La recherche minière : un problème de financement et de collaboration technique

Autor(en): **Woodtli, Robert**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Revue économique et sociale : bulletin de la Société d'Etudes Economiques et Sociales**

Band (Jahr): **18 (1960)**

Heft 3

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-135209

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

La recherche minière: Un problème de financement et de collaboration technique

Robert Woodtli

docteur ès sciences, géologue, lauréat de l'Académie royale des sciences coloniales de Belgique

Introduction

Jusqu'à présent, l'économie suisse n'a eu que des rapports très limités avec cette activité si importante dans d'autres pays. Mais cette situation pourrait se modifier par l'intérêt qui se manifeste pour *la recherche d'hydrocarbures et de minerais radio-actifs indigènes* ou par *la participation de la Suisse à l'aide aux pays sous-développés*. A propos de cette œuvre on peut se demander d'ailleurs si l'initiative privée ne devrait pas y prendre une part plus active, par le financement de sociétés de recherche minière par exemple. Les milieux financiers de notre pays pourraient donc être amenés à se pencher sur certains problèmes, nouveaux pour eux, relatifs à l'économie minière et notre étude a pour but de montrer comment se développe la recherche minière, quelles sont ses étapes successives, quels sont les rôles respectifs du géologue, du mineur et du financier, comment se forment et se prennent les décisions vitales pour l'entreprise. Cette note s'adresse principalement au laïque et on n'y trouvera pas ou guère de détails techniques sur les sciences de la terre et sur l'art des mines. C'est la *philosophie de la recherche* que l'on essaye de formuler. On insiste plus particulièrement sur le rôle du géologue, non par chauvinisme professionnel, mais pour des raisons diverses et étroitement mêlées: parce que ce rôle est le plus mystérieux, par conséquent souvent méconnu, quelquefois surestimé, plus fréquemment sous-estimé; or, il importe de bien comprendre tout ce que le géologue peut apporter et quelles sont ses limites; de plus, l'exploitation des mines s'impose comme un phénomène dont l'importance économique remonte presque à l'apparition de l'homme sur la terre, le rôle du mineur reste si essentiel et si universellement reconnu qu'il n'y a pas lieu de le souligner avec une particulière attention, tandis que la géologie appliquée à la recherche des gisements minéraux est encore toute jeune; elle a pris son essor sous la protection du mineur et, dans bien des cas, elle a conservé à son égard une position traditionnellement subordonnée et rencontre des difficultés à se soustraire à une tutelle maintenant injustifiée. Seules les branches les plus jeunes de la recherche minière (la prospection pour le pétrole et l'uranium) accordent à la géologie appliquée la place qui lui appartient. Dans de nombreux pays, l'enseignement de la géologie minière demeure une branche secondaire des écoles des mines, un complément réservé à quelques originaux, et ses possibilités restent dans la pénombre à l'état potentiel.

Nous tenterons ici de lui tailler sa place, de montrer son importance et son intérêt non seulement pour le prospecteur mais encore pour l'exploitant et l'économiste.

*

La recherche minière est une loterie où les billets coûtent extrêmement cher et ont une probabilité très faible de sortir au tirage, mais où les gains peuvent être immenses. La réussite de cette entreprise aléatoire exige la collaboration intelligente et organisée de trois genres de disciplines:

— les méthodes des sciences appliquées: géologie, géochimie, géophysique;
— l'art des mines avec ses techniques diverses, travaux miniers, sondages, préparation des minerais;
— les principes de gestion des entreprises et les méthodes de travail propres aux hommes d'affaires.

Le but de la recherche minière est de déterminer la forme, les dimensions, la teneur et le tonnage des gisements minéraux. Un grand principe économique domine tout son développement: c'est celui de l'engagement progressif des moyens en fonction des résultats déjà obtenus et du gain probable. En d'autres termes, on envoie toujours en avant l'homme le meilleur marché dans la phase en cours, et l'évolution normale de la recherche minière demande l'utilisation d'un personnel de plus en plus diversifié dans ses fonctions, l'emploi d'un matériel de plus en plus lourd, des investissements de plus en plus importants qui correspondent les uns et les autres à des connaissances sans cesse accrues et à des évaluations de plus en plus précises du risque.

La recherche minière se divise tout naturellement en plusieurs étapes; il ne règne pas un accord unanime sur la terminologie à utiliser; les auteurs anglo-saxons et les écrivains français divergent entre eux et on observe des contradictions dans le cadre d'une même langue. Dans cette publication, on utilisera les termes suivants qui mesurent les degrés de la connaissance:

Exploration : phase préliminaire au cours de laquelle on *sélectionne les zones* qui paraissent mériter un examen ultérieur plus approfondi.

Prospection : dans laquelle on peut distinguer deux stades:

a) *reconnaissance :* c'est la recherche et *la sélection des indices de minéralisation ;*

b) *prospection systématique :* étude et *inventaire des indices ;*

Développement : étude des gisements et phase préparatoire à l'exploitation. (Le terme de développement est emprunté aux Américains *(development)*; il n'a pas encore droit de cité en français, mais il nous paraît représenter un état de l'évolution de la recherche minière qui mérite un classement à part.)

Exploitation : extraction et préparation du minerai.

L'importance des rôles du géologue, du mineur et du financier (ces trois hommes représentent symboliquement les disciplines énumérées plus haut) varient au cours de cette évolution; le personnel et le matériel se relaient et se complètent progressivement, souvent sans coupure brutale, selon un processus somme toute organique.

Dans la suite de cet exposé, nous serons amené, pour illustrer notre pensée, à citer divers exemples; or, qu'est-ce qu'un exemple? C'est un fait qui peut servir de modèle. Pour en trouver d'aussi caractéristiques que possible, l'auteur a donc avantage à les trier parmi les faits qu'il connaît le mieux, c'est-à-dire dans le cas particulier dans le domaine de la recherche des gisements primaires d'or. Invoquant les caractères particuliers de ce métal: cours officiel invariable depuis un quart de siècle, coût élevé, traitement métallurgique simple... le lecteur pourrait se demander si l'exemple n'est pas trop singulier et donc de faible valeur démonstrative. A notre avis, il n'en est rien à cause d'un point important généralement oublié: la valeur de la tonne de minerai demeure indépendante du métal qu'il contient; actuellement, elle oscille entre 12 et 20 fr. s. sur le carreau de la mine. La relation qui existe entre la valeur

du minerai et celle du métal inclus se traduit par la notion de teneur, et cette dernière, elle, est éminemment variable en fonction de plusieurs facteurs. Mais que le minerai extrait contienne du fer, du zinc ou de l'or, n'influence guère son prix de revient. Par conséquent, la recherche d'un gisement aurifère, c'est-à-dire d'un certain tonnage minimum de minerai d'or, ne diffère pas essentiellement, au point de vue économique, de la prospection d'un autre minéral. En revanche, il est clair que les aspects techniques de la recherche peuvent se révéler très différents. En particulier la recherche de l'or présente des difficultés dues aux petites dimensions des gisements, mais ce métal offre en contrepartie des facilités à l'analyste.

Pour ne pas gêner ultérieurement le cours de l'exposé, nous donnerons ici quelques indications géologiques destinées à éclairer les exemples cités.

On distingue des gisements primaires ou en place et des gisements secondaires ou détritiques. Les premiers comportent la partie du gîte située dans sa position originale, dans la roche où il a pris naissance. Les gisements secondaires dérivent des primaires sous l'action de l'érosion qui démantèle l'affleurement du gisement et entraîne ses débris à plus ou moins longue distance; ils constituent d'abord des éluvions sur les flancs d'une vallée et des alluvions lorsqu'ils sont emportés par les cours d'eau. Ce transport s'accompagne d'une désagrégation du minerai et de la libération du métal précieux qui peut être concentré et identifié dans le gravier des rivières et dans les produits meubles du versant des vallées.

Les gisements primaires auxquels nous ferons allusion plus loin se rattachent à trois types:

— Filons de quartz, c'est-à-dire des veines de silice (SiO_2) mêlée d'impuretés diverses; l'or est dispersé dans la masse, sous forme métallique, mais demeure le plus souvent invisible; leur désagrégation fournit des éluvions souvent abondantes. La prospection les découvre en remontant les vallons de proche en proche en passant des alluvions aux éluvions aurifères, puis aux filons en place.

