacques., 1983 - Carte géologique et structurale de la région du lac Malartic. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, DP 83-30, 1 carte.
- BOUCHARD, M., 1979 - Tectonique de la région de Cadillac-Malartic. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; rapport intérimaire, DPV-683; 16 pages.
- CAREY, S. and SIGURDSSON, H., 1984 - A model of volcanogenic sedimentation in marginal basins, in Kokelaar, B.P. and Howells, M.F.: Marginal Basins Geology, 322 pages, Geological Society, Special Publication n° 16, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pages 37 à 58.
- COOKE, H.C. - JAMES, W.F. et MAWDSLEY, J.B., 1931 - Geology and ore deposits of Rouyn-Harricana region, Quebec. Geological Survey of Canada, Memoir 166, 314 pages.
- DAIGNEAULT, Réal., 1983 - Géologie et géochimie du gisement d'or de la mine Lamaque, Val d'Or, Québec - Thèse M.Sc.A. École Polytechnique de Montréal, Montréal, 134 pages.
- DIMROTH, E. - IMREH, L. - GOULET, N. - ROCHELEAU, M., 1982 - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part I: Stratigraphy and paleogeographic model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 19, no 9, pages 1729-1758.
- _____ 1983a - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Québec. Part II: Tectonic evolution and geomechanical model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 20, no 9, pages 1355-1373.
- _____ 1983b - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Québec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 20, no 9, pages 1374-1388.
- DUGAS, J. et GILBERT, J.E., 1953 - Noranda-Senneterre mining belt, Ministère des Richesses Naturelles du Québec, carte numéro 1388, échelle 1:250 440.
- DUGAS, J. - LATULIPPE, M., 1961 - Noranda-Senneterre, carte n° 1388, 1/253 440.

- GIRAULT, M., 1986 - Petrographie et géochimie des volcanites archéennes polymétamorphiques (Reconstitution de l'histoire pétrologique, zone minière Manitou-Louvem, Val d'Or, Québec). Thèse de doctorat de l'Université Scientifique. Technique et Médicale de Grenoble, 168 pages.
- GIROD, M. - BAILEY, D.K. - BAKER, P.E. - FISCHER, R.V. - MAURY, R. - ROCCI, M. - SCHMINKE, H. - UPTON, B.G., 1978 - Les roches volcaniques: pétrologie et cadre structural. Édition Doin (Paris); 239 pages.
- GOODWIN, A.M. - RIDLER, R.H., 1970 - The Abitibi orogenic belt IN Pre-cambrian basins and geosynclines of the Canadian Shield (A.J. Baer, éditeur). Commission géologique du Canada; étude 70-40, pages 1-30.
- GUNNING, H.C., 1937 - Cadillac Area, Quebec; Geological Survey of Canada, Memoir 206, 80 pages.
- GUNNING, H.C. - AMBROSE, J.W., 1940 - Région de Malartic, Québec. Commission géologique du Canada; mémoire 222; 162 pages.
- HUBERT, L. - TRUDEL, P. - GELINAS, L., 1984 - Archean wrench fault tectonics and structural evolution of the Blake River Group, Abitibi Belt, Québec. Canadian Journal of Earth Sciences; volume 21, n° 9, pages 1024-1032.
- IMREH, L., 1974a - Le sillon serpentinitique de La Motte, comté d'Abitibi-Est. Ministère des Richesses naturelles, Québec; DP-215; 12 pages.
- _____ 1974b - Esquisse géologique du sillon serpentinitique archéen de La Motte-Vassan. Ministère des Richesses naturelles, Québec; DP-232; 8 pages.
- IMREH, L., 1976a - Nouvelle lithostratigraphie à l'ouest de Val d'Or et son incidence géologique. Ministère des Richesses naturelles, Québec; DPV-349; 73 pages.
- _____ 1976b - Annexe à la publication DPV-349. Ministère des Richesses naturelles, Québec; DPV-361; 83 pages.
- _____ 1978 - Album photographique de coulées méta-ultramafiques sous-marines archéennes dans le sillon de La Motte-Vassan. Ministère des Richesses naturelles, Québec; V-6, 131 pages, bilingue.
- _____ 1979 - Lithostratigraphie et roches ultramafiques du secteur de Val d'Or - Amos. Association géologique du Canada - Association minéralogique du Canada; réunion annuelle; livret-guide pour l'excursion A-4; 40 pages.
- _____ 1980 - Variations morphologiques des coulées méta-ultramafiques du sillon archéen de La Motte-Vassan. Precambrian Research, 12, pages 3-30.

- IMREH, L. - DIMROTH, E., 1983 - Stratigraphie et volcanologie archéenne: relations et traits discriminants. IN Stratigraphie des ensembles volcano-sédimentaires archéens de l'Abitibi: état des connaissances. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DV 83-11, pages 111-120.
- _____ 1984 - Sillon de La Motte-Vassan et son avant-pays méridional: synthèse volcanologique, lithostratigraphique et géologique. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MM 82-04, 80 pages, 2 cartes.
- _____ 1987 - Mine Lamaque - géologie de surface; Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. ET 87-04, carte polychrome annotée à 1/2 500.
- INGHAM, W.N., 1952 - Quart nord-est du canton de Dubuisson, comté d'Abitibi-Est (1/12 000, carte sans texte), Ministère des Richesses naturelles du Québec.
- JAMES, W.F. - MAWDSLEY, J.B., 1927 - La Motte and Fournière Map-Amos, Abitibi, Québec; Summary Report, 1925, Part C., Geological Survey, Department of Mines - Canada, pages 52-77.
- JAMES, W.F. - MAWDSLEY, J.B., 1928 - Régions de Fiedmont et de Dubuisson, comté d'Abitibi, Québec. Commission géologique du Canada, rapport sommaire pour l'année 1926, partie C, pages 56 à 63.
- KARIG, D.E., 1971 - Origin and Development of Marginal Basins in the Western Pacific; Journal of Geophysical Research, Volume 76, n° 11, pages 2542-2559.
- KARIG, D.E. - SHARMAN, G.F., 1975 - Subduction and Accretion in Trenches; Geological Society of America Bulletin, volume 86, pages 377-389.
- KEMPTHORNE, H.R., 1957 - Bevcon mine. Dans "Structural geology of canadian ore deposits", volume II. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, pages 416-419.
- LE PICHON, X. - FRANCHETEAU, J. - BONNIN, J., 1973 - Plate tectonics; Elsevier Sci. Publ. Comp., Amsterdam, London, New-York, 300 pages.
- LUDDEN, J.N. - HUBERT, C. - MAYRAND, L.J. - MILKEREIT, B. - GREEN, A.G., 1989 - Résultats du projet Abitibi de lithoprobe. Commission géologique du Canada, Forum des travaux en cours (17-18 janvier 1989) Ottawa, page 19.
- MacLAREN, A.S., 1947 - Senneterre, Québec; Geological Survey of Canada, Map 997A, 1/126 720 (carte annotée en couleur).
- MATTAUER, M., 1973 - Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre, Hermann édition (Paris). Collection Méthodes, 493 pages.

- MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES - Cartes de compilation (1950-62) par $\frac{1}{4}$ du canton de l'Abitibi, 1/12 000 (anonyme).
- NORMAN, G.W.H., 1941 - Région de la carte de Vassan-Dubuisson, comté d'Abitibi, Québec. Commission géologique du Canada, brochure n° 41-6, 10 pages, rapport préliminaire, carte 1/24 000.
- NORMAN, G.W.H., 1942a - Vassan-Dubuisson, Abitibi County, Quebec; Geological Survey of Canada, Paper 42-12 (rapport préliminaire 1/12 000).
- NORMAN, G.W.H., 1942b - Eastern Part of Dubuisson Township, Abitibi County, Quebec (Summary Account), Geological Survey of Canada, Paper 42-9 (rapport préliminaire, carte 1/6 000).
- NORMAN, G.W.H., 1943a - Notes of the Structure of the Cadillac-Bourlamaque Area, Abitibi County, Québec; Geological Survey of Canada, Paper 43-6, (rapport préliminaire, carte 1/12 000).
- NORMAN, G.W.H., 1943b - Bourlamaque, Abitibi County, Quebec; Geological Survey of Canada, Paper 43-2 (rapport préliminaire, 1/12 000).
- NORMAN, G.W.H., 1944 - La Motte Map-Area, Abitibi County, Québec; Geological Survey of Canada, Paper 44-9 (rapport préliminaire, 1/24 000).
- NORMAN, G.W.H., 1945 - Rouyn - Malartic - Destor Region, Québec; Geological Survey of Canada, Paper 44-27, rapport préliminaire, carte 1/126 720).
- NORMAN, G.W.H., 1946 - Bourlamaque; Geological Survey of Canada, Paper 46-15, 16, 17, 18 (4 quarts de canton en brochures séparées, rapports préliminaires, 1/12 000).
- NORMAN, G.W.H., 1947a - Northeast-Dubuisson, Abitibi County, Quebec; Geological Survey of Canada, papers 46-21 (rapport préliminaire, 1/12 000).
- NORMAN, G.W.H., 1947b - Dubuisson-Bourlamaque-Louvicourt, Abitibi County; Geological Survey of Canada, paper 47-20 (rapport préliminaire, 1/63 360).
- PEARCE, J.A., LIPPARD, S.J. and ROBERTS, S., 1984 - Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites, pages 77-94 in KOKELAAR, B.P. and HOWELLS, M. (éditeur), 1984, Marginal Basin Geology (Volcanic and associated sedimentary and tectonic processes in modern and ancient marginal basins, 322 pages.
- PYKE, D.R. - NALDRETT, A.J. - ECKSTRAND, O.R., 1973 - Archean ultramafic flows in Munro Township, Ontario; Geological Society of America Bulletin: volume 84, pages 955-978.
- RIVE, M., 1977 - Région des lacs Cawasachouane et Otanabi. Ministère des Richesses Naturelles de Québec; Rapport préliminaire DPV 491, 7 pages.

- ROBERT, F. - BROWN, A.C - AUDET, A.J., 1983 - Structural control of gold mineralisation at the Sigma mine, Val d'Or, Quebec. Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, 76, pages 72-80.
- ROY, Charles., 1983 - Géologie de la mine d'or Kiena. Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, département de Génie minéral, École Polytechnique, 201 pages.
- SAUNDERS, A.D., and TARNEY, J., 1984 - Geochemical characteristic of basaltic volcanism within back-arc basins pages 59-76 in KOKELAAR, B.P., and HOWELLS, M. (éditeurs), 1984, Marginal Basin Geology (Volcanic and associates sedimentary and tectonic processes in modern and ancient marginal basins, 322 pages.
- VU, XUAN-LAN., 1985 - Géologie de la mine d'or Belmoral, Val d'Or, Québec. Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, département de Génie minéral, École Polytechnique; 71 pages.
- WILSON, M.E., 1962 - Rouyn-Beauchastel Map-Areas, Québec, Geological Survey of Canada, Memoir 315, 140 pages.
- WINDLEY, B.F., 1984 - The Evolving Continents, (2^e édition); John Wiley and Sons, Chichester, New-York, Toronto, 399 pages.
- WINKLER, H.G.F., 1976 - Petrogenesis of Metamorphic Rocks, Springer,

3. ÉCONOMIE DE L'OR DANS SON CADRE GÉOLOGIQUE¹

Nous avons la conviction profonde que la perception des gisements métallifères demeurerait incomplète si l'on ne prenait pas en considération leur dimension économique. L'objectif de ce chapitre réside précisément dans la mise en évidence de cet aspect de la recherche géologique et minière.

Rappelons d'abord que la répartition géographique des richesses naturelles est un paramètre préétabli, indépendant de toute activité humaine. En d'autres termes, un pays ne devient pas producteur et/ou exportateur de substances métalliques par la volonté de l'homme mais l'est ou ne l'est pas en fonction de la présence ou de l'absence du contexte géologique qui prévaut pour ce pays. Le cadre fondamental de l'économie minière est alors défini par le potentiel minier intrinsèque du contexte géologique du sous-sol.

La mise en valeur, l'exploitation sont des paramètres directement dépendants de l'emplacement des gisements et se réalisent sur place. Par contre, la transformation et la commercialisation de la matière première sont largement tributaires des conditions politico-économiques en général et du degré d'industrialisation en particulier de chaque pays, et sont indépendantes de la localisation des gisements. Ces considérations sont, sans exception, valables pour le cycle recherche - découverte - mise en valeur - extraction - transformation - commercialisation de l'or. Comme il en sera question plus loin, le schéma esquissé doit être toutefois nuancé en raison du recyclage de l'or, recyclage peu ou pas pratiqué pour les autres métaux.

La structuration énoncée définit le sens du mouvement du produit: sauf transformation sur place, ce qui n'est l'apanage que des

¹) Les statistiques utilisées proviennent des sources les plus récentes disponibles au moment de la rédaction. Puisque ces chiffres fournissent un instantané du passé, ils ne comportent aucun pronostic; toute actualisation reste ainsi à éviter.

pays industrialisés, l'or quitte les pays producteurs pour être transformé ensuite dans les pays consommateurs.

Conformément à ces réalités, nous allons traiter l'économie de l'or sous les aspects suivants:

- Le marché international de l'or.
- La distribution spatio-temporelle des gisements aurifères à l'échelle du globe.
- Le cadre géodynamique global des gisements aurifères.
- La répartition et les spécifications des gisements d'or au Canada et surtout au Québec.
- Le contexte géologique et économique au Québec.

Conformément à la structuration et à l'approche de l'étude du Milling-Stanley (1987), la section marché international de l'or est rédigée en faisant abstraction de la production et de la consommation des pays à économie dirigée. Par contre, dans les sections suivantes - plus géologiques qu'économiques - l'approche globale sera pratiquée.

3.1 Considérations générales

L'or, en raison de sa rareté et de ses propriétés physico-chimiques particulières, telles que malléabilité, poids et couleur spécifiques, toucher doux, résistance à toute corrosion, a fasciné l'Humanité depuis la plus haute Antiquité. La valeur qu'on lui a attribuée à travers les âges, est synonyme de richesse, d'opulence et de pouvoir.

Cette perception n'a point changé depuis, mais elle s'est enrichie de conditions financières, économiques et industrielles. De nos jours, l'or constitue encore une valeur sûre de réserve et de refuge, ainsi qu'une source de devises appréciable pour les pays producteurs.

Son utilisation actuelle, plus diversifiée que jadis, comprend une gamme étendue allant de l'orfèvrerie-bijouterie à l'électronique en passant par la frappe de pièces de monnaie, de médailles, la dentisterie, la décoration et les lingots de placement spéculatif (Milling-Stanley, 1987).

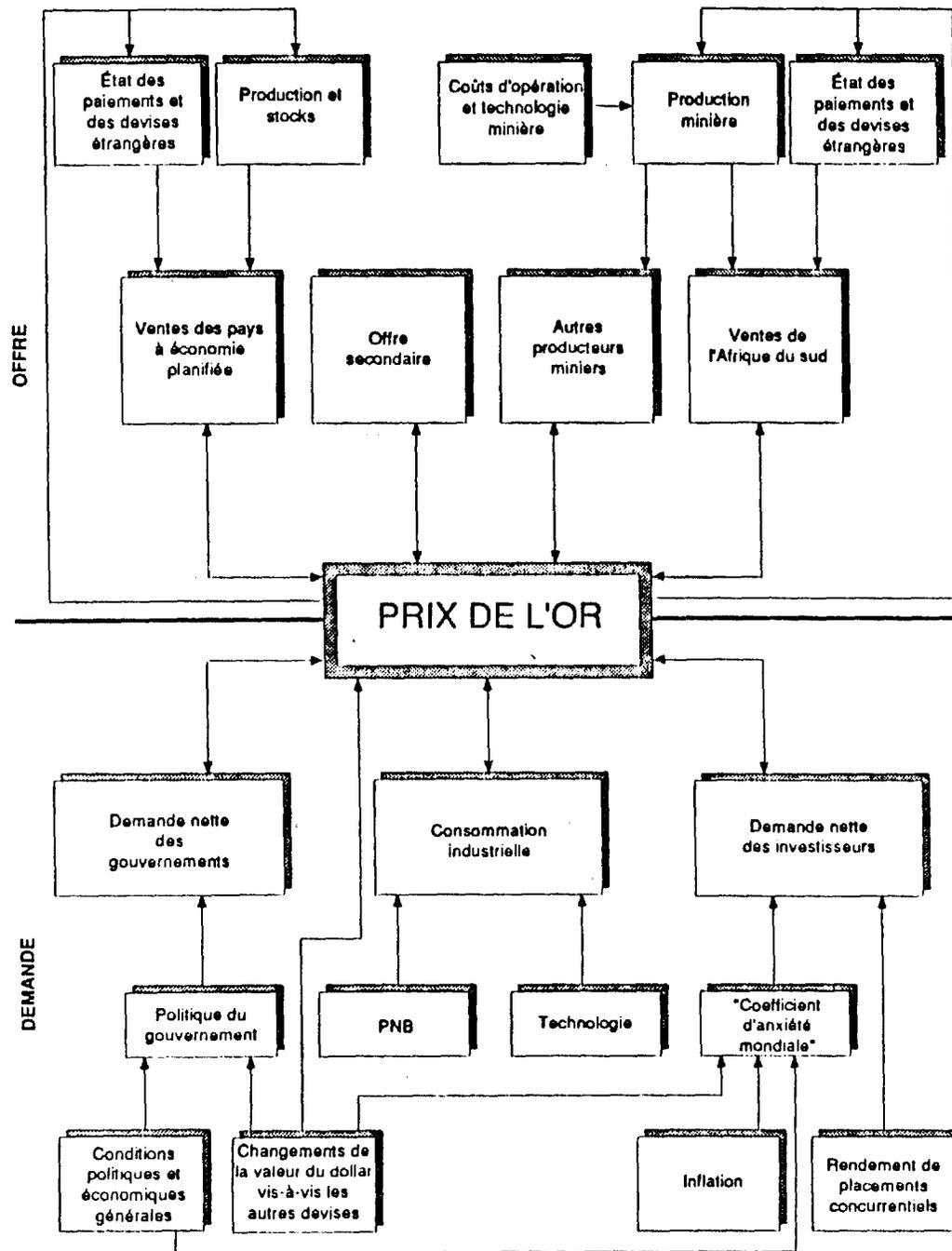


Figure 3.1 Composant du prix de l'or (d'après Laliberté, 1984).

— MOYENNE MENSUELLE DU PRIX DE L'OR À LONDRES
 — ÉCART ANNUEL DU PRIX DE L'OR

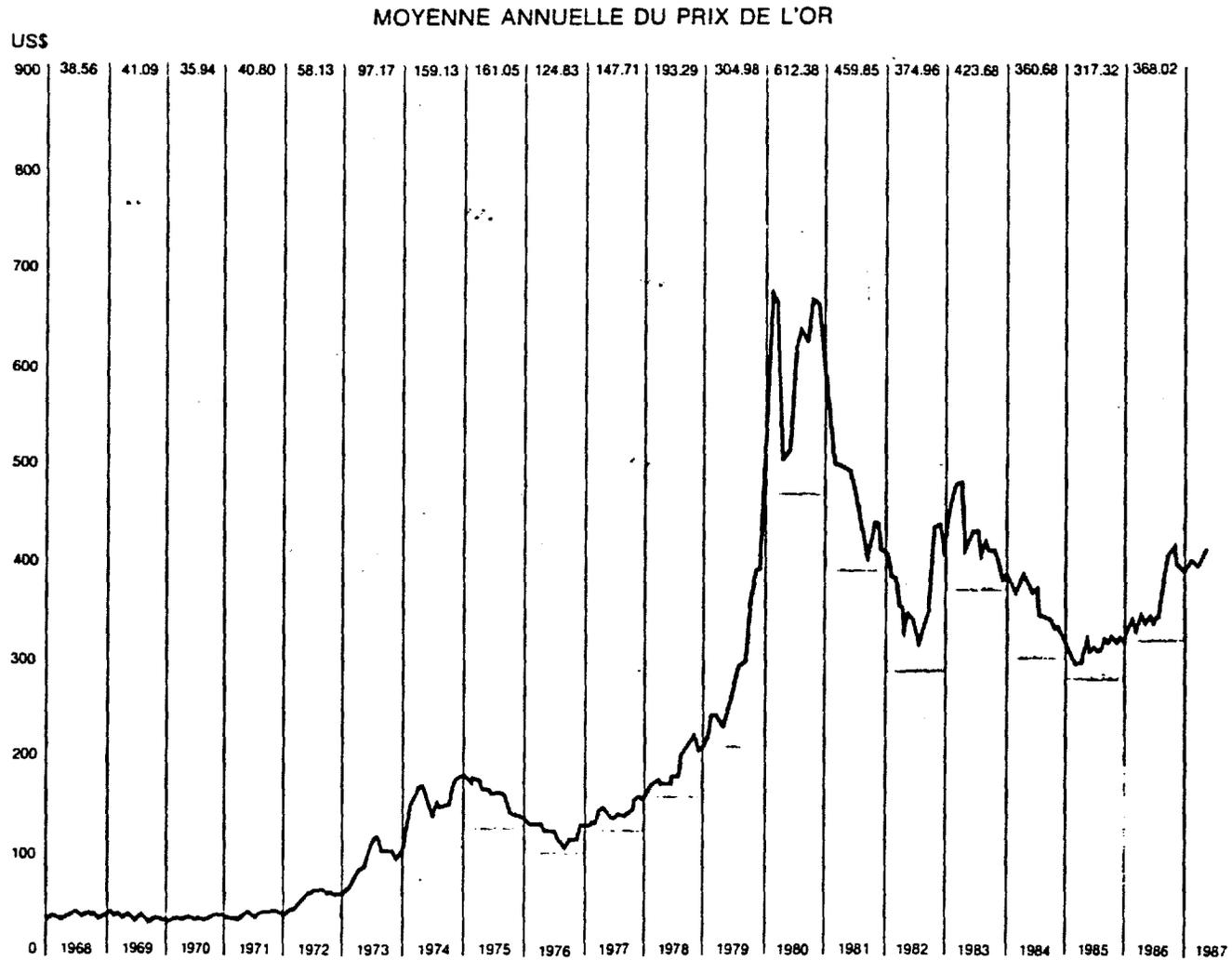


Figure 3.2 Évolution du prix de l'or entre 1968 et 1986
 (d'après Milling-Stanley, 1987, légèrement modifiée).

Selon l'estimation de Bache (1982), se basant sur les chiffres de Sédillot (1972), la production d'or serait depuis les temps les plus reculés de l'histoire jusqu'à la fin de 1977, d'environ 100 000 tonnes en tout, soit l'équivalent de soixante-dix-huit fois la production mondiale de l'année 1986 (Milling-Stanley, idem). Cette estimation correspond bien avec celles de Woodall — 90 000 t en 1979 et 105 000 t en 1986 — établies pour la même période. Notons à ce propos que l'or est une matière indestructible, non consommable et, de ce fait, "tout l'or qu'on a extrait jusqu'à maintenant du sous-sol est encore disponible quelque part dans le monde" (Laliberté, 1984).

C'est précisément cette qualité particulière qui explique la part de plus en plus considérable de l'or recyclé dans l'offre mondiale totale.

3.2 Marché international de l'or

Cette section est basée surtout sur l'analyse du marché de l'or de l'année 1986 par Milling-Stanley (1987). Par conséquent nous ne mentionnons explicitement que les autres sources utilisées.

Les principaux paramètres chiffrés de l'étendue du marché de l'or sont les suivants: prix, production, recyclage, offre et demande; surplus et/ou déficit dans le mouvement des stocks; investissement et thésaurisation. Pour les besoins de cette étude, nous n'en retenons que les quatre premiers.

Prix

Rappelons que l'intervention politique du gouvernement américain a fixé par décret le prix de l'or à 20,67\$US en 1924 et l'a rajusté en 1934 à 35\$US (Laliberté, 1984). Le prix de l'or est demeuré à ce niveau jusqu'à sa libéralisation en 1971. À partir de cette date le cours de l'or a été défini par le mécanisme du marché libre, en fonction de l'offre et de la demande, dont la complexité ressort de la figure 3.1. Après le sommet historique de 850\$US en janvier 1980, le prix de l'or s'est stabilisé autour de 375\$US (figure 3.2). Rappelons à ce propos que les moyennes respectives des trois dernières années (1984, 85 et 86) sont les suivantes: 360,68\$US, 317,32\$US et 368,02\$US.

MARCHÉ MONDIAL DE L'OR DES PAYS À ÉCONOMIE LIBRE (SOMMAIRE)

OFFRE

Production minière

Vente nette des pays à économie dirigée

Vente (achat) officiel net

Or recyclé

A) OFFRE TOTALE

B) DEMANDE INDUSTRIELLE

C) SURPLUS (DÉFICIT) net (A-B)

D) THÉSAURISATION IDENTIFIÉE HORS
DE L'EUROPE ET DE L'AMÉRIQUE DU NORD

E) INVESTISSEMENT (DÉSINVESTISSEMENT)
EN EUROPE et EN AMÉRIQUE DU NORD (C-D)

1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
959	981	1 028	1 115	1 160	1 233	1 281
90	280	203	93	205	210	402
(230)	(276)	(85)	142	85	(135)	(181)
482	232	237	289	284	299	465
1 301	1 217	1 384	1 639	1 734	1 607	1 967
934	1 213	1 252	1 218	1 464	1 467	1 666
367	4	132	421	270	140	301
23	274	294	73	332	310	220
344	(270)	(162)	348	(62)	(170)	81

Tableau 3.1 Sommaire du marché mondial de l'or des pays à économie libre (d'après Milling-Stanley, 1987, modifié).

En se référant aux graphiques de Laliberté (1984), on constate que ni la courbe de la production minière occidentale, ni celle de la demande industrielle ne sont en relation directe avec la courbe du prix de l'or. Par contre, il y a une ressemblance entre les courbes respectives du prix de l'or et de la demande spéculative. Pour les années 80-83 on peut même parler d'un certain parallélisme entre les deux courbes en dépit du décalage des maxima respectifs.

Quant à la situation au Québec, Légaré (communication personnelle) a trouvé une corrélation positive entre les investissements miniers et le prix de l'or. Le nombre d'observations étant faible, la corrélation n'est pas, pour le moment, statistiquement quantifiable mais cela n'empêche pas que ce phénomène soit suivi avec beaucoup d'attention puisque l'industrie minière est sortie du marasme grâce à l'accroissement des investissements.

Production d'or mondiale

Les principaux paramètres de l'offre et de la demande sont repris au tableau 3.1. Nous analyserons, en premier, la production minière. Comme il ressort des statistiques des années 1980-86, la production minière est en accroissement constant. Prenant la production de 1980 comme indice de base à 100%, celle de 1986 est à l'échelle mondiale de 133%, ce qui correspond, en dépit des fluctuations, à une progression satisfaisante. Malgré cela, même la production de l'année 1986 ne constitue pas un nouveau maximum car elle reste légèrement inférieure à celle de l'année 1966 (1285 tonnes).

Le changement le plus significatif se situe au niveau de la production aurifère de l'Afrique du Sud. Tandis que sa production de 675,1 tonnes a représenté en 1980 70% de la production minière occidentale, les 640 tonnes produites en 1986 n'en représentaient que 50%. Cette diminution relative est imputable d'une part à la progression de la production d'autres pays à économie libre (Canada, États-Unis, Australie) et, d'autre part, à la diminution de la teneur en or du minerai sud-africain. Cette dernière est tombée de 6,28 g/t en 1985 à 5,81 g/t en 1986 (Sauriol, 1987).

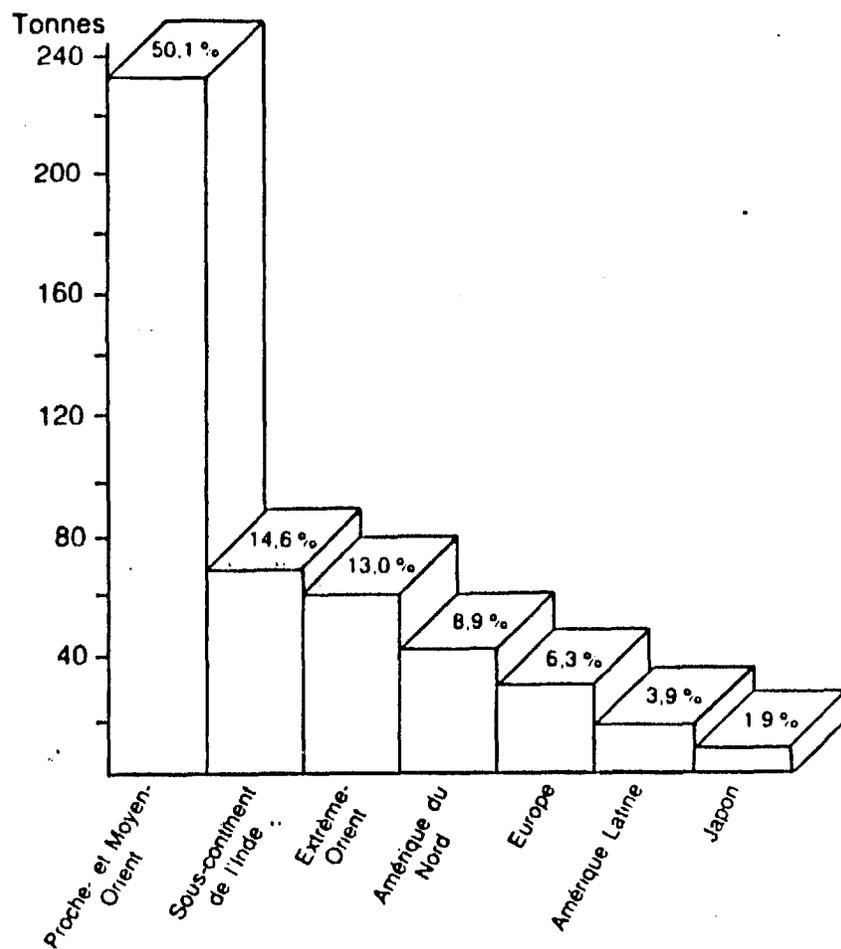


Figure 3.3 L'or recyclé, éclaté selon sa provenance (d'après les chiffres de Milling-Stanley, 1987).

En ce qui a trait au Canada, sa production de l'année 1986 a été 107,5 tonnes d'or, un peu moins que celle des Etats-Unis avec 108 tonnes. Leurs productions constituent près de 34% des 50% restant du monde occidental après soustraction de l'autre 50% produit par l'Afrique du Sud.

Or recyclé ("Old gold scrap")

Grâce à son caractère indestructible et non consommable, l'or peut être introduit à n'importe quel moment sur le marché. La comptabilisation de la quantité de l'or recyclé est, par contre, un phénomène récent: les premières données chiffrées datent de l'année 1980. La quantité de l'or recyclé mis sur le marché montre une lente progression régulière à partir de 1981 lorsque de 232 tonnes, elle est montée en 1985 à 299 tonnes. En 1986, 465 tonnes d'or recyclé ont été mises sur le marché, ce qui est néanmoins au-dessous de 482 tonnes de 1980 (tableau 3.1). À l'état actuel des choses il serait prématuré de tirer des conclusions définitives mais, à première vue, une cyclicité pluriannuelle n'est pas à exclure.

La définition économique de l'or recyclé est donnée par Milling-Stanley (1987), que nous reprenons telle quelle:

"The term old gold scrap applies to gold recovered from jewelry and other industrial products which have been fabricated, used and then sold back into the market. It does not include process scrap, which is generated regularly in manufacturing and is a necessary part of the production process, as the recycling of this material constitutes no net increase in the supply of gold reaching the market".

La source principale de l'or recyclé est la revente d'objets d'orfèvrerie et de bijouterie. Les principaux acheteurs locaux sont les institutions gouvernementales, officielles et les banques.

Il est intéressant d'examiner la répartition de l'or recyclé en fonction de sa provenance. Comme il ressort à la figure 3.3 en 1986 50% de l'or recyclé dans le monde entier provient des états du Proche-

et du Moyen-Orient. Parmi eux, en ordre décroissant, l'Arabie Saoudite, le Yémen, la Turquie, l'Égypte s'emparent à eux seuls de 84% du marché local. Par contre, la part des principaux pays producteurs et consommateurs industriels, à l'exclusion de l'orfèvrerie-bijouterie, est faible, ou très faible. Il est significatif que le plus grand producteur d'or, l'Afrique du Sud, n'est même pas mentionné sur la liste des pays vendeurs sur le marché de l'or recyclé. Mentionnons à ce titre que l'or recyclé joue un rôle régulateur sur le marché financier des pays en voie de développement. Son impact se fait aussi sentir sur le marché financier des pays occidentaux.

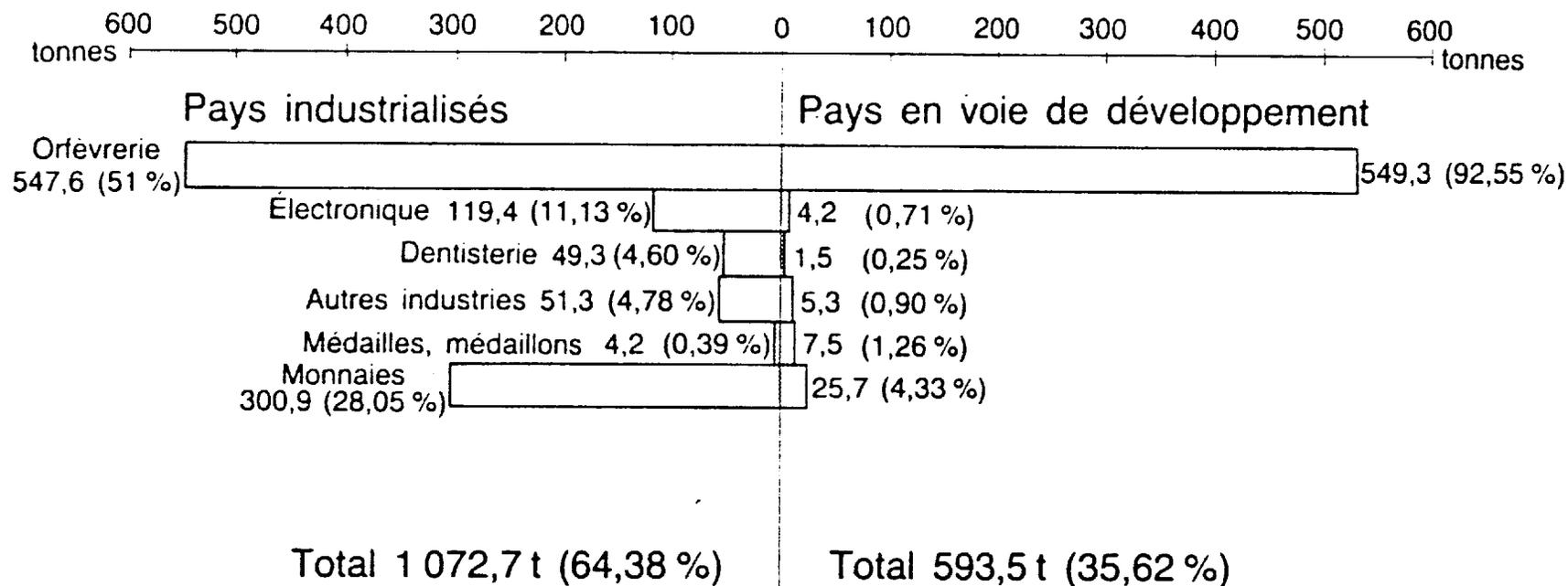
En terminant, rappelons que la quantité de l'or recyclé mis sur le marché est loin d'être négligeable. En 1986 il constitue, selon les chiffres de Milling-Stanley (1987) près de 24% de l'offre mondiale totale.

Demande industrielle (y compris le secteur de la frappe de monnaies officielles et la thésaurisation).

Nous allons passer en revue quatre aspects de la demande industrielle: le volume total, la répartition de ce dernier en fonction des divers secteurs industriels et des principaux pays demandeurs sur le marché libre et, finalement, le rapport entre les pays demandeurs et producteurs.

Le volume total de la demande industrielle constitue le principal facteur déterminant la vitalité de l'industrie et de la recherche minière. En fait, l'accroissement de la demande stimule l'exploitation et l'exploration. Sa diminution en provoque le freinage, ou même la stagnation.

La demande en or dans le monde à économie libre est en progression continue. De 1980 à 1986, elle a progressé de 934 à 1 666 tonnes, en restant toujours inférieure à l'offre (tableau 3.1). Notons cependant que l'écart entre l'offre et la demande a connu durant cette période des fluctuations annuelles considérables dont le maximum a été de l'ordre de 367 tonnes, et le minimum de 4 tonnes. La majorité du surplus (offre moins demande) a été absorbée par la thésaurisation.



Grand Total: 1 666,2 t en 1986

Figure 3.4 Demande industrielle de l'or éclatée par secteur dans les pays développés et en voie de développement (d'après les données de Milling-Stanley, 1987).

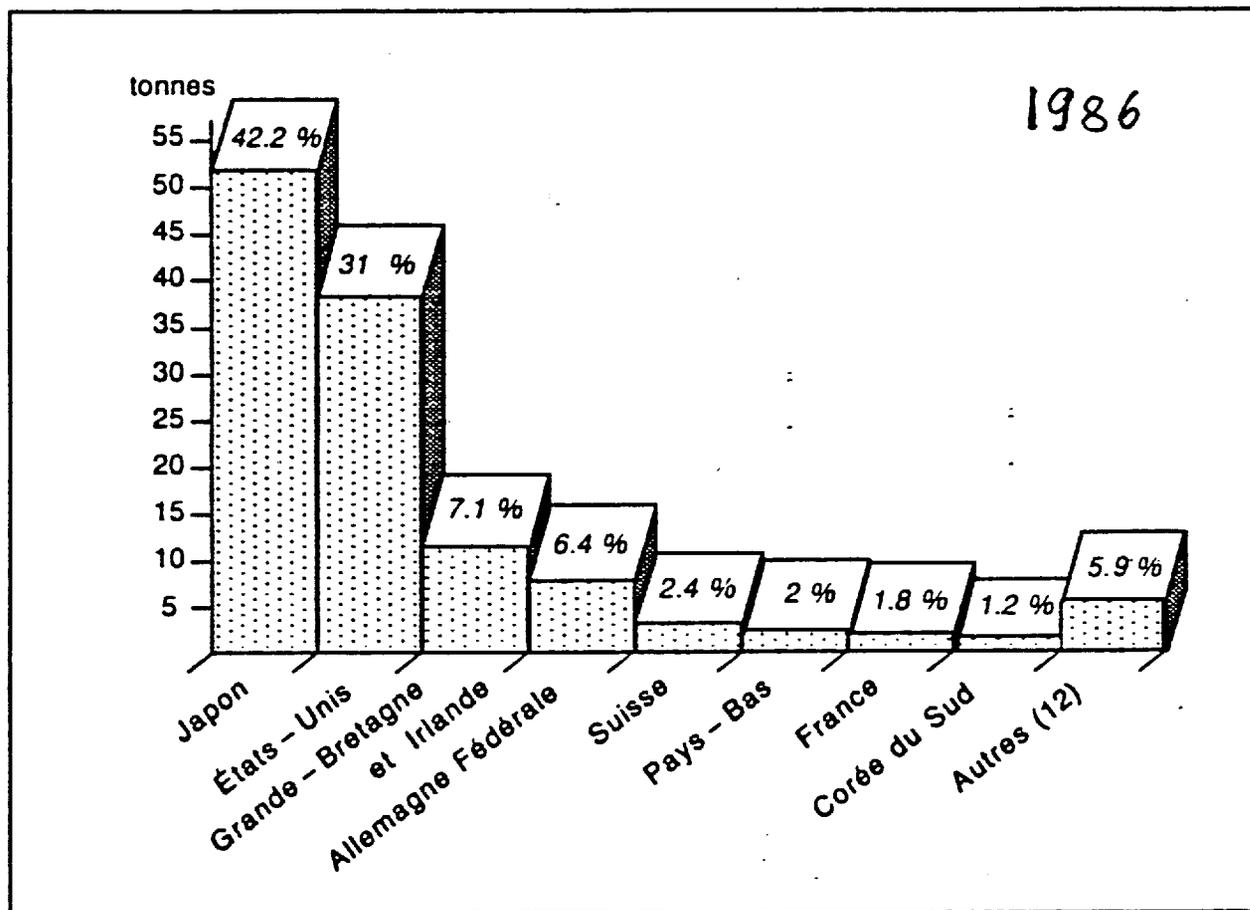


Figure 3.5 Consommation d'or en électronique, en 1986 (d'après les chiffres de Milling-Stanley, 1987).