— Filons de sulfures métalliques; l'or s'y trouve souvent dissous et n'apparaît qu'à l'analyse chimique; des colorations particulières du sol et des formations altérées caractéristiques (« chapeaux de fer ») guident le prospecteur vers ce genre de gîte.

— Gisements d'imprégnation dans lesquels le métal disséminé dans une roche d'aspect souvent banal ne se manifeste qu'à l'analyse. L'étude des produits d'altération conduit quelquefois à leur découverte.

Ces notions sommaires, jointes à un peu de réflexion, devraient suffire à faire comprendre la suite de notre exposé.

*

L'exploration

C'est la phase initiale de la recherche au cours de laquelle *le géologue s'efforce de sélectionner les zones favorables à la minéralisation*, qui feront ensuite l'objet d'études plus poussées.

Doté de crédits limités (par rapport au budget total de l'entreprise), le géologue occupe pratiquement seul la scène avec un matériel et un personnel réduits. En général, il marche sur les traces de quelque prédécesseur: populations autochtones ayant décelé et exploité plus ou moins adroitement certaines formes de minéralisation superficielle, ou fréquemment un prospecteur indépendant en quête de la « mine » fabuleuse ou du « filon » légendaire susceptibles de l'enrichir.

Les tâches du géologue consistent à:

1. *Acquérir ou préparer la base topographique*, c'est-à-dire les cartes sur lesquelles il reportera ses observations et les renseignements recueillis. La carte constitue le document synthétique fondamental qui, mieux qu'un long rapport, résume les faits, présente les hypothèses et soutient les démarches de l'esprit dans sa recherche de la décision. La cartographie du pays s'avère souvent insuffisante et il faut entreprendre de lever une carte par des procédés que nous ne décrirons pas. Il est particulièrement intéressant de posséder les photographies aériennes qui fournissent des renseignements de valeur inappréciable.

2. *Elaborer une esquisse de carte géologique :*

— par l'étude et l'examen critique des traditions orales, des *archives* des services publics, des rapports des sociétés minières, de la littérature scientifique et technique;
— par le parcours sur le terrain d'*itinéraires* permettant de vérifier et préciser les indications précédentes, de prélever des échantillons de roches et de minerais, d'observer les ressources locales en voies de communication, main-d'œuvre, approvisionnements, possibilités de logement, etc.;
— par l'étude des *photos aériennes*, art particulier, la photogéologie, qui tend à se généraliser.

3. *Dresser une carte de minéralisation* (ou indices) en reportant la position et la nature de toutes les exploitations et autres travaux miniers déjà exécutés dans le territoire et de toutes les trouvailles de minéralisation rencontrées sur le terrain ou signalées par les archives et les traditions.

La durée de ce travail dépend naturellement de l'étendue du territoire et sa précision de l'ancienneté de ses contacts avec la civilisation occidentale. Les informations recueillies au cours de cette étude se rapportent à trois ordres de connaissances:

Nature des formations géologiques. Certaines formations apparaissent comme favorables à la recherche parce qu'elles sont fortement minéralisées dans des régions voisines ou au contraire jouissent d'une réputation de stérilité bien établie.

On citera parmi les premières: le précambrien dans le monde entier pour le fer, le houiller de façon quasi universelle pour les combustibles solides, la limite crétacé-éocène pour le phosphate en Afrique du Nord, les conglomérats anciens pour l'or et l'uranium, les petits pointements granitiques pour l'étain.

Parmi les formations réfractaires à la minéralisation on peut énumérer le cœur des grands massifs granitiques, les grès continentaux, les coulées de laves basaltiques.

Structure de la région. Dans l'idée de l'auteur, *la structure exerce une influence primordiale* sur la répartition des gîtes minéraux:

— d'une part en favorisant et régissant la mise en place de certaines substances (cas particulièrement typique et bien connu du pétrole);
— d'autre part en conduisant parfois à un émiettement et à la dispersion des gîtes. Un professeur de l'Université de Lausanne, M. N. Oulianoff, attribue à cette cause la pauvreté des Alpes suisses en gisements métallifères.

On déborderait du cadre de cet article en entrant dans l'analyse de ces structures.

Abondance des indices de minéralisation. La connaissance de la densité et de la nature des indices minéraux permet quelquefois de lier la minéralisation à une formation ou à une structure données (considérées dès lors *ipso facto* comme favorables) ou fournit une première idée de la variété des minerais auxquels on peut s'attendre.

La récolte des informations sur le terrain présente des difficultés d'importance très variable. Sur de vastes étendues montagneuses et dénudées d'Afrique du Nord, la roche affleure largement, exposant à l'œil de l'observateur toutes ses variations et les secrets de sa

structure. Une carapace ferrugineuse (latérite) épaisse de plusieurs mètres, à travers laquelle presque rien ne perce, recouvre certaines régions tropicales, ou l'altération très profonde empêche la roche identifiable d'apparaître; l'auteur peut citer un sondage vertical qui n'a pas trouvé la roche cohérente, encore qu'altérée, avant 102 m. Souvent, la couverture végétale entrave la pénétration et rend difficile ou impossible le repérage topographique des échantillons. Dans le nord (Canada, Scandinavie), les glaciers quaternaires ont emballé le pays dans un matelas de moraine de fond qui gêne considérablement le géologue-prospecteur.

On conçoit donc que la précision des cartes géologiques puisse varier d'une région à l'autre, que leur élaboration soit parfois très lente et que la chasse aux indices se révèle souvent bien difficile.

Une question se pose d'ailleurs: que faut-il entendre par indice de minéralisation? Le mineur et le géologue ne fournissent pas en général la même réponse, ce qui donne naissance à une foule de malentendus regrettables. Pour le mineur c'est un signe bien apparent et bien net tel qu'un échantillon de quartz à or visible, une analyse de roche fournissant une teneur en or, des parcelles d'or dans un sol ou une alluvion. Le mineur veut voir pour croire. Le géologue, affranchi de la tutelle du mineur, s'en fait en revanche une idée plus extensive et plus souple. Pour lui, *un indice de minéralisation c'est n'importe quoi, qui, rencontré dans la croûte terrestre, suggère la proximité d'un minerai caché,* c'est-à-dire un phénomène quelconque qui permette d'établir une corrélation entre sa présence et l'existence d'un gisement non apparent. Il peut attirer l'attention sur tout un district potentiellement minéralisé, ou être spécifique et signaler un certain type de gisement, sans égard pour son importance. Un indice de minéralisation (que les Anglo-Saxons appellent « ore guide ») consiste généralement dans la combinaison de traits divers: âge, structure, texture, composition minéralogique, altération des roches... qui révèlent la présence d'une portion de l'écorce terrestre pouvant appartenir à l'enveloppe d'un gisement ou d'un district minéralisé.

Un « indice » suggère en général empiriquement du minerai au géologue minier parce qu'ailleurs on a découvert du minerai dans un contexte analogue; la valeur de cette corrélation dépend de la distance qui sépare les points d'observation et l'on doit user avec prudence des comparaisons à grande distance et des analogies basées sur des renseignements de seconde main.

D'ordinaire, et à tout le moins à notre échelle de temps biologique, le cadre dans lequel s'enchâsse un gisement reste inerte, figé, victime passive des agents de l'érosion. Il n'en fut pas toujours de même et le problème de la mise en place des gisements est un problème de dynamique, celui des rapports entre la circulation des fluides minéralisants et les mouvements de l'écorce terrestre. La nature et l'ordre de succession des événements tectoniques et leurs relations dans le temps avec la minéralisation varient d'un district à l'autre et des concours de circonstances divers aboutissent à des résultats divers. Voilà pourquoi deux districts apparemment très ressemblants peuvent se révéler l'un minéralisé et l'autre stérile; à l'usage, des guides purement empiriques peuvent se montrer trompeurs. Pour éviter les erreurs, il faut s'efforcer de découvrir le mécanisme de la mise en place de la minéralisation; l'étude, même minutieuse, d'un gisement ou d'un groupe de gisements s'avère le plus souvent insuffisante; on doit les placer dans leur cadre régional, déborder largement dans l'espace et dans le temps, déchiffrer l'histoire géologique du district et plus particulièrement son évolution tectonique à l'époque de la minéralisation. Bien sûr, on ne peut qu'entamer cet ambitieux programme au cours de la phase d'exploration, mais il paraît utile de montrer dès maintenant l'objectif réel de l'étude géologique, afin que le financier la soutienne matériellement et que le mineur y collabore quand s'offre la possibilité de le faire.

Quels peuvent être ces indices ?

Certains sont *directs* et constituent somme toute le gisement recherché ou font partie de son halo. Il peut s'agir de l'affleurement d'un filon dont l'intérêt dépendra de son épaisseur, de sa direction, de sa composition, ou de gravier minéralisé dans une terrasse... bref, des indices au sens étroit que prêtent souvent les mineurs à ce mot.

D'autres sont *indirects* et correspondent à la définition chère aux géologues. Citons:

— les roches ou les niveaux caractéristiques qui ont servi de « marqueurs » dans d'autres gisements;
— les traces de minéralisation dispersées dans le sol, les plantes ou les eaux (anomalies géochimiques);
— le cortège de minéraux lourds des graviers de rivières (cette méthode, utilisée conjointement avec d'autres, a conduit les Russes sur d'importants champs diamantifères, grâce aux « sputniki », c'est-à-dire les minéraux accompagnateurs du diamant);
— les variations de diverses propriétés physiques du sous-sol (anomalies électriques, magnétiques, gravifiques);
— la présence de roches disloquées, laminées et recimentées;
— certaines structures et certaines formations; on en a cité des exemples plus haut.

Arrivé au terme de son exploration, le géologue a constitué un dossier qui doit contenir tous les faits, observations, interprétations et hypothèses; il en fournit alors un résumé et une synthèse, illustrés par des cartes qui permettront de distinguer les conjectures des faits observés, et formule ses conclusions et propositions.

Dans le cas général, il sera conduit à dresser deux tableaux:

— un tableau géographique dans lequel il citera les territoires considérés comme défavorables et les régions d'intérêt médiocre et désignera les districts les plus favorables en indiquant ses critères et en justifiant son choix;
— la liste des minéraux et des types de gisements susceptibles d'être rencontrés, en tenant compte de leur intérêt économique, des chances de découverte et des dimensions possibles des gisements.

Il procède donc d'abord à une analyse des possibilités du territoire et termine par une synthèse dans laquelle il définit les zones potentiellement favorables.

*

Dans le cas de la recherche d'or primaire qui nous sert de référence, on aura en particulier:

— dressé la carte des rivières où auraient eu lieu des exploitations alluvionnaires (l'or libre des gisements secondaires constitue généralement l'indice de base);
— essayé de déterminer le poids d'or retiré et les teneurs exploitées dans chacun de ces cours d'eau, autrement dit leur richesse;
— établi la carte des indices directs de minéralisation primaire: trouvailles de roches ou de minéraux à or visible, des filons ou des éluvions aurifères, que l'on compare à la carte géologique qui fournit les indices indirects plus difficiles à dénicher, à reconnaître et à interpréter.

On considère comme favorables la bordure des massifs granitiques, es schistes précambriens peu métamorphiques (en Afrique), les zones de dislocations anciennes, les bandes de roches silicifiées, les trains de schistes noirs, les régions riches en soude... par exemple, et on élimine le cœur des massifs granitiques, les bassins sédimentaires, les coulées volcaniques récentes.

Munis de ces documents, de cartes géographiques et politiques aussi complètes que possible et des données économiques recueillies par le financier, celui-ci et le géologue se sentent

à même de choisir la ou les zones où se porteront leurs nouveaux efforts, et l'on entame la tranche suivante, celle de la reconnaissance.

Reconnaissance

C'est *la recherche et la sélection des indices.* Un nouveau personnage entre en scène, le *prospecteur* ; il s'agit en général d'un jeune ingénieur ou d'un géologue, ardent, qu'enthousiasme un travail libre, en pleine nature, où il peut faire preuve d'initiative et se familiariser avec la conduite de la main-d'œuvre, ou au contraire d'un coureur de brousse expérimenté, trop indépendant pour accepter la discipline et la monotonie des chantiers de recherche systématique ou d'exploitation. Secondés par une équipe d'une cinquantaine d'hommes bien stylés, spécialisés suivant leurs aptitudes, ils parcourent toutes les zones considérées comme favorables dans une chasse systématique des indices superficiels et des affleurements. Ils utilisent un matériel léger, simplifié et peu encombrant. Leurs observations doivent être reportées au fur et à mesure sur des cartes ad hoc.

Dès ce moment doit apparaître une symbiose organisée et imposée entre le géologue et le prospecteur qui échangent leurs informations, se prêtent main forte et synchronisent leurs démarches sur le terrain. Le géologue entame à ce stade un lever géologique méthodique à grande échelle (1/50.000 par exemple).

Il vaudrait mieux que le géologue précède le prospecteur et oriente ses recherches; cela n'est pas toujours faisable pour de nombreuses raisons : effectif et qualité du personnel, situation et état des réserves, matériel disponible. On désire dès maintenant attirer l'attention sur un fait important inhérent à la nature même des choses: l'optique du géologue et celle du mineur divergent dès le début de leur collaboration; ils visent le même but final mais l'atteignent par d'autres chemins; ils se soumettent à d'autres routines de travail et l'inertie de leurs équipes les entraîne de façon différente. La description de leurs occupations permettra de comprendre aisément la cause de ces différences.

Le géologue emmène avec lui quelques hommes seulement: porteurs, débrousseurs et éclaireurs; il avance à une allure irrégulière, passe parfois plusieurs jours sur le versant d'une colline à débrouiller les secrets d'une formation ou les détails d'une structure, à dresser une coupe stratigraphique ou lithologique, à démêler les rapports entre deux formations, à prélever systématiquement des échantillons; ce travail lui donne souvent la clé de toute une région et il peut alors avancer rapidement, en se contentant de vérifier de temps à autre la présence d'un niveau-pilote ou d'un banc repère. Il ne craint pas de revenir sur ses pas pour contrôler une hypothèse ou une corrélation. Jamais il ne lui viendrait à l'idée de justifier l'emploi de son temps en utilisant des notions de « kilomètre-itinéraire par homme/jour » ou « d'hectare par homme/jour », ou toute autre expression bureaucratique caractérisant un rendement.

Le prospecteur doit râtisser méthodiquement un secteur, progresser suivant une cadence souvent préétablie (la surface à battre doit l'être dans un temps donné, déterminé par le rythme des saisons par exemple, le climat ayant de vieilles habitudes contre lesquelles il est vain de s'insurger), et la nécessité de ravitailler, loger et distribuer du travail à ses hommes diminue son degré de liberté. Son efficacité se mesure d'après l'activité de son équipe. En résumé:

— le géologue doit penser aux *structures favorables* et seule compte la *qualité* de son travail; comme le topographe, il doit posséder une conscience professionnelle très développée;
— le prospecteur a en vue le nombre de points minéralisés découverts et le *rendement* de son équipe.

Bien que légitimes, leurs préoccupations à tous deux se concilient difficilement et leurs fonctions peuvent rarement être remplies de façon également satisfaisante par le même individu.