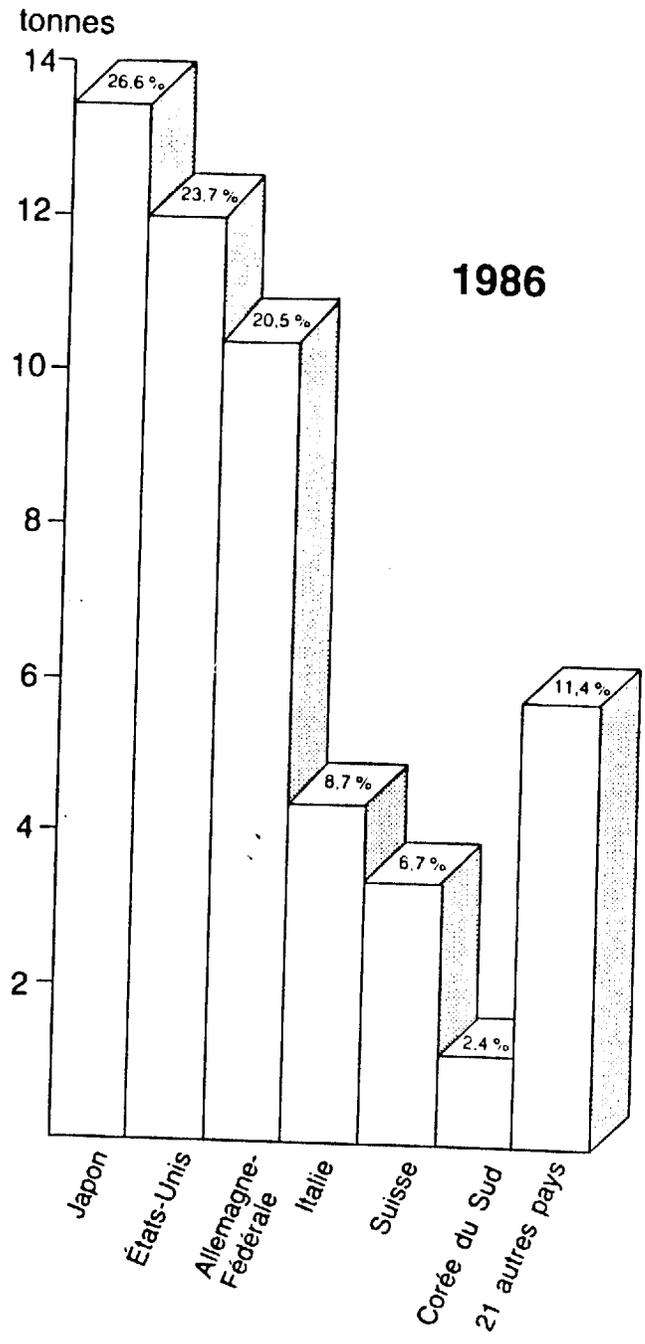


Figure 3.6 Consommation d'or en dentisterie en 1986 (d'après Milling-Stanley, 1987).

La répartition de la demande industrielle totale s'effectue en fonction des principaux secteurs industriels: 1) orfèvrerie-bijouterie, 2) électronique, 3) dentisterie, 4) autres industries non identifiées et décoration, 5) médailles et médaillons, 6) frappe de monnaies officielles.

Nous présentons la répartition quantitative éclatée selon les secteurs énumérés et selon l'état d'industrialisation du pays pour l'année 1986. On constate que deux groupes distincts se forment: celui des pays développés et celui des pays en voie de développement (figure 3.4). La consommation des deux groupes est du même ordre de grandeur. Par contre, les différences se creusent au niveau de l'éclatement sectoriel: elles sont les plus prononcées dans l'électronique (28/1) et en dentisterie (33/1).

En électronique, le Japon avec 52.1 tonnes et les États-Unis avec 38,3 tonnes d'or utilisées occupent 90% du marché. La Grande-Bretagne (avec l'Irlande) et l'Allemagne fédérale, arrivent loin derrière les deux superpuissances économiques du monde à économie libre, avec respectivement 7,1% et 6,4%. Le Canada occupe la 13^e place parmi les 20 pays recensés, avec 0,5% de consommation d'or en électronique (figure 3.5).

En dentisterie, l'image obtenue est semblable: des 50,7 tonnes d'or consommé par 25 pays, le Japon (13,5 t) les États-Unis (12,0 t) et l'Allemagne (10,4 t) monopolisent 71% du marché mondial. Avec les trois pays suivants — Italie, Suisse, Corée du Sud — les six premiers pays énumérés consomment 92,5% de l'or utilisé en dentisterie (figure 3.6). Dans ce classement, le Canada est au 15^e rang.

Le secteur de l'orfèvrerie-bijouterie ne reflète aucune différence entre les pays développés et en voie de développement. Ceci tient au fait que ce type de transformation du métal jaune est indépendant de l'état d'industrialisation des pays.

La frappe de monnaie officielle peut-être considérée comme une thésaurisation indirecte ou comme une spéculation financière dont le

Les dix premiers producteurs d'or
des pays à marché libre en 1986.

	tonnes
1- Afrique du Sud	640,0
2- États-Unis	108,0
3- Canada	107,5
4- Australie	75,0
5- Brésil	67,4
6- Philippines	39,9
7- N.-Guinée – Papouasie	36,1
8- Colombie	27,1
9- Chili	19,5
10- Vénézuela	15,0
Production totale:	1 280,8

Les dix premiers demandeurs
industriels des pays à marché libre.

	tonnes
1- Japon	342,5
2- Italie	230,9
3- États-Unis	223,8
4- Inde	146,8
5- Turquie	96,7
6- Canada	60,6
7- Allemagne Fédérale	59,5
8- Arabie Saoudite et Yémen	47,5
9- Suisse	29,5
10- Grande-Bretagne et Irlande	28,8
Fabrication totale:	1 665,6

Tableau 3.2 Les dix premiers producteurs d'or et demandeurs d'or
industriel des pays à marché libre en 1986 (d'après
Milling et Stanley, 1987, modifié).

but est de régulariser le cours de la monnaie nationale. Dans ce domaine, le Japon et les Etats-Unis sont de nouveau dans le peloton de tête avec des productions respectives de 182,0 tonnes et 57,7 tonnes. Rappelons à ce propos que le Japon n'a pas frappé de monnaies les années antérieures (1980-85) et que la production des États-Unis est demeurée faible entre 1980-1985, variant entre 0,2 et 9,16 tonnes. Le Canada occupe, dans ce domaine, la 3^e place. Fait remarquable (mais explicable pour des raisons politiques), la frappe de monnaie de l'Afrique du Sud a connu une véritable dégringolade: de 107,1 tonnes en 1980, sa frappe de monnaies a chuté à 1,2 tonne en 1986.

La thésaurisation, quoique traitée ensemble avec la demande industrielle, constitue exclusivement un investissement et une valeur refuge dont le but principal réside dans la régularisation du marché financier et la stabilisation de la monnaie nationale. Les statistiques de Milling-Stanley (1987) ne comprennent pas l'Europe et l'Amérique du Nord; dans le reste du monde l'hégémonie du Japon s'affirme aussi sur ce plan. Sur 220,4 tonnes dont la thésaurisation est identifiée, le Japon domine de loin avec 81,5% du marché, suivi de loin par Taiwan (9,5%), le Brésil (8,2%) et par l'Indonésie (6,4%).

Pour se faire une idée exacte sur la hiérarchie économique des principaux pays du monde à économie libre ¹⁾ sur le marché de l'or, nous avons dressé la liste des dix premiers producteurs et consommateurs d'or en 1986 (tableau 3.2). Il en ressort que le premier producteur mondial, l'Afrique du Sud, s'accapare près de 50% du marché de l'offre. Derrière elle, presque tête à tête, les États-Unis et le Canada totalisent à eux-deux près de 17% de ce marché.

Quant à la répartition hiérarchique des pays demandeurs d'or (demande industrielle), on trouve dans le peloton de tête le Japon, l'Italie et les États-Unis, totalisant ensemble 41% du total mondial de la demande. Dans cette classification, le Canada, avec 3,6% de la demande mondiale, occupe le sixième rang.

¹⁾ La liste incluant les pays à économie dirigée est donnée au tableau 3.3 pour l'année 1983.

En comparant les données (tableau 3.2), les constatations suivantes s'imposent:

- le plus grand producteur d'or - l'Afrique du Sud - n'est qu'au 30^e rang sur la liste des demandeurs industriels;

- parmi les dix premiers pays producteurs seuls le deuxième et le troisième, respectivement les États-Unis et le Canada sont parmi les pays demandeurs;

- parmi les dix premiers pays demandeurs industriels il n'y a que deux pays producteurs, les États-Unis (3^e rang) et le Canada (6^e rang). Le Japon, premier pays consommateur d'or, n'est qu'au 12^e rang sur la liste des producteurs avec 1% du total mondial de l'offre.

En comparant les données, on constate que la demande industrielle, d'ailleurs fortement influencée par l'utilisation de l'or recyclé, montre une concentration par pays moins forte que la production tandis que 78% de la production viennent de cinq pays (tableau 3.2); le même pourcentage cumulé de la demande se répartit parmi onze pays. Ce phénomène s'explique par la structure prédéterminée de la production, due aux facteurs géologiques indépendants de l'homme, alors que la transformation, l'élaboration de l'or sont intimement associées à l'activité humaine.

On peut résumer les faits saillants suivants relatifs à l'évolution du marché mondial de l'or entre 1980 et 1986 et son état en 1986 comme suit:

- accroissement continu de la production;
- stagnation de la production sud-africaine;
- diminution de la teneur de l'or de 6,28 g/t en 1985 à 5,31 g/t en 1986 en Afrique du Sud;
- augmentation de la vente d'or des pays à économie dirigée;
- dominance excessive du Japon sur le marché de la demande et dans l'utilisation de l'or en haute technologie;
- quote-part considérable de l'or recyclé sur le marché;

	Lofty et al (1985)				Milling-Stanley (1987)			
	Rang	Tonnes	%	Σ %	Rang	Tonnes	%	Σ %
Afrique du Sud	1	677,9	51,3	51,3	1	679,7	66,8	66,8
Union Soviétique	2	268,0	20,3	71,6		n.d.		
Canada	3	70,7	5,3	76,9	2	73,0	7,2	74,0
États-Unis	4	60,9	4,6	81,5	3	62,6	6,1	80,1
Chine (rép. pop.)	5	60,0	4,5	86,0		n.d.		
Brésil	6	53,7	4,1	90,1	4	58,7	5,8	85,9
Australie	7	30,6	2,3	92,4	6	30,6	3,0	89,9
Philippines	8	24,9	1,9	94,3	5	33,3	3,3	92,2
Papouasie - N.-Guinée	9	18,0	1,4	95,7	8	18,4	1,8	94,0
Chilie	10	17,7	1,3	97,0	7	19,0	1,9	95,9
Zimbabwe	11	14,1	1,2	98,2	10	14,1	1,4	97,3
Colombie	12	13,6	1,0	99,2	9	17,7	1,7	99,0
Rép.-Dominicaine	13	11,0	0,8	100,0	12	10,8	1,0	100,0
Totaux		1321,1 t				1 017,9 t		

Tableau 3.3 Les treize et onze premiers producteurs d'or en 1983 (selon Lofty et al., 1985 et Milling-Stanley, 1987).

- augmentation constante de la demande industrielle;
- tendance ascendante du prix de l'or.

En terminant, rappelons que les données ayant trait à la production aurifère de l'Union Soviétique et des pays associés, sont lacunaires et estimatives. Parmi ces pays, l'exportateur principal est l'URSS dont les ventes, comme il ressort du tableau 3.1., ont doublé de 1985 (210 t) à 1986 (407 t).

La production minière de l'URSS serait, selon Derry (1980) de 410 tonnes en 1978, ce qui confère à ce pays la place de deuxième producteur mondial, avant le Canada (52,9 tonnes) et les États-Unis (30,2 tonnes). Le Metal Bulletin Handbook de 1985 n'a pas de chiffres recensés sur l'URSS. Par contre Lofty et al. (1983) estiment dans leur compilation la production de l'Union Soviétique pour 1978 à 250 tonnes et à 208 tonnes en 1983, ce qui laisse planer un doute certain quant aux chiffres de Derry (ibid).

À toutes fins utiles, nous avons comparé les données de compilation de Lofty et al. (1985) avec celles de Milling-Stanley (1987) pour l'année 1983. Il ressort du tableau 3.3 que les valeurs présentées par Lofty et al. (ibid) sont dans 8 cas sur 13, un peu ou franchement inférieures à celles compilées par Milling-Stanley (ibid). Les différences constatées peuvent probablement être imputées à la divergence méthodologique existante entre comptabilisation et compilation. De toute manière, nous évitons de porter un jugement de valeur dans un domaine où la nature des sources utilisées peut, dès le départ, biaiser les données. Les écarts existants n'étant pas susceptibles d'altérer la vision générale qui se dégage de la lecture et l'interprétation des chiffres, la comparaison des données vise avant tout à attirer l'attention sur les difficultés inhérentes à de telles études, difficultés indépendantes de la compétence des auteurs cités.

Il reste néanmoins à souligner que l'approche que la British Geological Survey (Lofty et al., ibid) a pratiquée est plus près de la réalité géoéconomique puisque la production des pays à économie dirigée, comme l'URSS et la République populaire de Chine, est intégralement incluse dans la liste.

3.3 CONTEXTE GÉOLOGIQUE DES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES À L'ÉCHELLE MONDIALE

Nous avons vu dans la section précédente que 90% de la production mondiale provient, selon Lofty (1985), de six pays, dans l'ordre décroissant suivant: Afrique du Sud, Union Soviétique, Canada, Etats-Unis, Chine Populaire, Brésil. Lorsqu'on exclut les deux pays à économie dirigée — l'Union Soviétique et la Chine Populaire — on atteint, selon les statistiques de Milling-Stanley (1987), le même pourcentage en ajoutant en ordre décroissant à la fin de la liste des pays énumérés à économie libre, l'Australie et les Philippines (tableau 3.3).

La concentration de la production dans un faible nombre de pays cherche son explication d'abord dans la grandeur de leurs superficies respectives et, ensuite, dans les paramètres géologiques.

Ci-après, nous allons définir ces derniers, responsables à l'échelle mondiale, de la répartition de la richesse naturelle non renouvelable.

À cet effet, nous allons passer en revue la distribution temporelle, spatiotemporelle et, ensuite la distribution en fonction de l'âge et de la nature de la minéralisation aurifère.

Distribution temporelle de l'accumulation aurifère

La minéralisation aurifère, quoique présente à travers tous les âges géologiques, accuse deux périodes d'accumulation majeures, situées à deux extrêmes de l'échelle du temps géologique (Boyle, 1979, Derry, 1980, Bache, 1982). Plus précisément, d'après le graphique de Woodall, 1986 (figure 3.7), la première période s'étalerait d'environ sur 300 MA, de 2 600 à 2 900 MA, comprenant ainsi la partie inférieure de l'Archéen (Ar_2 terminal et Ar_3). Notons dès maintenant que Woodall ne sépare pas dans son graphique l'accumulation archéenne primaire de l'or de l'accumulation secondaire du Witwatersrand (figure 3.7).

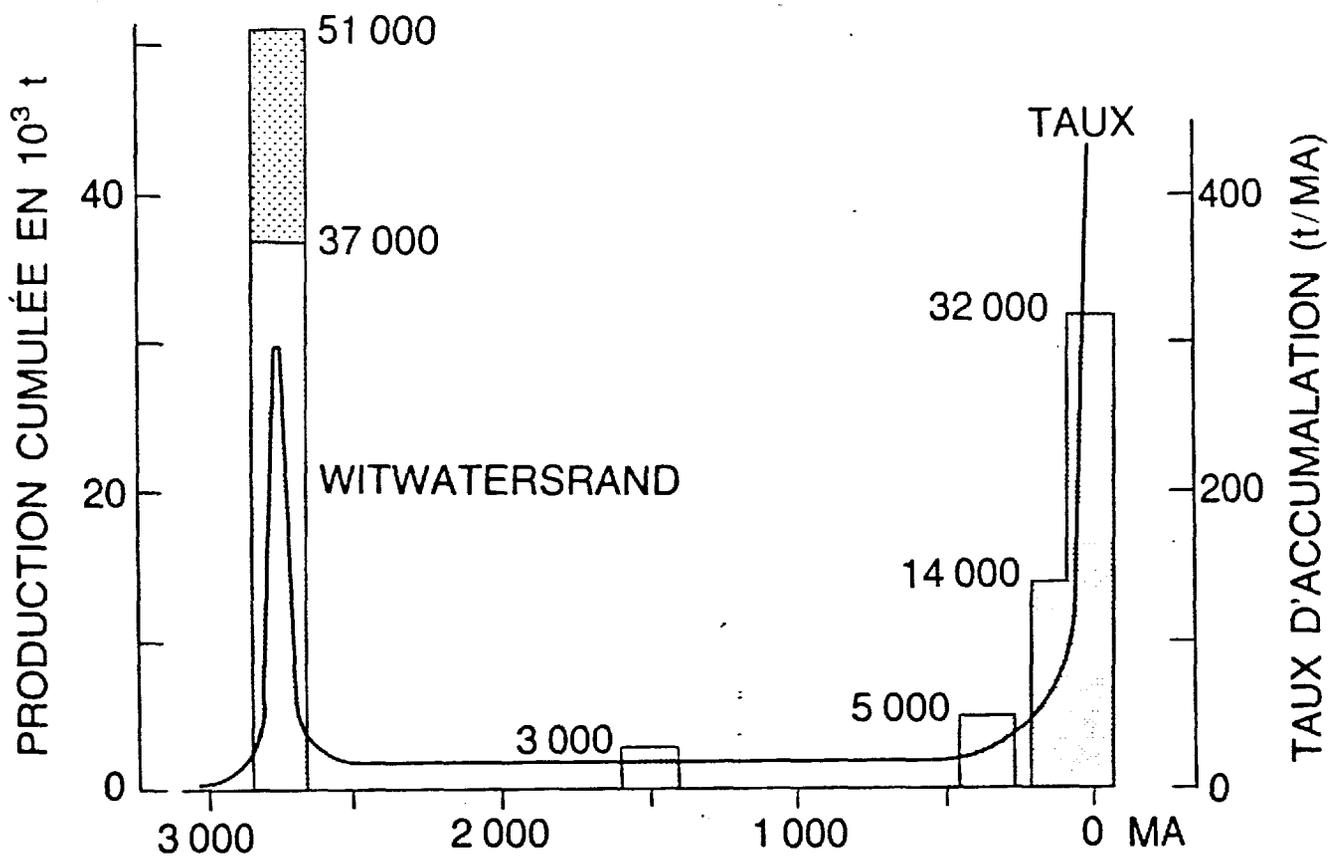


Figure 3.7 Production d'or de la préhistoire à nos jours en fonction des périodes d'accumulation majeures (d'après Woodall, 1986).

La seconde période, toujours selon le graphique de Woodall (*ibid*), s'échelonne de 450 MA jusqu'à nos jours, comprenant ainsi la grande majorité du Phanérozoïque. À l'intérieur de cette période, le paroxysme de l'accumulation de l'or se situerait dans le Cénozoïque et dans une partie du Crétacé.

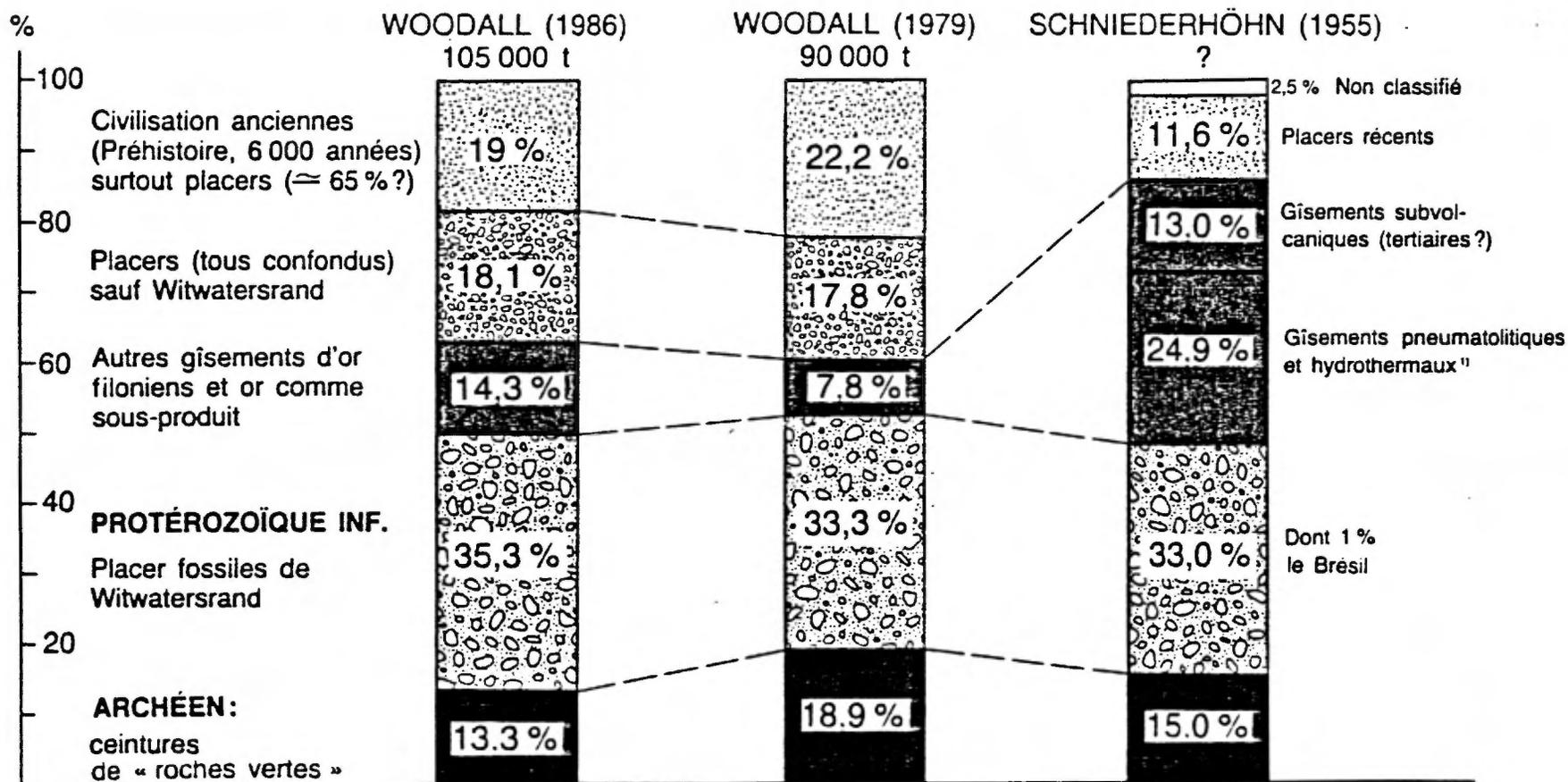
Derry *et al.* (1980) donnent une autre fourchette pour l'Archéen (antérieur à 2 500 MA) et séparent les gisements secondaires précambriens du Rand (2 600 à 2 200 MA) des gisements archéens. De même, ils situent dans sa totalité le pic de l'accumulation de la seconde période mentionnée à l'intérieur du Cénozoïque (Tertiaire).

Lorsqu'on associe les minéralisations aurifères primaires à des périodes orogéniques et les minéralisations aurifères secondaires (surtout détritiques) à des époques de réajustement isostatique — ces derniers étant responsables du démantèlement des chaînes et du cycle transport — dépôt — enrichissement mécanique du minerai —, l'image globale de Woodall (*ibid.*) peut être considérablement nuancée.

En effet, la culmination de la minéralisation archéenne est intimement associée à l'orogénèse kénoréenne en Amérique du Nord et à ses équivalents sur les autres continents. La seconde culmination est, par contre, étroitement liée au cycle alpin, plus précisément à des phases laramiennes et postlaramiennes.

Les deux grandes époques minéralisatrices aurifères mentionnées ont de nombreux traits communs dont le principal est le mode de la mise en place des gisements primaires: ils sont dans les deux cas, filoniens et sulfurés où l'or en est le sous-produit. L'intensité de la minéralisation archéenne dépasse, selon Anhaeusser (1976) celle de toutes les époques ultérieures. De plus, elle se limiterait, à un laps de temps restreint. Les principaux produits de cette époque minéralisatrice, outre l'or, sont le nickel, le cuivre, le zinc, le plomb, l'argent et le chrome (Anhaeusser, *ibid.*, Derry *et al.*, *ibid.*).

Quant à l'accumulation secondaire de l'or, elle est étroitement associée dans l'espace à d'anciennes chaînes de montagnes potentielles.



1) gisements paléo-mézozoïques et archéens, tous confondus

Figure 3.8 Production et, ou accumulation d'or à l'échelle mondiale (compilation des données de Schneiderhöhn, 1955 et Woodall, 1979 et 1986).

Par contre l'or se dissocie dans le temps des gisements primaires dont il dérive. Il en résulte que les terrains les plus anciens peuvent aussi bien alimenter les paléoplacers et les placers sub-actuels que les terrains plus jeunes. De plus, les placers peuvent être enrichis par des remaniements successifs.

La Russie qui a été depuis des siècles le plus grand producteur d'or détritique du monde, en fournit un bon exemple. Entre 1759 et 1895, donc durant près de cent cinquante ans, 72,5% de la production nationale venait de la Sibérie orientale et occidentale (Thomas et Boyle jr. 1986). Les placers ont dû rester, selon les mêmes auteurs, la source principale de la production d'or de l'Union Soviétique dans les débuts des années 1980, car en 1970 les placers en fournissait 54%. En combinant ce pourcentage avec la production de 1980 (tableau 3.3), on est en mesure de placer ce pays au premier rang des producteurs d'or d'origine détritique récente. Derry et al. (1980) avancent le chiffre de 55% pour la part de la production de l'or détritique. Ils mentionnent que l'or des placers actuels et sub-actuels provient surtout du démantèlement d'anciennes chaînes phanérozoïques et précambriennes.

Toujours selon Derry et al. (ibid) la différence d'âge entre la source primaire archéenne et le produit secondaire des paléoplacers du Witwatersrand serait de quelques centaines de millions d'années.

Quantification de l'accumulation et de la distribution de l'or

La quantification de la distribution de l'accumulation et, ou de la production de l'or à l'échelle mondiale en fonction de plusieurs paramètres géologiques — âge, nature de la minéralisation — permet de se faire une idée sur la pondération relative des divers types de minéralisation aurifère. Les travaux à ce sujet sont rares et souvent incomplets. Nous retenons ceux de Schneiderhöhn (1955) et de Woodall (1979, 1986). On constate que, en dépit du laps de temps qui sépare les trois publications, et de l'approche différente, les résultats obtenus par les deux auteurs concordent d'une manière satisfaisante (figure 3.8). Rappelons à cet effet que Woodall se base sur l'accumulation totale, tandis que Schneiderhöhn part des chiffres de

production d'une courte période et des pourcentages des années étalées en fonction des pays et des types de gisements. Les différences constatées sont, à notre avis, imputables en premier lieu à la différence d'approche typologique: Schneiderhöhn (ibid.) utilise une classification surtout génétique (sauf pour l'Archéen) tandis que Woodall (ibid.) classe les gisements d'une manière hétérogène, tantôt selon leur âge, tantôt selon la nature du produit mis en place dans une époque donnée, ou encore, en fonction de l'activité humaine.

L'écart entre les deux auteurs augmente en fonction de la diversification typologique des gisements: ainsi, il est faible dans le Précambrien et plus prononcé dans le Phanérozoïque. L'éclatement selon le critère géologique de la catégorie intitulée "civilisation ancienne" par Woodall, aurait certes apporté un résultat plus satisfaisant.

En dépit des divergences constatées, les messages véhiculés par les deux visions différentes convergent bien. La figure 3.7, combinée avec la figure 3.8, permet de quantifier les trois paramètres dominants de la distribution:

- 1) La prépondérance du Précambrien et du Cénozoïque en tant qu'époques aurifères majeures;
- 2) la diversification typologique plus poussée dans les temps plus récents;
- 3) l'importance des gisements secondaires (détritiques) dérivés des terrains aurifères primaires.

Il est intéressant de noter à cet égard que, abstraction faite des gisements du Rand — comprenant à eux-seuls plus de 25% de l'accumulation mondiale (figure 3.7) — le rapport des gisements primaires et secondaires restants est presque de 1/1 (respectivement 53% et 47%). Toutefois, il faut mentionner que les paléoplacers d'autres boucliers précambriens que celui d'Afrique du Sud, comme par exemple Tarkwa au Ghana et Jacobine au Brésil, malgré leur importance, ne sont pas comptabilisés. Le 1% de Schneiderhöhn (figure 3.8) imputé au Brésil paraît, de nos jours, nettement au-dessous de la réalité.

Quant à la proportion réelle de l'or en tant que sous-produit des gisements polymétalliques sulfurés, les données quantifiées à l'échelle mondiale sont rares. Derry et al. (1980) leur attribuent environ 20% de l'accumulation totale. Les gisements subvolcaniques d'âge probablement tertiaire de Schneiderhöhn (13%) devraient être inclus dans cette catégorie.

3.4 Cadre géodynamique de la distribution des minéralisations aurifères

"Le postulat capital de la science est l'induction. Il peut se formuler de diverses manières, mais, quoi qu'il en soit, il doit aboutir au résultat qu'une corrélation vérifiée dans un certain nombre de cas et jamais démentie, possède au moins un degré assignable de probabilité en tant que vérité universelle" (Russel, 1965, p. 136).

La chaîne péripacifique - une zone de référence

À partir du milieu des années soixante, les Sciences de la Terre ont été orientées vers une voie jusqu'alors peu explorée, le concept unitaire de la tectonique des plaques. Les travaux pionniers de Le Pichon (1972), Le Pichon et al. (1973), Vine et Hess (1970), Morgan (1972), Karig (1971) et d'autres études fondamentales ont conduit Mattauer (1973) à affirmer et préciser sur le plan structural global que "on sait désormais définitivement que les chaînes correspondent à des portions d'écorces comprimées et raccourcies, coincées entre deux plaques ou sous-plaques qui se rapprochent" (p.466).

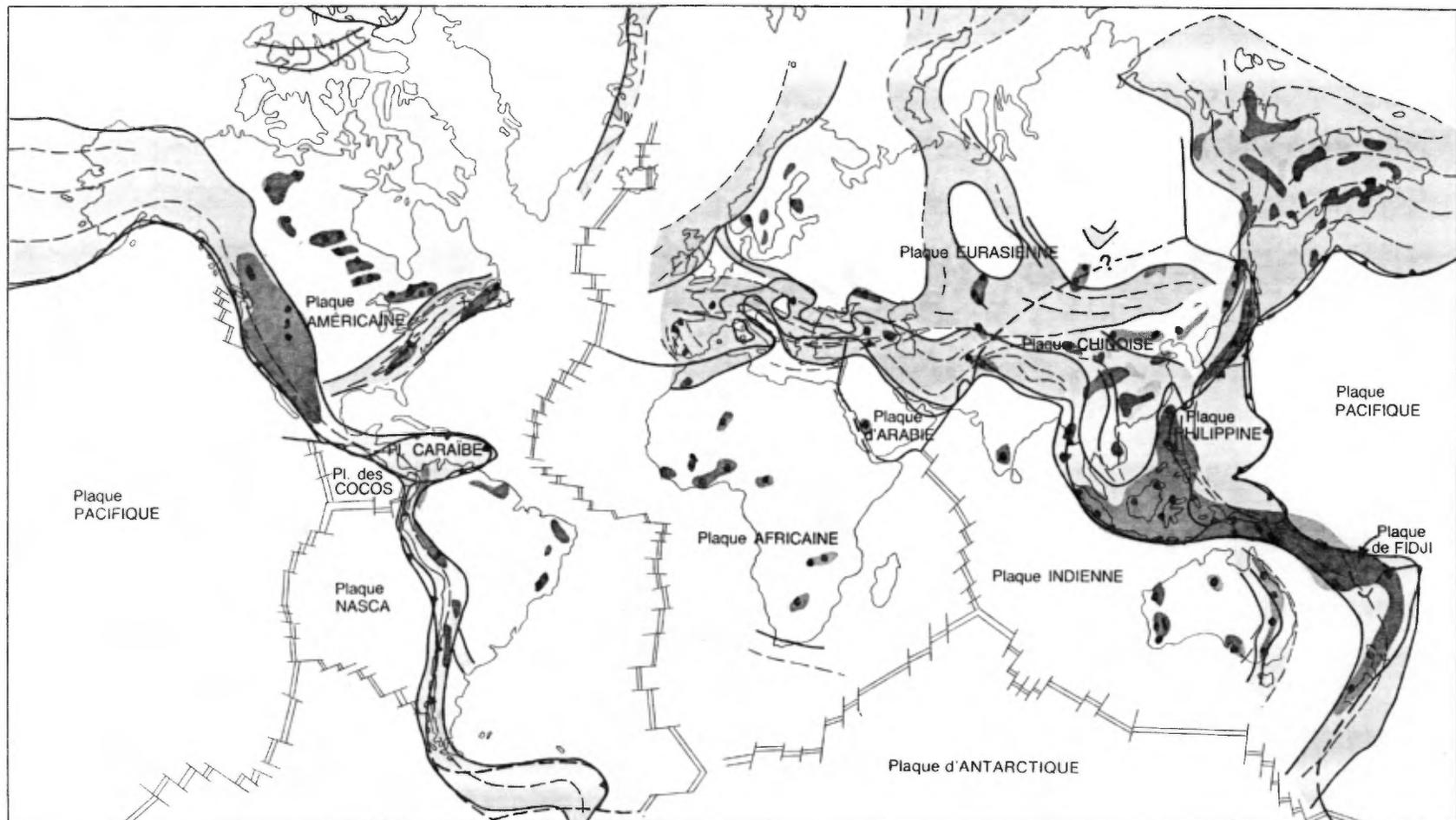
Ce que Routhier a mis en évidence en 1963, à savoir que "les provinces et époques métallogéniques s'inscrivent dans (le) cadre historique du développement des chaînes" (p.1144) a trouvé ainsi son cadre géodynamique, cadre qui est le générateur de la mise en place de l'accumulation des diverses minéralisations. Aussi Strong (1976) a consacré un volume entier à la relation de la métallogénie et de la tectonique des plaques; peu après, Wright (1977) a publié un recueil de quarante-cinq études consacré à la relation gîtes minéraux - tectonique des plaques. Les oeuvres de Windley (1977, 1984) ont systématisé, élaboré et résumé les acquis sur le dynamisme des plaques. Sawkins (1984) et Trurnit (1984), de leur part, ont présenté une systématisation causale articulée autour de la position géodynamique des divers types de minéralisation.

Nous allons examiner, dans ce qui suit, la relation frontière des plaques - orogénèse - minéralisation à la lumière de la répartition spatiale des gisements aurifères associés au cycle alpin. La relation entre les trois paramètres indiqués est tout à fait apparente dans les chaînes méso-cénozoïques en général et dans les chaînes circumpacifiques en particulier (figure 3.9.). Il en ressort clairement que la répartition des gisements est loin d'être aléatoire puisqu'ils sont intimement associés à des zones de subduction, zones fragiles, étroites et sièges de l'activité volcanique intense (Girod, 1978), à laquelle, de près ou de loin, les minéralisations sont associées.

Trois types majeurs de gisements d'or caractérisent alors cette zone, tous attachés à une étape distincte de l'évolution de l'écorce terrestre amincie et mobile entre les plaques:

1) gisements syngénétiques associés directement à l'activité volcanique précinématique; 2) gisements syn-, tardi- et post-cinématiques surtout de type "filonien", attachés aux diverses phases d'évolution des chaînes orogéniques; 3) gisements secondaires surtout détritiques (placers), produits de la phase de destruction des chaînes de montagne.

Notons à ce sujet que les minéralisations autres que l'or, telles que Cu, Zn, Pb, Mo, Ag, Ni, porphyry copper, etc. obéissent aux



- Zone de subduction
- Zone de collision
- Zone de distention avec failles transformantes
- Gisements d'or
- Aires potentielles

- Limite et allure actuelles des chaînes alpines
- Limite et allure actuelles des chaînes hercyniennes
- Limite et allure actuelles des chaînes calédoniennes
- Limite de plaques incertaine
- Aires du précambrien

Figure 3.9 Distribution des gisements d'or en fonction des chaînes orogéniques et des plaques récentes (compilation de Boyle, 1979, Derry et al. 1980; Girod et al., 1978; Mattauer, 1973. Sasaki et al., 1985; Windley, 1984) (polychrome).

mêmes lois de répartition que l'or. Quant aux autres minéralisations associées également à la tectonique des plaques, mais hors du contexte de la zone de subduction, elles ne font pas l'objet de ce survol.

Les constatations globales émises ci-dessus correspondent parfaitement aux observations régionales ou locales faites et dans la partie orientale et dans la partie occidentale des chaînes circum-pacifiques.

Les travaux fondamentaux de Karig (1971) et Karig et Sharman (1975) ont défini et précisé dans le Sud Pacifique la nature et l'évolution des zones de subduction (y compris les îles en arc et les bassins marginaux). Carey et Sigurdsson (1984) ont défini l'environnement volcano-sédimentaire des îles en arc et bassins marginaux; Saunders et Tarnay (1984) ont précisé la répartition spatiale des diverses tendances du volcanisme basaltique à l'intérieur des bassins d'arrière arc, tandis que Pearce et al. (1984) ont défini la nature tectonique des ophiolites dans les diverses zones de supra-subduction. Leitch (1984) a déterminé dans le Sud-Pacifique les critères d'identification des divers types de bassins marginaux et établi l'analogie entre son modèle et certaines sections de chaînes anciennes (Séquences mésozoïques alpines, Cordillère en Amérique du Nord, Ordovicien de Terre-Neuve).

Ici nous devons ouvrir une parenthèse. Les dernières découvertes minières dans le Sud-Pacifique "permettent de considérer cette région comme l'une de celles présentant les plus grands potentiels aurifères du monde" (Boirat, 1986). En effet, le gisement de Lihir au nord de la Nouvelle-Irlande comprenait en 1985 150 Mt de réserves évaluées à près de 430 t d'or. Le gisement de Porgera à Niugini (Papouasie-Nouvelle-Guinée) a fait la même année l'objet d'une évaluation et le gisement de Gold Ridge dans les îles Salomon est entré en même temps dans sa phase d'exploitation. Cette région - et ceci est particulièrement important - sert de modèle dans l'ouest des États-Unis où le contexte géologique (volcanisme d'arc insulaire) d'âge tertiaire des gisements Goldfield, Comstock lode, Tonopah (Nevada) serait semblable.

Mentionnons enfin que les mines Acupan et Antamok de l'île de Luzon aux Philippines, de type filonien, avec une accumulation de 350 t d'or, se situent dans un arc volcanique actif comprenant également des complexes ophiolitiques auxquels des gisements de Cr, Cu, (Zn) sont associés (Boirat et Stephan, 1985). Ce contexte sub-actuel (Miocène supérieur) et géodynamique bien établi mérite également beaucoup d'attention en raison de la comparaison possible avec d'anciennes chaînes porteuses de complexes ophiolitiques. Selon Sasaki et al. (1985) l'or provenant des gîtes d'âge miocène-pliocène du Japon est, dans la quasi-totalité, comme aux Philippines de type "filonien". De même, le cadre géodynamique est également celui des zones de subduction (gisements associés aux arcs insulaires). Notons à ce propos que le contexte arc insulaire d'âge miocène-pliocène, démontre des différences métallogéniques quali- et quantitatives certaines entre les parties NE et SO du Japon. Tandis que la première se caractérise par la présence de gisements polymétalliques (Cu, Pb, Zn, Ag, Au) et de gisements d'or filoniens, la seconde ne renferme que des gisements filoniens. Du point de vue quantitatif, la différence est aussi considérable; tandis que le nord est riche en métaux, le sud ne contient que peu de Cu, Zn, Pb et Ag. Seul l'or est en quantité comparable au nord et au sud.

En résumant, on est en droit d'affirmer que le cadre géodynamique, ainsi que les produits faciologiques symptomatiques, marqueurs dudit cadre dans les jeunes chaînes, sont bien identifiés. Cependant, au-delà des deux cents - deux cent cinquante derniers millions d'années, les données géodynamiques directes deviennent de plus en plus rares (Mattauer, 1973). Les difficultés de reconstituer le cadre géodynamique, en se basant sur les seuls produits-marqueurs qui le caractérisent, augmentent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du présent.

Cependant, en partant des assertions basées sur des faits d'observation, à savoir "que les chaînes correspondent à des portions d'écorce comprimées et raccourcies, coincées entre deux plaques ou sous-plaques qui se rapprochent" (Mattauer, ibid. p.466), il est légitime d'affirmer la présence d'un cadre géotectonique spécifique à la

proximité des chaînes anciennes, même si leur emplacement exact ne peut plus être défini.

Ainsi, la distribution spatio-temporelle des gisements spécifiques des zones de subduction saurait satisfaire la relation chaînes orogéniques - paléozones de subduction. Nous avons également porté à la figure 3.9 les anciennes chaînes et les gisements aurifères. La correspondance entre les deux semble bonne au niveau des connaissances particulières des diverses chaînes. Cependant, les paléochânes d'âge précambrien ne sont pas portées sur la figure 3.9. Ceci tient à leur extension généralement plus faible, ou beaucoup plus faible que celle des chaînes phanérozoïques.

Le raisonnement par analogie, dans le cadre du concept de l'actualisme, a pris un essor particulier au cours des quinze dernières années. Son bien-fondé philosophique est énoncé dans l'épigraphe de ce sous-chapitre. Sa justification géologique découle de l'uniformité de la nature de la mise en place de produits physiquement et/ou chimiquement identiques ou semblables à travers tous les âges (Imreh, 1979, Ballard et Moore, 1977).

L'évolution des continents semble obéir aux mêmes lois fondamentales du Précambrien jusqu'à nos jours. Windley (1977, 1984) a réussi à généraliser et insérer dans un modèle cohérent les travaux régionaux ou locaux à l'échelle mondiale. En dépit de certaines réserves relatives à l'évolution de la terre à l'époque précambrienne, la similitude et la possibilité de comparaison de l'analyse n'en demeurent pas moins vraies.

La comparaison des chaînes sub-actuelles à récentes du SO-Pacifique avec la Cordillère paléo-mésozoïque du Chili et les ceintures volcaniques ("greenstone-belt") archéennes, réalisée par Tarney et al. (1978), est une des démonstrations convaincantes de l'analyse phénoménologique qui a cours à travers toute l'histoire de la terre.

Par ailleurs, le SO-Pacifique est utilisé en de nombreux cas comme région de référence pour les chaînes paléo-mésozoïques. Rappelons à cet égard Leitch (1984) qui a établi l'analogie des bassins marginaux de cette région avec ceux des Alpes occidentales, de la Cordillère d'Amérique du Nord et des Appalaches. Pearce et al. (1984), basés principalement sur la lithochimie, ont démontré de nombreuses analogies entre les complexes ophiolitiques d'âge divers dont ils attribuent davantage la position avant-arc qu'arrière arc. Bartholomew et Tarney (1984) définissent par la même démarche le cadre géodynamique et la présence de bassins marginaux dans les Andes méridionales; Kokelaar et al. (1984) décrivent le bassin marginal ordovicien du pays de Galles.