*

Voyons comment peuvent se passer les choses quand on a l'or pour objectif:

Muni des cartes de minéralisation alluvionnaire dressées par le géologue au cours de la phase d'exploration, le prospecteur va suivre méthodiquement tous les cours d'eau des secteurs choisis et prélèvera à intervalles réguliers (tous les 100 m. par exemple) un échantillon de quartz alluvial qui sera analysé au laboratoire; dans les biefs non exploités, des puits de prospection permettent d'atteindre le gravier, d'y rechercher l'or libre et de réunir les galets dans lesquels le chimiste dosera l'or inclus; d'autre part, des prélèvements seront effectués sur les affleurements rencontrés et on procèdera à des essais de lavage à la batée dans les terres superficielles de certaines zones considérées comme favorables aux minéralisations d'imprégnation. Les affleurements éluviaux et filoniens feront l'objet d'essais, et les données géométriques des filons seront consignées et conservées. Occasionnellement, quelques puits, de petites tranchées seront creusés sur un filon pour rechercher sa direction, sa puissance ou sa longueur, pour vérifier la continuité des teneurs, mais on évitera de s'enterrer et de s'immobiliser. L'ensemble de toutes les observations de nature géologique, lithologique, minéralogique, topographique, morphologique, structurale, et les résultats de tous les essais et de toutes les analyses doivent être reportés au fur et à mesure de leur acquisition sur une carte d'échelle convenable. Le prospecteur prélève également des échantillons de roche, et l'on rencontre des gens, théoriquement bien informés, qui s'imaginent que la carte d'échantillonnage pétrographique permet de tracer une carte géologique; sans doute est-ce possible aux petites échelles (1/500.000, 1/1.000.000); mais de telles cartes n'apportent qu'une aide dérisoire aux recherches sur le terrain où l'on a besoin d'une figure au 1/50 000 ou même 1/25.000; et une carte géologique utilisable ne se dessine que sur le terrain. Transformer une carte topographique en une peau de léopard en coloriant de manière conventionnelle de petits cercles qui représentent les échantillons pétrographiques prélevés n'équivaudra jamais à un lever géologique. Il y manque une dimension, celle du temps que donne la structure, laquelle permet de reconstituer l'évolution du territoire. Et cette dimension là, on ne la découvre bien qu'en cherchant sur le terrain le contact entre les formations, en mesurant des directions et des plongements, en suivant des limites, en observant les formes du relief et en choisissant soi-même les échantillons représentatifs qui feront l'objet d'examens de laboratoire.

Sera utile, décisif et fructueux le travail conçu et conduit de manière à permettre une entraide continuelle du géologue et du prospecteur. Le premier utilise les pistes, fouilles et découvertes du second pour parcourir plus rapidement le pays, pour augmenter la précision de ses observations et lier les indices de minéralisation aux faits recueillis, puis il dirige le prospecteur sur les structures favorables, le guide dans l'étude des formations privilégiées et l'éloigne des zones stériles. Leur travail se traduit alors par une carte géologique où les formations occupent leur place, où les structures apparaissent et où se manifestent les premières corrélations entre la minéralisation et la géologie.

L'inventaire des indices établi, on procède à leur sélection en se basant sur l'importance et la densité des teneurs des échantillons analysés, sur leur liaison avec des traits géologiques bien marqués et avec la géographie économique locale (voies de communication, lieux habités, usines de production, réseaux de distribution d'énergie...).

*

La prospection systématique

La prospection systématique ou *étude et premier inventaire des indices* est un échantillonnage méthodique du minerai virtuel au cours duquel on réunit les données géométriques et analytiques qui permettront de calculer le tonnage de minerai, sa teneur moyenne et le poids de métal récupérable. On s'efforce aussi de découvrir le traitement métallurgique qu'il devra subir en essayant à l'usine des échantillons de gros tonnage.

Pour échantillonner ce minerai, il faut l'atteindre et par conséquent ouvrir les fouilles qui le feront apparaître au jour. Ces travaux miniers consistent en puits de prospection, fosses rectangulaires de 160 × 60 cm., de profondeur variable, en tranchées étroites, en galeries à flanc de coteau, quelquefois en sondages courts. Des ouvriers habitués à ces travaux, un outillage plus complexe, du matériel plus important doivent être amenés à pied d'œuvre, nourris, logés, encadrés, entretenus, ravitaillés; la paperasse administrative apparaît; le personnel de maîtrise comporte au moins un ingénieur et des conducteurs de travaux qui encadrent des prospecteurs moins expérimentés.

Le géologue visite régulièrement les chantiers, étudie les roches mises à nu, complète ses informations et ses cartes, échafaude des hypothèses de travail, risque des prévisions et tente de vérifier les unes et les autres en proposant des fouilles modestes et bon marché aux endroits propices.

Les travaux souterrains entrepris à ce moment demeurent confinés généralement dans les roches altérées, au-dessus du niveau hydrostatique; on les creuse à la pelle et à la pioche, les terrains s'évacuent à la brouette, l'eau s'écoule suivant la pente de la galerie que l'on essaye de ventiler au moyen de cheminées qui font jour à la surface. On évite autant que possible l'emploi des explosifs et de l'air comprimé.

A ce stade de la recherche, l'art du prospecteur consiste à saisir rapidement le climat d'un indice et à sentir s'il convient de s'accrocher ou de laisser le réseau de fouilles s'étendre de proche en proche en tache d'huile. Trop fréquemment on s'entête, on craint de passer à côté d'un gisement, on s'obstine et on piétine; souvent les débutants commettent cette erreur. La sagesse conseillerait, en règle générale, de desserrer les travaux et de les étaler sur une plus vaste surface. Chaque fois que les indices de minéralisation s'évanouissent, que les teneurs disparaissent ou deviennent erratiques, il faut en premier lieu procéder à une large reconnaissance des alentours et s'assurer que l'on ne se trouve pas dans l'auréole médiocrement minéralisée de l'affleurement d'un gîte important. Les relations d'un gisement avec son cortège d'indices posent un problème de géométrie dans l'espace; c'est pourquoi le prospecteur tend si spontanément à s'enterrer, à entamer prématurément des souterrains qui lui fourniront, espère-t-il, des réponses à ses questions en donnant à ses recherches une troisième dimension. Néanmoins, le bon sens et l'intérêt financier commandent de développer d'abord la recherche en surface; on y avance beaucoup plus rapidement et à bien meilleur compte qu'en imitant les taupes; de plus la prospection de la surface devra obligatoirement s'accomplir un jour ou l'autre; mieux vaut le faire avant de se laisser immobiliser par des travaux plus onéreux. Remarquons que dans un travail bien conduit, quand les travaux miniers, les prises d'échantillons, les résultats d'analyse et les observations géologiques sont soigneusement reportés sur des plans eux-mêmes raccordés à des repères permanents du terrain, l'investigation incomplète d'un indice ne conduit pas à une catastrophe. On peut reprendre la recherche en tout temps en conservant le bénéfice des connaissances acquises; on en tirera le meilleur parti après les avoir groupées en un ensemble de faits bien coordonnés, interprétés de façon cohérente au sein de leur contexte géologique. Nous touchons ainsi à un point essentiel, celui de l'établissement et de la conservation des documents de prospection au sujet

desquels des règles strictes doivent être prescrites; des sondages de vérification parmi ces documents devraient faire partie de la routine des échelons de commandement.

La fixation prématurée des travaux en un point fait courir à la recherche un risque qui peut devenir fatal. En effet, en s'accrochant trop tôt à plusieurs sites, dont la plupart se montreront de peu d'intérêt, on leur consacre un temps et des crédits qui feront défaut en fin de campagne; par manque de temps et d'argent on dressera alors un procès-verbal de carence pour toute une région après une étude en réalité insuffisante.

Nous connaissons le cas d'une prospection dont tout le poids s'est porté pendant plusieurs années sur un gisement en vérité médiocre, situé à 600 m. d'un gisement fabuleusement riche qui fut découvert beaucoup plus tard grâce à des circonstances très particulières. L'examen systématique, rapide et économique de la surface préalablement à l'investigation par souterrains du premier gisement aurait amené la découverte du grand gîte dans un délai très bref; de gros problèmes financiers eussent été évités, la mise en valeur du pays s'en fût trouvée accélérée et accomplie dans le cadre de prévisions à longue échéance au lieu de se poursuivre cahin-caha au gré d'une politique à la petite semaine.

*

Si, en quête d'exemples, nous nous tournons vers la prospection aurifère, nous verrons cette étape de la recherche se dérouler de la façon suivante:

Sur les indices choisis au cours de la phase précédente on passe un râteau sous la forme d'une maille de puits carrée, de 40 m. de côté; chacun de ces trous de 160 × 60 cm. est poussé jusqu'à la roche altérée qu'on appelle communément « bed-rock »; la coupe d'un puits montre généralement, de haut en bas, la succession suivante:

— un sol plus ou moins riche en matière organique, noire;
— puis une terre rouge;
— ensuite une couche graveleuse constituée par un mélange de blocs de roche plus ou moins anguleux, de dimensions variables, et de terre, qu'on appelle éluvion;
— au-dessous on rencontre le « bed-rock » fortement altéré au sommet et de plus en plus sain; le hasard fait toucher parfois un filon ou un filonnet.

L'éluvion comporte une proportion importante de quartz. Normalement, le puits sert à deux fins: on prélève, en suivant certaines règles, un échantillon représentatif de l'éluvion qui sera analysé chimiquement et on ramasse une portion de « bed-rock » qu'on débourbe sur le terrain pour rechercher l'or libre qui signalerait la proximité d'un gisement d'imprégnation. De plus, on note l'aspect et les particularités du « bed-rock » et en conserve éventuellement des témoins; on consigne l'épaisseur et la profondeur de l'éluvion. Ces données et les résultats d'analyse sont reportés sur des plans au 1/2000. Dans le secteur où ces travaux donnent des résultats significatifs (par exemple des teneurs en or de 1 g. par tonne) on resserre la maille de puits à 20 m., quelquefois et localement à 10 m. Ces travaux suffisent généralement pour définir un gisement et il n'est pas indiqué, le plus souvent, de s'accrocher sur un site où les puits ne permettent pas de chiffrer une première réserve. Voici, pour édifier le lecteur, quelques chiffres qui se rapportent à deux gisements:

Tête d'un gisement important touchée par 3 puits de la maille à 40 m. et par 7 puits de la maille à 20 m.; première estimation du gisement en place: plus de 7 t. d'or.

Tête d'un gisement très important touchée par 7 puits de la maille à 40 m. et 17 puits de la maille à 20 m.; première estimation du gisement en place: plus de 20 t. d'or.

Un hectare, notons-le, correspond à 6,25 puits de la maille à 40 m.; le deuxième gisement affleurait donc sur un hectare seulement; il est vrai qu'un halo de basses teneurs l'entourait, ce qui représente bien 3 à 4 ha. supplémentaires. Néanmoins, la cible demeure minuscule pour un prospecteur chargé d'inventorier des milliers de kilomètres carrés.

Rien de plus simple, en principe, que le calcul des réserves: il suffit de multiplier la superficie du gisement par son épaisseur moyenne et par sa densité moyenne pour obtenir le tonnage de minerai; le produit du tonnage par la teneur moyenne fournit le poids de métal. Nous y reviendrons plus loin.

Aux puits succèdent parfois quelques tranchées qui ont pour but de montrer avec davantage de précision la direction, le plongement, l'épaisseur, l'aspect du corps minéralisé. Il vaut mieux ne pas abuser de ces travaux souvent dangereux et presque toujours trop chers pour ce qu'ils apportent. Si le chiffrage et les conditions topographiques l'autorisent, on creuse ensuite un ou deux étages de galeries à flanc de coteau avec la mission de rechercher en profondeur le corps minéralisé, de le suivre, d'enregistrer ses changements d'orientation et de pendage, d'étudier le comportement des teneurs et de porter les réserves à un niveau suffisant pour justifier une exploitation et pour permettre de calibrer l'importance des installations de traitement.

Ouvrons maintenant la voie à deux digressions:

La première se rapporte à une opinion souvent exprimée devant l'auteur selon laquelle on ne trouverait pas de gisement en surface, mais uniquement en profondeur; on déduit de ce postulat une orientation à imprimer aux recherches, dont les conséquences peuvent devenir désatreuses. Sans doute dans une région aurifère existe-t-il des gisements cachés, pas encore dénudés par l'érosion; de même certains sont en cours de démantèlement et d'autres ont déjà disparu complètement après avoir enrichi le réseau hydrographique. Mais le bon sens commande de chercher préalablement les gisements qui affleurent, d'étudier leurs conditions géologiques et d'en déduire une loi de répartition, avant de se lancer dans la chasse passionnante mais difficile et onéreuse des gisements aveugles. L'auteur se pose en partisan résolu de la recherche des gisements cachés, mais il l'assortit de conditions précises et sévères et ne se targue pas de faire mouche en tirant sur une cible les yeux fermés.

Le deuxième point se présente en quelque sorte comme une contradiction des pages qui précèdent; on a décrit jusqu'à présent la recherche d'une façon logique, cartésienne, progressant du simple au complexe. Mais craignons la sclérose cérébrale et l'assoupissement dans la routine et rappelons-nous qu'en définitive les méthodes mises en œuvre ont pour but d'utiliser de façon optimum les crédits de recherche. Or, on observe quelquefois que l'écrémage des indices conduit à un gaspillage des crédits. D'une façon schématique, le processus se déroule ainsi: après la reconnaissance on choisit les indices qui paraissent les plus prometteurs, ou ceux qui se trouvent à proximité de centres de production en activité, pour y développer une prospection systématique; dès qu'un résultat positif a été obtenu, on dépêche le prospecteur vers une autre région; quand les réserves mises à jour s'épuisent, on rappelle le prospecteur sur son premier terrain pour l'en éloigner de nouveau après la crise; cette transhumance qui comporte parfois la répétition de gros frais de réinstallation peut se renouveler plusieurs fois. Nous en avons fait l'expérience et la littérature en offre de nombreux exemples; ce phénomène commun à de nombreuses entreprises minières conduit à une étude incomplète et dispendieuse du territoire. Nous sommes d'avis que le schéma de recherche optimum consisterait souvent à passer directement de la phase exploration à la phase prospection systématique. Tout le bassin drainé par les biefs aurifères du réseau hydrographique devrait être battu par une maille systématique de puits au pas de 40 m. Ce travail serait conduit méthodiquement par une équipe comportant cartographes, prospecteurs et géologues; il fournirait une base topographique sûre, une carte géologique fondée sur tous les affleurements et tous les travaux miniers et coordonnerait de façon constamment à jour minéralisation et géologie. Une telle œuvre, dans des régions de superficie relativement restreinte, serait très avantageuse en orientant de façon précise les campagnes de sondage dont nous parlerons plus loin.

*

Revenons à la question des réserves. Connaître un gisement c'est savoir si on peut en extraire du minerai et à quel prix on peut tirer de ce dernier un produit négociable. Théoriquement, il est toujours possible de mettre au point des méthodes qui permettent d'amener

au jour le minerai, même dans les circonstances les plus difficiles et d'en tirer ensuite le métal; pour effectuer cette opération métallurgique on pourrait se rabattre en dernier recours sur les méthodes de séparation chimique utilisées pour l'analyse. Mais les conditions économiques imposent le plus souvent (exception: minerai stratégique pendant une époque critique) des limites d'exploitabilité et de concentrabilité qui dépendent en dernier ressort du prix de vente, donc de la situation du marché. Il en résulte que les données purement géologiques acquises jusqu'à présent ne suffisent pas pour apprécier complètement la valeur du gisement; elles permettent de calculer un tonnage de minerai en place et un tonnage de métal en place. Mais il ne s'agit pas nécessairement de tonnes exploitables; car, plusieurs circonstances viennent modifier en plus ou en moins ces premières données; la méthode d'exploitation contraint souvent de laisser en place des portions d'importance variable du gisement et entraîne en outre une dilution du minerai avec les roches stériles; on doit toujours, en effet, abattre une épaisseur plus ou moins forte de l'éponte, c'est-à-dire de la roche contiguë au minerai; cette proportion de stérile peut devenir très importante dans le cas de filons minces à haute teneur, car naturellement les dimensions des galeries et des chantiers d'exploitation ne peuvent pas descendre au-dessous d'un certain minimum pour des raisons de sécurité et de rendement. D'autre part, les prévisions d'exploitation comportent de nombreuses hypothèses sur la dureté et la tenue des terrains, sur l'importance des venues d'eau. etc.; il subsiste toujours des inconnues; c'est pourquoi d'ailleurs on parle de l'art des mines. Enfin, les particularités chimiques et physiques du minerai peuvent faire varier dans d'assez larges limites le taux de concentration ou de récupération, si bien que le chiffrage des réserves passe par plusieurs étages d'approximation correspondant aux divers points de vue. Le tableau suivant résume les différents aspects de la question:

Point de vue	Minerai	Métal
Géologique	*Tonnage de minerai en place*	Tonnage de métal en place
Minier	La teneur limite à l'exploitation détermine le *tonnage de minerai exploitable*	Tonnage de métal exploitable
	Le coefficient d'exploitabilité conduit au *tonnage de minerai à abattre*	Tonnage de métal à abattre
Métallurgique	Après le *tri* on obtient le tonnage de minerai concentrable (coefficient de concentration ou de récupération)	Tonnage de métal concentrable
Commercial	*Tonnage de minerai négociable*	Tonnage de métal négociable

Au lieu de métal on pourrait dire « élément ou produit chimique » de façon à donner au tableau un sens général; il s'appliquerait alors aux cas où le produit vendu ne serait pas le métal mais une de ses combinaisons chimiques (TiO_2, U_3O_8) ou un corps non métallique (houille, sel gemme).

On divise souvent les réserves en trois ou quatre catégories: réserves à vue ou certaines, probables, possibles, supposées, géologiques, non payantes... La prudence limite de plus en plus l'emploi du mot « certain »; par « réserves non payantes », on entend celles qui pourraient devenir exploitables grâce aux progrès techniques ou aux fluctuations des cours.

Lorsqu'on consulte les statistiques des réserves de matières premières, il est souvent bien difficile de savoir à quoi correspondent les chiffres cités; dans l'expression « réserve probable », probable signifie tantôt « certain », tantôt « possible », parfois même « potentiel »; d'autre part, s'agit-il de réserves au sens géologique ou bien a-t-on tenu compte des opinions du mineur et du métallurgiste ? Cette remarque s'applique aux publications relatives à un pays ou un continent; on peut croire que dans le cadre d'une entreprise il n'y a plus de confusions possibles et que des définitions univoques président au classement des réserves. Rien n'est moins sûr par suite des difficultés du problème. On divise en général un gisement en panneaux rectangulaires et on considère comme connu avec une bonne précision le minerai d'un panneau découpé sur ses quatre faces; la certitude diminue si le panneau n'est connu que sur 3, 2 ou 1 côtés, ou par sondages, seuls ou combinés avec les travaux miniers. On pourrait concevoir un tableau à 2 entrées, l'une suivant le degré de connaissance, l'autre d'après la teneur; il subsiste encore de nombreuses causes d'erreur et on a coutume de dire qu'un gisement n'est entièrement connu que lorsqu'il est exploité. Ajoutons encore que le tonnage, la teneur moyenne et le poids de métal ne sont pas les seules données qu'il y a intérêt à calculer. Dans les exploitations aurifères on utilise souvent le « produit de l'épaisseur par la teneur » et « l'indice métrique » ou poids d'or par mètre de hauteur verticale. Ces diverses expressions ont toutes une signification économique importante et orientent l'exploitant.

*

Jusqu'à présent, le rôle du *financier* est demeuré effacé; la décision étant prise d'étudier les ressources minérales d'un pays et les moyens matériels mis à la disposition des chercheurs, les opérations pouvaient se dérouler sans intervention directe de sa part. Au stade où nous arrivons, les choses changent; après l'invention et l'évaluation d'un gisement sonne l'heure des grandes décisions. Il s'agit de savoir si le gisement sera mis en exploitation, ce qui implique des investissements souvent énormes.

Une première question se pose: quelle sera la demande de minerai produit pendant la durée de la mine ? Pour ceux d'entre eux qui trouvent un débouché local, l'évolution du marché est plus ou moins prévisible; quant aux productions qui font l'objet du commerce international, elles dépendent de cours dont la prévision à longue échéance pose un problème difficile. En 1955, aux Etats-Unis, la consommation par tête d'habitant était la suivante: cuivre 17 lb., plomb 10,5 lb., zinc 15 lb., aluminium 23 lb., fer 0,45 t. Les réserves en cuivre, plomb, zinc, paraissaient insuffisantes pour couvrir des besoins mondiaux en augmentation constante par la découverte de nouvelles utilisations de ces métaux et par les besoins croissants de nouveaux consommateurs (hausse du niveau de vie des régions sous-développées). La perspective de voir se maintenir les cours élevés dus aux deux guerres mondiales et à la guerre froide paraissait favorable et l'on pouvait conseiller d'ouvrir de nouvelles mines apparemment sans crainte de voir ces métaux manquer de clients; en fait, on sait que les cours du plomb et du zinc stagnent et que les mines de cuivre ont vécu des heures très difficiles; plusieurs d'entre elles durent suspendre leur activité. Dans les conditions actuelles de l'économie, ces hauts et ces bas demeurent inévitables, mais on peut croire que le marché offrira en moyenne des conditions favorables si on étale l'activité de la mine sur une durée assez longue.

Une autre question préoccupe le financier: celle du rendement et de l'amortissement de ses capitaux; deux gros handicaps grèvent l'industrie minière:

— son activité est limitée dans le temps par l'importance des réserves; dès que l'exploitation s'y attaque, la richesse commence à s'épuiser et ne se renouvelle pas;

— d'autre part, on doit prendre le minerai là où il se trouve sans pouvoir choisir les conditions géographiques, topographiques, climatériques favorables, ni même la main-d'œuvre; il faut se plier aux impératifs de la nature et souvent payer très cher les transports, l'énergie, les adductions d'eau, etc.

Il s'ensuit que le financier désire non seulement toucher un dividende qui paie ses risques mais encore récupérer son capital dans un bref délai. En imposant les bénéfices miniers, l'Etat devrait tenir compte des risques infiniment plus grands que ceux des autres industries et qui justifient une meilleure rémunération du capital.

Après avoir répondu de façon satisfaisante à ces questions, le financier peut envisager de passer à l'exploitation. Mais, auparavant, la prospection doit être poursuivie, une usine de traitement construite, de l'énergie amenée à pied d'œuvre, et il faut trouver une solution à une foule de problèmes. Un de nos administrateurs avait coutume de nous dire: « Découvrez autant de réserves que possible sous forme d'extension des gisements connus, mais ne trouvez pas de nouveaux gisements, car moi je devrai chercher des millions pour les mettre en exploitation et ceci est encore plus difficile que la prospection. »

Cette boutade explique pourquoi nous croyons devoir donner un nom à cette phase de la recherche au cours de laquelle des décisions capitales sont prises dans les divers domaines et où l'esprit du travail se modifie. Plus haut, nous avons décidé de l'appeler développement.

Développement

Au cours de cette période, le prospecteur passe la main de façon plus ou moins complète au mineur proprement dit. D'emblée, une grave question se pose: comment poursuivre la prospection, par des travaux miniers ou par des sondages ?

En pays modérément accidenté, où il est possible d'atteindre le gisement par galeries horizontales, on aura tendance à préférer les travaux miniers qui fournissent des renseignements plus complets; en pays plat, on hésitera à entreprendre le fonçage d'un puits. En revanche, si le relief est franchement accidenté, on préférera la sonde plus facile à transporter que l'outillage lourd du mineur. Le prix de revient des travaux miniers peut être très variable suivant leur nature; à ce moment de la recherche, on a en général tendance à donner aux galeries les dimensions exigées par l'exploitation; on doit également apporter une solution aux problèmes de transport de minerai, de ventilation, d'exhaure; le coût du mètre augmente rapidement, car la vitesse d'avancement, les hauts rendements, les indispensables mesures de sécurité coûtent cher. Le prospecteur peut parfois composer avec la nature, éluder certaines difficultés; le mineur doit passer - et souvent - dans des délais fixés. Le mètre de galerie revient à quelques centaines de francs, le mètre de puits peut atteindre quelques milliers de francs; on s'arrange pour foncer d'abord un puits de faible section qui servira plus tard pour l'aérage.