Cadre géodynamique archéen

Dans l'Archéen, la reconstitution du cadre géodynamique connaît plus de difficultés que dans le Phanérozoïque. Les difficultés résident dans certaines spécificités des ceintures volcaniques archéennes; elles sont de dimensions relativement faibles, allongées, étroites et métamorphisées en faciès de schistes verts ou de l'amphibolite, déchiquetées ensuite par de nombreuses intrusions. Les problèmes structuraux, souvent sans solution unique, rendent encore plus complexe l'interprétation.

La première tentative d'insérer l'évolution des terrains archéens dans le modèle géodynamique global, a été réalisée par White et al. (1971) à propos des ceintures de "roches vertes" du secteur de Norseman en Australie Occidentale. Notons que l'analogie récente utilisée est, même dans ce cas, la région de NO-Pacifique (Fidji, Nouvelle-Guinée). Anhauser a proposé (1973) également un modèle associé à une zone de subduction à arcs insulaires pour les ceintures volcaniques de l'Afrique du Sud. Tarney et al. (1978) - comme nous l'avons mentionné à propos de "Rocas Verdes" au Chili - ont établi l'analyse entre les bassins marginaux de la Cordillère sud-américaine et les ceintures volcaniques archéennes. En se basant principalement

sur une argumentation paléogéographique, volcanologique, stratigraphique, Dimroth et al. (1982, 1983 a et b.) ont placé dans un contexte résolument géodynamique l'évolution de l'Abitibi méridional.

Les minéralisations Cu, Zn, Au, Ag, Ni des divers boucliers archéens furent alors implicitement replacées dans leur contexte géodynamique réel. Imreh (1984) a explicitement inséré dans ce modèle les minéralisations de l'Abitibi méridional. Les gisements d'or exploités ou exploitables de ce secteur ont été, à leur tour, caractérisés en fonction de leur position géodynamique (Imreh et Trudel, 1987).

L'association spatiale fréquente de la minéralisation aurifère avec la phase ultramafique mérite une attention particulière puisqu'elle est reconnue mondialement dans le Précambrien. A titre d'exemple, nous mentionnons les travaux de Baud (1942) dans le Birrimien, en Côte d'Ivoire, ceux de Travis et al. (1971) et de Gee et al. (1976) dans le bloc Yilgarn en Australie, ceux de Pyke (1975) et de Colvine (1983) en Ontario, le travail de Morgan et Cristoforo (1980) aux États-Unis (Michigan) ainsi que celui de Buisson et Leblanc (1985) au Maroc. Au Québec, l'association spatiale de la minéralisation aurifère avec des coulées ultramafiques de la section terminale du volcanisme de type plaine et avec celles du volcanisme transitionnel de la région étudiée a été démontrée par Imreh (1976, 1984).

Gisements d'or secondaires et cadre géodynamique

"L'or étant un métal inaltérable, peut être libéré, lors de la destruction des roches encaissant les minéralisations aurifères (i.e. primaires). Ne s'associant guère, il est transporté et concentré dans des sites privilégiés connus sous le nom de placers, formés depuis l'Archéen" (Bache 1982).

Après avoir esquissé la répartition spatio-temporelle des gisements aurifères primaires, il reste à mettre dans le même contexte les gisements aurifères secondaires. Ces derniers - définis comme placers alluviaux, éluviaux enfoncés ou à la surface (Boyle, 1979) - sont des

produits de démantèlement d'anciens terrains, le plus souvent volcano-sédimentaires, riches en or primaire. Ces terrains étant associés dans leur grande majorité à des zones orogéniques de tout âge, les placers sont, de ce fait, spatialement aussi associés à celles-ci. Par contre, la répartition des gisements détritiques dans le temps demeure entièrement indépendante des phases orogéniques métallifères. Elle est contrôlée, en premier lieu, par l'évolution de la morphologie des terrains, évolution définie par le réajustement isostatique post-tectonique (Mattauer, 1973).

En ce qui a trait au cycle érosion - transport - sédimentation - remaniement - enrichissement, la vitesse d'érosion et le caractère hydrodynamique du transport constituent les facteurs principaux (Boyle, 1979). L'érosion, survenue après la formation des chaînes de montagnes, affecte, en fonction de la composition du substratum érigé, tout terrain de tout âge. Il en résulte que les placers et paléoplacers peuvent alors dériver de plusieurs sources aurifères d'âge différente (Sagon et al, 1985). Cependant les placers les plus productifs proviennent du démantèlement des terrains archéens et cénozoïques potentiels dont ils se trouvent dans la proximité immédiate.

Cette assertion est conforme à l'estimation de Woodall (1986). Selon cet auteur, 66% de l'accumulation totale serait d'origine déritique, ce qui souligne l'importance de la phase érosionnelle dont l'étalement, plus considérable dans le temps que celui des périodes minéralisatrices primaires, permet de collecter l'or en des volumes de terrains considérables.

Le paléoplacer de Witwatersrand, avec 35% de l'accumulation mondiale totale (Woodall, *ibid.*), occupe, parmi les gisements détritiques, la première place. Il n'est pas alors étonnant que les travaux les plus approfondis aient été réalisés à son sujet.

À ce jour, la majorité des auteurs sud-africains opte pour l'origine purement déritique de l'or des gisements du Rand, sans que la présence d'autres facteurs d'enrichissement ultérieurs - métamorphisme, activité hydrothermale - soit écartée (Boyle, 1979). Quoi qu'il en soit, les travaux de Pretorius (1964, 1974, 1975) fournissent

actuellement le modèle sédimentologique et paléomorphologique le plus élaboré. Minter (1979) va dans le même sens et insiste sur l'importance et l'opportunité de ce genre d'étude; il suggère notamment que l'approche métallogénique de Pretorius soit appliquée à d'autres placers protérozoïques sur d'autres continents (1979b).

La suggestion de Minter (*ibid.*) paraît d'autant plus à propos que les caractéristiques du Rand (Pretorius, *ibid.*) se rencontrent aussi bien dans les autres gisements d'or détritiques précambriens. En effet, les diverses étapes phénoménologiques telles que le démantèlement d'autres formations plus anciennes (surtout schistes verts) d'intrusions felsiques, régime de transport alluvial, les traits hydrodynamiques, l'enrichissement ultime de l'or, posent les mêmes problèmes et apportent les mêmes solutions.

Quant à la source des gisements du Rand, Viljoen *et al.* (1970) ont démontré que l'or provient du démantèlement des ceintures volcaniques (schistes verts) avoisinant de la région de Barberton.

Au Ghana, le gisement du Tarkwa s'insère dans des formations du Précambrien moyen (Formation Tarkwaien) dont le matériel détritique dérive du démantèlement de la ceinture de roches vertes birrimiennes. Ici, l'origine déritique étant reconnue, les métallotectes ultérieurs, tels que métamorphisme et hydrothermalisme, sont évoqués au même titre (Boyle, 1979). Le gisement d'or de Jacobine dans le Précambrien brésilien (État de Bahia) dénote la même dualité de nature - origine déritique et enrichissement ultérieur - que l'on connaît à propos des gisements du Rand et de Tarkwa (Boyle, *ibid.*).

Les placers actuels et récents occupent une place presque aussi importante que les paléoplacers du Précambrien (Woodall, 1986, Boyle, 1979). Selon la nature de l'altération, la présence prononcée ou peu exprimée de l'érosion et du transport significatif, Boyle (*ibid.*) distingue deux types généraux: les placers éluviaux et alluviaux, qui peuvent être enfouis ou non sous d'autres sédiments plus récents ("buried placers"). Le même auteur place dans la catégorie actuelle et subactuelle tous les placers à partir du début du Tertiaire jusqu'à nos jours.

Selon Boyle (1979), les principaux placers alluviaux actuels et subactuels sont ceux de Yukon, Alaska, Colombie-Britannique, Californie et Sibérie. Parmi les moins importants, il mentionne les placers du Québec (Estrie, Beauce), de l'Australie, de l'Amérique latine (côté occidental). Parmi les occurrences éluviales, Boyle (*ibid.*) met l'accent sur celles du Bouclier précambrien de l'Amérique latine au Brésil.

En replaçant dans son cadre géodynamique la distribution géographique des placers (Boyle et Bache (1982), on constate (figure 3.9) que ceux-ci se trouvent associés à des chaînes de montagne d'âges divers, et plus précisément à des sections potentielles de ces dernières.

Ainsi, la plus grande concentration de placers économiquement valables des chaînes récentes ou "alpines" (Mattauer, 1977), se forme là où le démantèlement a affecté les terrains aurifères les plus riches: sections privilégiées de la Cordillère des deux Amériques. Les placers de la Sibérie orientale (URSS) se sont formés également aux dépens de la Cordillère occidentale.

Par rapport à la ceinture péripacifique, les chaînes mésogéennes de type alpin, à l'exception de l'Arc Indonésien, sont pauvres en gisements d'or primaires et, de ce fait, pauvres en gisements secondaires.

En ce qui concerne les chaînes plus anciennes des cycles calédonien et hercynien, elles montrent les mêmes caractéristiques que les chaînes du cycle alpin. Les chaînes calédoniennes des Appalaches, de la Mongolie, de l'Altaï et de la Mandchourie, reprises en partie par l'orogénèse hercynienne, ainsi que les chaînes hercyniennes de l'Australie orientale et de l'Oural, ont formé par leur démantèlement le matériel des placers actuels et subactuels.

Les anciennes chaînes précambriennes ne sont pas indiquées sur la figure 3.9. Comme il a été par ailleurs démontré, elles fournissent également, par leur présence sur tous les boucliers précambriens, le matériel des placers et paléoplacers.

Conclusions

Dans la dernière section, il a été démontré que le dénominateur commun des gîtes aurifères primaires à travers tous les âges géologiques consiste dans l'effet conjugué des principaux facteurs suivants: présence des zones mobiles, amincies et fragiles de l'écorce terrestre; activité volcanique intense associée; transformation des dites zones en chaînes par un ou plusieurs cycles orogéniques; activité hydrothermale pré-, syn-, tardi-, ou post-cinématique.

Ces facteurs ne se réunissent que dans les zones de subduction actuelles ou fossiles. Il en résulte qu'une zone de subduction peut-être considérée comme un métallotecte de premier ordre dont la présence est le préalable nécessaire à tout autre métallotecte.

De même, les orogènes représentant la phase de raccourcissement de la zone de subduction (Mattauer, 1973) fournissent, par leur démantèlement, le matériel aurifère détritique des placers et paléoplacers.

En dernière analyse, on peut énoncer à bon droit que tous les gisements aurifères primaires et secondaires obéissent à la même loi fondamentale qui les relie directement, ou indirectement aux diverses manifestations géodynamiques et, tout particulièrement, à la limite des plaques. Il en résulte que la reconstitution paléogéographique, volcanologique, sédimentologique, lithochimique des zones de subduction fossiles et de leur environnement est l'outil par excellence, qui permet la délimitation des zones où la recherche des gisements a la plus grande probabilité de réussir.

3.5 L'ÉCONOMIE GÉOLOGIQUE DE L'OR AU CANADA

3.5.1. Contexte Canadien s.s.

Production

Pour mieux situer l'économie géologique de l'or au Québec, il convient d'effectuer d'abord un survol de celle du Canada. Rappelons que le Canada a occupé en 1986, avec une production de 107,5 t d'or (Milling-Stanley, 1987), le troisième rang au classement mondial des pays à économie libre, se situant ainsi immédiatement derrière les États-Unis (tableau 3.3).

Lorsqu'on passe en revue la production aurifère canadienne annuelle de 1902 jusqu'à 1985, on constate qu'elle a quadruplé au cours de cette période (figure 3.10.). Cependant, la progression n'est pas uniforme: la production de 1941, unique dans son genre, en témoigne. La production entre 1951 et 1985 - dont nous présentons les chiffres annuels - part en 1951 de 132 tonnes pour atteindre un sommet en 1960 avec 143 tonnes; ensuite la production baisse durant les vingt années suivantes, jusqu'au plancher de 48 tonnes en 1980. Après cette année-là, la progression de la production est assurée à un rythme variable dont le taux d'accroissement accuse un ralentissement à partir de 1983/84.

Ainsi, la production en 1985 n'est qu'à 60% de celle de l'année 1960 (figure 3.10.). Il en résulte que la décroissance de la production, débutée en 1961, est loin d'être annulée par les valeurs ascendantes des années 80. À première vue, aucune relation directe ne semble se dessiner entre l'allure de la courbe de la production canadienne et celle de la courbe du prix de l'or (figure 3.2.).

Distribution géographique et géologique de la production

Après ces considérations générales, nous allons étudier la distribution géographique et géologique de la production. Effectivement

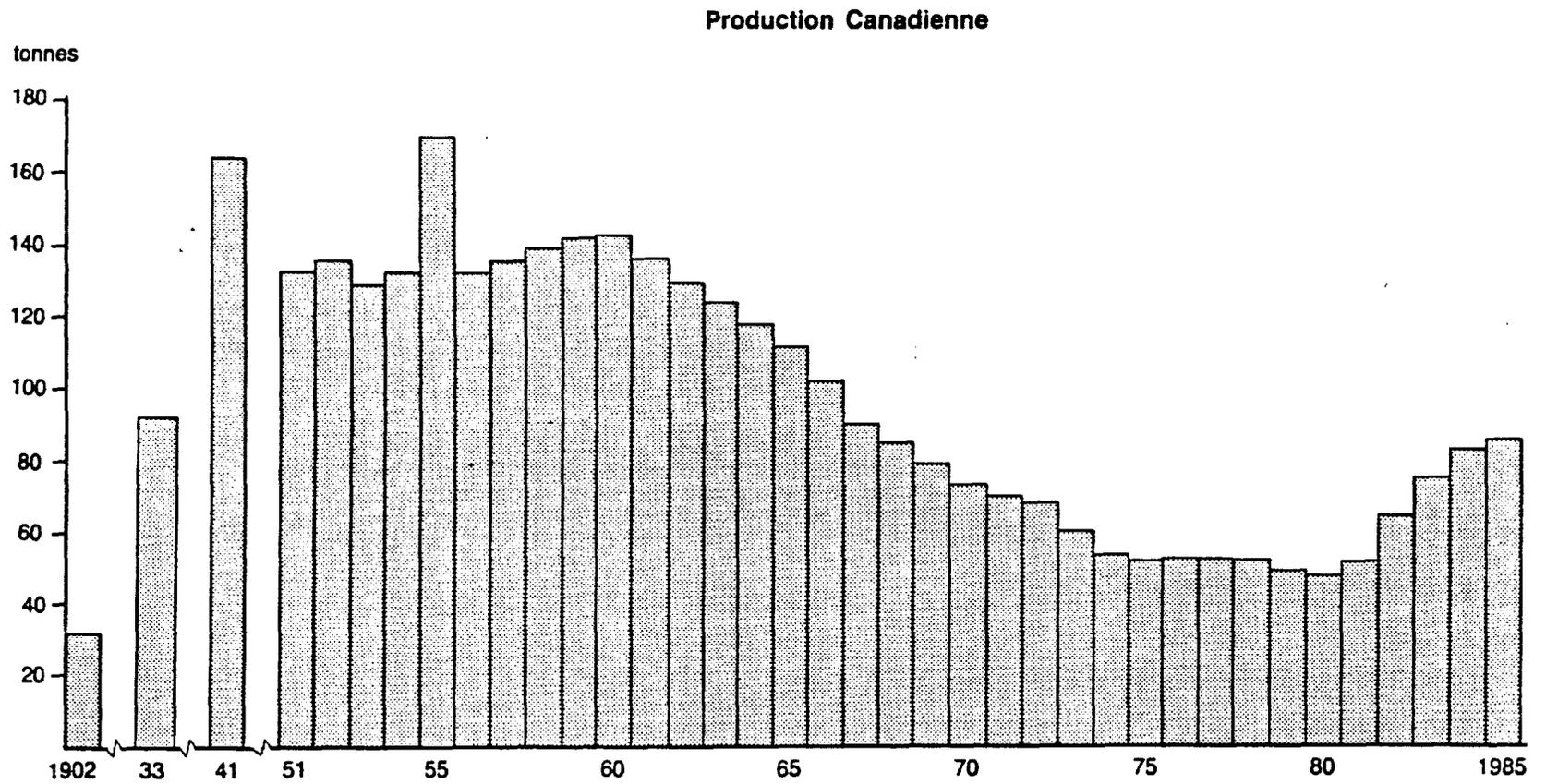


Figure 3.10 Production d'or canadienne entre 1902 et 1985 (source Canadian Mining Handbook).

la répartition des valeurs de production d'or canadienne, de l'année 1985, éclatées en fonction des provinces (figure 3.11) reflète tout particulièrement la configuration des diverses entités géologiques majeures. Le Yukon et la Colombie Britannique fournissent 11,1% de la production nationale, en exploitant les gisements polymétalliques aurifères de la chaîne circumpacifique alpine (Rocheuses) et les placers provenant du démantèlement de cette chaîne. Le sous-sol de l'Alberta, constitué dans sa quasi-totalité de formations de la plate-forme intérieure canadienne, d'âge surtout crétacé, est dépourvu de gisements métalliques. De même, la Saskatchewan, dont la majeure partie est occupée par la plate-forme intérieure, ne fournit que très peu d'or, provenant exclusivement du Bouclier Canadien qui couvre le coin NE de cette province (régions minières de Flin-Flon et de Star Lake).

Les deux tiers septentrionaux-orientaux du substratum manitobain sont également constitués de formations précambriennes du Bouclier canadien. Leur production d'or, quoique encore modeste (2,1 tonnes), provient précisément des districts miniers situés au Précambrien (Line Lake, Snow Lake, Flin-Flon, ce dernier étant à cheval sur la frontière occidentale de la province).

L'Ontario et le Québec sont, sans conteste, les plus grands producteurs d'or canadiens avec respectivement 36,8% et 34,1% de la production nationale. La quasi-totalité de cette production est extraite des ceintures volcaniques et volcano-sédimentaires archéennes du Bouclier canadien. Les principaux districts aurifères sont en Ontario, d'ouest en est, Red Lake, Sturgeon Lake, Favourable Lake, Wabigoon Lake, l'Abitibi ontarien et au Québec, les districts de Rouyn-Noranda - Val d'Or - Casa Berardi - Matagami - Desmaraisville - Chibougamau.

La production d'or des Territoires du Nord-Ouest provient exclusivement du substratum archéen. Cette production, compte tenu de la position géographique des T.N.O., est déjà appréciable: elle représente 15,1% de la production nationale en 1985, ce qui leur confère la troisième place au Canada. Le principal district aurifère est celui de Yellowknife, auquel on doit ajouter plus au nord les régions de MacKay et de Contwoyoto.

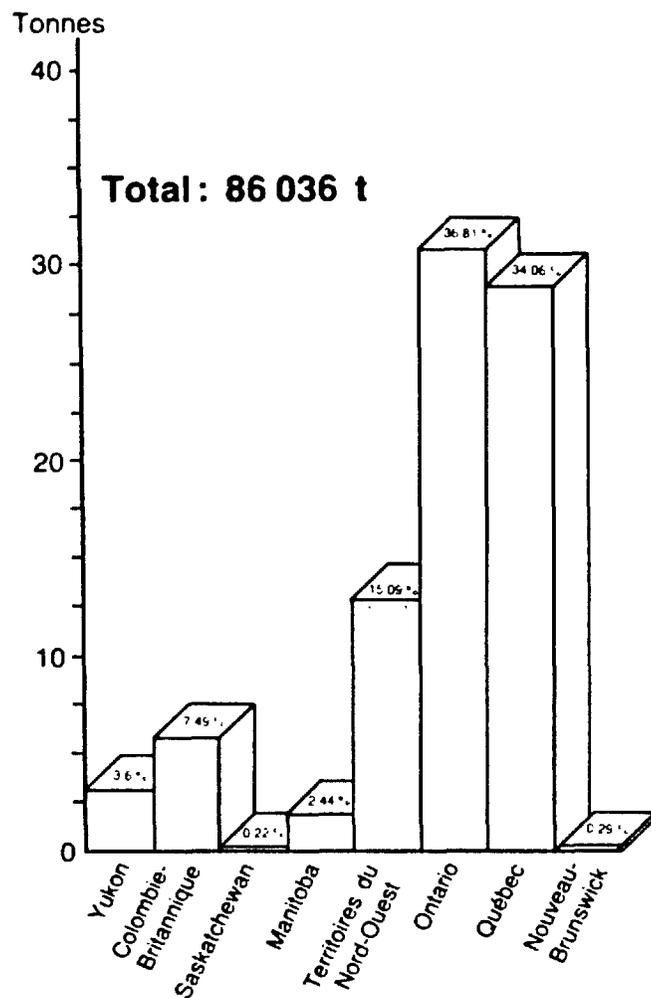


Figure 3.11 Production d'or canadienne en 1985, éclatée par province (source Canadian Mining Handbook).

Le Nouveau-Brunswick a une production aurifère très faible, soit 0,3% (figure 3.11.), provenant principalement des Appalaches.

La production de Terre-Neuve a été du même ordre de grandeur que celle du Nouveau-Brunswick. Cependant, son dernier chiffre de production (0,18t), publié dans le Canadien Mines Handbook, date de l'année 1984, ceci indique que toute exploitation minière a cessé à partir de l'année suivante.

Il ressort des données avancées que 88,6% de la production d'or canadienne provient du Précambrien, et sa très grande majorité est extraite des gisements situés dans les ceintures volcaniques. Ces dernières, comme il a été démontré à la section précédente, constituent la zone fragile et mobile de l'écorce terrestre et correspondent, de ce fait, à des zones de paléosubduction. Ainsi, les chiffres avancés indiquent, à l'échelle du Canada, que ce potentiel hors pair est imputable à des zones géodynamiques privilégiées, plus précisément à des zones de subduction d'âge archéen.

Après avoir quantifié la production par entités géologiques majeures, il convient d'examiner la répartition et l'évolution de la production en fonction des principaux types de gisements. Il ressort des travaux de Thomas et Boyle Jr. de 1986 (figure 3.12.) que le type filonien domine de loin les deux autres types, ceux des sulfures massifs (métaux de base dont l'or est le sous-produit), et des gîtes détritiques (placers). Compte tenu de l'importance de la production provenant du Bouclier canadien - environ 88% de la production totale du pays - l'éclatement reflète bien le rapport respectif des divers types de gisements à l'intérieur de ce Bouclier.

Néanmoins, il reste à souligner que dans les chaînes circumpacifiques, contrairement à certaines croyances, le type filonien semble également dominer (Sasaki et al., 1985, Boirat, 1986, Boirat et Stéphan, 1985) le type polymétallique.

Les données des années 1965, 1980 et 1983 montrent une fluctuation intéressante du rapport des divers types de minéralisation

- 1 Type filonien
- 2 Sous-produit des gîtes de métaux de base
- 3 Placer

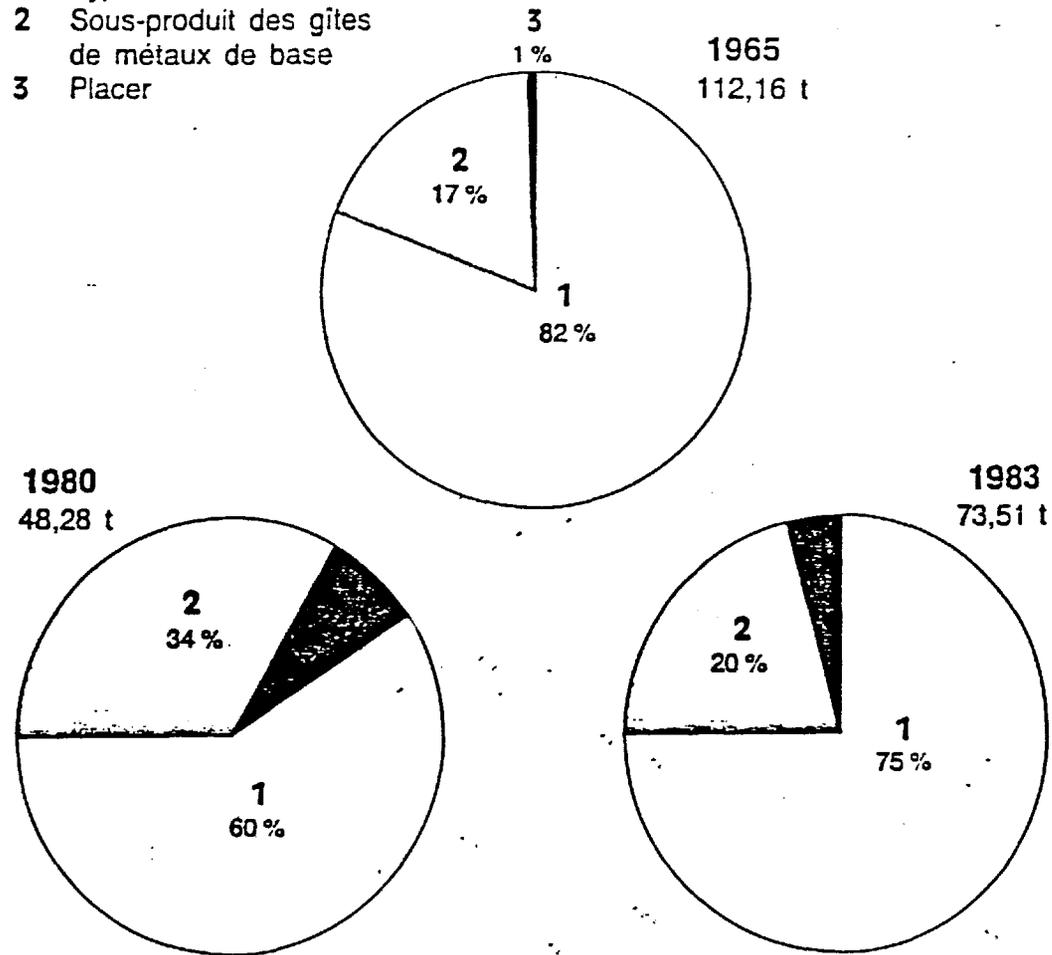


Figure 3.12 Production d'or canadienne éclatée en fonction des divers types de gisements (selon Thomas and Boyle Jr., 1986, modifié).

aurifère (figure 3.12.). Il en ressort, en particulier, que la quantité de l'or provenant des gisements de métaux de base, après une expansion dans les années 70, est en régression continue. En se basant sur de nouvelles exploitations, il n'est pas interdit de présumer que cette tendance continue de s'accroître.

Précisons, toutefois, que les figures 3.11 et 3.12 ne nous renseignent que sur le stade consolidé de l'exploitation, lorsque la quasi-totalité des territoires est déjà géologiquement connue. Par contre, si on examine la figure 3.13., on voit l'image historique de l'exploitation aurifère. Ainsi, la part du lion revient en 1902 au Yukon et la seconde place à la Colombie-Britannique. Ce phénomène traduit l'épopée de la ruée vers l'or. Avec l'épuisement progressif des placers aurifères, l'Ouest perd du terrain et l'Est s'impose de plus en plus sur le marché en exploitant les gisements primaires du Bouclier canadien (figure 3.13.).

Cette affirmation de l'Est coïncide, au début des années trente, avec le début de la période minière de la colonisation de l'Abitibi-Témiscamingue. En fait, la première exploitation d'or abitibienne est celle de la mine O'Brien, ouverte en 1926, suivie de près par la fameuse mine Horne dont la production débutait en 1927. Les mines Waite Amulet, Amulet C et F près de Rouyn-Noranda ont débuté leur production en 1928. Dans la région de Val d'Or, la mine Siscoe est le premier producteur, son exploitation commençait en 1929. En 1933, le Québec fournit, grâce aux mines abitibiennes en opération, 13% de la production nationale, dont la quasi-totalité provient précisément de ces premières exploitations minières de l'Abitibi méridional québécois.

L'importance des terrains archéens ressort des statistiques choisies des années 1933, 1973, 1980, 1985 (figure 3.13). En 1933, le Québec et l'Ontario ont totalisé déjà 85% de la production nationale. Ce pourcentage a très peu changé puisque l'entrée sur le marché des T.N.O. n'a point modifié la part de la production d'or archéen (1973). De même la production provenant des terrains archéens, après l'ajout

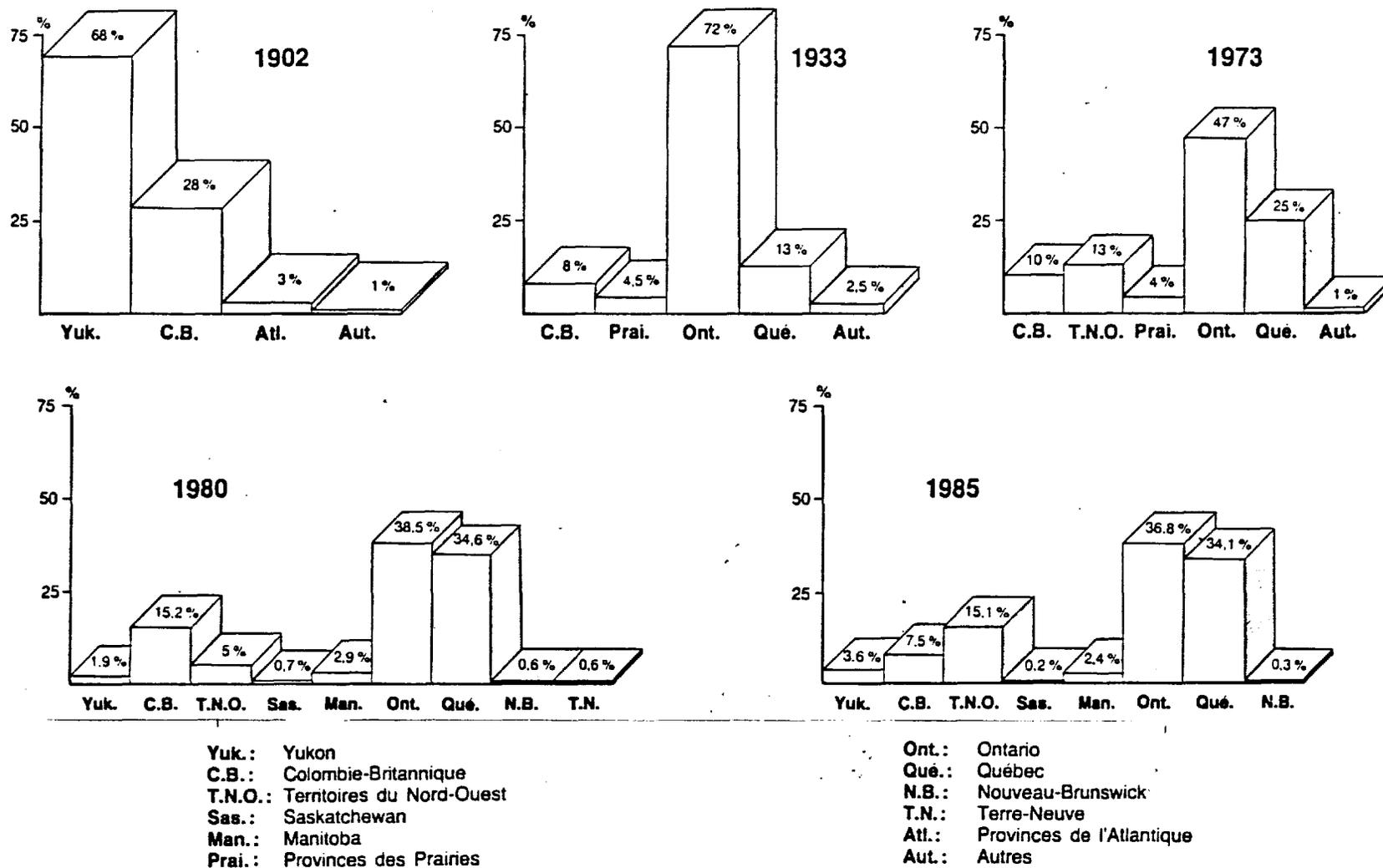


Figure 3.13 Évolution de la production aurifère canadienne de 1902 à 1985 en fonction des provinces productrices (selon Thomas and Boyle Jr. 1986, reformulé).

du Manitoba et de la Saskatchewan n'a changé que peu la quote-part des cinq provinces précédemment énumérées: en 1985, elle a été de 87,8%.

On est alors en droit de conclure que:

- . La quote-part des provinces productrices d'or précambrien (surtout archéen) est un paramètre indépendant de la quantité et de la fluctuation de la production canadienne;

- . La répartition de la production entre gisements phanérozoïques-récents et archéens s'est stabilisée après l'épuisement des placers du Yukon et de la Colombie Britannique;

- . À l'intérieur du Bouclier Canadien, les quote-parts respectives des provinces productrices d'or ont connu, après 1933, un fort déplacement en faveur, surtout, du Québec et, en partie, des T.N.O. aux dépens de l'Ontario;

- . La libéralisation du prix de l'or n'a eu aucun impact sur la production canadienne en particulier, et mondiale en général.

3.5.2. Contexte québécois

Données de production

Nous avons vu que le Québec s'est taillé une place de plus en plus enviable dans la production d'or canadienne. En effet, en 1933 il occupe déjà le deuxième rang après l'Ontario (fig. 3.13), qu'il a talonné ensuite de près dès les années 80, pour le dépasser trois années consécutives (82, 83 et 84). Ensuite l'écart s'est élargi de nouveau en faveur de l'Ontario dont la production a été, en 1986, de 46,720 tonnes contre 29,464 tonnes au Québec, suite à la mise en production de nouveaux gisements dont ceux de Hamlo en particulier.

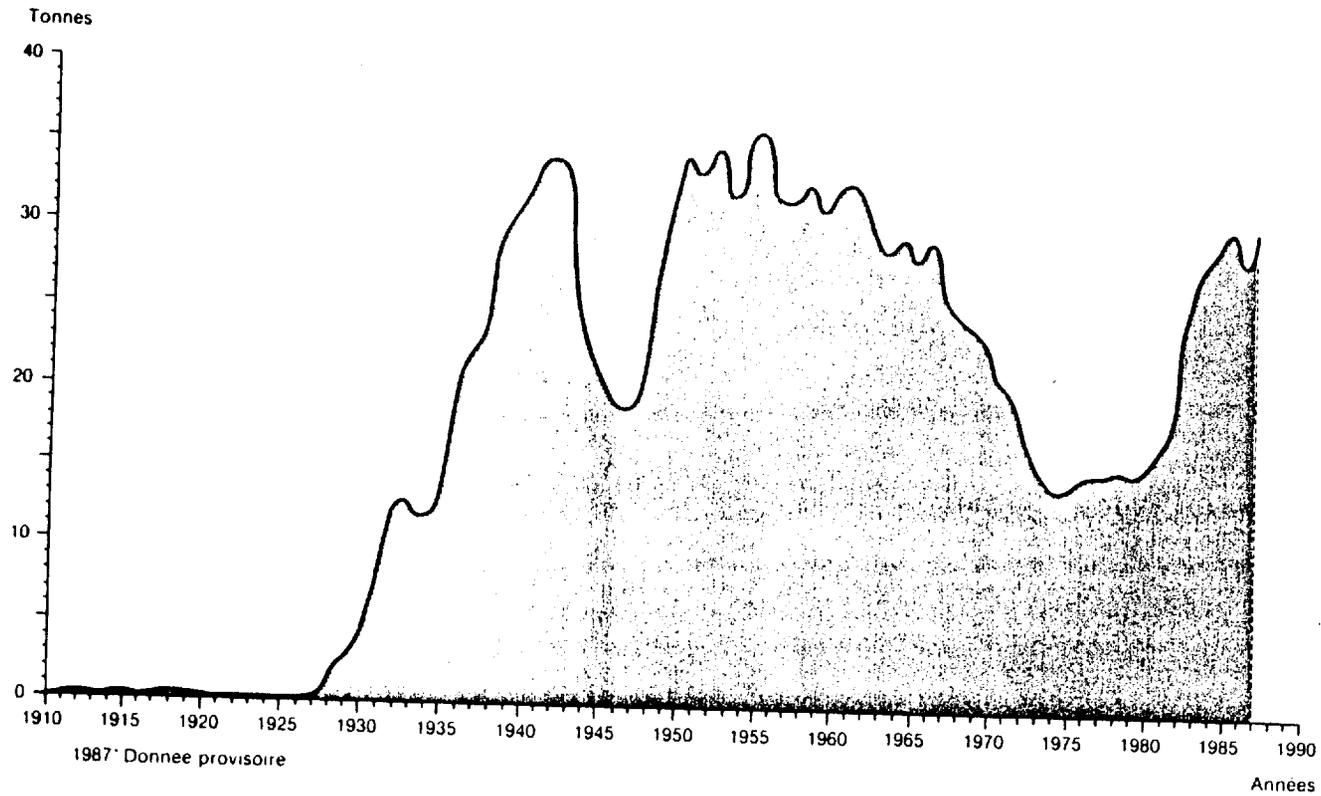


Figure 3.14 Production d'or québécoise de 1910 à 1987 (d'après "Portrait statistique de l'industrie minière québécoise 1900-1985"; Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la statistique, complété).

La production d'or québécois dans le premier quart du XX^e siècle, en dépit d'une croissance constante, totalisait à peine 60 kg. En fait, la quasi-totalité de l'or provenait de l'exploitation des placers aurifères de l'Estrie dont la production annuelle a passé de 2 kg en 1901, à 57 kg en 1915.

Le changement de l'ordre de grandeur de la production est intimement associé à la colonisation de l'Abitibi méridionale. L'ouverture en 1926 de la première mine abitibienne, la mine O'Brian, a doublé la production québécoise (de 57 kg en 1925 à 119 kg en 1926). La mise en exploitation successive d'autres mines abitibiennes - Horne, Amulet, Siscoe, Sullivan, Canadian Malartic, Sigma, Lamaque, Barnat, East Malartic, etc. - a fait régulièrement progresser la production, dont le chiffre a été en 1928 de plus de 2 tonnes. En 1940 le seuil de 30 tonnes par an (figure 3.14) a été dépassé. Cette progression, avec les hauts et les bas, a cédé la place vers 1962, à une régression prononcée dont le minimum se situe dans les années 70. Ensuite, la tendance ascendante, phénomène manifesté dès les années 80, s'est traduite par des valeurs annuelles consécutives de plus en plus fortes, dépassant en 1987 de nouveau les 30 tonnes.

La courbe lissée de production québécoise (figure 3.14) semble alors caractérisée par une cyclicité pluridécennale dont nous nous trouvons en 1987 sur le tronçon ascendant. Il est cependant périlleux d'en conclure une progression continue soutenue pour les années à venir: il se peut que la production plafonne près des 30 tonnes annuelles sans que la valeur maximum de 1955 (36 tonnes) soit atteinte au cours de cette oscillation décennale positive.

Enfin, en éclatant le PIB (produit intérieur brut) selon les trois principaux secteurs, on constate que le secteur primaire n'en fournit qu'à peine 4%, le secteur secondaire en détient près de 26% et le secteur tertiaire 70%. Des 4% du secteur primaire deux branches

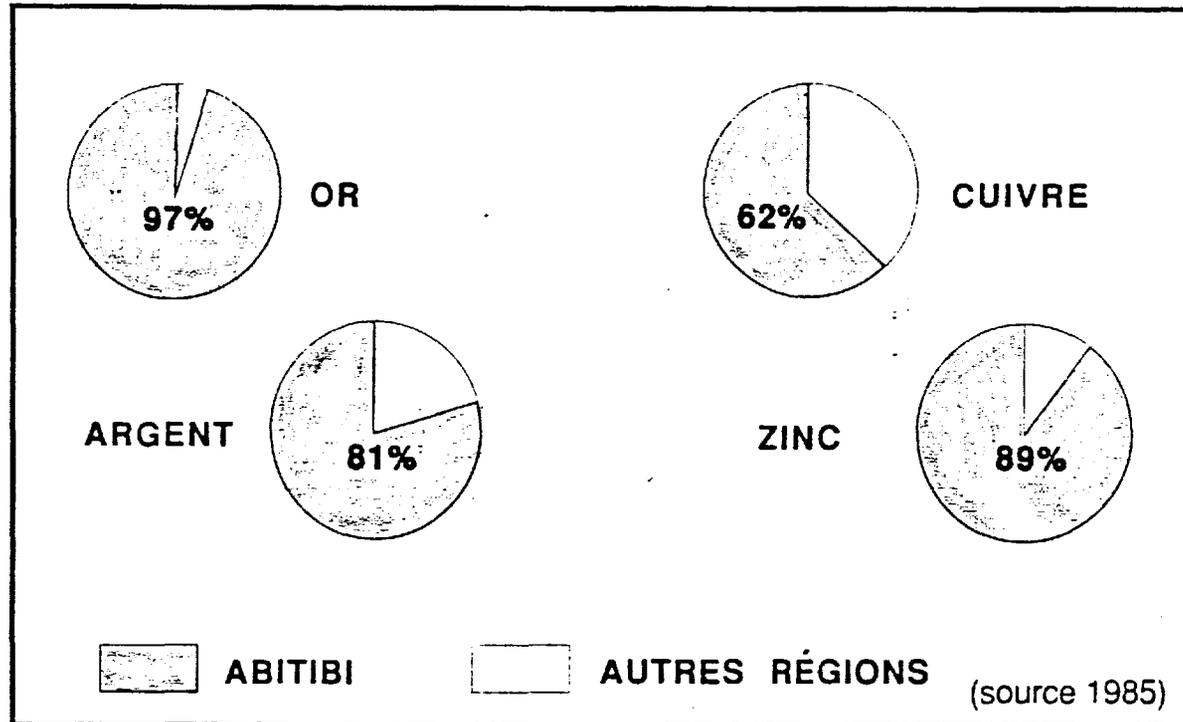


Figure 3.15 Production d'or, argent, cuivre, zinc en Abitibi et en d'autres régions de Québec, source DV 85-08 MER.

principales - l'agriculture et les mines, carrières et puits de pétrole - s'accaparent à elles seules de 85%, avec respectivement 46% et 39%. En exprimant la part des mines au niveau du PIB, on obtient 1,58%.

Distribution régionale de la minéralisation et notion du potentiel géologique

Il est bien connu que l'Archéen représente une des époques les plus riches en minéralisations de métaux de base et de métaux précieux, tels que Au, Ag, Cu, Zn, Ni et Cr. Cette richesse est essentiellement confinée à des ceintures volcaniques et volcano-sédimentaires allongées, étroites et métamorphisées au faciès de schistes verts ou de l'amphibolite; d'où leur appellation anglaise "greenstone belts". Chose remarquable, l'évolution des ceintures de roches vertes, ainsi que la nature de la minéralisation associée, sont partout, à l'échelle mondiale, identiques ou très semblables (Watson in Windley, 1976, Windley, 1978).

La nature et l'évolution des ceintures volcaniques, volcano-sédimentaire, de l'Archéen abitibien et celles de minéralisations associées n'y font pas exception. De plus, les ceintures volcaniques abitibiennes comprennent le potentiel métallique le plus élevé au Québec, avec 97% du potentiel aurifère, 81% du potentiel argentifère et respectivement 62% et 89% du potentiel cupri- et zincifère (figure 3.15).

Il convient d'ouvrir ici une parenthèse pour définir la notion de potentiel métallique. Par définition, nous appelons potentiel métallique les sommes du tonnage exploité et des réserves de toutes catégories, exprimée en métal contenu. Il est calculé conformément à la méthode couramment employée dans le calcul des réserves canadiennes de cuivre, nickel, plomb, zinc, molybdène, argent et or (Whillans et Cranstone, 1979). Aussi, dans nos calculs n'avons nous pas tenu compte des facteurs techniques (taux de récupération) et économiques

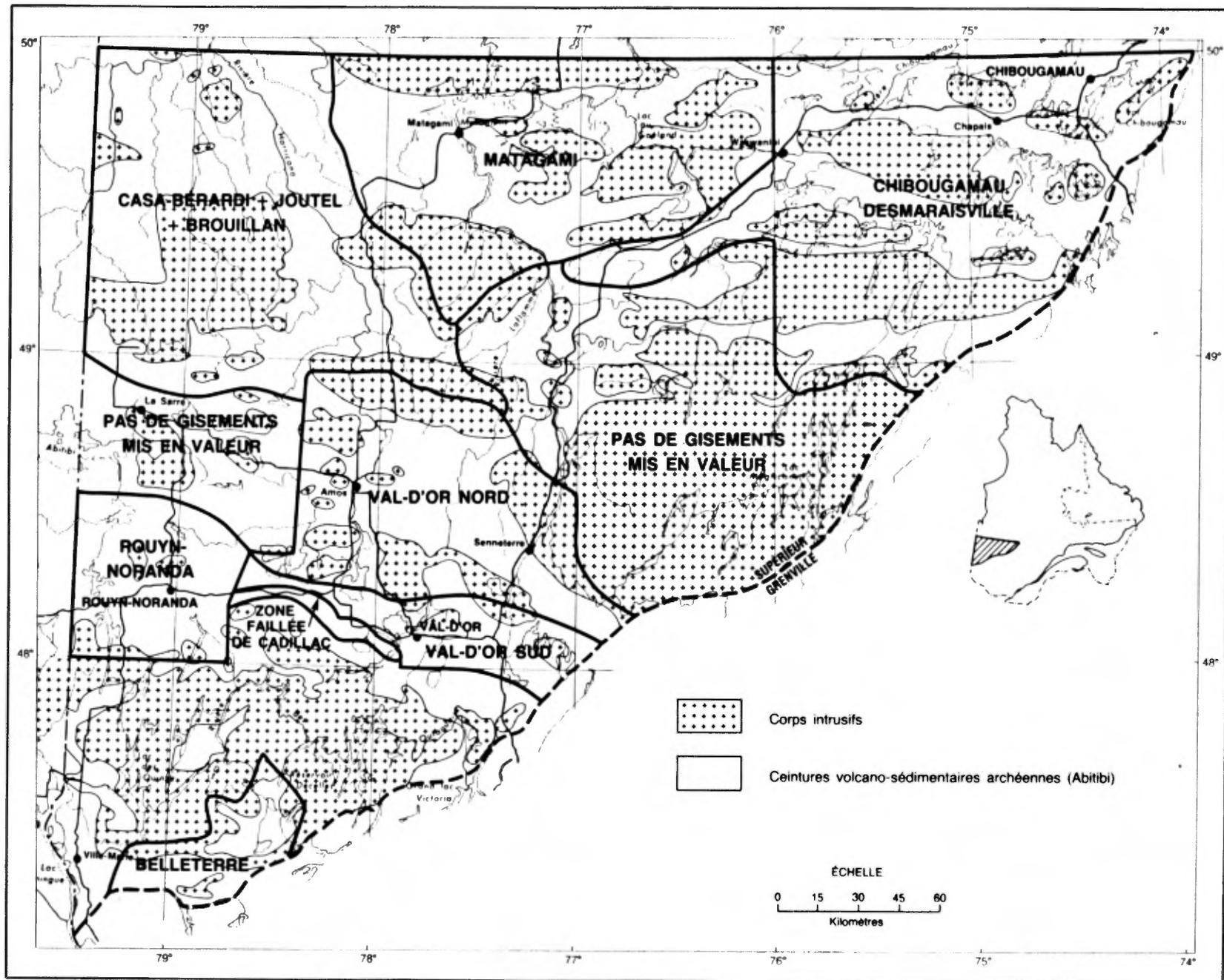
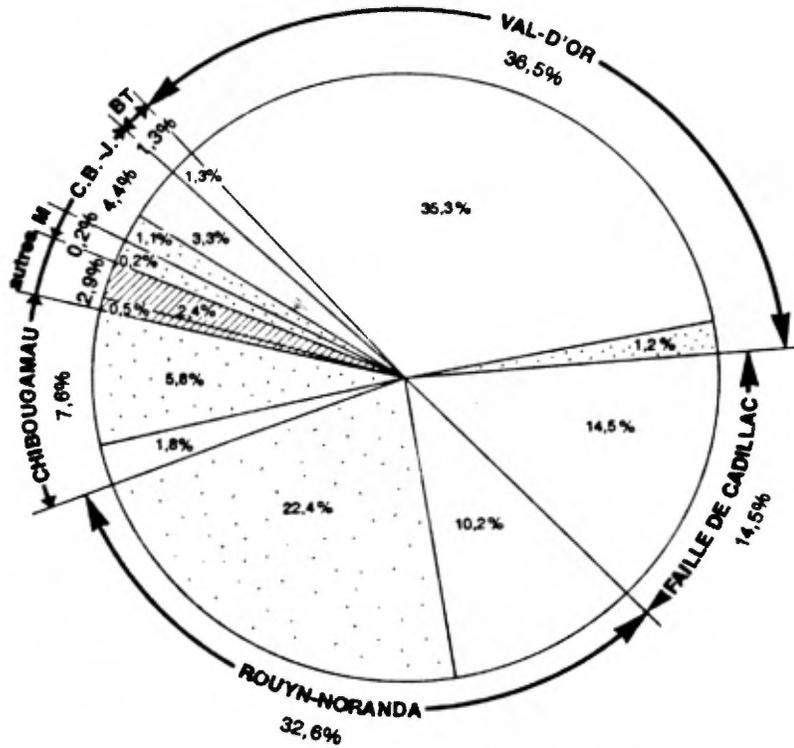


Figure 3.16 Entités géo-gitologiques retenues pour cette étude (fond de la carte au 1/1 500 000 de DV 85-09 d'Avramtchev) MER.

OR



Produit principal

-  Type filonien
-  Or sous-produit en gisement Cu-Zn
-  Placer

Potentiel total:

1992,9 tonnes d'or

C.B.-J. = Casa-Berardi, Joutel; M = Matagami;

BT = Belleterre;

autres: Grenville, Baie James, Ungava, Nouveau-Québec, Fosse du Labrador,

Estrle (Placer), Gaspésie

Figure 3.17 Répartition de l'or en fonction des entités géologiques naturelles.

(rentabilité) dont la variabilité ne peut que fausser la perception de l'importance intrinsèque des gisements. Il résulte de ce qui vient d'être défini que les valeurs obtenues reflètent la richesse minière passée et future des entités géologiques majeures.

Les chiffres utilisés ci-après proviennent des compilations de Lavergne (1985), Avramtchev et Lebel-Drolet (1979), des travaux de Imreh (1984), Imreh et Dimroth (1984).

Après cette parenthèse, il y a lieu de chiffrer le potentiel aurifère du Québec. En se basant principalement sur les données de Lavergne (1985), le potentiel aurifère serait, du début des exploitations jusqu'au 1^{er} janvier 1984 (en certains cas jusqu'au 1^{er} janvier 1985), de 1 992 tonnes d'or. La répartition régionale de ce potentiel peut être le plus avantageusement étudiée lorsque, en faisant abstraction des découpages administratifs, on utilise le découpage "naturel" réalisé en fonction des entités géo- et gîtologiques compréhensives. Puisque près de 97% du potentiel aurifère se cantonnent dans les ceintures volcanosédimentaires archéennes de l'Abitibi-Témiscamingue, l'étude par entités naturelles ne comprend que cette région (figure 3.16).

La première constatation est la suivante: le potentiel aurifère est inégalement réparti et connaît, de ce fait, une forte polarisation. Effectivement, la seule bande de Rouyn-Noranda - zone faillée de Cadillac - Val d'Or-Sud comprend plus de 83% du potentiel aurifère québécois. En allant vers le nord, l'ordre de grandeur du potentiel aurifère change brutalement: les entités de Val d'Or-Nord, Casa-Bérardi - Joutel - Brouillan - Matagami ne comprennent que près de 5%, Chibougamau - Desmaraisville près de 8%. Au sud, le sillon de Belleterre a un potentiel aurifère d'un peu plus de 1,3% (figure 3.17).

La deuxième constatation est relative à la nature de la minéralisation. Partout dans le monde et à travers tous les âges, l'or primaire peut être le produit principal ou même le seul produit ("or

Districts	Cu%	Zn%	Ag%	Au% (1)	Au% (2)
Rouyn-Noranda	<u>57,64 (A)</u>	<u>34,33 (B)</u>	<u>23,7 (B)</u>	<u>80,64 (A)</u>	<u>18,67 (B)</u>
Val-d'Or	5,06	14,20	<u>64,4 (A)</u>	1,94	<u>74,38 (A)</u>
Matagami-Brouillan	6,57	<u>48,94 (A)</u>	8,8	1,75	5,00
Chibougamau- Desmaraisville	<u>30,73 (B)</u>	2,53	3,1	15,67 (B)	1,95
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A - B : Réfèrent à l'importance du district pour le métal concerné.

(1) Dans les gisements de Cu et de Cu-Zn (2) Dans les gisements d'or

Tableau 3.4 Importance relative des quatre districts miniers majeurs en fonction du rapport des métaux (potentiel minier) précieux et usuels.

filonien") et le sous-produit de gisements polymétalliques. Ces derniers ont une paragenèse plus simple dans le Précambrien que dans le Phanérozoïque et ils se résument aux gisements de sulfures massifs de Cu, Cu-Zn.

En examinant sous cet angle la répartition du potentiel aurifère abitibien (figure 3.17), on observe un rapport spécifique entre l'or filonien et l'or comme sous-produit en fonction des entités naturelles, définies à la figure 3.16. La minéralisation aurifère de la zone faillée de Cadillac est constituée à 100% du type filonien. Dans l'entité de Val d'Or, l'or comme sous-produit ne constitue que 3% du potentiel local, tandis que l'or provenant des gisements de sulfures massifs forme plus de 65% du potentiel aurifère du secteur de Rouyn-Noranda. À Chibougamau, le rapport entre les deux types est encore plus déplacé en faveur du potentiel aurifère provenant des gisements surtout cuprifères, soit un peu plus de 76%. À Matagami, la totalité de l'or provient des gisements sulfurés, tandis que dans le secteur de Casa-Bérardi - encore peu exploré - 25% du potentiel aurifère se présente sous forme de sous-produit.

Notons que la polarisation régionale du potentiel métallique n'est point l'apanage de l'or, puisque les autres métaux usuels de l'Abitibi - Cu, Zn, Ag - démontrent également une forte polarisation. De ce fait, leurs profils quali- et quantitatifs, définis par les rapports respectifs de Cu, Zn, Ag, Au comme sous-produit et Au filonien, sont spécifiques et constituent un élément métallogénique de fort pouvoir discriminant (tableau 3.4). Il reste à souligner que le profil de Rouyn-Noranda est quanti- et qualitativement bien équilibré, ce qui résulte très probablement de son évolution volcanologique et géodynamique évoluée. L'entité de Val d'Or est un cas typique de la spécialisation dans le domaine des métaux précieux. Matagami-Brouillan paraît spécialisé dans le Zn tandis que Chibougamau - Desmaraisville est caractérisé par des gisements de cuivre dont l'or est le principal sous-produit.

En résumant on constate que:

- La répartition de la richesse minérale (potentiel) connaît une forte polarisation dans la zone méridionale de Rouyn-Noranda - Val d'Or; effectivement cette bande comprend plus de 60% de cuivre et plus de 80% de l'or et de l'argent de tout l'Abitibi;
- la partition entre l'or des gisements d'or filoniens (ou produit principal) et l'or comme sous-produit des gisements polymétalliques sulfurés est spécifique et constitue, de ce fait, un facteur discriminant entre entités géologiques;
- les diverses entités géo-géologiques ont des profils métallogéniques spécifiques;
- la spécialisation métallogénique régionale caractérise l'ensemble de l'Abitibi;
- l'Abitibi constitue l'entité géologique majeure du Québec relativement aux métaux usuels (Cu, Zn) et aux métaux précieux (Au, Ag).

Taux d'épuisement et de renouvellement

Les taux d'épuisement et de renouvellement, exprimés en pourcentage, sont des paramètres importants qui permettent de définir le bilan de la quantité de métal extrait et des réserves constituées. Par définition, au commencement de l'exploitation, le taux de renouvellement est de 100% et de ce fait, domine de loin le taux d'exploitation; au cours des meilleures années d'une mine, les deux taux sont en équilibre. Par contre, l'épuisement des gisements - ce qui est à la longue inévitable - s'annonce avec la permanence de la tendance accroissante du taux d'épuisement, au détriment du taux de renouvellement.

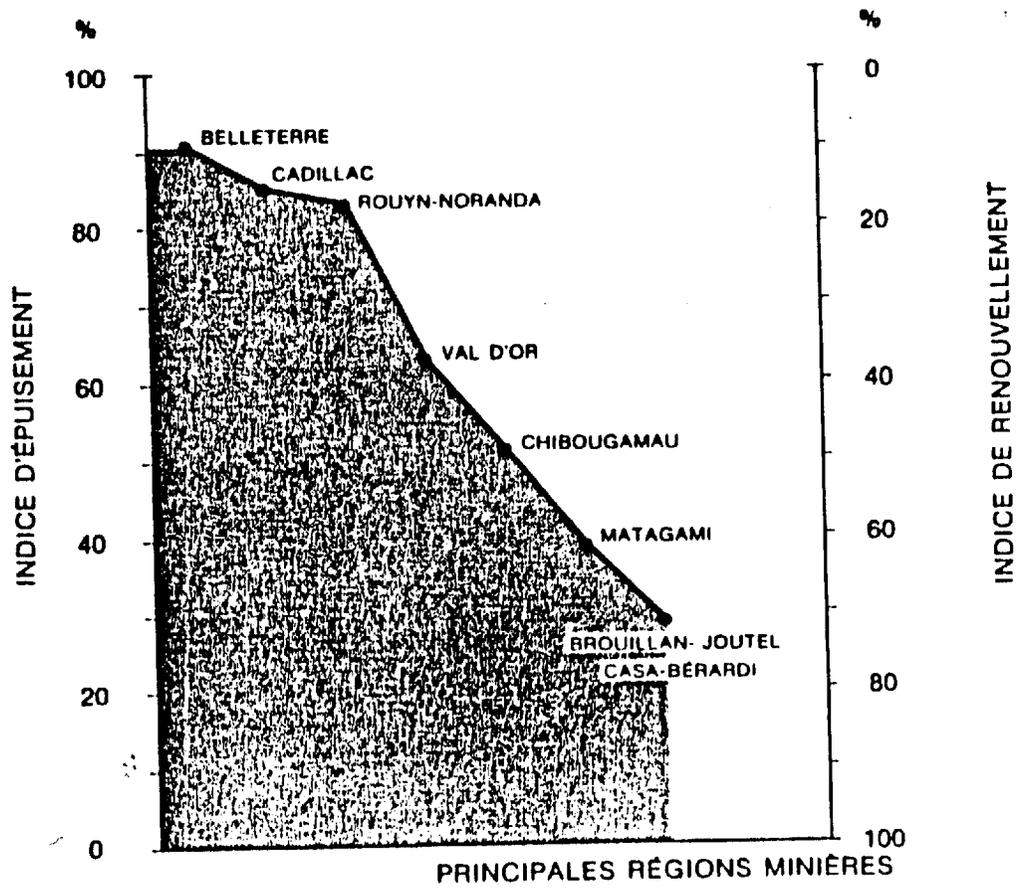


Figure 3.18 Indice d'épuisement et de renouvellement des principales régions minières au Québec.

Rappelons que les deux taux sont complémentaires et que le total de leurs valeurs (indice) respectives est toujours de 100% en raison des formules:

$$IE = \frac{TME}{TME + TMR} \cdot 100$$

$$\text{et } IR = \frac{TMR}{TME + TMR} \cdot 100$$

où IE = indice d'épuisement, IR = indice de renouvellement, TME = tonnage-métal exploité, TMR = tonnage-métal des réserves. Quant aux calculs du tonnage-métal, nous nous sommes conformés ici, comme ailleurs, à la méthode du service fédéral (Laughlin, 1984; Lemieux et Laughlin, 1985).

Le bilan d'exploitation et de réserves des gisements d'or de l'Abitibi québécois indique que l'indice d'épuisement (IE), comme on pouvait s'y attendre, est le plus fort là où l'histoire de l'activité minière est la plus longue, donc, dans les régions de Rouyn-Noranda - Val d'Or et de Belleterre. L'indice d'épuisement est en équilibre avec l'indice de renouvellement à Chibougamau. Dans les nouveaux secteurs miniers, l'indice de renouvellement domine celui de l'épuisement (figure 3.18).

Nous émettons néanmoins quelques réserves, puisque en raison du décalage pluri-annuel entre les faits miniers, leur compilation, ou encore leur parution, la courbe basée sur l'état du 1^{er} janvier 1984 et, en certains cas sur celui du 1^{er} janvier 1985 (Lavergne, 1985), ne représente qu'un instantané de ces dates. Néanmoins, compte tenu de l'activité minière des dernières années, on est en droit d'extrapoler un déplacement certain de la courbe en faveur de l'augmentation des taux de renouvellement.

OR

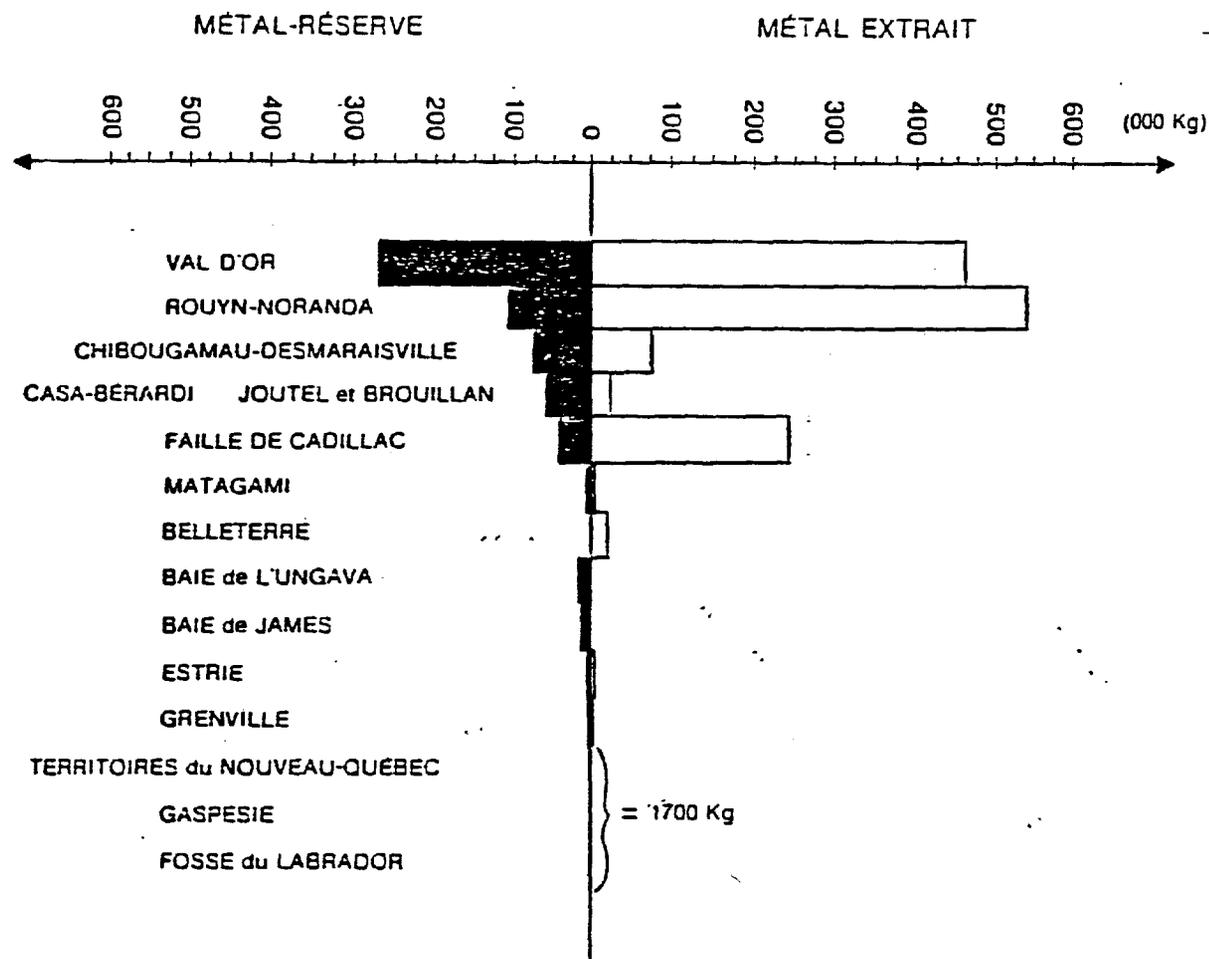


Figure 3.19 Métal réserve et métal extrait (or) des diverses régions du Québec.

Le nombre indice étant une abstraction sans dimension, il ne nous informe que de la variation du rapport entre deux grandeurs sans que celles-ci soient chiffrées. Pour palier à cet inconvénient, nous étudierons ci-après les grandeurs mesurables du métal-réserve et du métal extrait, exprimé en tonnes.

Sans vouloir quantifier la longévité des diverses régions minières, la figure 3.19 renseigne sur leurs potentiels respectifs futurs et sur l'or extrait jusqu'à 1985. Compte tenu des dates de la mise en exploitation des diverses régions et de l'ordre de grandeur de la production aurifère, on constate que parmi les secteurs miniers majeurs, celui de Val d'Or paraît dans la meilleure position en raison du volume de ses réserves et du rapport volume de réserves/métal extrait ¹⁾ Parmi les régions neuves, le secteur de Casa-Bérardi - Joutel - Brouillan paraît, pour le moment, le plus prometteur. Quant aux secteurs en voie de développement, leur bilan actuel ne reflète que les réserves futures.

Outre les réserves, d'autres facteurs doivent également être pris en considération, notamment le nombre et la taille des mines actives dans les régions considérées. On conçoit facilement que le risque d'épuisement à l'échelle régionale est inversement proportionnel au nombre des mines de moyenne à grande taille dont le coussin de réserves est étalé sur une longue période. Aussi, un secteur minier comprenant de nombreuses mines actives supporte-t-il plus facilement la fluctuation de la production lorsqu'une ou quelques mines cessent l'exploitation. La solidité du tissu économique en dépend en premier lieu.

¹⁾ Rappelons, de nouveau, que le découpage des régions minières utilisé dans ce chapitre est basé sur des critères géologiques et non administratifs.

entité géologique tonnes	Val d'Or	Cadillac	Rouyn- Noranda	Chibougamau	totaux nombre
10 - 15	4	—	2	—	6
15 - 20	1	1	2	—	4
20 - 25	—	—	—	1	1
25 - 30	1	—	—	—	1
30 - 35	—	1	1	—	2
35 - 40	1	1	—	—	2
40 - 45	—	—	—	—	—
45 - 50	1	—	—	—	1
50 - 55	—	1	—	—	1
55 - 60	—	—	—	—	—
60 - 65	—	—	1	—	1
90 - 100	—	1	—	—	1
100 - 150	2	—	—	—	2
300 - 350	—	—	1	—	1
Totaux	10	5	7	1	
%	43	22	31	4	100

nombre des mines avec production > 10t Au

Tableau 3.5 Nombre et pourcentage des mines dont la production d'or a dépassé 10 tonnes.

À cet égard les chiffres de longévité des mines où l'or est le produit principal, sont révélateurs. Légaré (1987) a trouvé que la vie moyenne de ces mines est d'environ 10 ans. Seules les très grandes mines à Val d'Or, comme Sigma avec 105 tonnes d'or produites et Lamaque avec 140 tonnes d'or, ont dépassé les 50 années d'existence. On doit y ajouter le géant de la région de Noranda, la mine Horne, où l'or est le sous-produit principal (5,83 g/t) où la production de 1927 à 1976 a presque atteint 343 tonnes d'or, près de 2/3 de la production de la région de Noranda. La vie des mines de moyenne à grande taille, comme on peut s'y attendre, est le multiple de celle des petites mines ou même le décuple de ces dernières.

Si on passe en revue les exploitations dont la taille dépasse 10 tonnes-métal, on constate que leur répartition par entités géologiques compréhensives (figure 3.16) n'est pas quelconque. Il ressort du tableau 3.5, que cette catégorie de mines - de taille moyenne à taille très grande - est confinée presque entièrement à la seule bande méridionale de l'Abitibi (Rouyn-Noranda - Val d'Or).

De nouveau, la primauté, même à l'intérieur de cette bande, revient à la région de Val d'Or (43%) dont le métal total, comme nous l'avons vu (figure 3.19) dépasse de près celui de Rouyn-Noranda et de loin les autres entités géologiques à potentiel minier plus faible.

Rappel géologique

Le lecteur est prié de se référer au chapitre 2, où le contexte géologique de l'Abitibi québécois est résumé. Ici nous nous bornons à lui ajouter une remarque métallogénique préliminaire, à savoir que la polarisation prononcée de la minéralisation aurifère - comme celle des autres métaux usuels à l'Abitibi - ne peut point être considérée comme un phénomène aléatoire. Les causes de cette polarisation seront ainsi définies au chapitre des métallotectes (chapitre 5).

3.5.3 Secteur de Val-d'Or

Nous avons fixé l'objectif du programme de recherche comme suit (Imreh et Trudel, 1987): étudier le caractère, l'anatomie, le mode de mise en place, la typologie et les facteurs de contrôle (métaillotectes) des gisements aurifères dans leur cadre géologique et dans leur évolution. Pour réaliser cet objectif, nous avons choisi comme région-pilote le secteur de Val d'Or, particulièrement représentatif et d'une superficie considérable (carte polychrome hors texte). Le modèle ainsi obtenu sera ensuite susceptible d'être transposé à d'autres régions semblables moins connues.

Les conditions nécessaires et suffisantes à la réalisation d'une telle étude sont réunies dans le secteur de Val d'Or. Ce sont:

- une entité géologique à évolution complexe et diversifiée;
- des travaux de synthèse régionale récents (Dimroth et al. 1982, 1983a et b, Imreh, 1984) qui sont garants du cadre géologique et géotectonique général;
- le nombre élevé des mines et des gisements mis en valeur (42 gîtes ou groupements de gîtes dont l'or est le produit principal).

Parmi ceux-ci, nous en avons sélectionné 24 pour étude approfondie, cela a permis ensuite d'élaborer la typologie des gisements et de définir les métaillotectes (facteurs de contrôle) responsables de la présence de la minéralisation aurifère.

Rappelons que la sélection des gisements étudiés a été opérée en fonction de nombreux critères, tels que la taille, le contexte géologique, l'accessibilité, la richesse de la documentation, etc.

Le cadre géologique du secteur a été défini au chapitre 2; aussi dans ce chapitre, en mentionnons-nous l'essentiel, indispensable à la compréhension du contexte des enrichissements d'or. Pour plus de détails, le lecteur est prié de se référer au chapitre mentionné.

GISEMENTS D'OR		TONNES D'OR	TONNES D'OR TOTAL PAR GROUPES	% DU TOTAL
TYPE	NOMBRE			
A	6	84,267	93,602	18,45
A'	2	9,335		
B	16	367,094	403,934	79,64
B'	17	36,840		
C	1	9,678	9,678	1,91
TOTAUX	42	507,214	507,214	100,00

N.B. A,B,C gisements étudiés
A',B',C' gisements non étudiés

Tableau 3.6 Potentiel du secteur de Val d'Or exprimé en métal total en fonction des principaux groupes typologiques.

Données de production et potentiel aurifère dans leur cadre géologique

Le potentiel des 42 mines et gisements mis en valeur dans le secteur de Val d'Or est de 507,214 tonnes d'or. La quasi-totalité de ces gisements est filonienne; leur typologie sera donnée au chapitre suivant. Soulignons dès maintenant que les 24 gisements retenus pour étude détaillée comprennent 91% du potentiel aurifère du secteur. Rappelons que les 507,214 tonnes d'or (métal total) du secteur de Val d'Or correspondent à 26% du potentiel aurifère total québécois.

Il reste encore à préciser, pour éviter toute confusion, que l'entité de Val d'Or-sud (figure 3.16) englobe la totalité du secteur étudié en le dépassant considérablement vers l'ouest. La différence entre les chiffres avancés à la figure 3.17 et ceux présentés ci-après tient à ce fait.

Les chiffres et données ayant trait à l'activité minière sont consignés au tableau 3.6 où les chiffres tirés de Lavergne (1985) sont regroupés, complétés selon les critères typologiques et économiques propres à notre étude.

Nous étudierons d'abord, en nous basant sur l'annexe I, les paramètres quantitatifs des groupes typologiques, ensuite ceux des entités lithostratigraphiques, énumérées au chapitre 2; par contre, notre classification ne sera traitée et exposée qu'au chapitre 4. De ce fait, nous devons ici anticiper le chapitre suivant, en énumérant les principaux types de gisements d'or, comme suit:

- A. Gisements directement associés aux plutonites
- B. Gisements en terrain volcanique
- C. Gisements en terrain sédimentaire.

Le rapport entre les mines et gisements étudiés et non étudiés est garant du degré de représentativité statistique de notre raisonnement. Ce degré est, selon le tableau 3.6 plus que satisfaisant puisque, 91% du potentiel métallique est imputable aux mines et gisements étudiés. De même, la fiabilité des raisonnements basés sur les valeurs de l'activité minière se trouve assurée (voir aussi chapitres 4 et 5).

Le nombre de mines et gîtes mis en valeur varie grandement en fonction de l'environnement géologique. Le type péri- et intraplutonique (type A), avec 8 gisements, représente à peine 20% du total, tandis que le type de gisements en terrain volcanique (type B), avec 33 mines et gîtes mis en valeur, correspond à près de 80% du total du secteur étudié (tableau 3.6). Dans les terrains sédimentaires il n'y a que deux gisements contigus, la mine Chimo et le gîte Norbeau.

La quantification de l'importance absolue (métal total) et relative (pourcentage) des divers groupes de gisements a un intérêt particulier lorsqu'on ambitionne de définir le ou les types de terrain les plus favorables à la minéralisation aurifère. Déjà la répartition du nombre de gisements indique que le terrain le plus favorable est celui des volcanites (tableau 3.6). Les chiffres du même tableau confirment quantitativement la véracité de cette constatation. En fait, les gisements en terrain volcanique (type B) totalisent plus de 400 tonnes d'or, ce qui correspond à près de 80% du potentiel total du secteur de Val d'Or.

Cette polarisation de la répartition qualitative et quantitative en faveur des gisements d'or situés en des terrains volcaniques nous amène à examiner ces derniers plus en détail.

Comme il ressortira du chapitre typologique, trois sous-groupes se discernent à l'intérieur des gisements du groupe B (en terrains volcaniques):

- le sous-groupe des gisements associés à des intrusions mineures dont la composition diffère de celle des roches volcaniques encaissantes (B.1);

SOUS- GROUPES	TONNES D'OR TOTAL	%
B.1.	14,555	3,96
B.2.	299,702	81,64
B.3.	52,837	14,40
Groupe B	367,094	100,00

Tableau 3.7 Tonnes d'or total des sous-groupes B.1, B.2 et B.3 (gisements étudiés).

- le sous-groupe des gisements associés à des intrusions mineures dont la composition est semblable, sinon identique aux roches volcaniques encaissantes (B.2);

- et, finalement, le sous-groupe des gisements sans association évidente avec les corps intrusifs (B.3).

La répartition du potentiel aurifère, exprimée toujours en métal total, entre les trois sous-groupes énumérés, démontre une polarisation notable dont la nature rappelle, à plusieurs égards, celle constatée au niveau des groupes typologiques principaux (tableau 3.7). Il ressort, en particulier, que le sous-groupe B.2, où les gisements sont associés à des intrusions consanguines, sont de loin les plus importants avec 81,04% de ce sous-groupe. Ce pourcentage, recalculé pour l'ensemble des groupes typologiques majeurs, correspond à 59% de tous les gisements d'or du secteur.

La relation étroite entre teneur & tonnage (métal total) et les intrusions mineures consanguines est alors un indicateur géologique et géodynamique particulièrement important, et dont la signification mag-magénétique ne peut être ignorée. Cet aspect de la question sera évoqué plus en détail dans les chapitres suivants, à propos de la spécialisation et de la polarisation survenues à plusieurs niveaux spatio-temporels. Au sein de ce chapitre - de vocation surtout géo-économique - l'exercice demeure au palier des constatations et des relations d'impact économique direct.

La répartition lithostratigraphique du potentiel aurifère, comme on peut s'y attendre, reflète les mêmes proportions que la répartition typologique: les formations lithostratigraphiques composées essentiellement de volcanites sont de loin les plus importantes du point de vue économique (figure 3.20).

La Formation de Dubuisson comprend à la fois des gisements des sous-groupes B.1 et B.2. La Formation de Jacola renferme exclusivement

TONNES D'OR

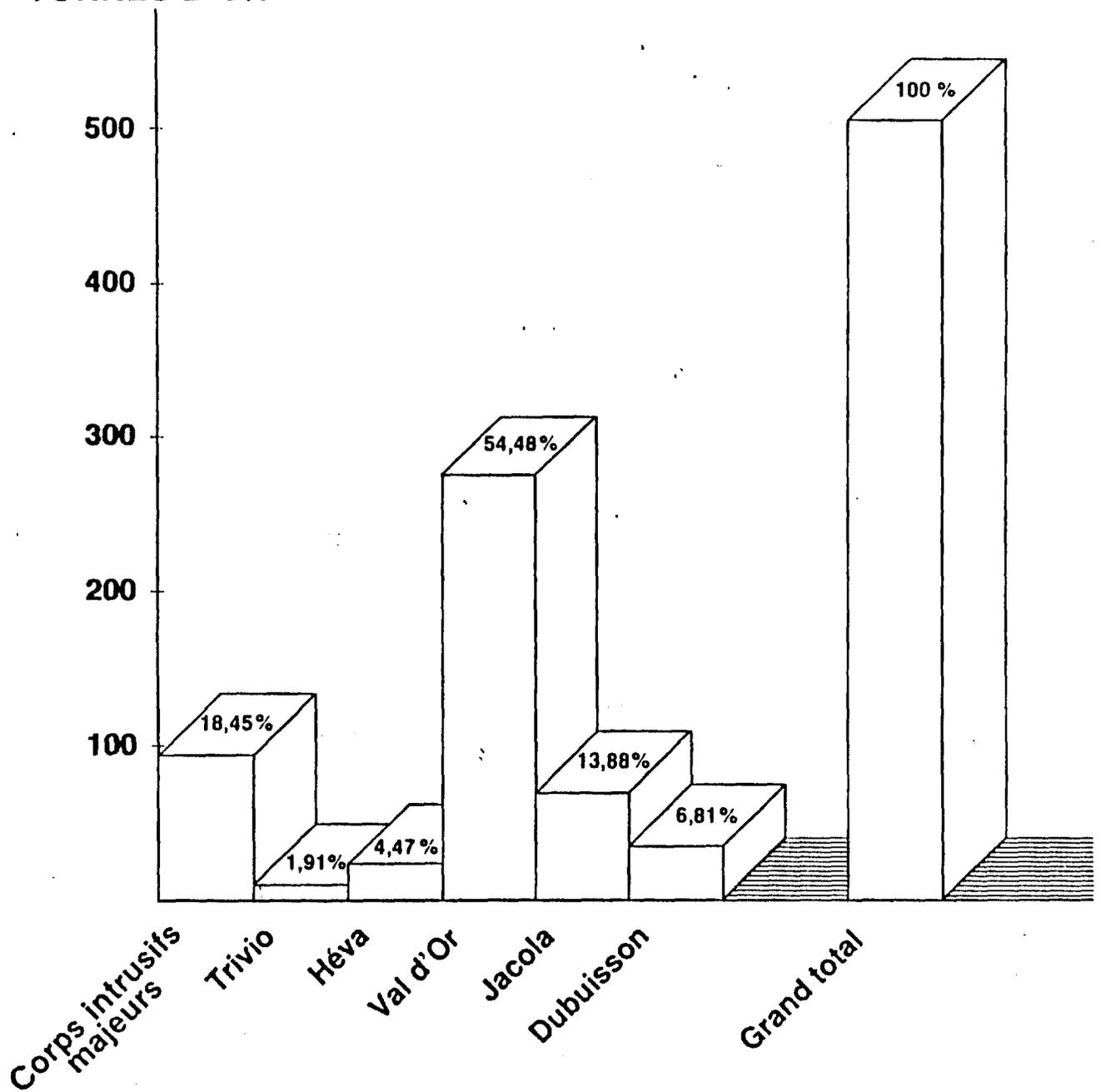


Figure 3.20 Répartition du potentiel aurifère (exprimé en métal total) en fonction des unités lithostratigraphiques et des intrusions majeures.

les gisements sans relation évidente avec des intrusions majeures ou mineures (B.3). Ces gisements accusent, à l'échelle régionale, une disposition concordante par rapport à un niveau stratigraphique défini sur plusieurs dizaines de kilomètres de longueur.

La Formation de Val d'Or est surtout caractérisée par la présence des deux géants, les mines Sigma et Lamaque, totalisant 260 tonnes d'or (métal total), donc près de 95% des gisements de cette formation. La Formation d'Héva, avec une participation de 4,5% au total du secteur étudié, comprend une gamme très variée de gisements des sous-groupes B.2 et B.3. Le seul gisement non filonien du secteur, celui de l'ancienne exploitation d'Akasaba, se trouve également dans cette formation, plus précisément près du sommet de celle-ci.

L'interprétation de la distribution lithostratigraphique des gisements ne peut se faire sans intervention des paramètres paléogéographiques, volcanologiques et géodynamiques. En se référant au chapitre 2, et en particulier à la correspondance entre les unités lithostratigraphiques et paléovolcaniques de la région, les conclusions suivantes s'imposent.

Les formations correspondent, respectivement, à la matérialisation de l'activité volcanique sous-marine type plaine et à la transition des plaines vers le type arc insulaire (Dubuisson et Jacola), totalisant un peu plus de 20% du potentiel aurifère du secteur. Ces types de volcanisme précoce, surtout tholéïitique, sont le siège de nombreux gisements de taille faible à moyenne, associés à des positions lithostratigraphiques bien définies à l'échelle régionale (Imreh, 1984).

Le paroxysme de l'évolution du volcanisme dans le secteur étudié correspond aux appareils centraux d'arcs insulaires moyennement évolués, où les produits calco-alcalins effusifs et explosifs dominent (Formation de Val d'Or). Les conditions favorables à la formation de ces petits corps intrusifs consanguins avec le volcanisme présent, y

paraissent réunies. La concentration du potentiel minéral dans et autour de ces corps coïncide aussi avec la proximité des centres d'appareils volcaniques (Imreh, *ibid.* et figure 2.4).

La Formation d'Héva correspond à la section moins évoluée du volcanisme type arc insulaire avec la recrudescence d'effusions à dominance tholéiitique, souvent avec un Fenner-trend bien exprimé. Ce type de volcanisme type arc insulaire ne totalise que 4,5% du potentiel aurifère du secteur étudié. Le volcanisme engendre beaucoup de petits gisements de nature et d'affiliation différentes.

Les intrusifs de taille et de géométrie variées sont syn- ou tardi-volcaniques et dénotent, dans la majorité des cas, une affinité prononcée avec le volcanisme le plus évolué, comme le cas du batholite de Bourlamaque en témoigne. Il est alors difficile d'imputer l'enrichissement en or à la seule présence des intrusifs, en faisant abstraction de leurs encaissants régionaux volcaniques.