Le prix du mètre de sondage varie suivant les conditions du travail: appareil et méthode utilisés, nature des terrains, diamètre, profondeur, force motrice, alimentation en eau. En revanche, le prix de revient mensuel d'un appareil donné est pratiquement fixe.

Le prix de revient au mètre foré s'élève à quelques dizaines de francs pour les sondages de petit diamètre (42 mm.) et ne dépassant pas 500 m. En 1956, les recherches par sondage dans le houiller, en France, sont revenues à 25.000 fr. fr. au mètre pour des profondeurs atteignant parfois 1000 m. Aux Etats-Unis, des sondages courts (maximum 100 pieds), par rotary, ont été adjugés à 1,5 dollar au pied. Signalons à ce propos que le minerai chiffré au cours de ces recherches (pour uranium) atteignit le poids sensationnel de 0,75 t. par pied foré.

La main-d'œuvre contribue pour environ 25 %, les couronnes, les tubes carottiers et les tiges pour environ 50 % du prix de revient; les frais d'entretien, d'amortissement, l'énergie, etc., absorbent les 25 % restant.

Dans les recherches de pétrole, les prix de revient sont nettement supérieurs: en 1957, en France métropolitaine, le mètre foré revenait à 56.700 fr. fr. et à 125.000 au Sahara. Au Sahara, le sondage du Djebel Berga a coûté 583 millions, dont 131 millions pour les frais de transports et 14,5 millions pour l'alimentation en eau.

Toutefois, il ne faut pas oublier que l'étude d'un gisement exige soit un réseau de galeries pouvant s'étendre sur plusieurs étages réunis par des puits, soit une maille de sondages, et c'est le prix de revient total et les avantages des deux méthodes qu'il convient de comparer.

Les crédits accordés, les délais fixés et l'évolution des cours du minerai jouent un grand rôle. Si les crédits sont élevés, ou que le temps presse, ou que les cours sont favorables, on aura tendance à foncer des sondages, méthode qui présente des risques et permet la vitesse. En période de dépression, on inclinera à préférer les travaux miniers qui permettent souvent d'extraire du minerai et favorisent l'autofinancement.

Si on appelle C le crédit à engager, p la possibilité de faire une découverte de valeur V (susceptible de fournir un bénéfice V), on aura

$$C < p \cdot V$$

Cette estimation, extrêmement grossière, varie au cours de la recherche puisque en chacune de ses phases on doit être mieux à même d'estimer p et que d'autre part le cours du minerai peut varier et modifier V. V et p sont des fonctions du temps et en dérivant par rapport au temps, on obtient:

$$\frac{d \cdot C}{d \cdot t} = V \frac{d \cdot p}{d \cdot t} + p \frac{d \cdot V}{d \cdot t}$$

Les dépenses par unité de temps varient comme dC/dt et on peut dresser un tableau en faisant varier séparément les termes de droite dans l'équation. On en tire des conclusions générales valables pour tous les cas.

Au point de vue de la reconnaissance du gisement, les deux méthodes présentent les caractères suivants:

— les travaux miniers permettent au géologue de relever des coupes précises, d'étudier les relations du minerai avec ses épontes et d'imaginer des hypothèses sur la genèse du gisement; le mineur peut y prélever des échantillons nombreux, de gros volume et déterminer la teneur moyenne avec précision;

— les sondages montrent mieux la structure du gisement et l'échantillonnage est plus objectif, débarrassé des influences personnelles (diverses causes d'erreur interviennent d'ailleurs pour fausser les résultats).

Relevons encore que, d'après les mathématiciens, la connaissance d'un gisement dépend du nombre total d'échantillons analysés et non pas de la densité des prises par unité de surface.

Finalement, le choix de la méthode dépend de la forme et des dimensions du gisement: les travaux miniers conviennent aux petits gisements et les sondages aux grands. Chaque fois que le temps compte la sonde doit être préférée.

Ajoutons que la politique de recherche par sondage doit demeurer souple et adaptée au but poursuivi. Dès que la prospection systématique, à pas relativement serré, a permis de chiffrer une réserve suffisante pour justifier l'exploitation, il faut immédiatement desserrer la maille, essayer de doubler ou tripler les réserves possibles, prendre la mesure du gisement et

explorer ses abords. Il arrive un moment où il vaut mieux consacrer au fonçage d'un puits les sommes qu'il faudrait dépenser pour acquérir par des sondages les assurances nécessaires pour inscrire les réserves dans la colonne « certain ».

Que devient le géologue dans les prospections par sondage? A cette étape de la recherche l'intervention soigneusement orchestrée du géologue peut exercer des effets très heureux sur le prix de revient et sur le résultat de la campagne. Cette influence ne se manifeste pas nécessairement de façon visible dans la comptabilité de l'entreprise; avec ou sans son intervention, les crédits de recherche s'épuisent pratiquement à la même allure, mais ils peuvent être utilisés d'une manière plus ou moins efficace et, sans surveillance géologique des sondages, la dépense ne sera certainement pas engagée de la façon la plus fructueuse. Il y a là un problème qui se rapporte à la qualité du travail et qui demeure intraduisible par le prix de revient mensuel.

Le rôle du géologue est complexe; il s'agit pour lui:

— d'indiquer les emplacements de sondage les meilleurs;
— de suivre la marche et les résultats des sondages;
— de décrire et d'étudier les carottes étudiées.

Rappelons qu'on appelle « carotte » le cylindre de terrain découpé par l'outil de forage dans la roche; on parle alors de carottage mécanique par opposition aux carottages instrumentaux qui consistent dans la mesure de certaines propriétés physiques des terrains recoupés — carottages électrique, radio-actif, thermométrique, par exemple.

Souvent, le choix de l'emplacement des sondages ne laisse pas une grande latitude aux fantaisies personnelles; la disposition du filon ou de la formation minéralisée, la forme et la dimension prédéterminées de la maille dans une campagne systématique, imposent aux sondages des emplacements et des directions bien déterminés. Néanmoins, le géologue devrait toujours s'assurer que l'emplacement choisi permet d'obtenir le renseignement désiré. Dans les travaux de reconnaissance sur indices ou sur des axes de minéralisation supposés, il appartient au géologue de désigner les emplacements. Il s'appuie pour cela sur l'ensemble des données recueillies et particulièrement sur l'étude structurale. Dans un travail bien conduit, on s'efforce toujours d'assigner aux sondages, outre leur objectif principal d'ordre minier en général, un ou des objectifs secondaires (d'ordre géologique par exemple) qu'il est possible d'atteindre pour le même prix en choisissant judicieusement l'emplacement de l'ouvrage.

En implantant un sondage, le géologue doit prévoir la profondeur à atteindre et la nature des terrains recoupés. Cela permet d'utiliser le matériel de forage le mieux adapté aux circonstances. Pendant le creusement, le géologue, par des visites fréquentes, compare ses prévisions avec les résultats et corrige ses hypothèses de travail. Ce contrôle s'impose spécialement pour les sondages stériles, car il s'agit alors d'atteindre la profondeur optimum, celle à laquelle on devrait avoir touché le gisement et qu'il n'est pas utile de dépasser. Plusieurs cas vécus et l'étude des archives nous ont montré l'intérêt de cette tutelle géologique sur les sondages qui doit s'exercer de façon continue et dans tous les cas.