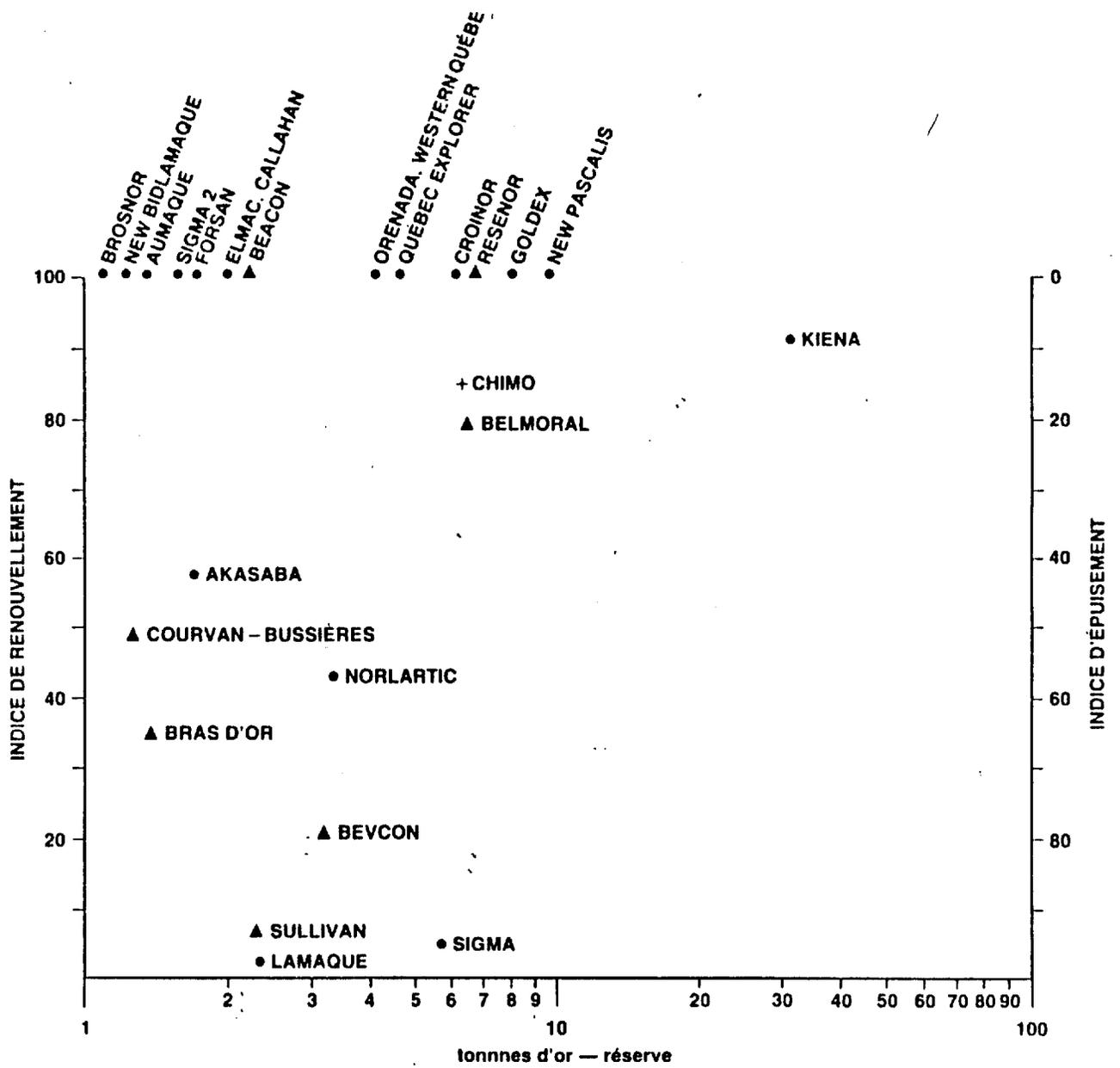
En dernière analyse, on peut alors émettre l'hypothèse de travail suivante:

- le milieu volcanique est particulièrement favorable à la présence de gisements aurifères, sans égard à la nature du volcanisme;

- à l'intérieur de l'ensemble du milieu volcanique, c'est le volcanisme le plus évolué qui réunit le plus les conditions favorables à la formation de grands gisements.

Réserves, taux d'épuisement et de renouvellement

Au sous-chapitre précédent, la notion des taux d'épuisement et de renouvellement ainsi que son application, ont été définis à propos des diverses régions minières du Québec. Le même raisonnement sera maintenant appliqué avec plus de détails au secteur étudié.



- ▲ Intra-, et périplutonique
- milieu volcanique
- + milieu sédimentaire

n.b. les mines complètement épuisées et les gisements < 1t. métal d'or ne sont pas représentés.

Figure 3.21 Répartition des gisements en fonction du rapport indice de renouvellement et d'épuisement/tonnes d'or réserve > 1 tonne.

En examinant les chiffres de l'annexe I, on constate que le taux de renouvellement [$IR = (TMR/TMR + TMA)100$] du secteur étudié de Val d'Or est de 26,2, donc inférieur au même taux de l'entité géologique de Val d'Or (figure 3.18). Cette différence s'explique par le fait que les jeunes mines en pleine expansion disposent de réserves considérables; la mine Doyon (près de 42 tonnes d'or - réserve) et la mine de Thompson Bousquet (plus de 26 tonnes d'or - réserve), quoique situées à l'intérieur de l'entité de Val d'Or, se trouvent à l'extérieur du secteur étudié.

Toutefois le taux de renouvellement assez faible (26,2) du secteur de Val d'Or se situe dans un contexte de métal-total enviable avec 130 tonnes d'or-réserve (annexe I), ce qui est supérieur à des entités géologiques autres que l'entité de Val d'Or (voir figure 3.19).

Le taux ou indice de renouvellement étant un nombre sans dimension, seule la combinaison avec les unités mesurables telles le tonnage en métal-total, peut fournir une image plus complète de la situation. Dans ce dessein, nous avons étudié la répartition des gisements en fonction des paramètres indice de renouvellement/métal d'or réserve (figure 3.21). Dans cette représentation, les gisements dont la réserve d'or est inférieure à 1 tonne, ainsi que les mines entièrement épuisées, n'ont pas été pris en considération. En utilisant une classification à double entrée - indices et tonnes d'or réserve - on constate qu'il y a plusieurs populations distinctes, à savoir:

- les anciens producteurs majeurs en voie d'épuisement total avec un taux de renouvellement inférieur à 10 et avec une réserve - métal d'or inférieure à 10 tonnes;

- les mines d'or anciennes et actuelles, avec un taux de renouvellement de 20 à 60 et avec une réserve - métal d'or inférieure à 4 tonnes;

- les mines en "bonne santé", avec un taux de renouvellement supérieur à 70 et avec une réserve - métal d'or entre 6 et 7 tonnes.

- les gisements mis en valeur sans exploitation (indice de renouvellement 100) séparés en deux populations: la première est caractérisée par une mine d'or inférieure à 2,5 tonnes métal et la seconde par une réserve d'or supérieure à 4 et inférieure à 10 tonnes de réserve d'or;

- finalement une seule mine se détache du peloton avec un indice de renouvellement de 86 et une réserve d'or dépassant les 30 tonnes: la mine Kiena.

En revenant sur les trois premières catégories, il reste à préciser que les mine Chimo et Belmoral (Ferderber), en dépit de leur taille inférieure à 1Mt de tout-venant, à cause de leur teneur assez élevée (respectivement 7,89 g/t et 7,23 g/t), ont une réserve confortable d'environ 6,5 tonnes d'or.

Comme on doit s'y attendre, les deux géants du secteur, Sigma et Lamaque sont, sauf redressement du bilan, près de la fin de leur carrière. Parmi les nombreux gisements mis en valeur, rares sont ceux dont la taille dépasse 1 Mt de tout-venant et où la teneur est supérieure à 5,5 g/t Au: les deux seuls gisements possédant ces deux caractéristiques, sont Resenor et Goldex. Western Québec et Quebec Explorer, quoique dépassant le 1 Mt de tout-venant, n'accusent respectivement que 3,4 g/t et 4,6 g/t Au.

Parmi les gîtes mis en valeur sans exploitation actuelle, la population entre 4 et 10 tonnes d'or réserve est la plus intéressante et mérite pour le moment le plus d'attention. Néanmoins, d'autres considérations non quantifiables doivent également être incluses. Ainsi la zone de Norlartic-Marban-Kiena-Shawkey paraît potentielle; de plus, beaucoup plus à l'est, le gisement de Brosnan - en continuation du projet Monique - est dans le même niveau lithostratigraphique.

La figure 3.22 permet de visualiser le bilan réserve d'or/or exploité. Il en ressort particulièrement bien la primauté du type B (gisements en terrain volcanique). L'image est particulièrement saisissante lorsqu'on considère le rapport du métal total (réserve d'or + or exploité) des quatre mines majeures - Kiena, Sigma, Lamaque et Siscoe - avec le reste des mines et gisements mis en valeur du type B. À elles-seules, elles s'accaparent de plus de 70% de l'or-métal total de ce groupe typologique dans le secteur de Val d'Or. On doit ici ajouter cette réflexion: dans le groupe typologique A, seule la mine Sullivan dépasse les 37 tonnes d'or. L'importance économique des gisements en milieu volcanique est alors confirmée à tous les niveaux d'approche.

RÉFÉRENCES

- ANHAEUSSER, C.R. - MASON, R. - VILJOEN, M.J., 1969 - A reappraisal of some aspects of Precambrian Shield geology. Bulletin of the Geological Society of America; volume 80, no 11, pages 2175-2200.
- _____ 1973 - The evolution of the early Precambrian crust of Southern Africa. Phil. Trans. R. Soc. London, A 273, pages 354-388.
- _____ 1976a - The nature and distribution of Archean gold mineralisation in Southern Africa, Mineral Sci. Eng.,: Volume 8, pages 46-84.
- _____ 1976b - Archean Metallogeny in Southern Africa; Economic geology: Volume 71, pages 16-43.
- AVRAMTCHEV, L. - LEBEL-DROLET, S., 1979 - Production minérale du Québec au 1^{er} janvier 1979. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DPV-727; 31 pages.
- anonyme, 1987 - Portrait statistique de l'industrie minérale québécoise, 1900-1985, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Secteur Mines, Service de la Statistique, 121 pages.
- anonyme, 1987 - Statistique sur l'industrie minérale 1987, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Secteur Mines; Service de la Statistique, 37 pages.
- BACHE, J.J., 1982 - Les gisements d'or dans le monde, essai de typologie quantitative. Bureau de Recherches géologiques et minières, Orléans; mémoire n° 118, 101 pages.
- BALLARD, R.D. - Moore, J.G., 1977 - Photographic Atlas of the Mid-Atlantic Ridge Rift Valley, Springer Verlag, New-York, Heidelberg, Berlin, 114 pages.
- BARTHOLOMEW, D.S. - TARNEY, J., 1984 - Crustal extension in the Southern Andes (45°-46°S); in Marginal Basin Geology (édit. Kokelaar, B.P., Howells, M.F.); Blackwell Scientific Publications Oxford; pages 195-206.
- BAUD, L., 1942 - Sur la présence d'or libre dans les roches basiques du Cercle de Kaya (Haute-Côte d'Ivoire). Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris; tome 214, pages 282-382.
- BOIRAT, J.M. - STEPHAN, J.F., 1985 - Un gisement d'or subactuel dans un cadre géodynamique, les mines d'Acupan et d'Autamok (Cordillères centrales, île de Luzon, Philippines). Chronique de la recherche minière, n° 480, pages 5-16.
- BOIRAT, J.M., 1986 - "Ruée vers l'or" dans le Sud-Ouest Pacifique; Chronique de la recherche minière, n° 484, pages 60-62.

- BOULADON, J. - de GRACIANSKY, P.Ch., 1985 - Les minéralisations dites couvertures (plomb, zinc, cuivre, uranium, berytine, fluorine, ...) du Trias au Pliocène, en France. Chronique de la Recherche minière n° 480, pages 17-33.
- BOYLE, R.W., 1979 - The geochemistry of Gold and its Deposits, Geological Survey of Canada, Bulletin 280, 584 pages.
- BUISSON, G. - LEBLANC, M., 1985 - Gold in carbonatized ultramafic rocks from ophiolite complexes. Economic Geology; volume 80, pages 2028-2029.
- CAREY, S. - SIGURDSSON, H., 1984 - A model of volcanogenic sedimentation in marginal basins; in Kokelaar, B.P. and Howells, M.F.: Marginal Basins Geology, 322 pages, Geological Society, Special Publication n° 16, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pages 37-58.
- COLLEY, H. - HINDLE, W.H., 1984 - Volcano-tectonic evolution of Fidji and adjoining marginal basins; in Kokelaar, B.P. and Howells, M.F., Marginal Basins Geology, 322 pages, Geological Society, Special Publication n° 16, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pages 151-162.
- COLVINE, A.C., (éditeur) 1983 - The geology of Gold in Ontario. Ministry of Natural Resources, Ontario Geological Survey; miscellaneous paper 110, 278 pages.
- DERRY, D.R. - CURTIS, L. - MARMONT, S - FISHER, D. - KWELIEN, B., 1980 - World Atlas of Geology and Mineral Deposits, Mining Journal Books, London, 110 pages.
- DEWEY, J.F. - BURKE, K.C.A., 1973 - "Tibetan, Variscan, and Precambrian basement reactivation; products of continental collision", J. Geol., 81, pages 683-692.
- DEWEY, J.F. - PITMAN, W.C.III. - BONNIN, J., 1973 - Plate Tectonics and the Evolution of the Alpine System; Geological Society of America Bulletin, Volume 84, pages 3137 - 3180.
- DIMROTH, E. - IMREH, L. - GOULET, N. - ROCHELEAU, M., 1982 - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part I: stratigraphy and paleogeographic model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 19, no 9, pages 1729-1758.
- _____ 1983a - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Québec. Part II: tectonic evolution and geomechanical model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 20, no 9, pages 1355-1373.
- _____ 1983b - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Québec. Part III: plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 20, no 9, pages 1374-1388.

- FORNARI, M - BONNEMAISON, M., 1984 - Mantos et amas sulfo-arsénié à or: La Rinconada; premier indice de minéralisation de type exhalatif-sédimentaire dans La Cordillère orientale du Pérou - Chronique de la Recherche Minière, n° 474, pages 33-40.
- GEE, R.D. - GROVES, D.I. - FLETCHER, C.I., 1976 - Archean geology and mineral deposits of the Eastern Goldfields, 25° Congrès géologique international, Australie; livret-guide pour l'excursion 42A; 56 pages.
- GIROD, M. - BAILEY, D.K. - BAKER, P.E. - FISCHER, R.V. - MAURY, R. - ROCCI, N. - SCHMINKE, B. - UPTON, B.G., 1978 - Les roches volcaniques; pétrologie et cadre structural. Édition Doin (Paris); 239 pages.
- GLOVER, J.E. - GROVES, D.I., éd. 1981 - Archean Geology; 2^e International Symposium Perth, 1980, Geological Society of Australia. Special Publication n° 7, 515 pages.
- GOODWIN, A.M., 1976 - Giant Impacting and the Development of Continental Crust pages 77-111 in Windley éd., 1977. The Early History of the Earth.
- IMREH, L., 1976 - Nouvelle lithostratigraphie à l'ouest de Val d'Or et son incidence gîtologique. Ministère des Richesses naturelles, Québec; DPV-349, 73 pages.
- _____ 1980 - Variations morphologiques des coulées méta-ultramafiques du sillon archéen de La Motte-Vassan. - Précambrian Research, 12, pages 3-30.
- _____ 1984 - Sillon de La Motte-Vassan et son avant-pays méridional: synthèse volcanologique, lithostratigraphique et gîtologique. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MM82-04; 80 pages 2 cartes.
- IMREH, L. - DIMROTH, E., 1984 - Minéralisation argentifère des entités volcaniques archéennes de l'Abitibi québécois. 52^e Congrès de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences (ACFAS). Résumés des communications, page 311.
- IMREH, L. - TRUDEL, P., 1987 - Typologie des gisements d'or archéens de l'Abitibi Québécois (Canada) dans leur cadre géologique; Exploration au Québec, DV 87-25, pages 75-83.
- JEBRAK, M., 1986 - Les gisements d'or du Colorado. Un essai de présentation géodynamique, Chronique de la recherche minière n° 484, pages 37-52.
- KARIG, D.E., 1971 - Origin and Development of Marginal Basins in the Western Pacific; Journal of Geophysical Research, Vol. 76, n° 11, pages 2542-2559.

- KARIG, D.E. - SHARMAN, G.F., 1975 - Subduction and a Accretion in Trenches; Geological Society of America Bulletin, volume 86, pages 377-389.
- KOKELAAR, B.P. - HOWELLS, M.F., BEVINS, R.E., ROACH, R.A. and DUNKLEY, P.N., 1984 - The Ordovician marginal basin of Wales; in Kokelaar, B.P. and Howells, M.F.: Marginal Basins Geology, 322 pages, Geological Society, Special Publication n° 16, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pages 245-269.
- KOKELARR, B.P. - HOWELLS, M.F., BEVINS, R.F., and ROACH, R.A. 1984 - Volcanic and associated sedimentary and tectonic processus in the Ordovician marginal basin of Wales: a field guide; in Kokelaar, B.P. and Howells, M.F.: Marginal Basins Geology, 322 pages, Geological Society, Special Publication n°16, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pages 291-322.
- LALIBERTÉ, L., 1984 - L'industrie minérale de l'or au Québec en 1983; Etat de situation, Ministère de l'Energie et des Ressources, Service de l'Economie minérale, 2^e trimestre 1985, 115 pages.
- LAUGHLIN, W.H., 1984 - Réserves canadiennes au 1^{er} janvier 1983, or, argent, plomb, zinc, cuivre, nickel, molybdène; Bulletin minéral MR 201, Energie, Mines et Ressources Canada, 33 pages.
- LAVERGNE, C., 1985 - Gîtes minéraux à tonnage évalué et production minérale du Québec, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, DV 85-06, 77 pages.
- LÉGARÉ, O., - (Communication personnelle).
- LÉGARÉ, O., 1987 - Le marché mondial et l'industrie québécoise de l'or en 1986-1987, portrait, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Service de l'Economie minérale, 88 pages.
- LEITCH, E.L., 1984 - Marginal basins of the SW Pacific and the preservation and recognition of their ancient analogues: a review; in Marginal Basin Geology (édit. Kokelaar, B.P. and Howells, M.F.); Blackwell Scientific Publications, Oxford, pages 97-108.
- LEMIEUX, A. - LAUGHLIN, W.H., 1985 - Réserves minières janvier 1985 et gisements prometteurs actuels. Or, argent, plomb, zinc, cuivre, nickel, molybdène; Bulletin minéral MR 209, Energie, Mines et Ressources Canada, 35 pages.
- LE PICHON, X., 1972 - Cinématique de la tectonique des plaques; Structure et dynamique de la lithosphère, Paris, Hermann.
- LE PICHON, X. - FRANCHETEAU, J. - BONNIN, J., 1973 - Plate tectonics, Elsevier, édition 300 pages.
- LOFTY, G.J. - SHARP, N.E. - HILLIER, J.A. - SINGH, M.K. - LEHALL, M.K. - JONES, J.E. and DAVIS, M.M., 1983 - World Mineral Statistics 1977-81, Institut of Geological Sciences, London, 273 pages.

- LOFTY, G.J. - SHARP, N.E. - HILLIER, J.A. - LOWE, M.F. - LEHALL, M.K. - DAVIS, M.M. et THOMAS, D.G., 1985 - World Mineral Statistics 1979-1983, British Geological Survey, London, 275 pages.
- LOFTY, G.J. - SHARP, N.E. - HILLIER, J.A. - LOWE, M.F. et RATCLIFFE, P.J., 1986 - World Mineral Statistics 1980-1984, British Geological Survey, London, 322 pages.
- MATTAUER, M., 1973 - Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre, Hermann édition (Paris). Collection Méthodes, 493 pages.
- MILLING-STANLEY, 1987 - Gold 1987; Consolidated Gold Fields PCL, London, 63 pages.
- MINTER, W.E.L., 1979 - A review of gold mineralization in Southern Africa.
- MORGAN, P.J. - de CRISTOFORO, D.T., 1980 - Geological evolution of the Ishpeming greenstone belt, Michigan, U.S.A. Precambrian Research; volume II, pages 23-41.
- MORGAN, W.J., 1972 - Deep mantle convection plumes and plate motions; Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull. 5b, 2, pages 203-213.
- PEARCE, J.A. - LIPPARD, S.J. and ROBERTS, S., 1984 - Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites, in KOKELARS, B.P. and HOWELLS, M. (éditeur), 1984, Marginal Basin Geology (Volcanic and associates sedimentary and tectonic processus in modern and ancient marginal basins), pages 77-94.
- PRETORIUS, D.A., 1964 - The geology of the Central Rand goldfield; in The geology of some ore deposits in southern Africa, volume I, S.H. Houghton edition; Geol. Soc. S. Afr., Johannesburg, pages 63-111.
- _____ 1974 - Gold in the Proterozoic sediments of South Africa. Systems, paradigms, and models; Univ. Witwatersrand, Econ. Geol. Res. Unit, volume 87, pages 1-22.
- _____ 1975 - The depositional environment of the Witwatersrand goldfields: a chronological review of speculations and observations; Miner. Sci. Eng. volume 7, no 1, pages 18-47.
- PYKE, D.R., 1975 - On the relationship of gold mineralization and ultramafic volcanic rocks in the Timmins area. Ontario Division of Mines, miscellaneous paper 62, 23 pages.
- ROUTHIER, P., 1963 - Les gisements métallifères, géologie et principe de recherche; Masson et Cie, Paris. Tomes I et II, 1 282 pages.
- ROUTHIER, P., 1980 - Où sont les métaux pour l'avenir? Les provinces métallogéniques. Essai de métallogénie globale; Mémoire n° 105 du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 410 pages.

- RUSSEL, B., 1965 - L'analyse de la matière. Payot, Paris, 313 pages.
- SAGON, J.P., CHAKER, M., DEWULF, P., FLOCH, J.P., MALÉCHAUX, L., QUINTIN, M. et SANTALLIER, D., 1985 - L'or alluvionnaire du Massif armoricain et du Limousin (France), sources et processus de concentration: Chronique de la Recherche minière, n° 479, pages 35-50.
- SASAKI, A. - SHIHARA, S. and SEKI, Y. 1985 - Mineral Resources and Engineering Geology; John Wiley and Sons, Chichester, New-York, Toronto, 299 pages.
- SAUNDERS, A.D. and TARNEY, J., 1984 - Geochemical characteristic of basaltic volcanism within back-arc basins; in KOKELAAR, B.P., and HOWELLS, M. (éditeurs), 1984. Marginal Basin Geology (Volcanic and associates sedimentary and tectonic processus in modern and ancient marginal basins), 322 pages.
- SAURIOL, G., 1987 - Bulletin d'économie minérale, 2^e trimestre 1987, Ministère de l'Énergie et des Ressources, pages 28-39.
- SAWKINS, F.J., 1984 - Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. Springer-Verlag, Berlin, New-York, 325 pages.
- SCHNEIDERHÖHN, H., 1955 - Erzlagerstätten; Fischer-Verlag, Jena; 375 pages.
- SÉDILLOT, L., 1972 - Histoire de l'or, Ed. Fayard, 419 pages.
- STRONG, D.F., (éd.) 1976 - Metallogeny and Plate Tectonics, Geological Association of Canada, Special Paper n° 14; 660 pages.
- TARNEY, J. - DALZIEL, L.W.D. - DE WIT, M.J., 1976 - Marginal Basin Rocas Verdes" Complex from S. Chile: A Model for Archean Greenstone Belt Formation in Windley, B.F. éd. The Early History of the Earth; John Wiley and Sons, London, pages 131-146.
- THOMAS, P.R. and BOYLE, Jr. E.H., 1986 - Gold availability - World. A Mineral Availability Appraisal, U.S. Department of Interior, Bureau of Mines Information Circular/1986, 87 pages.
- TRAVIS, G.A. - WOODAL, R. - BARTRAM, G.D. 1971 - The Geology of the Kalgoorlie Goldfield; Geological Society of Australia: Spec. Publ. n° 3, éd. J.E. Glover; pages 175-190.
- TURNIT, T.P., 1984 - Mineral Deposits in Relation in the Global Tectonic Megacycles, in Wauschkuhn, A., Kluth, C., Zimmermann, R.A. Syngensis and Epigenesis in the Formation of Mineral Deposits (Springer Verlag, Berlin, New-York; pages 62-91.
- VILJOEN, M.J. and VILJOEN, R.P., 1967 - A reassessment of the Onverwacht Series in the Komati river valley, Econ. Geol. Res. Unit Witwatersrand Univ. Johannesburg, Inc. Circ., 36, 1-35.

- VILJOEN, R.P. - SAAGER, R. - VILJOEN, M.J., 1970 - Some thoughts out the origin and Processes Responsible for the concentration of gold in the Early Precambrian of Southern Africa; Mineral deposits volume 5, pages 164-180.
- VINE, F.J. - Hess, H.H., 1970 - Sea-floor spreading in The sea, volume 4, édit. Maxwell, Bullard, Goldberg, Worzel; Willey-Interscience, New-York.
- WATSON, J., 1976 - Mineralization in Archean Provinces pages 443-453 in Windley, B.F. (editor). The Early History of the Earth, 619 pages, éd. Wiley and Sons Ltd, London, New-York.
- WHITE, A.J.R. - JAKAS, P. and CHRISTIE, D.N., 1970 - Composition of greenstones and the hypothesis of sea-floor spreading in the Archean; Geological Society of Australia, Special Publication n° 3, sous l'édition de J.E. Glover, 469 pages; pages 47-56.
- WINDLEY, B.F., éd. 1976 - The Early History of the Earth; John Wiley and Sons, London, 619 pages.
- WINDLEY, B.F., 1977 - The Evolving Continents; John Wiley and Sons; Chichester, New-York, Toronto, 399 pages (2nd édit. refondue).
- WINDLEY, B.F., 1984 - The Evolving Continents; John Wiley and Sons; Chichester, New-York, Toronto, 399 pages (2nd édit. refondue).
- WOODALL, R., 1979 - Gold - Australia and the World, pages 1-38 in Glover, J.E., Groves, D.I., 1981 (première éd. 1979). Gold Mineralization; University of Western Australia, 106 pages.
- WOODALL, R., 1986 - Gold Exploration: Impact of changing geoscience concepts and technologicis; texte de la conférence présentée au Centre for Ressources Studies Policy Workshop, Queen's University, Kingston, Ontario le 7 octobre 1986 (11 pages, 9 figures, inédit).
- WRIGHT, J.B., (éd.) 1977 - Mineral Deposits, Continental Drift and Plate Tectonics - Benchmark Papers in Geology 144, éd. Dowden, Hutchieson and Ross, Inc., 417 pages.

4. TYPLOGIE DES GISEMENTS AURIFÈRES

"Il y a toutes les raisons d'ordre empirique pour penser que les lois d'une science deviennent plus importantes et compréhensives à mesure que les relations qu'elles impliquent deviennent plus simples" (Russell, 1965, p. 99).

4.1 Réflexions générales

Au cours du chapitre précédent, nous avons démontré que la distribution, la présence ou l'absence des accumulations métalliques obéissent à des lois simples et universelles à travers les âges géologiques dans le monde entier. Aspirer à élaborer un système typologique dont la base est constituée par les relations les plus simples, est alors légitime. Rappelons que l'objectif de la typologie est l'analyse, l'interprétation et la classification hiérarchisées. On doit reconnaître que, théoriquement, le même groupe d'objets - abstrait ou concret - peut être classifié en fonction de paramètres fort différents. Il en résulte que le choix des paramètres est une des étapes les plus décisives dans l'élaboration d'une typologie.

Nous avons choisi alors comme paramètre principal le groupement naturel des gîtes aurifères dans leur cadre géologique. L'avantage majeur de ce choix réside dans le fait qu'il s'agit d'un paramètre observé, objectif et indépendant de toute inférence et même de la perception. Toute argumentation à priori est, par conséquent, exclue et les nombreux paramètres hiérarchiquement moins élevés y trouvent un encadrement solide, même lorsqu'ils sont inférés.

Quant à la démarche mentale, nous avons procédé tout au long de cet ouvrage par la méthode inductive. Ce procédé a pris une importance particulière dans l'élaboration du système typologique. Aussi nous paraît-il opportun de rappeler la différence fondamentale entre déduction et induction et les avantages particuliers de cette dernière. En effet, ainsi que l'a montré Russell (1972), la déduction procède du

TYPOLOGIE PROPOSÉE

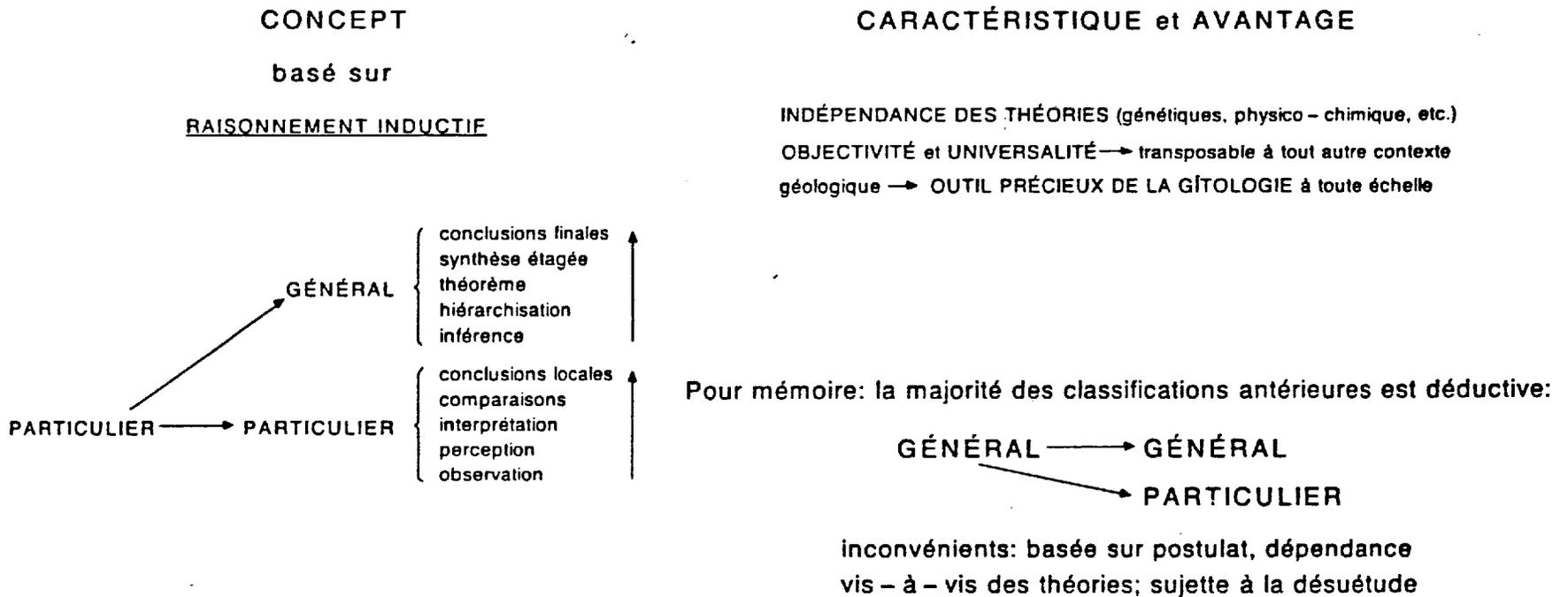


Figure 4.1 Schéma des opérations mentales de base, caractéristiques et avantages.

général au général ou du général au particulier, alors que la méthode inductive procède du particulier au particulier ou du particulier au général (figure 4.1). Le même auteur a également démontré que les principes généraux des sciences et surtout des sciences basées sur l'observation sont soumis totalement au principe de l'induction.

Les nombreux avantages qui en résultent du point de vue de la typologie sont énumérés à la figure 4.1; ils vont ressortir, plus en détail, au fur et à mesure au sein de ce chapitre. Mentionnons, néanmoins, que l'avantage principal réside dans l'exclusion de tout postulat, de toute transposition des données expérimentales érigées en lois universelles, ce dont l'effet paralysant a été souligné à plusieurs reprises par Routhier (1963, 1979).

Il reste à souligner que l'idée directrice est d'accorder la primauté absolue aux faits observés et descriptifs dans leur cadre spatial. Citons à ce propos la prise de position de Raguin (1970, p. 3): "Les données physicochimiques et thermodynamiques ne seront que sommairement prises en considération (...). D'une façon générale, les données de ce genre ne prennent leur valeur pour l'explication des faits géologiques que dans la mesure où elles peuvent être accordées étroitement aux observations de la nature". Cette prise de position peut être étendue également à des travaux structuraux sur-spécialisés où la nature pétrologique et l'évolution spatio-temporelle précinématique des entités géo-, gîtologiques ne sont que rarement prises en considération.

4.2 Anciennes classifications des gisements métallifères

La plupart des ouvrages (manuels, précis, etc.) consacrés à l'historique de la métallogénie et à la gîtologie comprennent un chapitre, souvent exhaustif, consacré à ce sujet¹. Aussi contentons-nous

¹) Voir Lindgren, 1933; Routhier, 1963; Bateman, 1950; Park, 1975.

ici d'en définir les principaux courants et leur implication dans l'évolution de la science des gisements métallifères.

Deux grandes écoles de classification ou de mode de pensée se distinguent: l'école génétique, avec plusieurs sous-types, et l'école "contextuelle" accordant la primauté au cadre géologique des gîtes et aux phénomènes qui les génèrent.

L'école génétique a dominé la métallogénie du début du siècle jusqu'aux décennies 1960 à 1970. On peut y distinguer les tendances suivantes qui se superposent fréquemment. Nous en énumérons les principales:

- Classification génétique sans implication majeure des paramètres thermodynamiques. Cette classification caractérise le début du siècle (Back, 1904, Bergeat-Stelzner, 1904, Irving, 1908²).

- Classification génétique dont la dominante est l'ordonnement thermodynamique (épi-, méso-, hypo-, téléthermaux) avec ou sans limite thermique définie avec précision. À cette classification, faisant école, est rattaché principalement le nom de Lindgren, qui à partir de 1911 élabore un système P-T très détaillé (1933) allant de 0° à 1 500°C et insérant en douze catégories thermodynamiques les gisements. Cette école que l'on peut définir également comme "magmatiste", est représentée, toutefois avec moins de précision chiffrée, par Emmons (1940), Raguin (1961), Park, 1975), pour ne mentionner que ceux-ci.

- Classification paragénétique et environnementale, toutefois avec connotation physico-chimique et thermodynamique. Cette approche est particulièrement bien représentée par Schneiderhöhn (1955). Cet auteur met l'accent sur l'affinité géochimique des divers éléments

²) Tableau synoptique in Bateman, 1950, page 356.

métalliques, en distribuant les paragenèses naturelles entre les milieux où ils se trouvent concentrés. Les éléments physico-chimiques et thermodynamiques, quoique présents, ne constituent pas l'essentiel de cette classification. L'ouvrage de Bateman (1950) est du même style. L'utilisation de facteurs de contrôle variés, d'ordre divers, fait le lien entre les deux écoles mentionnées. Une revue sommaire permet d'identifier les points faibles des diverses classifications génétiques.

- Elles sont basées sur des paramètres jamais observés directement dans la nature, mais définis expérimentalement en laboratoire;

- les systèmes utilisés sont le plus souvent binaires, ce qui simplifie à outrance la réalité;

- les conditions de l'enrichissement métallique, dans leur majorité polyphasées (Routhier, 1963), ne sont pas prises en considération dans cette sorte de classification;

- l'aspect spatio-temporel, écologique, morphologique, ainsi que le cadre géologique des gisements ne sont pas élaborés suffisamment.

Il ressort de ce qui vient d'être esquissé, que la classification génétique est préétablie par rapport aux observations, aux phénomènes, ou objets géo-, gîtologiques qui sont insérés dans ce cadre rigide. De plus, l'interprétation et, de ce fait, la classification génétique peuvent se baser sur des critères fort différents: chacun des chercheurs peut ainsi privilégier le phénomène qu'il connaît le mieux et qu'il estime le plus indispensable "car sa spécialisation entraîne constamment à des jugements de valeur qu'ignore la nature qui se contente d'être" (Laborit, 1968, p. 38).

Ce talon d'achille a déjà frappé Raguin en 1961:

"Puisque les gisements minéraux résultent de l'établissement d'équilibres, il est possible d'aboutir à un même équilibre par des voies

différentes. Des gisements analogues; quant à leurs paragenèses, peuvent être le résultat d'évolutions différentes. Il peut y avoir convergence. L'imperfection des cadres de la classification schématique précédente ressort de ce que des gisements de même constitution, c'est-à-dire de paragenèse voisine, peuvent appartenir en réalité à des groupes différents de la classification" (p. 101). D'ailleurs, Raguin (ibid,) s'est bien rendu compte du courant de pensées contextuelles. "Il n'est pas rare de noter un désaccord complet entre les interprétations d'un même gisement par plusieurs spécialistes qualifiés et c'est ce qui fait désirer à certains géologues de mines l'établissement de classifications descriptives plutôt que génétiques. Nous ne saurions nous contenter d'un objectif aussi modeste, tout en reconnaissant l'intérêt de descriptions aussi soignées et précises que possible" (p. 3)¹.

Du point de vue de la logique philosophique, il importe de souligner que toutes les classifications génétiques se basent sur l'opération mentale de la déduction opérant du général au particulier: dans notre cas des postulats physico-chimiques déterminent la description et la classification de chaque gisement métallifère. En d'autres termes, les étapes d'observation et de perception sont tronquées et les traits inférés ont la primauté absolue, ce qui limite considérablement la portée générale et la pérennité des interprétations.

L'école que nous définissons comme "contextuelle", est associée au nom de Routhier (1963, 1969, 1980). Cet auteur traite les gisements dans leur relation avec les phénomènes concentrateurs en définissant leur cadre géologique. Ainsi, la nature polyphasée d'un très grand nombre de gisements, met en relief leur évolution spatio-temporelle. La comparaison détaillée et l'analogie des gisements prennent la place qu'elles méritent dans le processus de classification. Les tableaux

¹) Souligné par nous.

synoptiques et fiches de types pour les divers métaux complètent l'assise de cette classification contextuelle adoptée également par Eckstrand (1986) à propos des gîtes métallifères canadiens.

Quant au bien-fondé de l'utilisation des études paragenétiques excessives et à la place des investigations géologiques, Routhier (1963, page 32) formule les remarques suivantes:

"Aussi est-il absolument vain de vouloir reconstituer la "genèse" d'un gîte uniquement d'après sa paragenèse et sa succession. Nous devons insister sur ce point, car certains spécialistes - d'ailleurs en général non praticiens, non géologues miniers, croient avoir quasiment épuisé l'étude d'un gîte lorsqu'ils en ont établi la paragenèse et reconnu les minéraux, jusqu'aux plus rares.

À la vérité, un gîte n'est "compris" que lorsqu'il a été minutieusement cartographié, raccordé à la surface et inséré dans l'histoire géologique du "district" auquel il appartient, et même d'une région plus vaste. Donc une Géologie très bien faite reste toujours l'essentiel du métier de géologue minier".

Le prolongement de l'école contextuelle est constitué par la généralisation géodynamique du cadre géologique. Au chapitre précédent, la validité et l'importance de l'application du concept de la théorie des plaques furent démontrées à l'aide de nombreux exemples actuels, sub-actuels et anciens, remontant jusqu'aux gisements du Précambrien. Il s'en est dégagé un concept qui constitue, à l'échelle du globe, la loi fondamentale de la distribution des enrichissements métallifères. Nous nous contenterons donc ici de rappeler, à titre d'exemple, quelques ouvrages de base dans le domaine géodynamique-métallogénique, tels que ceux de Strong (1976), Wright (1977), Sawkins (1984). L'atlas mondial de Derry et al. (1980) s'inscrit dans la même ligne, ainsi que le diagramme synoptique demi-circulaire de Wessel (1986).

4.3 Anciennes classifications des gisements d'or

Dans la majorité des cas, les gisements d'or sont traités à l'intérieur des ouvrages métallogéniques-gîtologiques énumérés, en y appliquant la même classification que celle des autres métaux. Aussi ne mentionnons-nous ici que les classifications spécifiques au métal noble.

Les trois classifications retenues sont celles de Routhier (1963), de Boyle (1969) et de Bache (1982), toutes axées principalement sur la nature de la roche encaissante.

Routhier (ibid) définit cinq groupes majeurs contextuels;

- les gisements encaissés dans les sédiments;
- les gisements associés à des plutons granitiques avec les sous-groupes péri- et intraplutoniques comprenant au total huit types;
- les gisements dans les roches basiques et ultramafiques à deux types;
- les gisements associés au volcanisme calco-alcalin (surtout des chaînes tertiaires);
- les gisements dans les terrains métamorphiques sans relation visible avec les plutons.

Boyle (ibid) établit sa classification des gisements d'or en se basant, outre leur contexte géologique, sur leur caractère géochimique-paragénétique. Cet auteur distingue neuf catégories, dont plusieurs se chevauchent en raison de l'absence de la hiérarchisation des facteurs.

Bache (ibid) utilise, à l'échelle mondiale, à la fois des critères contextuels (type de roche encaissante) et tectoniques (pré-, ou

post-orogéniques), et définit ainsi trois groupes majeurs:

- gisements du groupe volcano-sédimentaire pré-orogénique,
- gisements du groupe plutono-volcanique, post-orogénique,
- gisements détritiques.

Les trois classifications, comme on peut le constater, ont le même dénominateur commun - le choix du cadre géologique comme base - mais diffèrent sensiblement entre elles quant aux critères supplémentaires retenus. De plus, les critères de la hiérarchisation ne sont pas identiques, ce qui ne manque pas d'accentuer la différence.

4.4 Typologie proposée

Généralités

La typologie élaborée, dont les traits principaux ont été résumés à l'occasion d'un colloque (Imreh et Trudel, 1987), s'est définie, au fur et à mesure, conformément à la diversification du contexte géologique de la région concernée. Cette diversification a, en effet, engendré la multiplicité des types de gisements aurifères, ce qui a permis et exigé l'élaboration d'une classification universelle ancrée dans cette réalité. L'idée directrice de cette étude a été précisément de situer les gisements dans leur cadre réel, diversifié, tel que défini dans la nature. L'examen et l'interprétation approfondis de vingt-quatre mines et gisements étudiés ont été menés dans cet esprit.

Il résulte de cette approche foncièrement naturaliste, que dans notre classification, une préséance absolue a été accordée aux paramètres directement observés et observables. Les paramètres inférés se situent à des paliers inférieurs de la hiérarchisation des phénomènes. La structuration des rapports individuels des gisements reflète notre souci de hiérarchisation et structuration uniformisées, seules garantes

de toute corrélation, comparaison et classification des phénomènes et des objets qui constituent l'ensemble d'un gisement.

Le cadre de la classification est de ce fait défini par des phénomènes majeurs, en l'occurrence par la relation des gisements avec leurs enveloppes mégascopiques respectives. Le degré de différence ou de ressemblance à l'intérieur des catégories majeures, est principalement fonction du nombre des paramètres pris en considération et, d'une manière plus atténuée, du penchant et de l'expérience de chaque chercheur impliqué dans ce projet.

Cependant, les facteurs indépendants de la bonne volonté et du savoir-faire des chercheurs ont également joué un rôle considérable, influençant la richesse d'information. Nous en mentionnons ici les plus importants: en premier lieu, l'absence d'affleurements dans l'entourage immédiat des mines ou des gîtes mis en valeur; en second lieu, la documentation minière souvent très lacunaire, parfois même absente des compagnies; enfin, mentionnons le problème de la nomenclature utilisée par les compagnies, dont la réinterprétation, voire la traduction en langage scientifique actuel, se sont avérées souvent indispensables.

En dépit des difficultés mentionnées, nous avons pu atteindre notre objectif fondamental:

"Étudier le caractère, l'anatomie, le mode de mise en place des gisements aurifères dans leur cadre géologique". Cet objectif fut facilité par le fait que nos investigations ont été réalisées dans un secteur représentatif servant de modèle transposable à d'autres régions.

L'approche conceptuelle, conforme à l'objectif fixé, a permis de dégager, au fur et à mesure, les catégories majeures, subdivisées ensuite selon la hiérarchie thématique en plusieurs groupes et sous-groupes. La classification typologique ainsi élaborée se base principalement sur la relation gisement - géométrie - enveloppe (terrain encaissant).

CLASSIFICATION TYPOLOGIQUE DES GISEMENTS AURIFÈRES

A. DIRECTEMENT ASSOCIÉS AUX PLUTONITES

1. INTRAPLUTONIQUES

- a) Or produit principal
- b) Or sous-produit (absent dans le secteur étudié)

BELMORAL

2. PÉRIPHÉRIQUES: Dans les corps intrusifs en contact avec l'enveloppe volcano-sédimentaire et/ou en partie dans cette dernière

SULLIVAN, BRAS D'OR, PERRON-BEAUFOR,
COURVAN (BUSSIÈRE), BEVCON

B. EN TERRAIN VOLCANIQUE

1. ASSOCIÉS A DES INTRUSIONS MINEURES DE COMPOSITION DIFFÉRENTE DES VOLCANITES ENCAISSANTES

NORLARTIC, CALLAHAN, WESDOME

2. ASSOCIÉS A DES INTRUSIONS MINEURES DE COMPOSITION SEMBLABLE OU IDENTIQUE AUX VOLCANITES ENCAISSANTES

SISCOE, SIGMA, LAMAQUE, LOUVICOURT,
GOLDFIELD, CROINOR, VICOUR (SIGMA-2)

3. DANS DES VOLCANITES SANS ASSOCIATION ÉVIDENTE AVEC CORPS INTRUSIFS

- a) Or produit principal
- b) Or sous-produit

KIENA, MARBAN, AKASABA, JACOLA (Green-Stabell), SHAWKEY, BRUELL-AURORA,
BROSNOR (BROSNAN)

C. EN TERRAIN SÉDIMENTAIRE

1. A L'INTERFACE VOLCANIQUE-SÉDIMENT

CHIMO, NORDEAU

2. EN SÉDIMENTS SENSU STRICTO (absent dans la secteur étudié)

Tableau 4.1 Classification typologique des gisements aurifères.

Classification des gisements aurifères

La typologie élaborée rejoint, dans ses grandes lignes, les préoccupations de l'école gîtologique française moderne (Routhier, 1963, 1969, Bache, 1982), attribuant la primauté absolue au cadre géologique des gisements. Notre classification possède, cependant, un avantage majeur par rapport même à des classifications basées sur les mêmes concepts. Tandis que toutes les autres classifications s'appuient sur des compilations et les conclusions qui en résultent, notre classification est ancrée dans les faits directement observés par les auteurs dans une région de plus de 1 000 km² de superficie, très diversifiée du point de vue géologique et, par conséquent, gîtologique. De plus, cette région renferme une très forte densité de minéralisations exploitées ou à exploiter.

Au tableau 4.1, nous présentons le cadre de la typologie proposée. Les trois principaux types correspondent à la réalité de toute entité géologique de tout âge, les sous-types reflètent l'affinement de nos investigations directes et restent également extrapolables à d'autres régions minières.

Le nombre de paramètres uniformisés et hiérarchisés dépasse la vingtaine. Comme il ressort du tableau synoptique (tableau 4.2), ils constituent quatre groupes majeurs: 1) les paramètres reliés au contexte géologique et à la nature de l'encaissante, 2) les paramètres géologiques, 3) les traits inférés, tels que séries lithochimiques, type géodynamique du volcanisme, etc. 4) les paramètres économiques, traités avec plus de détail dans le cadre du chapitre 3.

Nous nous bornerons ici à une description succincte des principaux types et sous-types. Cette description est destinée à constituer la trame de la deuxième partie de cet ouvrage, où l'étude individuelle de 24 mines et gîtes mis en valeur est présentée. Ainsi, le lecteur a le libre choix de demeurer dans le cadre conceptuel général ou de compléter ce dernier par des données détaillées descriptives groupées conformément à la typologie élaborée.

Soulignons dès maintenant que, à deux exceptions près — mines Kiena et Akasaba — le type de la minéralisation est filonien ou, encore en quelques cas, de type stockwerk dont la roche support¹ est, sans exception, constituée de veines et de veinules de quartz. La variété considérable de la roche-support se manifeste seulement au niveau des géométries différentes des veines et par la différence paragenétique y décelée.

La roche-support se place dans un contexte géologique fort varié, ce qui paraît présider, en premier lieu, à toute particularité d'importance typologique, géologique et économique. De plus, les particularités des types et des sous-types reflètent clairement le cadre géodynamique inféré, ce qui permettra une classification globale reliée directement à l'évolution des zones mobiles où les gisements s'étaient mis en place (tableau 4.2).

Cet aspect global sera traité plus loin, nous nous limitons ici à la typologie directe, descriptive, ancrée dans la réalité du cadre géologique tel qu'observé et défini sur le terrain.

Type A. Gisements directement associés aux plutonites

L'association des gisements à des plutons est sélective. Dans le secteur étudié seuls deux plutons syn-, ou légèrement post-cinématiques sont agrémentés d'un cortège ou d'une auréole aurifère: le batholite de Bourlamaque et le "stock" de Bevcon. Par sa taille et l'importance des gisements qui l'entourent ou qu'il renferme, le batholite de Bourlamaque est de loin le plus important des deux (tableau 4.2, carte en couleur hors texte).

1) Roche-support "Si les minéraux métallifères se sont formés en même temps et dans des conditions analogues à celles de la roche support, on dira que la concentration (ou le gisement) est SYNGÉNÉTIQUE. S'ils se sont mis en place dans des conditions différentes de ceux de la roche support et postérieurement à la condition de celles-ci, donc y ont été introduits, on dira que la concentration (ou le gisement) est ÉPIGÉNÉTIQUE" (Routhier, 1963, page 40).

Les travaux, essentiellement lithochimiques de Campiglio (1977) démontrent que le batholite de Bourlamaque est constitué surtout de roches quartzodioritiques monotones, sans différenciation particulière. En raison de son affiliation¹ franchement calco-alcaline et sa composition chimique, il est intimement associé à la phase calco-alcaline du volcanisme de la Formation de Val d'Or (Imreh, 1984). Au niveau des mines aurifères, cette association est particulièrement mise en évidence même dans certains gisements de type B., comme celui de la mine Lamaque (Imreh, 1987, Trudel, ce volume, 2^e partie).

Le stock de Bevcon, quoique plus éloigné du centre d'émission présumé du volcanisme calco-alcalin de l'entité de Val d'Or (fig. 2.4 et carte hors texte), démontre la même affinité avec ce volcanisme (Sauvé, ce volume, 2^e partie).

Cette consanguinité lithologique entre le batholite de Bourlamaque et l'unité volcanique de Val d'Or se traduirait, en termes métallogéniques, par le phénomène de l'héritage et de la permanence de l'accumulation de la minéralisation aurifère à travers les événements géologiques (Routhier, 1980). Dans cette optique rien n'interdit de rapprocher la source des gisements intraplutoniques et périphériques du batholite de Bourlamaque — gisements de Sullivan, Bras d'Or, Bevcon - Beaufor, Courvan — de celle des deux "géants associés à des intrusions mineures, type B.2 du terrain volcanique, des gisements de Lamaque et de Sigma. La présence de scheelite et des tellurures semble souligner l'affinité entre les mines énumérées et situées respectivement en terrain volcanique et en position intra-, et périplutonique.

Des vingt-quatre mines et gisements aurifères étudiés, le type A, représente environ 25% de la production totale du secteur.

Type B. Gisements aurifères en terrain volcanique

Les gisements de ce type sont du point de vue géologique, des

¹) Routhier (1963, page 1076): un aspect des contrôles et guides lithologiques, qui concerne les relations entre gisements et roches "ignées": plutoniques ou volcaniques.

plus variés. Du point de vue économique, ce sont les plus importants, puisque près de 70% de la production locale en provient. Leur dénomination commune est la nature du terrain encaissant; les différences résident dans les différentes associations avec des intrusions mineures, ou dans l'absence de toute association avec ces dernières.

Le type B.1 comprend les gîtes associés à des intrusions mineures de composition différente des volcanites encaissantes. Ouvrons ici une parenthèse: par association nous entendons le rapport étroit de la roche-support avec l'encaissante¹, sans que ce lien ait une connotation génétique quelconque. Il s'agit plutôt de la présence exclusive ou prédominante de la roche-support dans l'encaissante; cette dernière, selon les cas, diffère (type B.1) ou ne diffère que peu ou pas du tout de l'environnement lithologique² (type B.2) du gisement.

Après cette digression examinons les principaux paramètres des gisements du type B.1.

Les cinq mines et gîtes mis en valeur, trois (mine Norlartic, gîtes de Callahan et de Wesdome) se situent dans la proximité immédiate (Norlartic) ou sous la surface d'eau du Lac de Montigny au NW de Val d'Or. L'ancienne mine de Norlartic et le gîte de Callahan sont dans la section basale de la Formation de Jacola, dans un contexte régional où les triades pulsatives de coulées ultramafiques - basaltiques - brèches de coulées basaltiques caractérisent l'évolution du volcanisme. De ce fait, ils se trouvent dans une série magmatique komatiitique-tholéitique. Le gîte de Wesdome (Western Québec) se trouve sur la continuation présumée de la "zone K", à laquelle sont partiellement associées les anciennes mines Siscoe et Sullivan, plus vers le SE (carte polychrome hors texte). Son environnement géologique est donné par la puissante Formation de Dubuisson (basaltes et coulées ultramafiques), elle-même étant un des constituants de la plaine sous-marine du sillon de La Motte-Vassan.

¹) encaissante: roche renfermant la totalité ou la majorité de la roche-support (cf. Routhier, 1963)

²) environnement lithologique: ensemble des roches enveloppant l'encaissante et, par extension, la roche-support.

La roche encaissante est composée, dans le cas de Norlartic et Callahan, de diorite quartzique et en partie de volcanites encaissantes. Dans le premier cas, l'intrusion est pénéconcordante, et dans le second, elle se présente sous forme de stock. L'encaissante dans le cas du gîte de Wesdome semble associée au "stock" de Snow Shoe granodioritique d'affiliation calco-alcaline. Elle est composée principalement d'essaïms de dyke dans les volcanites. La minéralisation aurifère se retrouve surtout dans les veines de cisaillement recoupant à la fois les dykes et les roches volcaniques. Selon Sauvé (ce volume, partie 2), "l'association spatiale entre la minéralisation et les intrusions calco-alcalines sst évidente".

Comme il ressort des tableaux 3.6 et 3.7, ce sous-groupe a un poids économique assez restreint; la seule mine, actuellement fermée, a produit un peu plus d'or que la mine Bras d'Or (Dumont) située à la périphérie du batholite de Bourlamaque. Parmi les deux gîtes mis en valeur - Callahan et Wesdome - le premier, avec plus de 2 Mt de réserve à 6,5 g/t, est de loin le plus important.

Type B.2: Il englobe les gîtes associés à des intrusions mineures de composition semblable ou identique aux volcanites encaissantes.

Les gîtes de ce type constituent, certes, le groupe le plus important. Les mines qui le composent, comprennent les deux géants de l'Abitibi, les mines Lamaque et Sigma, respectivement avec 141 et 107 tonnes d'or produites. Seule la mine Horne (Rouyn-Noranda) dépasse ces chiffres avec 343 tonnes d'or extraites comme sous-produit du cuivre. Parmi les quatre autres gîtes de ce type - Siscoe, Louvicourt Goldfield, Croinor, Sigma-2 (Vicour) - seule la mine Siscoe possède une importance économique certaine avec 27,4 tonnes d'or extraites.

Les gîtes énumérés s'échelonnent sur la quasi-totalité de la section lithostratigraphique aurifère du secteur de Val d'Or. La mine Siscoe est située dans la partie inférieure de la Formation de Dubuisson, sensiblement au même horizon que le gîte Wesdome (Western Québec),

du type B.1. Les mines Lamaque et Sigma se trouvent au coeur de la Formation de Val d'Or, tandis que la Sigma-2 et l'ancienne mine de Louvicourt Goldfield se trouvent plus à l'est, dans la Formation de Héva. Quant au gîte Croinor (canton de Pershing), sa position lithostratigraphique, dans le Groupe de Harricana, doit être considérée avec réserve. En fait, ce gîte se trouve à l'extrémité est du secteur étudié, près du Front de Grenville et à une distance considérable des lieux où le Groupe de Harricana fut défini (Imreh, 1979, 1984).

On peut conclure, de ce qui vient d'être dit, que la répartition des gisements de ce groupe n'est pas contrôlée par la position stratigraphique: les gisements se présentent en effet de la base jusqu'au sommet de la section lithostratigraphique favorable à la présence des gîtes aurifères.

Si on considère, par contre, la composition et la nature pétrologiques, la position paléogéographique et géodynamique de l'encaissante, force est de constater qu'elles ont exercé une forte influence sur la taille et la richesse des gisements, comme il ressort de ce qui suit.

La mine Siscoe est une des plus anciennes mines de la région et la quatrième en importance économique après les mines Lamaque, Sigma et Sullivan avec sa production de 27,4 tonnes d'or. La minéralisation se situe, d'une part, dans le "stock Siscoe" - une intrusion hypabyssale de gabbro - gabbro quartzifère d'environ 0,4 km² - et, d'autre part, le long de la fameuse "zone K", le long de laquelle se trouvent aussi le gîte Western Québec ou Wesdome et l'ancienne mine Sullivan. L'environnement est constitué par une ou plusieurs séquences volcaniques de basalte tholéitique, du type: "boules d'épidote" (cf. chapitre 2), et de coulées ultramafiques komatiitiques intercalaires. Le cadre géodynamique et paléogéographique est typiquement celui d'une plaine sous-marine marginale à volcanisme fissural.

Plus au Sud, dans la Formation de Val d'Or, les mines Sigma et Lamaque occupent une position particulière: elles sont situées dans la

partie proximale d'un centre d'émission volcanique près de la limite est de la ville de Val d'Or. L'activité volcanique a engendré de nombreux produits d'affinité calco-alkaline, physiquement et chimiquement variés: Les coulées surtout andésitiques, dacitiques et rarement basaltiques alternent avec les pyroclastites allant de tuf à blocs à tuf à cristaux.

Cependant, selon les anciens travaux, surtout souterrains (Bédard et Imbeau, 1980, Daigneault, 1983 Wilson, 1938, Dresser et Denis, 1949), la minéralisation serait associée à plusieurs petits corps intrusifs de diorite quartzique. Pourtant l'importance de la phase effusive a déjà été mise en évidence par Norman en 1947. À propos du secteur de la mine Lamaque, il a ainsi écrit "Diorite porphyry (...) includes andesite porphyry and/or volcanic rocks". Karvinen (1985) a également reconnu cette réalité. Finalement, la cartographie de surface détaillée (Imreh, 1987) a démontré que, sauf pour un essaim de dykes, le secteur de la mine Lamaque est composé exclusivement de divers termes volcaniques effusifs et explosifs.

Les données de surface ne doivent, toutefois, pas exclure la présence de petits corps intrusifs en profondeur. Vu la consanguinité prononcée entre les produits effusifs et ceux réputés intrusifs, leur coexistence, associée à deux types de mise en place pénécontemporains et complémentaires, semble même probable.

Du point de vue géodynamique, l'évolution physique et chimique des phénomènes volcaniques (Girod et al., 1978, Imreh et Dimroth, 1983) démontre sans équivoque que les deux gisements géants de la région ont été mis en place dans un contexte de type arc insulaire. Plus précisément, ils se situent au tronçon le plus évolué d'une île en arc moyennement évoluée.

Lorsqu'on s'éloigne vers l'Est de ce tronçon hautement favorable - totalisant pour Lamaque et Sigma 248 tonnes d'or extraites, tout en demeurant dans l'environnement arc insulaire, la nature et la richesse des trois gîtes restant de ce groupe changent radicalement. Il s'agit

de l'ancienne mine Louvicourt Goldfield, des gîtes mis en valeur de Sigma-2 et de Croinor qui sont tous les trois dans la partie sommitale de filons-couches gabbroïques différenciés, d'affinité tholéitique.

L'encaissante du filon-couche de Louvicourt Goldfield est surtout basaltique, ensuite dacitique avec épisodes pyroclastiques surtout andésitiques. La mine n'a produit qu'à peine 7 tonnes d'or et ses réserves semblent épuisées.

Le gîte Sigma-2 (Vicour), situé à environ 8 km plus à l'Est de Louvicourt Goldfield, se trouve stratigraphiquement plus bas, à la limite des Formations de Val d'Or et de Héva. La minéralisation prend place dans le granophyre et la diorite quartzifère du filon-couche Vicour de 450 m de puissance et de 7 km de longueur et forme dans la partie sommitale différenciée quelques lentilles. Les réserves actuelles se chiffrent à 0,5 Mt à 3,1 g/t Au.

Le gîte Croinor se trouve à l'extrémité est du secteur retenu pour cette étude, près du Front de Grenville. Le filon-couche de Croinor est de taille restreinte - 60 à 150 m de puissance sur 3 km de longueur - et la minéralisation aurifère ne dépasse pas 0,4 Mt à 4,9 g/t Au.

En résumant, on constate que les gisements de ce groupe ne sont pas contrôlés par la stratigraphie. Par contre, l'évolution du terrain volcanique crée les contrôles les plus importants et les plus tangibles de la minéralisation. L'environnement de type arc insulaire est le plus favorable, à condition que l'arc soit assez évolué (mines Sigma, Lamaque). Le degré de consanguinité entre les produits volcaniques et les corps intrusifs semble jouer un rôle important, ainsi que le moment de la mise en place des petites intrusions.

Rappelons à ce propos que le gabbro et le gabbro quartzifère du stock Siscoe sont difficilement séparables des basaltes encaissants et montrent les mêmes phénomènes que ces derniers (p.e. présence de "boulles d'épidote"). De même, les phases effusive et intrusive du gisement

Lamaque semblent plutôt présenter des mises en place différentes dans l'espace (différence de profondeur) que dans le temps. Inversement, l'écart temporel entre la phase de l'effusion - explosion et la phase de la mise en place des filons-couches paraît un facteur peu favorable à l'enrichissement aurifère.

Pour avoir, finalement, une idée plus précise de l'importance économique de ce groupe, nous renvoyons le lecteur aux tableaux 3.6 et 3.7 du chapitre précédent.

Type B.3: Il comprend les gisements en terrain volcanique sans association évidente avec des corps intrusifs.

Il suffit de jeter un coup d'oeil attentif sur la carte polychrome hors-texte pour constater que la distribution spatiale et, ou lithostratigraphique des gisements de ce type n'est pas aléatoire. En effet, neuf gisements de ce type sur onze sont localisés dans la même formation, témoignant d'une répartition régionale de l'Ouest à l'Est à l'intérieur de la Formation de Jacola. Rappelons que cette dernière est constituée de plusieurs triades pulsatives de coulées ultramafiques, de coulées et de brèches de coulée mafiques (cf. chapitre 2). Sa continuité et sa constance faciologique sont remarquables et semblent responsables de la ressemblance, sinon de l'identité des gisements stratiformes mis en place dans le même horizon, ou dans des horizons proches les uns des autres. Aussi est-il permis de parler d'une véritable ceinture d'or lithostratigraphique de près de 50 km de longueur (voir carte polychrome hors-texte) traversant les trois-quarts de la région considérée.

Dans cette ceinture d'importance que nous appelons "ceinture d'or de Jacola", la présence des gîtes va en décroissant de l'Ouest à l'Est. Ainsi la rive-sud du Lac de Montigny et son voisinage occidental comprennent les mines ou les gîtes mis en valeur les plus importants. À l'ouest, la favorabilité de Jacola paraît s'arrêter avec la mine de Malartic Hygrade, située hors du secteur de cette étude, au

coeur d'un anticlinal local déversé. À l'Est, le dernier gîte reconnu est celui de Brosnor ou Brosnan (voir carte polychrome hors-texte).

À l'intérieur du périmètre du secteur, longeant la rive sud-ouest du Lac de Montigny, de l'Ouest à l'Est, les mines Marban, Little Long Lake, Kiena, Jacola (Greene Stabell), Shawkey et Mine École constituent un chapelet de 10 Km de longueur. Les dix premières mines y occupent pratiquement le même tronçon lithostratigraphique. Plus à l'Est se trouvent, près du bord méridional du batholite de Bourlamaque, les gîtes Bidlamaque et New-Harricana. Plus loin, le batholite de Bourlamaque tronque la Formation de Jacola dont la continuation n'est définie à l'Est du batholite que par sondages. Après un hiatus apparent, les gîtes Monique (défini par sondages, et non représenté sur la carte) et Brosnor (Brosnan) s'ajoutent et closent la série des minéralisations aurifères exploitées ou mises en valeur de la ceinture d'or de Jacola.

Il est cependant utile de souligner que l'absence des gîtes à l'Ouest de la mine Malartic Hygrade et à l'Est du gîte Brosnor, ainsi que le hiatus de minéralisation, à l'Est du batholite de Bourlamaque, peuvent être aussi bien imputables à l'absence de l'intensification des travaux de recherche, qu'à la décroissance du potentiel minier de la Formation de Jacola. La continuité et la constance faciologique remarquable de celle-ci plaide plutôt en faveur de la première alternative.

La grande ressemblance, sinon l'identité des divers paramètres des gisements de la ceinture d'or de Jacola, imputable surtout à leur répartition stratiforme, nous dispense même de les caractériser individuellement. Aussi résumerons-nous seulement les traits essentiels des deux gisements majeurs, Marban et Kiena.

La mine Marban, à environ 6 Km au WNW de la mine Kiena, a été creusée dans un secteur plat, partiellement marécageux, sans affleurements, sur la rive SW du Lac Dubuisson. La géologie de ce gisement a été décrite par Méthot et Trudel (1987). La minéralisation aurifère est confinée aux zones de cisaillement des roches mafiques, lardées

d'une multitude de veinules et de quelques amas de quartz. Ces zones ont fourni près de 10,3 tonnes d'or, ce qui place cette mine au septième rang dans le classement du secteur étudié. La mine, après extraction de près de 2 Mt de minerai, ne dispose actuellement d'aucune réserve.

La mine Kiena, en pleine expansion, est la mine la plus importante de la ceinture d'or de Jacola. La minéralisation - chose rare - n'y est que partiellement ou peu associée à des veines de quartz. Elle est contenue surtout dans les niveaux de brèches volcaniques basaltiques tectonisées, où des amas de quartz minéralisés sont également présents.

Notons que le même phénomène se rencontre dans la zone Orion de Malartic Hygrade¹ située probablement au même niveau ou à un niveau lithostratigraphique peu éloigné de celui de Kiena, à l'intérieur de la Formation de Jacola.

La mine principale de la ceinture d'or de Jacola est la mine Kiena. Avec 6,2 Mt de minerai (réserve + production) à 5,4 g/t Au, elle est le plus beau fleuron du secteur de Val d'Or. Sa production passée est de 6,4 tonnes d'or, provenant du traitement de près d'un million de tonnes de minerai. Son taux d'épuisement très faible, 11,5% (voir aussi chapitre 3) lui promet un bel avenir.

Nous devons toutefois mentionner aussi la mine Camflo, hors du secteur étudié, située dans la Formation de Héva, tout près de Malartic Hygrade, dans le toit de la Formation de Jacola. En fait, sa position géographique et géologique l'attache au même cadre géodynamique qui caractérise la ceinture d'or de Jacola; elle constitue la dernière mine vers l'Ouest, qui soit située dans la même entité volcanique.

Quant à la position géodynamique de cette ceinture, il faut retenir que les triades qui la composent constituent la transition entre des volcanismes de type plaine sous-marine et de type arc insulaire (Dimroth et al. 1982, Imreh 1984). Cette transition se manifeste aussi

¹) Communication personnelle de P. Trudel.

bien sur le plan physique que chimique du volcanisme: accroissement volumétrique du faciès de brèches de coulée basaltique, à partir de la base de la formation, décroissance et extinction progressive de l'activité volcanique ultramafique-ultrabasique dans la partie terminale. Cette transition se traduit également par la coexistence ou la simultanéité des séries komatiitiques, tholéitiques et calco-alkalines. Par ailleurs, la présence d'une série calco-alkaline n'a jamais été observée ailleurs que dans les îles en arc (Girod et al., 1978), ce qui confirme du point de vue chimique les observations physiques et sur le plan géodynamique la présence des îles en arc fossiles.

Confrontant la répartition des gisements de la ceinture d'or de Jacola avec la présence des paramètres énumérés, on est en droit de présumer que l'état transitionnel constitue un contexte particulièrement favorable à la minéralisation.

Avant de terminer la caractérisation succincte des gîtes du type B.3, il y aurait lieu de définir les traits de la mine Akasaba, non en raison de son importance économique (1,24 tonne d'or produite), mais en raison de son importance typologique. Localisée dans la partie terminale de la Formation de Héva, elle est le seul gisement du secteur sans présence de filons, d'amas ou de stockwerk de quartz. En fait, sa minéralisation, en or, consiste en une dissémination stratiforme localisée principalement dans les brèches de coulées basaltiques localisée principalement dans les brèches de coulées basaltiques très fortement épidotisées.

Type C Gisements en terrain sédimentaire

L'importance de ce type de gisements en terrain archéen a été reconnue suite à la mise en valeur du potentiel aurifère de la ceinture Hemlo-Haron Bay en Ontario (Muir, 1980, 1982, 1983, Patterson, 1983; Kuhns et al. 1986 et Kuhns, 1986). Au Québec, la mise en évidence de ce type de gisements reste encore sporadique (Rocheleau et al., ce volume).

Pour ce qui est du secteur de Val d'Or, il n'y a que deux gisements contigus - Chimo et Nordeau - situés dans un environnement sédimentaire (type C). Plus exactement, ils se trouvent à l'interface d'un niveau volcanique avec son encaissante sédimentaire (C.1) au sein du Groupe de Trivio, à l'extrémité est du secteur étudié, dans le canton de Vauquelin.

La partie sud du terrain sédimentaire se confond avec le Groupe de Pontiac. Ce fait prend sa signification réelle en raison de la présence de coulées ultramafiques à texture de spinifex, signalée dans un niveau volcanique intercalaire (Beullac, 1988). La présence de coulées ultramafiques - avec ou sans spinifex - dans les terrains sédimentaires, a été démontrée en trois horizons régionaux dans le Pontiac (Imreh, 1978, 1984). L'horizon septentrional correspond à la zone faillée de Cadillac longeant de près l'ensemble des volcanites (carte polychrome hors texte). La position lithostratigraphique des coulées ultramafiques dans le canton de Vauquelin étant semblable, sinon identique, à celle de la zone de Cadillac, rien n'interdit d'établir une corrélation entre les deux. Ce raisonnement se justifie d'autant plus que le Trivio - comme il en a été question - se confond avec le Pontiac. L'hypothèse ainsi avancée peut ouvrir une voie fructueuse à l'exploration d'or dans le prolongement oriental de la zone de Cadillac.

En considérant la répartition, la nature et la géométrie de la minéralisation aurifère associée à l'interface des volcanites avec les sédiments, on constate qu'il s'agit surtout d'une minéralisation dont la roche-support consiste en stockwork de filonnets et d'amas de quartz. D'une manière plus subalterne (zone 2 de la mine Chimo), la minéralisation aurifère se présente ainsi sous forme de filonnets de sulfures. Cette répartition démontre bien que l'or, en milieu sédimentaire, a la même origine que l'or dans les terrains volcaniques ou plutoniques. En d'autres termes, toutes choses égales d'ailleurs, l'origine détritique de l'or reste à exclure, selon nos connaissances actuelles, dans les terrains sédimentaires archéens étudiés.

Il reste encore à souligner que l'association spatiale de la minéralisation aurifère avec des formations de fer dans le voisinage des volcanites, constitue un des paramètres caractéristiques des gisements Chimo et Nordeau. Cette association a d'ailleurs été reconnue en plusieurs districts miniers ontariens: régions de Geraldton (Macdonald, 1983) et de Timmins (Fyon et al., 1983). Cependant il y a lieu de compléter cette assertion par le fait que plusieurs niveaux minéralisés se situent franchement dans les volcanites que les sédiments de Trivio encaissent.

L'importance économique de ce gisement résulte de la somme de trois vecteurs: le métal total d'or, le taux d'épuisement et la position géographique. Quant au métal total (réserves et production confondues) d'or, la mine Chimo est parmi les exploitations moyennes (8,7 t d'or). À la lumière des taux d'épuisement, traité au chapitre 3, elle se détache du peloton en se plaçant, au même titre que la mine Belmoral, immédiatement après le fleuron de la région, la mine Kiena (figure 3.21). Le troisième vecteur de pondération consiste dans la situation géographique de la mine. Comme il ressort de la carte polychrome (hors texte), la quasi-totalité des mines d'importance - anciens et actuels producteurs - se trouve à proximité de Val d'Or, du batholite de Bourlamaque et à l'Ouest de cette sous-région. La mine Chimo, localisée à l'extrémité sud-est du canton de Vauquelin, est ainsi isolée du reste des mines d'or val d'oriennes. Cette isolation lui confère beaucoup d'importance: sa présence dans un secteur dépourvu de mines ne peut qu'animer les efforts d'exploration.

Lorsqu'on considère la répartition des réserves entre les deux gisements contigus, Chimo et Nordeau, on constate immédiatement que, pour le moment, Nordeau ne constitue que 10% du métal total d'or de l'ensemble. Il reste cependant à y ajouter la différence entre les teneurs respectives. Tandis que Chimo titre 7,89 g/t Au, Nordeau en titre 8,75.

En dernière analyse, ce type de gisements - en terrain sédimentaire à l'interface des volcanites et des sédiments - mérite beaucoup d'attention. Le contexte volcano-sédimentaire ou sédimentaire de part et d'autre de la zone faillée de Cadillac et surtout au sud de celle-ci, semble avoir un potentiel dont la mise en valeur active est à recommander.

4.5 Corollaire

La classification fondée sur les paramètres descriptifs observables et observés à l'échelle régionale s'est avérée un outil de travail efficace, objectif, où les éléments inférés n'ont jamais pris le pas sur les faits de terrain. Grâce à cette démarche inductive, les gisements dont l'or est le produit principal (gisements "filoniens") ont pu être groupés en ensembles compréhensifs distincts et définis, ce qui a rendu possible la hiérarchisation des facteurs responsables de la répartition et de l'importance des gisements.

La lecture de ce chapitre a également démontré que, dans l'Archéen, les terrains volcaniques constituent les lieux privilégiés de la concentration aurifère. Cette dernière paraît un phénomène franchement épigénétique dans la quasi-totalité des cas, et s'inscrit directement dans la phase post-tectonique de l'évolution. L'affiliation calco-alcaline ou tholéiitique ne semble pas influencer la répartition spatio-temporelle des gisements; par contre, sur le plan quantitatif, l'environnement calco-alcalin - mines Sigma et Lamaque - paraît le plus favorable.

Nous avons également vu que certaines concentrations sont étroitement associées à un seul horizon lithostratigraphique d'évolution spécifique. Il s'agit des gisements localisés dans la Formation de Jacola, terme transitionnel entre le volcanisme type bassins marginaux (plaine sous-marine) à volcanisme fissural effusif et le type arc insulaire à volcanisme effusif et explosif. Notons que ce dernier peut être de lignée tholéiitique ou calco-alcaline; l'évolution se fait, à

l'échelle mondiale (Girod et al., 1978), de la première vers la seconde. Cette constatation entraîne l'assertion que le degré d'évolution pourrait être le principal responsable de la présence des "géants miniers" dont le métal total dépasse 100 t d'or.

La cause originelle de l'enchaînement rencontré en des milieux typologiques différents se ramène, en dernier lieu, à un seul phénomène global: la formation d'une zone de subduction, dont l'importance métallogénique a été démontrée au chapitre 3.

Mentionnons enfin que, sur le plan général, la typologie proposée possède plusieurs avantages théoriques et pratiques. Tandis que la plupart des classifications (génétiques, phénoménologiques, physico-chimiques) sont déductives, c'est-à-dire procédant du général au particulier, celle-ci, en remontant des faits particuliers au général, est entièrement inductive. Ce fait lui confère une grande indépendance vis-à-vis des théories inévitablement sujettes aux changements ou à la désuétude. Finalement, la typologie proposée est universelle, puisque son cadre conceptuel est transposable à tout autre contexte géologique, ce qui en fait un outil précieux de géologie prévisionnelle (Imreh et Trudel, 1987).

RÉFÉRENCES

- AMSTUTZ, G.C., 1959 - Syngene und Epigene in Petrographie und Lagerstättenkunde; Schweizerische Mineralogische and Petrographische Mitteilungen, Band 39, Heft ¼, pages 1-84.
- BACHE, J.J., 1982 - Les gisements d'or dans le monde, Bureau de Recherches géologiques et minières. Mémoire n° 118; 101 pages.
- BATEMAN, A.M., 1950 - Economic Mineral Deposits, John Wiley and Sons Inc., New-York, 916 pages.
- BÉDARD, P. - IMBEAU, G., 1980 - Compagnie minière Lamaque 1964 Limitée. Geology Division CIM, Gold Symposium and Field Excursion September 21-26, 1980, Val d'Or-Kirkland Lake-Timmins. The Canadian Institute of Mining and Metallurgy, pages 52-60.
- BEULLAC, R., 1988a - Bloc Ouest, compagnie de foreges et calcul des réserves 1987; Roche Limitée, rapport interne, 5 pages.
- _____ 1988b - Bloc Nordeau, compagnie de forage et calcul des réserves, 1986; Roche Ltée., rapport interne.
- CAMPIGLIO, C., 1977 - Batholite de Bourlamaque; Ministère des Richesses Naturelles. Québec; ES-26, 211 pages.
- DAIGNEAULT, Réal., 1983 - Géologie et géochimie du gisement d'or de la mine Lamaque, Val d'Or, Québec. Thèse M.Sc.A. Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal, 134 pages.
- de LAUNAY, 1913 - Traité de métallogénie, gîtes minéraux et métallifères, tome III. Paris et Liège; Librairie polytechnique, Ch. Bélanger.
- DERRY, D.R. - CURTIS, L. - MARMONT, S. - FISHER, D. - KWECIEN, B., 1980 - World Atlas of Geology and Mineral Deposits; Mining Journal Books, London, 110 pages.
- DIMROTH, E. - IMREH, L. - GOULET, N. - ROCHELEAU, M., 1982 - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part 1: stratigraphy and paleogeographic model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 19, no 9, pages 1729-1758.
- DRESSLER, John A. - DENIS, T.C., 1949 - Geology of Québec, Province of Québec. Department of Mines, Geological Report 20, volume III, 582 pages (mine Lamaque, pages 258-264).
- ECKSTRAND, O.R., 1986 - Types de gisements et minéraux du Canada, un bref exposé géologique; Commission géologique du Canada, 86 pages.
- EMMONS, W.H., 1940 - The principles of Economic Geology; McGraw-Hill Book Company Inc., New-York; 529 pages.

- FYON, J.A. - CROCKET, J.H. - SCHWARCZ, H.P. 1983 - The Carshaw and Malga Iron-Formation-Hosted Gold Deposits of Timmins Area; pages 98-110, in Colvine, A.C. (édit.). The Geology of Gold in Ontario; Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper 110, 278 pages.
- GIROD, M. - BAILEY, D.K. - BAKER, P.E. - FISCHER, R.V. - MAURY, R. - ROCCI, M. - SCHMINKE, H. - UPTON, B.G., 1978 - Les roches volcaniques: pétrologie et cadre structural. Edition Doin (Paris); 239 pages.
- IMREH, L., 1976 - Nouvelle lithostratigraphie à l'ouest de Val-d'Or et son incidence géologique. Ministère des Richesses naturelles du Québec; DPV-349, 73 pages, 1 carte au 1/100 000.
- IMREH, L. - DIMROTH, E., 1983 - Stratigraphie et volcanologie archéenne: relations et traits discriminants. IN Stratigraphie des ensembles volcano-sédimentaires archéens de l'Abitibi: état des connaissances. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, DV 83-11, pages 111-120.
- IMREH, L., 1984 - Sillon de LaMotte-Vassan et son avant-pays méridional. Synthèse volcanologique, lithostratigraphique et géologique, Ministère de l'Énergie et des Ressources, MM 82-04, 72 pages.
- _____ 1987 - Mine Lamaque - géologie de surface; Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, ET 87-04, carte polychrome annotée à 1/2 500.
- IMREH, L. - TRUDEL, P., 1987 - Métallotectes et typologie des gisements aurifères du secteur de Val d'Or; Ministère de l'Énergie et des Ressources, DV 87-25 "Exploration au Québec", pages 75-83.
- KARVINEN, W.O., 1985 - Geology of the Lamaque Mine Property, Val-d'Or, Québec - Projet IREM pages 3-21, 7^e rapport, 35 pages.
- KUHNS, R.J. - KENNEDY, P. - COOPER, P. - BORWN, P. - MACKIE, B. - KUSINS, R. - FRIESEN, R., 1986 - Geology and Mineralisation Associated with the Golden Giant Deposit, Hemlo, Ontario, Canada; pages 327-339; in GOLD'86. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, 517 pages.
- KUHNS, R.J., 1986 - Alteration Styles and Trace Element Dispersion Associated with the Golden Giant Deposit, Hemlo, Ontario, Canada; pages 340-354; in GOLD'86; Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, 517 pages.
- LABORIT, H., 1968 - Biologie et structure, Gallimard, Collection idées; 190 pages.
- LINDGREN, W., 1933 - Mineral Deposits; McGraw-Hill Book Cie Inc. New-York, 4^e édition, 930 pages.

- MACDONALD, A.J., 1983 - The Iron Formation - Gold Association Evidence from Geraldton Area, pages 75-83; in Colvine, A.C. (édit.). The Geology of Gold in Ontario Geological Survey; Miscellaneous Paper 110, 278 pages.
- MÉTHOT, Y., - TRUDEL, P., 1987 - Géologie de la mine Marban. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, MB 87-53, 71 pages.
- MUIR, T.L., 1980 - Geology of the Hemlo Area, District of Thunder Bay, Ontario Geological Survey. Open File Report 5280; 78 pages.
- _____ 1982 - Geology of the Hemlo Area, District of Thunder Bay, Ontario Geological Survey. Report 217, 65 pages. Accompanied by Map 2452 (coloured). Scale 1:31 680 or 1 inch to ¼ mile.
- _____ 1983 - Geology of the Hemlo-Heron Bay Area; pages 230-239; in Colvine, A.C., éd. The Geology of Gold in Ontario; Ontario Geological Survey; Miscellaneous Paper 110; 278 pages.
- NORMAN, G.W.H., 1947 - Dubuisson-Bourlamaque-Louvicourt, Abitibi County, Québec - Department of Mines and Ressources, Mines and Geology Branch - Preliminary Map 47-20.
- PARK, Jr., Ch. F., 1975 - Ore Deposits; W.H. Freeman and Cie, San Francisco, 3^e édition, 526 pages.
- PATTERSON, G.C., 1983 - Exploration History in the Hemlo Area; pages 226-229; in Colvine, A.C., éd. The Geology of Gold in Ontario; Ontario Geological Survey; Miscellaneous Paper 110; 278 pages.
- RAGUIN, E., 1970 - Pétrographie des roches plutoniques dans leur cadre géologique; Masson et Cie, Paris, 236 pages.
- ROUTHIER, P., 1963 - Les gisements métallifères, Parties I et II; Masson et Cie, Paris; 1282 pages.
- _____ 1969 - Essai critique sur les méthodes en géologie, Masson et Cie, Paris, 202 pages.
- _____ 1980 - Où sont les métaux pour l'avenir?; Bureau de Recherches géologiques et minières; mémoire n^o 105, 409 pages.
- RUSSELL, B., 1965 - L'analyse de la matière; Édition Payot, Paris; 313 pages.
- _____ 1972 - Problème de la philosophie; Édition Payot, Paris; 189 pages.
- SAWKINS, F.J., 1984 - Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. Springer-Verlag, Berlin, New-York, 325 pages.
- SCHNEIDERHÖHN, H., 1955 - Erzlagerstätten; Fischer-Verlag, Jena: 375 pages.

- STRONG, D.F., (éd.) 1976 - Métallogeny and Plate Tectonics, Geological Association of Canada, Special Paper n^o 14; 660 pages.
- WESSEL, G.R., 1986 - The Geology of Plate Margins; Geological Society of America Inc. (diagramme synoptique, demi-circulaire, 1 feuille, format de poche et format mural).
- WILSON, H.S., 1938 - The Geology of Lamaque Mine; Canadian Mining Journal, October, pages 511-516.
- WINKLER, H.G.F. 1976 - Petrogenesis of Metamorphic Rocks; Springer, New-York, Heidelberg, Berlin, 4^e édition, 334 pages.
- WRIGHT, J.B., (éd.) 1977 - Mineral Deposits, Continental Drift and Plate Tectonics - Benchmark Papers in Geology 144, éd. Dowden, Hutchieson and Ross, Inc. 417 pages.

5. LES MÉTALLOTECTES

"Nous pouvons construire des théories qui cadrent avec les faits connus mais nous ne pouvons jamais être assurés que d'autres théories ne cadreront pas également bien avec ceux-ci. C'est une limitation essentielle à l'inférence scientifique".

(Russel, 1965, page 202)

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

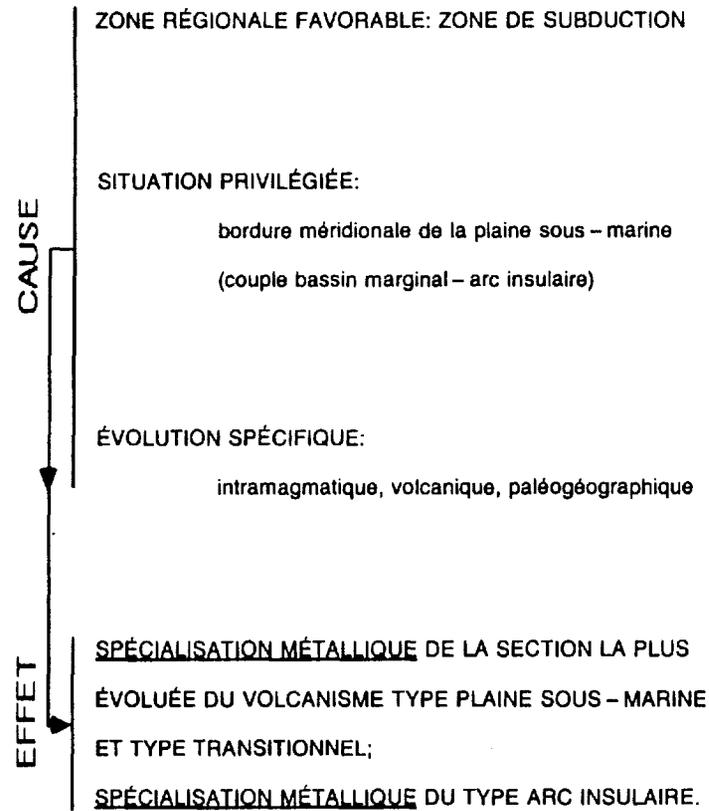
Eu égard aux caractéristiques des gisements d'or "filoniens" nous avons distingué trois groupes majeurs de métallotectes.

1. les métallotectes principaux associés à l'évolution précinématique du sillon volcanique;
2. les métallotectes de second ordre, associés principalement à la phase de la tectonique cassante syn-, tardi- et post-cinématique;
3. les métallotectes indicateurs.

Si les deux premiers sont caractérisés par une relation causale bien définie avec la minéralisation (figure 5.1), le troisième ne fait, le cas échéant, que témoigner de la présence ou de la proximité de cette dernière.

Au cours des chapitres précédent, nous avons traité beaucoup d'objets ou phénomènes géologiques reliés de près ou de loin à l'avènement de la minéralisation aurifère. Leur rôle métallotectique est alors apparu en filigrane sans qu'il fût explicité. C'est précisément au chapitre consacré aux métallotectes qu'il incombe alors de formuler les lois de la répartition, de la présence ou de l'absence des minéralisations en puisant sa matière des faits directs et inférés des chapitres précédents.

MÉTALLOTECTES PRINCIPAUX



MÉTALLOTECTES DE SECOND ORDRE

(à l'intérieur de la province métallique aurifère)

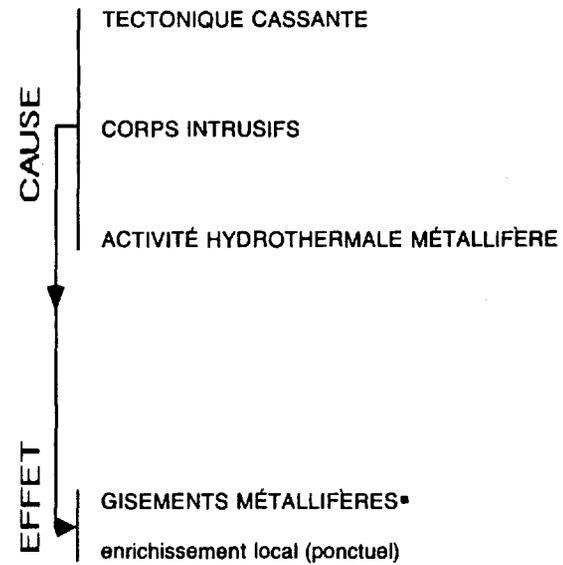


Figure 5.1 Métallotectes principaux et de second ordre.

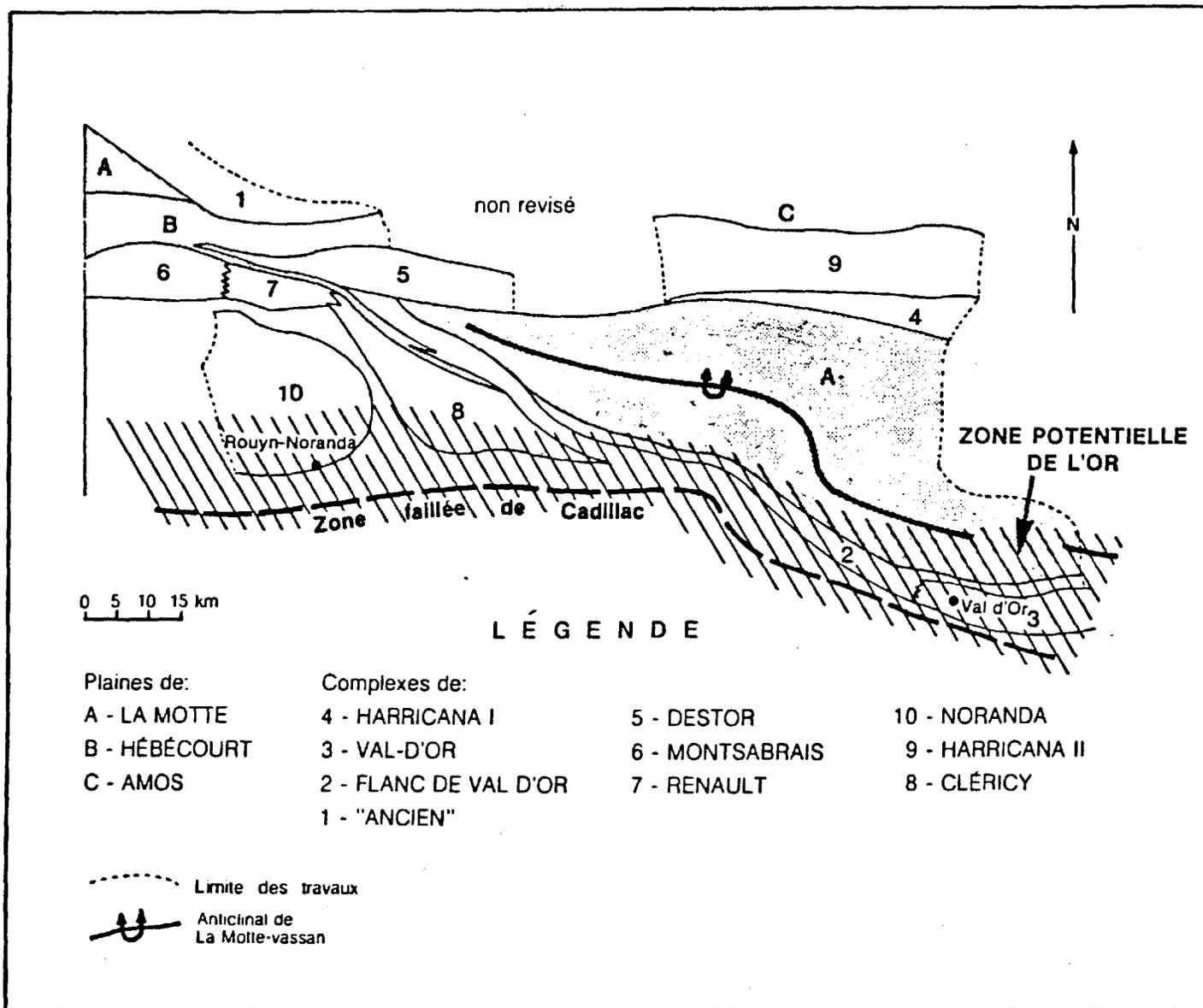


Figure 5.2 Répartition géographique des divers types de volcanisme (plaines, complexes). D'après Imreh et Dimroth 1983.

Nous sommes par ailleurs parfaitement conscients de la limitation conceptuelle de tout ce que nous avancerons ci-après; l'épigraphe choisie en est le meilleur témoignage.

5.1 LES MÉTALLOTECTES PRINCIPAUX ET LEUR CADRE GEODYNAMIQUE

Par définition, les métallotectes principaux englobent tout objet ou phénomène géologique susceptible de provoquer l'enrichissement métallique à l'échelle globale ou suprarégionale. Ils correspondent aux domaines métalliques de Routhier (1980) et aux zones favorables ou potentielles, de nos travaux antérieurs (Imreh, 1984, Imreh et Trudel, 1987).

Dans l'Abitibi méridional nous avons mis en évidence deux types de volcanisme: celui des plaines sous-marines (bassins marginaux) et celui des complexes centraux des anciennes îles en arc. Parmi les trois plaines sous-marines recensées dans la région de Rouyn-Noranda - Val-d'Or, celle de LaMotte est de loin la plus importante, de plus, la profusion des termes ultramafiques lui confère une singularité prononcée (figure 5.2).

Quant aux huit complexes définis, leurs évolutions respectives, quoique relevant du même mécanisme et ayant des traits faciologiques semblables, accusent des divergences souvent notables (Dimroth et al., 1982; Imreh, 1984). Leur évolution est la plus complexe et la plus poussée dans la zone de Rouyn-Noranda - Val d'Or.

En plus de ces constatations, il ressort de la figure 5.2 que les complexes situés sur la bordure méridionale de la plaine sous-marine, ainsi que la section terminale de cette dernière, offrent le meilleur potentiel du point de vue minéralisation (zone hachurée à la figure 5.2). Cette zone contient, en fait, 82% de la richesse aurifère passée, actuelle et future au Québec (cf. chapitre 3). La concentration aurifère exceptionnelle qui s'est produite dans le secteur de Rouyn-Noranda - Val d'Or illustre sans ambiguïté la présence d'une asymétrie métallogénique régionale entre ce secteur et son arrière pays septentrional. La figure 5.3 illustre cet état de choses d'une manière

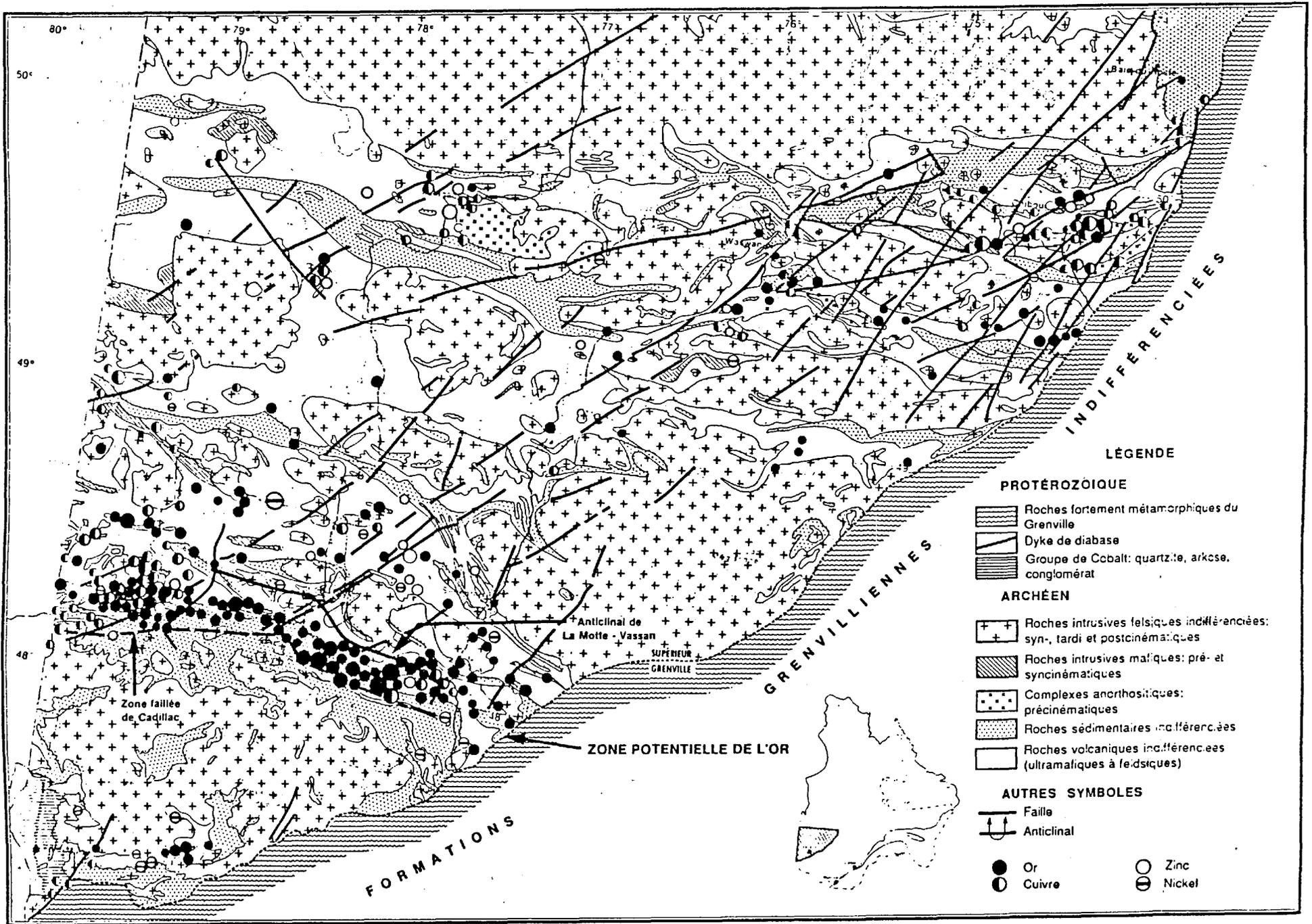


Figure 5.3 Carte minérale du Québec. D'après Avramtchev (1986).
Partie Abitibi-Témiscamingue, modifiée.

fort parlante: on y observe, à la bordure méridionale de la ceinture de l'Abitibi, une concentration de gisements d'or unique au Québec. Les chiffres à l'appui ont été consignés au chapitre 3.

Cette asymétrie constitue le trait de caractère principal de la répartition de l'or abitibien. Elle résulte, en premier lieu, de la différence d'évolution des deux régions, différence dont les composants intramagmatiques, volcanologiques et paléogéographiques ont le plus d'importance. En fait, comme il ressort de la figure 5.4, le paroxysme de la minéralisation aurifère se situe dans la section la plus évoluée du volcanisme type plaine (sections moyenne et supérieure de la Formation de Dubuisson), dans les termes du volcanisme transitionnel (Formation de Jacola) et dans les diverses unités de type arc insulaire (Formations de Val d'Or et d'Héva). Ce phénomène correspond à la spécialisation métallique à l'échelle régionale, spécialisation déjà reconnue par Routhier (1980) à l'échelle globale.

Par voie de conséquence, l'asymétrie constatée ne peut être considérée comme un phénomène aléatoire: elle constitue plutôt le vecteur métallogénique d'une évolution volcanique spécifique, associée dans le temps et dans l'espace à un processus générateur universel dont nous allons cerner la nature plus loin.

En attendant, il y aura lieu de définir les autres métallotectes à connotation régionale qui s'inscrivent à l'intérieur du métallotecte principal, responsable de l'ensemble du phénomène d'asymétrie.

Mentionnons, en premier lieu que l'association spatiale fréquente de la minéralisation aurifère avec la phase ultramafique mérite une attention particulière puisqu'elle est reconnue mondialement dans le Précambrien. À titre d'exemple, nous mentionnons les travaux de Baud (1942) et de Regnault (1980) dans le Birrimien, en Côte d'Ivoire, ceux de Travis et al., (1971) et de Gee et al., (1976) dans le bloc de Yilgarn en Australie, ceux de Pyke (1975); et de Colvine (1983) en Ontario, le travail de Morgan et de Cristoforo (1980) aux États-Unis (Michigan) ainsi que celui de Buisson et Leblanc (1985) au Maroc. Au

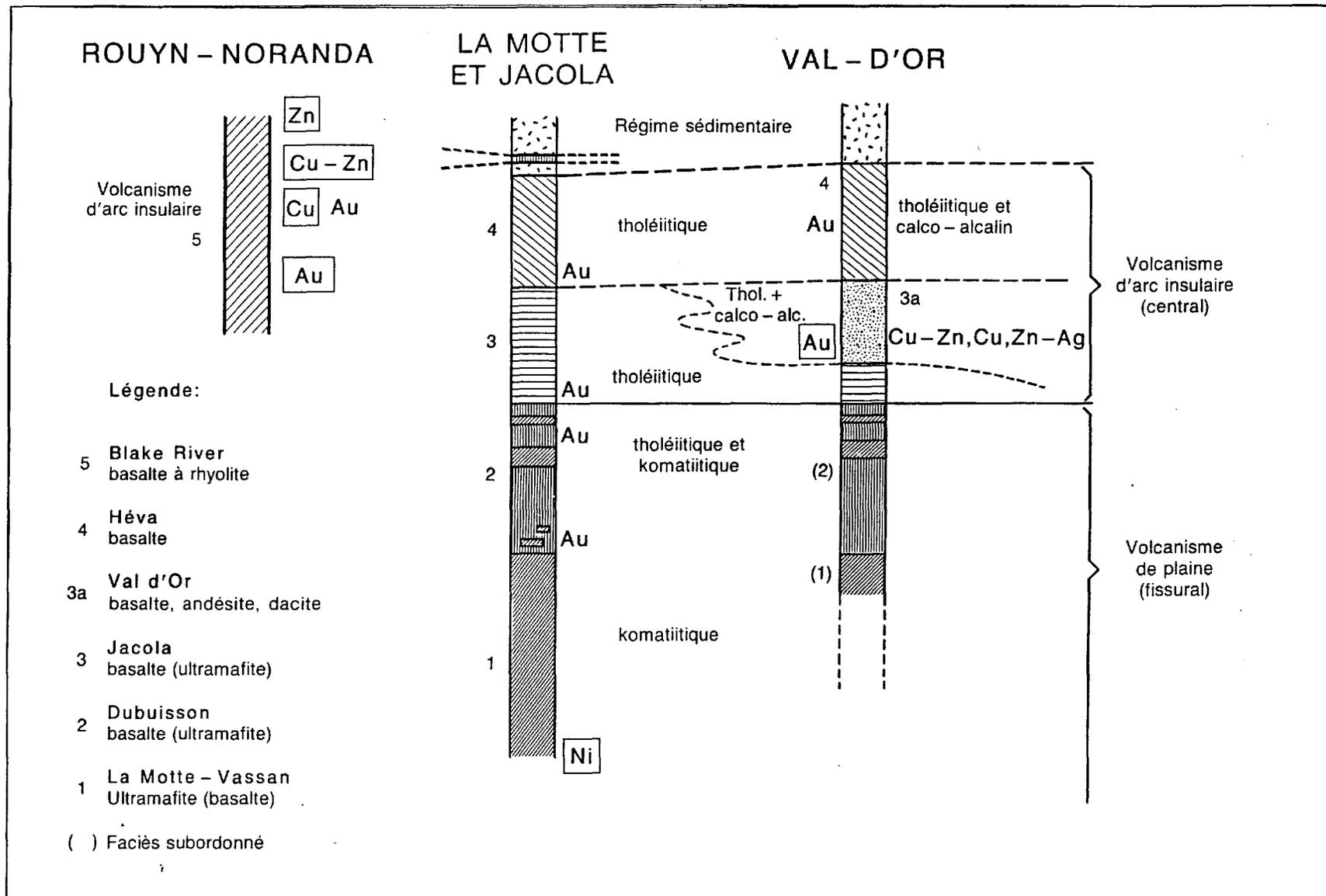


Figure 5.4 Répartition des gisements métallifères en fonction de l'évolution du volcanisme et de la lithostratigraphie. Modifiée, d'après Imreh (1984).

Québec, l'association spatiale de la minéralisation aurifère avec des coulées ultramafiques de la section terminale du volcanisme de type plaine et avec celles du volcanisme transitionnel de la région étudiée a été démontrée par Imreh (1976, 1984). Il s'agit alors, d'un métallogène à la grandeur d'une unité volcanique majeure, dont l'impact mérite d'être pris en considération.

En second lieu, il est à souligner le rôle métallogénique du volcanisme transitionnel de la Formation de Jacola. Associé à la limite de la plaine sous-marine avec les complexes centraux, ce volcanisme possède les traits lithostratigraphiques, lithochimiques et faciologiques particuliers que nous n'avons décelés nulle part ailleurs. La désignation "ceinture d'or de Jacola" (cf. chapitre 4) repose précisément sur ces particularités de valeur métallogénique certaine.

Si la nature tholéitique, ou calco-alcaline reste sans incidence sur la répartition spatiale des minéralisations aurifères de type "filonien", il n'est pas de même quant à l'importance des gisements. Ainsi la situation des deux géants - mines Lamaque et Sigma - dans les intrusions mineures consanguines avec les volcanites encaissantes d'affiliation calco-alcaline, semble constituer un facteur particulièrement important du point de vue quantitatif.

Finalement, il reste à souligner que la répartition qualitative et quantitative des gisements d'or (produit principal) dénote une préférence marquée pour les terrains volcaniques. Par exemple, dans le secteur de Val d'Or près de 80% du potentiel aurifère se trouvent dans ceux-ci. En comparant ces données avec celles obtenues mondialement (Windley, 1987) et tout particulièrement dans le Sud-Ouest Pacifique (Boirat et Stephan, 1985, Boirat, 1986) on peut ériger en loi universelle la prépondérance de la richesse aurifère primaire associée aux formations volcaniques (pour plus de détail voir chapitre 3).

En dernière analyse, c'est à l'évolution spécifique, physique et chimique du volcanisme dans le temps et dans l'espace que l'on peut

imputer la diversification et le degré d'évolution des entités volcaniques. Le potentiel minier est un des résultats de cette diversification. La nature complexe de l'évolution comprend alors tous les facteurs principaux responsables de la favorabilité ou de la stérilité d'une entité géologique donnée.

En formulant une hypothèse de travail qui s'accorde le plus avec les faits observés et interprétés, nous allons ci-après examiner le pourquoi de cette évolution particulière. La cause ultime de la forte diversification du milieu volcanique doit être cherchée assurément dans le cadre géodynamique. Déjà en 1983 Dimroth et al., ont défini le modèle de subduction comme étant le mécanisme principal des événements évolutifs dans l'Abitibi (figure 5.5). La raison d'être de la diversification volcanique et de la polarisation métallique accentuée au sud a été harmonieusement insérée dans ce modèle (Imreh, 1984), puis précisée encore davantage à propos des minéralisations aurifères (Imreh et Trudel, 1987). Notons en passant que le modèle de subduction proposé est semblable à celui de Tarney et al., (1976), élaboré en Amérique du Sud.

Quant au sens de la subduction, les relations de terrain ne nous permettant pas de la déterminer avec certitude; Dimroth et al. (1983 b) supposent que la subduction se faisait du sud vers le nord, puisque les sédiments de l'avant-pays méridional (Pontiac) ont été enfoncés sous la ceinture volcanique (déversement vers le sud) lors du plissement accompagnant la subduction. Ce modèle est aussi en accord avec les données récentes du projet Lithoprobe (Ludden et al., 1988) qui suggèrent que le pendage abrupt des structures épidermiques observées à la bordure sud de l'Abitibi s'atténue en profondeur vers le nord. Pour ces raisons, nous préférons le modèle présenté à la figure 5.5 qui implique une subduction du sud vers le nord.

Nous pouvons alors en conclure à juste titre que dans l'Abitibi-Témiscamingue, la zone de subduction se situerait au sud des divers sillons volcaniques (Dimroth et al., 1983 b). Dans cette optique, le secteur de Rouyn-Noranda - Val-d'Or serait plus près de la zone de

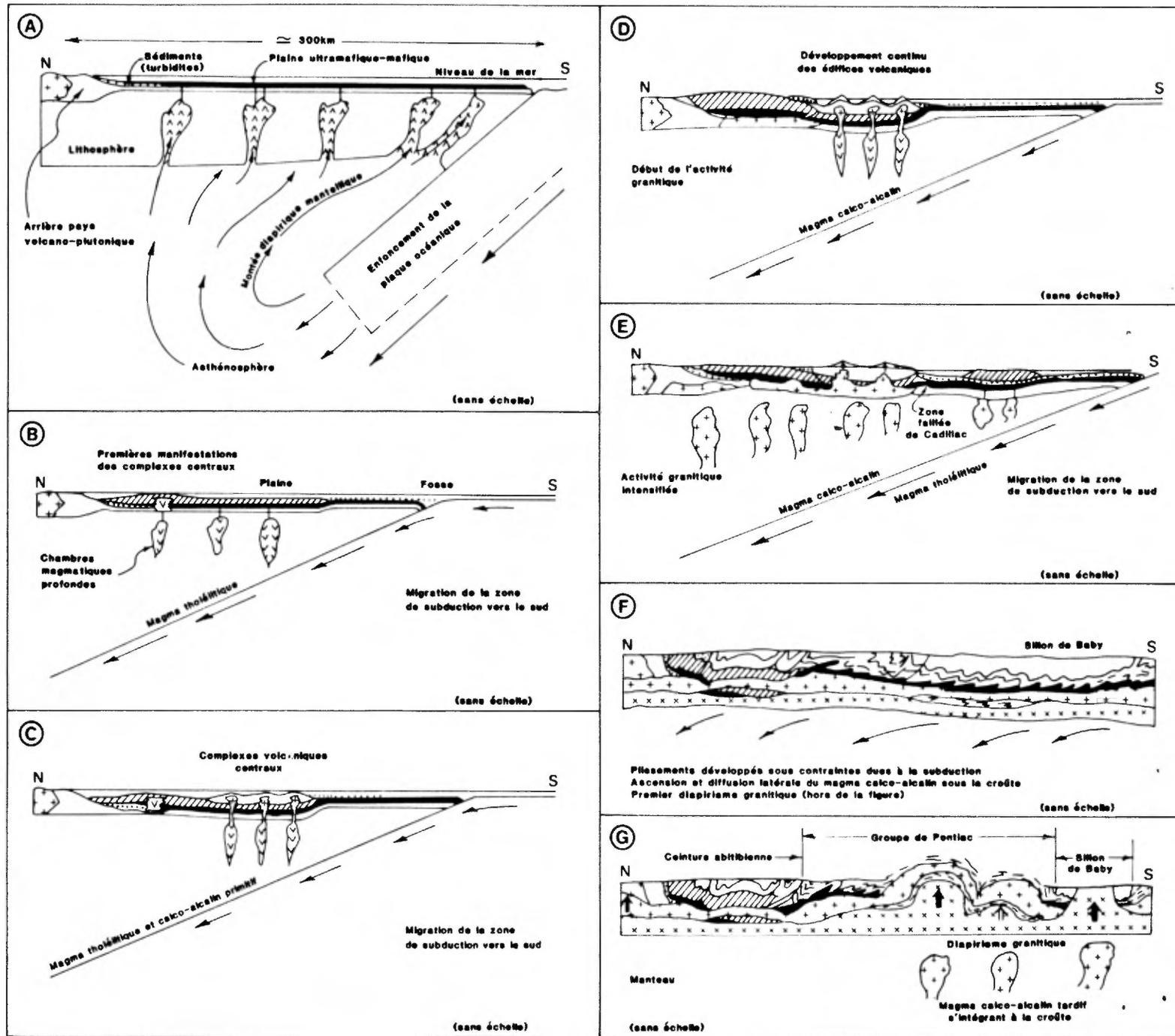


Figure 5.5 Phases de l'évolution géodynamique de l'Abitibi (d'après Dimroth et al., 1983, modifiée in Imreh 1984).

subduction que tout le reste de la ceinture de l'Abitibi. Cette interprétation concorde avec la prépondérance des effusions ultramafiques dans le bassin marginal d'arrière-arc et avec la présence marquée des produits calco-alcalins dans les édifices de type arc insulaire. À ce propos, notons que le volcanisme calco-alcalin est un excellent marqueur, celui-ci n'ayant été reconnu dans aucun autre contexte géodynamique (Girod in Girod et al., 1978).

Ainsi le potentiel aurifère de la zone Rouyn-Noranda - Val-d'Or semble découler de sa position privilégiée par rapport à la zone de subduction.

Le modèle géodynamique a trouvé de plus en plus d'adeptes parmi les géologues oeuvrant dans l'Archéen canadien. Mentionnons à ce propos les travaux récents de Hodgson et al., (1989) dans notre région qui proposent que la mise en place tardive de la minéralisation aurifère en Abitibi fût une conséquence directe de l'orogénèse causée par la collision entre terrain volcanique au nord et un terrain sédimentaire au sud, le long de la faille de Cadillac.

Pour des raisons que nous avons évoquées au chapitre 3.4 il est très difficile de procéder à une reconstitution exacte dans le temps et dans l'espace du phénomène de paléosubduction (Mattauer, 1973). La nature et le développement du Sillon de La Motte-Vassan, où on retrouve le couple bassin marginal - arc insulaire reconnu dans le Sillon de La Motte permet de préciser le cadre géodynamique plus exact, plaident en faveur d'une collision entre deux plaques océaniques.

5.2 LES MÉTALLOTECTES DE SECOND ORDRE

Si les paramètres de l'évolution du volcanisme constituent les métallotectes principaux d'ordre global ou supra-régional, les métallotectes secondaires sont responsables des enrichissements exploitables à l'échelle locale et/ou semi-régionale. Ceux-ci sont associés aux phases structurales syn-, tardi- et post-cinématiques. Rappelons à ce

propos que le style tectonique des terrains archéens est à l'échelle mondiale pratiquement uniforme (Windley, 1978); les déformations souples et les déformations cassantes associées sont omniprésentes.

Le structure de la partie méridionale de la ceinture d'Abitibi a été décrite par Dimroth et al. (1983) et par Hubert et al. (1984). Cette structure se caractérise par la superposition de deux phases majeures de déformation. La première phase (D_1) consiste en des plis ouverts dont la direction du plan axial varie de N-S à NW-SE; la schistosité associée est en général faiblement développée et souvent même absente. La deuxième phase (D_2) est représentée par des plis isoclinaux serrés dont la direction du plan axial oscille entre 90° et 110° ; la schistosité associée (S_2), de même direction, est très pénétrative et omniprésente à l'échelle régionale. Cette deuxième phase de déformation dominante est responsable du grain tectonique général est-ouest observé dans la partie sud de la ceinture d'Abitibi. Ci-après, nous allons passer en revue les manifestations de la tectonique cassante associées à la phase de déformation régionale (D_2), puisque ce sont elles qui peuvent devenir les métallotectes secondaires les plus importants dans les secteurs où les métallotectes principaux sont déjà présents.

Dans la région considérée, la phase de déformation D_2 résulte d'une compression subhorizontale de direction nord-sud (Robert, 1983; Hubert et al., 1984). Ce système de contraintes est illustré à la figure 2.5 et ses caractéristiques sont les suivantes:

- 1- la contrainte principale (σ_1) de direction nord-sud est subhorizontale. Les plans de schistosité (S_2 dans ce cas) se développent perpendiculairement à la contrainte principale, donc dans une direction est-ouest avec un pendage sub-vertical.
- 2- les deux plans de cisaillement conjugués forment chacun un angle de 60° avec la contrainte principale. Ils sont, par

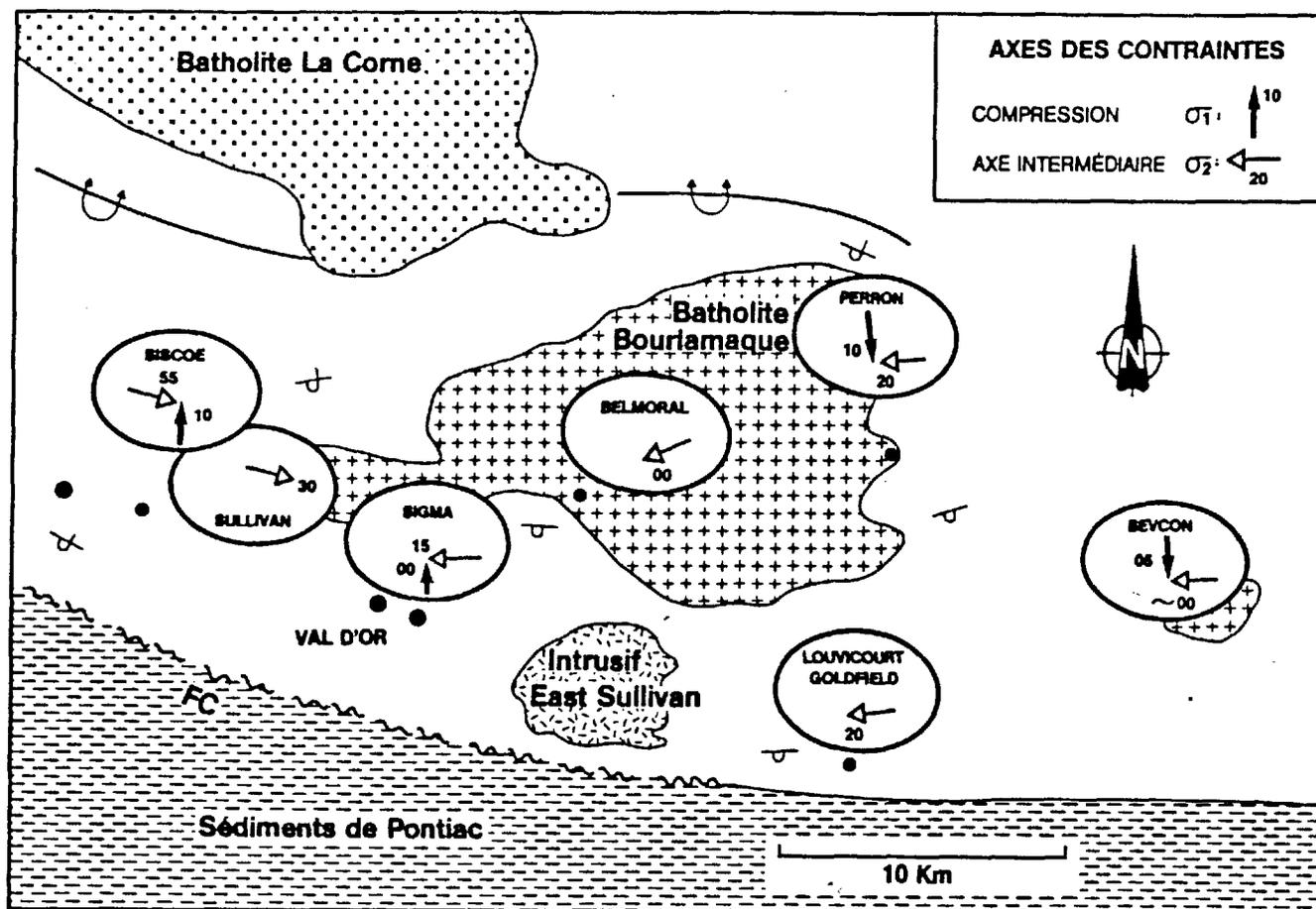


Figure 5.6 Orientation des contraintes responsables de la mise en place des veines. Les contraintes, reconnues dans plusieurs gisements, sont d'ordre régional. (D'après Sauvé et al., 1986, légèrement modifié).

conséquent, de direction est-ouest avec des pendages respectifs de 60° vers le sud (système dextre) et vers le nord (système senestre).

- 3- la contrainte intermédiaire (σ_2) est définie comme étant l'intersection des deux plans de cisaillement conjugués. Elle est donc horizontale et de direction est-ouest.
- 4- la contrainte minérale (σ_3) est orthogonale aux deux autres et est, de ce fait, verticale. Elle correspond aux linéations d'étirement L_{ES} subverticales reconnues dans le secteur (axe long des minéraux aciculaires, des fragments dans les roches clastiques, etc.).
- 5- les fractures de tension se développent perpendiculairement à la direction d'étirement et sont en conséquence subhorizontales. Elles correspondent aux veines à faible pendage ("flats") observées dans plusieurs mines dont Bevcon, Sigma, Lamaque, Perron et Courvan.

La figure 5.6, tirée de Sauvé et al. (1986), montre l'orientation de l'axe intermédiaire des contraintes (σ_2) pour un certain nombre de gisements du secteur étudié. Notons que l'orientation de cette contrainte correspond bien au modèle proposé plus haut (i.e. direction est-ouest, plongée subhorizontale). Par conséquent, la formation des veines dans ces gisements résulte de contraintes affectant l'ensemble de la région.

Il y a cependant deux exceptions à cette règle, les mines Sullivan et Siscoe, où les critères montrent (voir 2^e volume), que la minéralisation aurifère, dans ces deux gisements, est plus précoce que dans l'ensemble du secteur. En effet, à la mine Sullivan, les veines minéralisées à pendage modéré vers le NE sont nettement déplacées par la "faille de la zone K", qui est elle-même une structure aurifère (Trudel 2^e volume). De même, à la mine Siscoe, la veine "C" est recoupée par au moins cinq générations de dykes qui sont à leur tour recoupés par la zone minéralisée principale, indiquant ainsi un

intervalle marqué entre les deux périodes de minéralisation (Trudel et Imreh, 2^e volume)

Nous en concluons, à l'instar de Robert (1983) qui l'a clairement démontré à la mine Sigma que, dans la majorité des mines du secteur de Val-d'Or, la minéralisation est tardi-tectonique et n'a subi que peu de modifications depuis sa mise en place. Par contre, la minéralisation dans les gîtes Sullivan et Siscoe - comme nous l'avons indiqué - semble plus précoce et associée aux premières phases (syncinématiques) de la tectogenèse.

Ainsi, la compression régionale N-S (correspondant à D_2) apparaît comme étant la dernière phase de déformation majeure dans l'Abitibi méridional; la principale partie de la minéralisation aurifère lui est intimement associée. Plus précisément, la minéralisation se retrouve dans les zones de cisaillement E-W à fort pendage qui ont été remplies de matériaux filoniens lors de périodes de relâchement de la phase compressive D_2 . La minéralisation aurifère se retrouve à l'intérieur de la zone de cisaillement également, ou de divers systèmes de fractures synchrones à la formation de zones de cisaillement (figure 5.7) telles que fentes de tension, fractures de Riedel R et R^1 , fracturées P1.

On peut alors postuler qu'à l'intérieur des métallotectes principaux, la majorité sinon la totalité des minéralisations aurifères "filoniennes" sont associées aux structures cassantes ouvertes ou pénétrables aux fluides minéralisateurs (i.e. filons de quartz).

Un autre type de métallotectes de second ordre est développé dans les corps intrusifs situés à l'intérieur de l'encaissante volcanique. En fait, cette position où des roches intrusives compétentes sont encaissées en des roches volcaniques relativement incompétentes, la formation de fentes favorise la circulation des fluides minéralisateurs. Tandis que les roches volcaniques réagissent aux contraintes

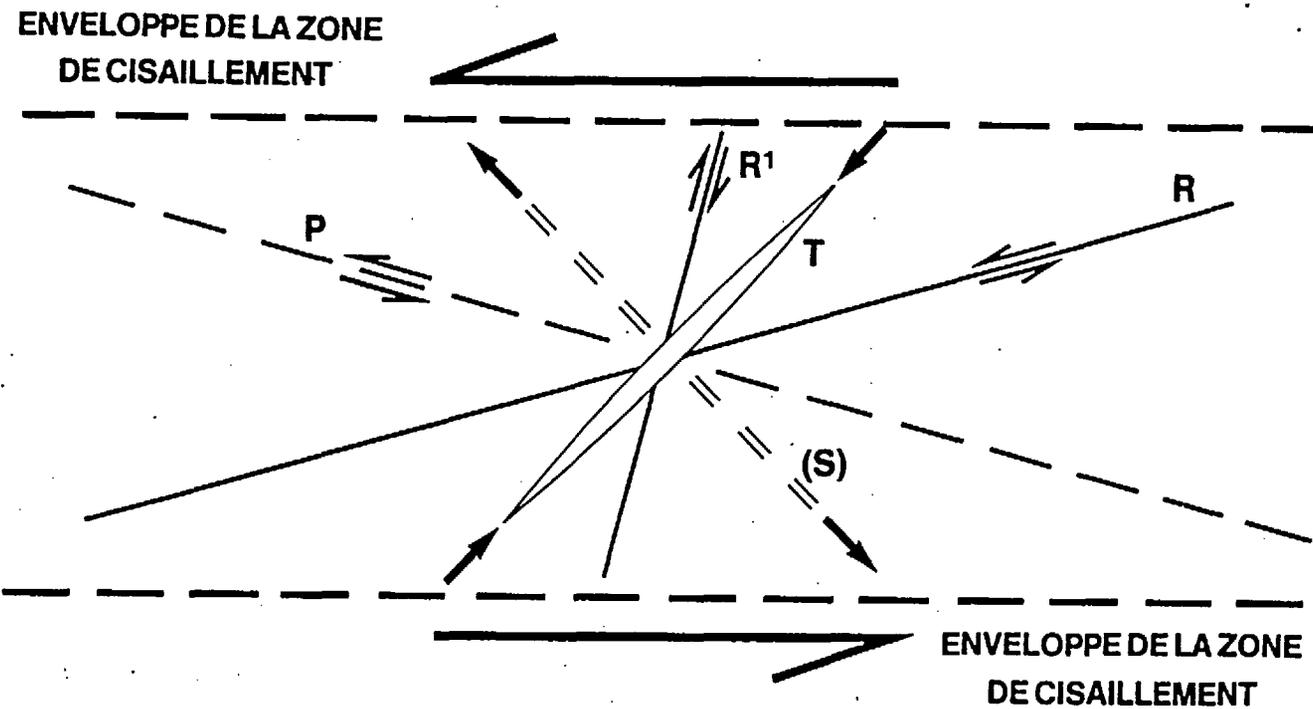


Figure 5.7 Fractures dans une zone de cisaillements: fractures Riedel (R et R'), fractures Skempton (T), fentes de tension (T), joints stylolithiques (S).

régionales d'une manière ductile en devenant schisteuses et imperméables aux solutions minéralisatrices, les masses intrusives en répondent par fractures et créent ainsi les ouvertures nécessaires à la mise en place des filons aurifères. En somme, il ne s'agit que d'une variante des systèmes de fracturation discutés précédemment.

Soulignons que cette situation ne se limite pas à la présence de corps intrusifs: dans tous les gisements étudiés, la minéralisation aurifère est restreinte à la lithologie locale la plus compétente. De bons exemples sont observés dans les mines Kiena, Jacola, Shawkey et Marban où la minéralisation se limite à des coulées de basalte relativement compétentes, encaissées en des ultramafites beaucoup plus ductiles.

Les intrusions minéralisées en or se divisent en deux grandes catégories:

- les intrusions précoces consanguines avec le volcanisme;
- les intrusions syn- à tardicinématiques d'affinité chimique distincte de celle de leur enveloppe volcanique.

La présence des corps intrusifs consanguins avec le volcanisme constitue le terme ultime et souvent le plus différencié de la suite magmatique. D'où l'importance particulière des gisements qui leur sont associés (mines Sigma, Lamaque et Siscoe).

Les gisements intra- et périplutoniques sont associés à des corps intrusifs syn- à tardicinématiques, dont le caractère lithochimique est le même que celui des termes les plus évolués du volcanisme (mines Perron, Beaufor, Bussièrès et Sullivan).

En dernière analyse, rappelons que les mêmes éléments de la tectonique cassante sont partout présents dans l'Archéen mais que seule la présence simultanée des facteurs de contrôle principaux et secondaires majeurs crée les conditions nécessaires et suffisantes à la minéralisation aurifère "filonienne" (i.e. or comme produit principal).

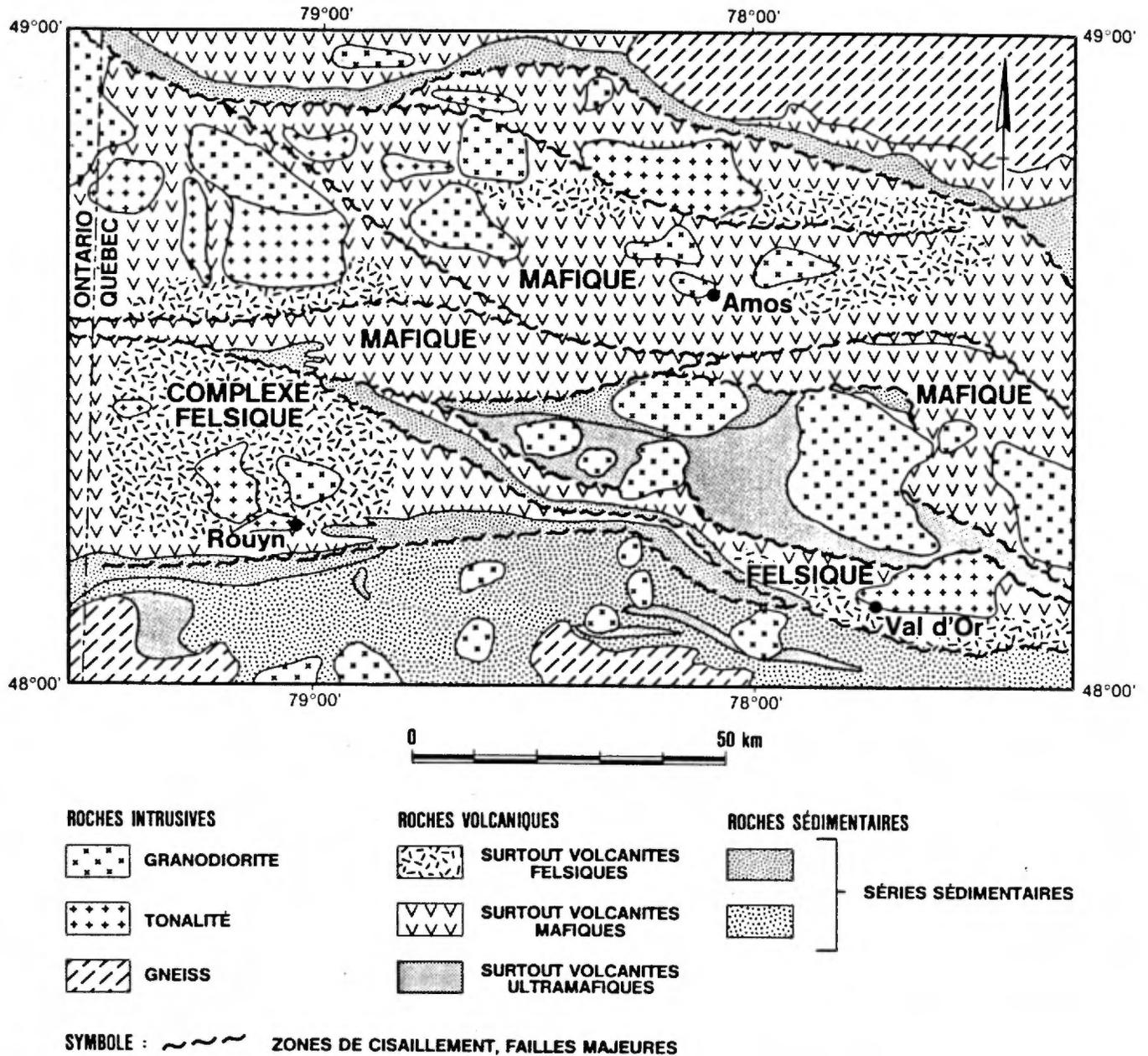


Figure 5.8 Carte schématique montrant les failles reconnues en particulier dans la zone méridionale de la ceinture d'Abitibi (légèrement modifiée d'après Ludden et al., 1986.

À propos de la tectonique de la ceinture d'Abitibi, Ludden et al. (1986) ont démontré que les roches composant cette ceinture sont tronquées par un grand nombre de failles majeures (ou zones de cisaillement) qui les découpent en une série de blocs ayant la forme de losanges écrasés (figure 5.8). Dans ce modèle, la zone tectonique de Cadillac, située à la bordure méridionale de la ceinture, ne tient pas plus d'importance qu'un grand nombre d'autres failles d'extensions comparables. Or, nous avons démontré (chapitre 3) que 82% de la richesse aurifère du Québec était concentrée à l'intérieur d'une étroite bande centrée sur la zone faillée de Cadillac (figure 5.2). L'importance économique de cette zone ne tient donc pas uniquement au fait qu'elle représente une des failles majeures de l'Abitibi, puisque plusieurs failles d'importance comparable ne renferment aucune minéralisation aurifère. Son importance tient plutôt au fait qu'elle s'est développée dans un secteur favorable, c'est-à-dire à proximité de la zone de subduction présumée. Cette démonstration confirme que les métallotectes secondaires (principalement les éléments structuraux) ne forment des minéralisations économiques que dans la mesure où ils se superposent aux métallotectes principaux responsables de la favorabilité d'un secteur donné).

5.3 LES MÉTALLOTECTES "INDICATEURS"

Les minéralisations aurifères de type filonien constituent la phase ultime de l'activité magmatique. Les autres métallotectes secondaires sont reliés principalement aux paramètres physico-chimiques (surtout la température et la composition) des fluides minéralisateurs. De ce fait, on peut les considérer comme des métallotectes "indicateurs" à l'opposé des métallotectes "causals" (principaux et secondaires) énumérés plus haut.

Les métallotectes indicateurs incluent l'altération des épontes ainsi que la nature des minéraux associés à l'or dans les filons minéralisés. Boyle (1979) a dressé la liste suivante des altérations les

plus fréquemment associées à la minéralisation aurifère épigénétique: skarnification, feldspathisation (incluant albitisation), tourmalinisation, fluoritisation, silicification, biotitisation, chloritisation, carbonatation, carbonitisation, pyritisation, arsénopyritisation, propylitisation, alunitisation, hématitisation, serpentinisation, hydratation, phosphatisation, pyrophyllitisation, zéolitisation, amphibolitisation et pyroxénitisation. Dans le secteur de Val d'Or, la sulfurisation est présente dans tous les gisements étudiés. La pyrite est le sulfure dominant dans 20 des 24 mines documentées, tandis que la pyrrhotite domine dans 2 cas (Akasaba et Jacola) de même que l'arsénopyrite (Chimo et Nordeau).

Parmi les autres altérations communes, la carbonatation et la séricitisation sont les plus répandues et affectent tous les types de gisements, quelle que soit la nature de la roche encaissante. Par ailleurs, la tourmalinisation est plus commune dans les roches plutoniques (type I), tandis que la chloritisation et la silicification affectent surtout les roches volcaniques mafiques (Type II). L'albitisation, l'hématitisation, la biotitisation et l'épidotisation sont des altérations plus rares, observées seulement dans un nombre restreint de gisements.

De plus, la tourmaline, la scheelite, la fuchsite et les tellurures constituent de bons indicateurs locaux pour les minéralisations d'or. La scheelite semble se retrouver principalement dans les gisements de type I (encaissés dans les plutonites). Par ailleurs, la pyrite est le sulfure dominant dans la presque totalité des gisements de type I et II, tandis que l'arsénopyrite est la plus abondante dans les gisements de type III. Cette dominance de l'arsénopyrite est également observée dans d'autres gisements aurifères encaissés (dans les sédiments, dans les secteurs de Cadillac (Beaudoin et Trudel, 1988) et de Casa-Bérardi (Verrault, 1989) (voir tableau 4.2 et description des mines, 2^e volume).

5.4 CONCLUSIONS

Nous avons démontré dans cette étude que la concentration métallifère, en particulier celle de l'or, n'est pas un phénomène aléatoire mais le résultat de la présence conjuguée de deux groupes de métallotectes principaux: les métallotectes associés à l'évolution précinématique et les métallotectes associés aux diverses phases tectoniques. La nature particulière de la bande à très forte concentration métallique est, en dernier ressort, définie par sa proximité à la zone de subduction présumée, au sud de la région considérée (Dimroth et al, 1983b).

C'est précisément cette évolution géodynamique de l'extrémité sud de la ceinture qui a créé l'environnement très diversifié et propre à la minéralisation. La diversification typologique poussée de la minéralisation aurifère lui est imputable.

En résumé, on conçoit aisément que seules l'action et/ou la présence conjuguées des métallotectes causals - principaux et de second ordre - peuvent engendrer, dans la mesure des lois aléatoires, la formation de gisements métallifères. Nous pensons alors formuler le théorème fondamental suivant, visualisé à la figure 5.9: Seule la relation d'intersection entre métallotectes principaux et métallotectes de second ordre constitue les conditions nécessaires et suffisantes à la minéralisation aurifère filonienne.

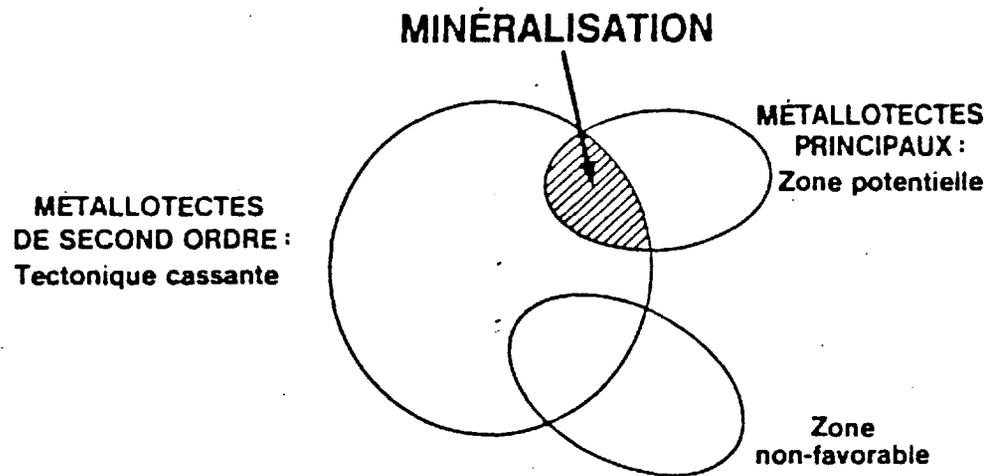


Figure 5.9 Relation d'intersection entre métallogènes principaux et métallogènes de second ordre.

RÉFÉRENCES

- AVRAMTCHEV, L., 1986 - Carte minérale du Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; 2 feuilles au 1/1:500 000.
- BAUD, L., 1942 - Sur la présence d'or libre dans les roches basiques du Cercle de Kaya (Haute Côte d'Ivoire). Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris; tome 214, pages 282-382.
- BEAUDOIN, A. - TRUDEL, P. 1988 - Géologie des mines Mic Mac, Central Cadillac, Lapa Cadillac, Wood Cadillac, Pandora et New Alger, région de Cadillac, Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, MB-88-25.
- BOIRAT, J.M. - STEPHAN, J.F., 1985 - Un gisement d'or subactuel dans un cadre géodynamique, les mines d'Acupan et d'Autamok (Cordillères centrales, île de Luzon, Philippines). Chronique de la recherche minière, n° 480, pages 5-16.
- BOIRAT, J.M., 1986 - "Ruée vers l'or" dans le Sud-Ouest Pacifique; Chronique de la recherche minière n° 484, pages 60-62.
- BOYLE, R.W., 1979 - The Geochemistry of Gold and its Deposits; Geological Survey of Canada, Bulletin 280, 584 pages.
- BUISSON, G. - LEBLANC, M., 1985 - Gold in carbonatized ultramafic rocks from ophiolite complexes, Economic Geology; volume 80, pages 2028-2029.
- COLVINE, A.C., (éditeur) 1983 - The geology of Gold in Ontario. Ministry of Natural Resources, Ontario Geological Survey, miscellaneous paper 110, 278 pages.
- DIMROTH, E. - IMREH, L. - GOULET, N. - ROCHELEAU, M., 1982 - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part I: Stratigraphy and paleogeographic model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 19, no 9, pages 1729-1758.
- _____ 1983a - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Québec. Part II: Tectonic evolution and geomechanical model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 20, no 9, pages 1355-1373.
- _____ 1983b - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Québec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 20, no 9, pages 1374-1388.
- GEE, R.D. - GROVES, D.I. - FLETCHER, C.I., 1976 - Archean geology and mineral deposits of the Eastern Goldfields, 25^e Congrès géologique international, Australie, livret-guide pour l'excursion 42A; 56 pages.

- HODGSON, L.J. - HAMILTON, J.V. - HANES, J.A., 1989 - The late emplacement of gold in the Archean Abitibi Greenstone Belt. A consequence of the second equilibration following collisional orogeny. Association géologique du Canada, Congrès GAC-MAC 1989, Montréal. Volume des résumés (inédit).
- HUBERT, C. - TRUDEL, P. - GÉLINAS, L., 1984 - Archean wrench fault tectonics and structural evolution of the Blake River Group, Abitibi Belt, Québec. Canadian Journal of Earth Sciences; volume 21, n° 9, pages 1024-1032.
- IMREH, L., 1976 - Nouvelle lithostratigraphie à l'ouest de Val-d'Or et son incidence géologique. Ministère des Richesses naturelles, Québec; DPV-349, 73 pages.
- IMREH, L. - DIMROTH, E., 1983 - Stratigraphie et volcanologie archéenne: relations et traits discriminants. IN Stratigraphie des ensembles volcano-sédimentaires archéens de l'Abitibi: état des connaissances. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DV 83-11, pages 111-120.
- IMREH, L., 1984 - Sillon de La Motte-Vassan et son avant-pays méridional: synthèse volcanologique, lithostratigraphique et géologique. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MM 82-04, 80 pages, 2 cartes.
- _____ 1987 - Mines Lamaque - géologie de surface, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. ET 87-04, carte polychrome; annotée à 1/2 500.
- IMREH, L. - TRUDEL, P., 1987 - Métallotectes et typologie des gisements aurifères du secteur de Val d'Or; Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, DV 87-25, pages 75-83.
- LUDDEN, J.H. - HUBERT, C. - GARIEPY, C., 1986 - The tectonic evolution of the Abitibi greenstone belt of Canada; Geological Magazine, volume 123, numéro 2, pages 153-166.
- MATTAUER, M., 1973 - Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre. Ed. Hermann, Paris, 493 pages.
- MORGAN, P.J. - de CRISTOFORO, D.T., 1980 - Geological evolution of the Ishpeming greenstone belt, Michigan, U.S.A. Precambrian Research; volume II, pages 23-41.
- PYKE, D.R., 1976 - On the relationship between gold mineralization and ultramafic volcanic rocks in the Timmins Area, Northeastern Ontario. Bulletin de l'Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; pages 79-87.
- REGNOULT, J.M., 1980 - Les komatiites et métamorphites associées du Birrimien du nord de la Côte d'Ivoire. Université scientifique et médicale de Grenoble; thèse de doctorat de spécialité (3^e cycle); 165 pages.

- ROBERT, F., 1983 - Etude du mode de mise en place de veines aurifères de la mine Sigma, Val-d'Or, Québec. Thèse de doctorat ès sciences appliquées, département de génie minéral, École Polytechnique, 274 pages.
- ROUTHIER, P., 1980 - Où sont les métaux pour l'avenir? Bureau de recherches géologiques et minières (B.R.G.M.), mémoire n° 105, 409 pages.
- RUSSEL, B., 1965 - Analyse de la matière; Éd. Payot, Paris, 313 pages.
- SAUVÉ, P., 1984 - Géologie de la mine Bevcon, Val-d'Or, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, série MB 85-04, 45 pages.
- SAUVE, P. - PERREAULT, G. - TRUDEL, P., 1986 - Compilation et données nouvelles sur les gîtes d'or du camp minier de Val-d'Or; Ministère de l'Énergie et des Ressources, série MB 86-24, 116 pages.
- TRAVIS, G.A. - WOODALL, R. - BARTRAM, G.D., 1971 - The geology of the Kalgoorlie Goldfield. Geological Society of Australia; special publication 3, pages 175-190.
- VERRAULT, C., 1989 - Pétrologie et géochimie du gisement d'or Golden Pond East, Casa Berardi, Abitibi, Québec, Canada. Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, département de génie minéral, École Polytechnique, Montréal; 167 pages.
- WINDLEY, B.F., 1977 - The Evolving Continents; John Wiley and Sons; Chichester, New-York, Toronto, 399 pages (2nd édit. refondue).



6. RÉFLEXIONS FINALES

"Quand on va au fond des phénomènes de la nature, on se heurte toujours aux problèmes de l'espace et du temps" (Raguin, 1970, page 207).

Tout au long de cet ouvrage nous avons visé d'atteindre les principaux objectifs suivants:

- situer les gisements dans leur contexte géologique réel;
- obtenir une image représentative du milieu favorable à la minéralisation aurifère;
- définir les facteurs de contrôle, le mode de la mise en place;
- élaborer une typologie exempte de toute idée préconçue.

Ci-après nous allons en reprendre les principaux éléments dans leur cadre spatio-temporel.

MÉTALLOTECTES ET MINÉRALISATION

À chaque page de ce volume, nous nous sommes efforcés de mettre en relief le dynamisme des phénomènes géologiques déroulés dans le temps et fixés ensuite par les objets engendrés, dans l'espace. De même, nous avons ambitionné l'insertion de tout phénomène, et de tout objet dans un cadre unitaire compréhensif et logique, ce qui revenait à ramener les événements et leurs résultantes sur un dénominateur commun. Ce cadre unitaire étant de caractère géodynamique, tous les événements ultérieurs au commencement de la subduction - y compris la phase de compression orogénique - trouvent leur place logique dans ce modèle.

Certes, "On peut dire qu'on connaît déjà beaucoup de lois générales qui régissent la mécanique terrestre. Mais ces lois sont d'autant plus mal connues que l'on s'adresse à des périodes plus anciennes et pour le moment on a surtout des informations sur les deux cents derniers millions d'années. Pour les époques antérieures, les lois générales de l'évolution de la Terre restent encore à trouver, mais on sait déjà que ces lois existent et que le schéma d'évolution de la terre ne doit pas être impossible à trouver". (Mauttauer, 1973, page 464). La reconstitution paléogéographique, volcanologique et géodynamique réalisée dans l'Archéen québécois a fourni, en dépit des difficultés inhérentes aux terrains précambriens, une base solide aux travaux géologiques. Les principales constatations, à la mesure de nos connaissances, autorisent à avancer, à un degré de probabilité confortable, les assertions suivantes:

- grâce au concept d'actualisme en géologie, il est devenu possible d'affirmer la présence d'une zone de paléosubduction dans l'Archéen québécois au Sud de la ceinture abitibienne;

- les travaux paléovolcanologiques et structuraux (Dimroth et al. 1983a et b) ont permis de définir le sens de l'enfoncement de la plaque océanique vers le Nord (figure 5.5);

- les tout récents résultats préliminaires du projet LITHOPROBE (Ludden et al., 1989) semblent confirmer ce postulat;

- la nature et l'ordonnement de la répartition du volcanisme plaident en faveur d'une collision entre plaques océaniques;

- l'évolution du terrain au Nord de la zone de subduction connaît une asymétrie prononcée (tableau 2.1), ce qui autorise à définir deux zones majeures, internes (Chibougamau-Matagami) et externe (Val d'Or - Rouyn-Noranda) dans l'ensemble de l'Abitibi (Dimroth et al., 1982);

- chaque entité volcanique démontre une évolution spécifique dans les cadres respectifs des zones internes et externes;

- la distribution de la minéralisation polymétallique (Cu, Zn, Au, Ag) témoigne d'une polarisation spectaculaire à l'échelle régionale, située dans l'extrême sud de la ceinture abitibienne (Imreh, 1984);

- la polarisation métallique est la plus exprimée dans le cas des gisements d'or (Imreh et Trudel 1987).

L'enchaînement logique des phénomènes énumérés permet de postuler que la cause originelle de la minéralisation est le développement de la zone de subduction archéenne qui constitue le pourquoi unitaire de tous les phénomènes géo- et gîtologiques observés.

Tous les phénomènes et objets énumérés font, à divers degrés, partie intégrante des métallotectes principaux. Nous en retenons tout particulièrement l'asymétrie nord-sud; l'évolution individuelle de chaque entité volcanique matérialisée par des traits de caractère particuliers; la polarisation spectaculaire de la minéralisation dans la zone de Rouyn-Noranda - Val-d'Or.

Les résultantes de la tectonique tabulaire (zones de cisaillement, fractures de divers types (cf. chapitre 2 et 5) sont présentes à l'échelle régionale. Ludden et al. (1986) leur attribuent une importance égale partout dans l'Abitibi. Si ce postulat peut être vrai du point de vue purement tectonique, son extension au niveau des minéralisations n'est pas justifiée. En fait, les éléments structuraux tabulaires ne deviennent des métallotectes que là où les métallotectes principaux sont effectivement présents. La distribution polarisée des minéralisations et, en particulier, des minéralisations aurifères, en constitue la preuve. Il résulte de cette assertion que les zones de cisaillement, de fractures (surtout fractures de tension) n'accèdent au rôle de métallotecte que dans la mesure où elles se trouvent à l'intérieur des aires des métallotectes principaux. D'où leur dénomination de "métallotectes de second ordre".

La loi de la relation d'intersection entre zones favorables et tectoniques cassantes repose sur ce fait d'observation.

Le théorème énoncé précise, par définition, l'existence de deux étapes majeures de minéralisation aurifère:

- l'enrichissement général au niveau régional;
- concentrations métallifères locales ou ponctuelles.

La première étape est la résultante des métallotectes principaux; elle constitue la condition nécessaire à la minéralisation. La seconde correspond aux métallotectes de second ordre se réalisant à l'intérieur de ceux considérés principaux. Les deux types de métallotectes assurent conjointement les conditions nécessaires et suffisantes à l'avènement des gisements.

La première étape, comme il est normal, ne se révèle pas par matérialisation (i.e. gîtes). Le degré de l'enrichissement dépend surtout du degré d'évolution individuel des entités volcaniques. La relation d'association spatiale entre la minéralisation aurifère et les coulées ultramafiques komatiitiques est mondialement reconnue (Pyke, 1976; Baud, 1942; Imreh, 1976; Morgan, de Cristoforo, 1980; etc.) et illustrée dans les régions étudiées par les mines Kiena, Marban, Norlartic, Shawkey, Jacola, Siscoe et les gisements Wesdome, Callahan.

La seconde étape est la matérialisation sensu stricto de la concentration métallique.

Les énoncés précédents démontrent que les processus d'enrichissement et de concentration sont distincts dans le temps et unis dans l'espace; dans ce sens-là, il s'agit alors d'une minéralisation polyphasée, même si la première phase ne se révèle pas par matérialisation.

	Au t métal total	Au % métal total
type A	93,600	20,0
type B	367,000	78,0
type C	9,678	2,0
Total	470,278	100,0
type B1	14,56	3,97
type B2	299,60	81,63
type B3	52,84	14,40
Total	367,00	100,00

Tableau 6.1 Métal total d'or éclaté en fonction des trois types de gisements, A, B, C (voir chapitre 5 pour la classification).

Tableau 6.2 Métal total d'or du type B, éclaté en fonction des sous-types (voir chapitre 5 pour la classification).

De même, il résulte de ce qui vient d'être dit que la minéralisation aurifère, où l'or est le produit principal, est épigénétique avec ou sans contrôle lithostratigraphique et pétrologique quant à la position géographique ou géologique de sa mise en place.

Typologie et répartition des gisements

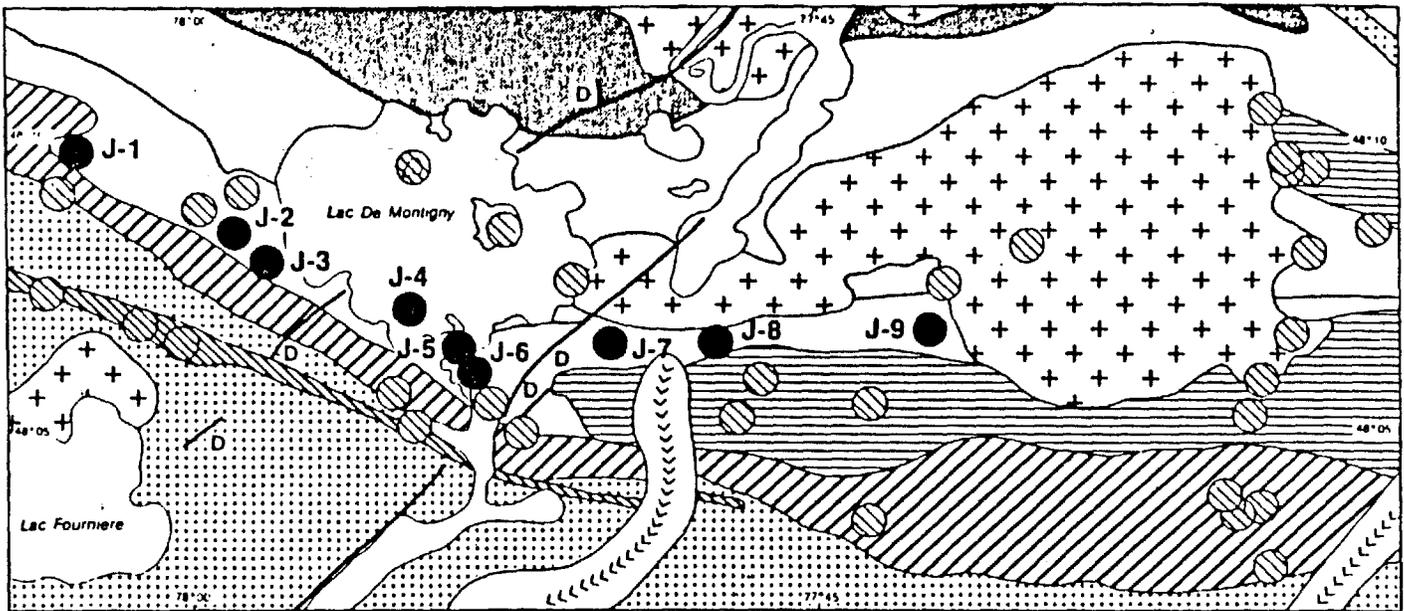
La typologie, dans l'acception utilisée, classifie les gisements en fonction de leur cadre géologique. Cette approche permet de répondre à deux questions:

1- quel est l'impact de la composition du terrain encaissant sur la fréquence et l'importance de la minéralisation?

2- quel est le rôle de contrôle lithostratigraphique?

Il ressort en particulier de l'étude réalisée (chapitres 3 et 4) que la majorité des gisements aurifères primaires se situent dans les terrains volcaniques (tableau 6.1). Cette distribution préférentielle quantifiée à l'échelle du secteur de Val-D'Or, se voit confirmée à travers le monde. Rappelons que la répartition mondiale de la minéralisation aurifère est bimodale (Woodall, 1979, 1986, voir chapitre 3 de ce volume).

Dans le secteur étudié, la part des gisements en terrain volcanique (type B) s'élève à 80% du potentiel total (tableau 6.1). A l'intérieur de cette catégorie, l'affiliation tholéitique caractérise la majorité des gisements. Par contre, lorsqu'on quantifie le potentiel métallique, il ressort -- en raison des deux géants, Lamaque et Sigma -- que la majeure partie de la production vient du terrain calco-alcalin (tableau 6.2). Cette constatation peut être reformulée en termes paléovolcaniques comme suit: si les bassins marginaux (plaine sous-marine) fournissent le plus grand nombre de gisements de petite, moyenne et grande taille, les exceptions -- gisements de très grande taille -- se trouvent dans un contexte d'arc insulaire moyennement ou même bien évolué.



0 5 10 km

- | | | | |
|---|--|--|--------------------------------|
| D | DYKE DE DIABASE | | FORMATION DE HÉVA |
| | INTRUSIFS | | FORMATION DE VAL D'OR |
| | GROUPE DE CADILLAC — FORMATION DE KEWAGAMA GROUPE DE PONTIAC: SÉDIMENTS INDIFFÉRENCIÉS | | FORMATION DE JACOLA |
| | ZONE TECTONIQUE DE CADILLAC | | FORMATION DE DUBUISSON |
| | GISEMENTS DE LA CEINTURE D'OR DE JACOLA
J-1: MALARTIC HYGRADE — J-2: MARBAN — J-3: LITTLE LONG LAC — J-4: KIENA
— J-5: SHAWKEY — J-6: MINE ÉCOLE — J-7: JACOLA — J-8: NEW-HARRICANA
— J-9: NEW-BIDLAMAQUE | | FORMATION DE LA MOTTE - VASSAN |
| | AUTRES GISEMENTS | | ESKER |

Fond géologique simplifié au 1:250 000 tiré du MM 82-04 de L. IMREH (1984).

Figure 6.1 Les gisements d'or situés dans la zone transitionnelle du volcanisme, secteur de Val-d'Or.

Le rôle du contrôle lithostratigraphique, ailleurs peu ou pas démontré formellement, a été mis en évidence dans le secteur de Val-d'Or. Sur les 24 gisements étudiés, 10 se situent dans une seule formation mince et particulière (Formation Jacola). Cette formation est caractérisée par un volcanisme singulier, défini comme étant transitionnel entre l'activité sous-marine de la plaine et celle des arcs insulaires (chapitres 2 et 4). Le nombre considérable (10 sur 24) des gisements qui s'y situent semble démontrer l'importance de la zone de transition associée à l'évolution de la zone de subduction (figure 6.1).

Aussi, selon leur géométrie, les gîtes de cette zone sont stratiformes sans que la minéralisation y soit syngénétique: toutes les minéralisations sont associées à des filons en amas de quartz, surtout dans les systèmes de fracturation et, dans la mine Kiena, à une brèche tectonique affectant les basaltes massifs (Trudel et al., 2^e volume).

L'approche choisie a démontré que la compréhension des phénomènes gîtologiques, de leurs causes et de leurs résultantes, passe ailleurs que par les hypothèses génétiques. Celles-ci ne pouvant généralement pas avoir la valeur d'une conclusion et dépasser le stade de l'hypothèse. Une observation rigoureuse des faits est plus utile dans la conduite des travaux, et il est plus important, sur le plan scientifique, de savoir quel est le rôle des facteurs de contrôle, quelle est leur hiérarchisation, comment et pourquoi la minéralisation est distribuée comme elle l'est, quelle est l'importance des divers types de volcanisme, de la zone de subduction et des représentants de la phase ultime de la manifestation orogénique, que d'affirmer, souvent d'une manière gratuite, la pression, la température, la nature et l'origine de la minéralisation.

En résumé, la minéralisation aurifère type "filonien" s'inscrit dans un tout compréhensif (figure 6.2) dont la cause première réside dans une évolution géodynamique spécifique associée à la zone de paléo-subduction. Sa matérialisation effective dépend, par contre, de la

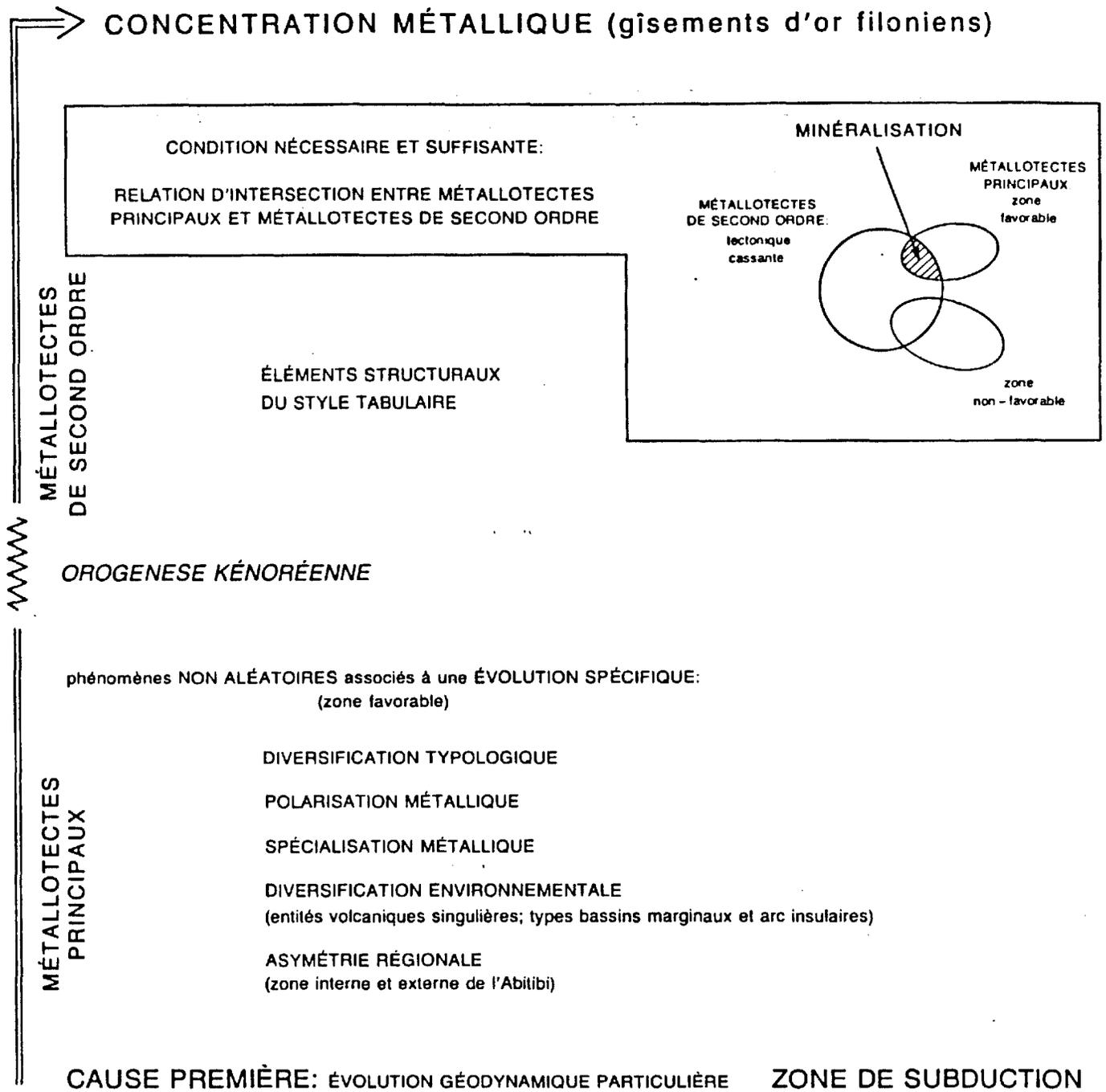


Figure 6.2 Schéma unitaire de l'évolution de la minéralisation aurifère (type "filonien").

présence d'éléments structuraux tabulaires au sein de cette zone. D'où le théorème fondamental de la relation d'intersection entre métallotectes principaux et de second ordre, car seule la présence simultanée des facteurs de contrôle principaux et de second ordre crée les conditions nécessaires et suffisantes à la minéralisation aurifère "filonienne".

RÉFÉRENCES

- BAUD, L., 1942 - Sur la présence d'or libre dans les roches basiques du Cercle de Kaya (Haute Côte d'Ivoire). Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris, tome 214, pages 282-382.
- DIMROTH, E. - IMREH, L. - GOULET, N. - ROCHELEAU, M., 1982 - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part I: Stratigraphy and paleogeographic model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 19, no 9, pages 1729-1758.
- _____ 1983a - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part II: tectonic evolution and geomechanical model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 20, no 9, pages 1355-1373.
- _____ 1983b - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Québec. Part III: plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. Journal canadien des Sciences de la Terre; volume 20, no 9, pages 1374-1388.
- IMREH, L. 1976 - Nouvelle lithostratigraphie à l'ouest de Val-d'Or et son incidence géologique. Ministère des Richesses naturelles, Québec; DPV-349; 73 pages.
- _____ 1984 - Sillon de La Motte-Vassan et son avant-pays méridional: synthèse volcanologique, lithostratigraphique et géologique. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MM82-04; 80 pages 2 cartes.
- IMREH, L. - TRUDEL, P., 1987 - Métallotectes et typologie des gisements aurifères du secteur de Val d'Or; Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, DV 87-25 pages 75-83.
- LUDDEN, J.N. - HUBERT, C. - MAYRAND, L.J. - MILKEREIT, B. - GREEN, A.G., 1989 - Résultats du Projet Abitibi de lithoprobe; Commission Géologique du Canada, Forum des travaux en cours, page 19.
- LUDDEN, J.N. - HUBERT, C. - GARIÉPY, C., 1986 - The tectonic evolution of the Abitibi greenstone belt of Canada; Geological Magazine, volume 123, numéro 2, pages 153-166.
- MATTAUER, M., 1973 - Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre, Hermann édition (Paris). Collection Méthodes, 493 pages.
- MORGAN, P.J. - de CRISTOFORO, D.T., 1980 - Geological evolution of the Ishpeming greenstone belt, Michigan, U.S.A. Precambrian Research; volume II, pages 23-41.
- PYKE, D.R., 1976 - On the relationship between gold mineralization and ultramafic volcanic rocks in the Timmins Area, Northeastern Ontario. Bulletin de l'Institut canadien des Mines et de la Métallurgie; pages 79 - 87.

RAGUIN, E., 1970 - Pétrographie des roches plutoniques dans leur cadre géologique; Masson et Cie, Paris, 239 pages.

WOODALL, R., 1979 - Gold - Australia and the World, pages 1-38 in Glover, J.E., Groves, D.I., 1981 (première éd. 1979). Gold Mineralization; University of Western Australia, 106 pages.

WOODALL, R., 1986 - Gold Exploration: Impact of changing geoscience concepts and technologicis; texte de la conférence présentée au Centre for Ressources Studies Policy Workshop, Queens's University, Kingston, Ontario le 7 octobre 1986 (11 pages, 9 figures, inédit).