Voici un exemple: Alors qu'une campagne de sondages sur un important gisement était déjà très avancée, nous fûmes chargé de sa surveillance. Une heureuse intuition nous permit de découvrir très tôt (au sixième sondage étudié) un niveau particulièrement significatif au sein d'une série très changeante et dépourvue en apparence de trait permanent. Ce niveau-pilote, que rien *à priori* ne mettait en évidence, s'avéra singulièrement utile; le gisement se maintenait systématiquement à une trentaine de mètres au-dessous de lui; il suffisait de le dépasser d'une

cinquantaine de mètres pour obtenir la certitude d'avoir complètement recoupé la zone potentiellement minéralisée qui, au surplus, ne se distinguait en rien des roches stériles encaissantes; seule l'analyse chimique permettait d'identifier le minerai. Au moment où débuta notre travail, le gisement était délimité par des sondages serrés de plus en plus profonds et on notait des anomalies inexplicables dans la distribution du minerai. L'étude critique de tous les sondages nous montra que certains d'entre eux avaient été poussés beaucoup trop bas, sans profit pour personne, d'autres étaient trop courts et ne pouvaient avoir atteint ou traversé le gisement. D'autre part, en figurant sur les coupes la structure géologique découverte, on voyait les teneurs se grouper différemment et un deuxième gisement pouvait être défini; l'ordre et la clarté succédaient à la confusion et à la fantaisie. Trois sondages de vérification effectués dans des plages où les sondages anciens étaient trop courts démontraient le bien-fondé de l'hypothèse du géologue, découvraient à la profondeur prévue une très riche minéralisation, permettaient d'augmenter les réserves et de supprimer sur les cartes les bizarreries dans la forme du gisement. Il devenait dès lors possible de réduire fortement le nombre des sondages (leur longueur dépassait alors 400 m.) et de réaliser d'importantes économies. Quelques-uns parmi les premiers sondages, dont les carottes avaient disparu, durent être reforés pour compléter la documentation géologique. Cette opération onéreuse enseignait de surcroît aux responsables à se servir à temps de l'instrument géologique. Dans l'exemple cité, en fin de campagne la précision des prévisions du géologue atteignait couramment 0,5 m. Résultat assez exceptionnel, mais lorsqu'on a saisi le climat d'un gisement on obtient une précision satisfaisante. Souvent on peut alors desserrer la maille et se contenter de vérifier les points critiques.

Bien entendu, le géologue ne peut jamais valablement prédire les teneurs et il ne faut pas essayer de le transformer en diseuse de bonne aventure. Ironie des choses, ses critères appartiennent souvent à la même catégorie que l'œuf de Colomb: quand le succès a sanctionné ses efforts et qu'il expose ses raisonnements et ses déductions, on s'aperçoit alors qu'il suffisait d'y penser. Peut-être, mais pourquoi personne n'y avait-il songé avant lui? Et le propre du génie ne consiste-t-il pas souvent à dégager une loi simple d'un fouillis de faits apparemment désordonnés et contradictoires? Par là, les démarches intellectuelles du géologue s'apparentent à celles d'authentiques savants et le font participer à la joie d'arracher quelques secrets à la nature.

Enfin, au cours de ses visites, le géologue décrit minutieusement les carottes récupérées, désigne les échantillons à analyser, choisit les témoins à conserver au musée, sélectionne les tronçons qui feront l'objet d'études en laboratoire. Il est clair qu'on doit consigner toutes les données topographiques, géométriques, techniques. Après achèvement du sondage, on établit une monographie comportant absolument tous les renseignements recueillis sur le terrain et dans les divers laboratoires. Des coupes, des cartes, des résumés l'accompagnent ainsi que les commentaires, hypothèses, conclusions et suggestions qu'on en a tirés. Après plusieurs années parfois, on parvient à interpréter une coupe géologique demeurée obscure ou à utiliser un fait apparemment insignifiant. Voici deux exemples démonstratifs; le second a revêtu une grande importance stratégique et économique dans la guerre froide:

En 1941, notre prédécesseur avait soigneusement marqué et entreposé les échantillons les plus curieux d'un sondage; en 1954, il nous fut possible, grâce à ces échantillons, de fournir une interprétation nouvelle de ce sondage et cette hypothèse conduisit plus tard à la découverte d'un gisement prometteur.

En 1923, R. A. Cooper, chimiste et minéralogiste au service d'une importante société minière d'Afrique du Sud, découvrait des traces d'uraninite dans un minerai aurifère du Witwatersrand. Cette découverte parut alors totalement dépourvue d'intérêt pratique; pourtant lorsqu'en 1945 la chasse à l'uranium s'organisa, on exhuma de la poussière des archives ce précieux renseignement et les géologues en tirèrent argument pour entreprendre les recherches qui

permirent de découvrir les gisements d'uranium à basse teneur les plus importants du monde, l'uranium étant récupérable comme sous-produit de l'or. Actuellement, c'est un des postes importants de l'économie de l'Afrique du Sud, cette région produisant pour plus de 50 millions de livres sterling par an de concentrés uranifères.

Quelle confiance peut-on accorder aux sondages lorsqu'il s'agit d'évaluer un gisement ? Dans un cas bien connu de l'auteur, le rapport du poids de la carotte analysée au poids du panneau auquel on extrapolait la teneur trouvée, était en moyenne de 1 à 50 millions. De tels chiffres laissent rêveur le mineur en charge de l'exploitation et l'incitent à la plus grande prudence. Dans les mines d'or en particulier, il a tendance à exiger davantage de sondages et à attribuer aux résultats obtenus une valeur plus qualitative que quantitative; il demande aux sondages de lui signaler la position, la puissance, la nature de la minéralisation et un ordre de grandeur de la teneur et n'accepte ces renseignements que sous bénéfice d'inventaire, se réservant d'aller voir sur place ce qui se passe réellement. Combien de fois n'avons-nous pas entendu l'exploitant s'exclamer que l'or se trouve entre les sondages stériles ou uniquement au voisinage immédiat des sondages payants ? Sa réaction de prudence est saine en principe, mais un peu exagérée. Nous avons signalé plus haut que la connaissance d'un gisement dépend du nombre total d'échantillons analysés et non pas de la densité des prises par unité de surface. Sur un gisement étendu, le nombre d'analyses atteint un chiffre suffisant pour conduire le calcul des réserves à un résultat correct; sur un petit gisement, il est économiquement plus raisonnable de se contenter d'un nombre réduit de sondages et de mener l'affaire avec prudence au moyen de galeries.

L'expérience montre que dans un gisement filonien aurifère, les teneurs se répartissent de façon extrêmement irrégulière; la plupart d'entre elles sont inférieures à la moyenne du gisement et peuvent s'approcher de zéro, quelques-unes multiplient la teneur moyenne par 10 ou 20. L'interprétation des résultats revêt une grande importance; actuellement c'est encore plus un art qu'une science.

Pourtant, le bon sens indique que la statistique mathématique devrait faciliter la découverte d'une méthode d'interprétation rationnelle qui permettrait:

— de déterminer la précision de l'échantillonnage;
— d'évaluer correctement les tonnages;
— de présenter clairement et simplement l'ensemble des données numériques recueillies.

Il y a là tout un domaine peu connu ouvert aux amateurs de statistique et de recherche opérationnelle désireux de mettre au point les stratégies qui permettraient d'opérer correctement dans les diverses circonstances rencontrées.

Toutefois, l'interprétation d'un gisement ne peut pas se fonder uniquement sur des arguments mathématiques et discursifs, particulièrement quand les sondages jouent un rôle important. En effet, les sondages dévient, le rendement en carottes varie, des erreurs surviennent dans le marquage des échantillons. Il faut au préalable une critique serrée du géologue pour déceler les anomalies et les erreurs éventuelles et tenter de les corriger. D'autre part, l'évaluation d'un gisement doit tenir compte de sa structure géologique, et la structure réelle n'est pas nécessairement celle qui apparaît lorsqu'on se contente de réunir sur des coupes, par des lignes droites, les passes minéralisées riches des sondages.

Nous avons connu un cas assez singulier: Aux yeux du géologue le gisement se dessinait très clairement sous forme d'un banc de sulfure bien distinct de son éponte; quelques teneurs élevées, erratiques, apparaissaient dans l'éponte, tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du niveau de sulfure; en calculant les réserves, on se borna à réunir entre elles les passes à forte teneur;

sur les coupes, le gisement prenait alors la forme d'une grecque à cheval sur le banc de sulfure et le débordant tantôt par le haut, tantôt par le bas. Il y avait une incompatibilité manifeste avec la structure réelle. La seule solution valable était d'évaluer le tonnage et la teneur moyenne du banc de sulfure aisément reconnaissable par l'exploitant et de laisser à ce dernier le soin de découvrir et d'abattre localement les zones aurifères de l'éponte. Des interprétations erronées de ce genre peuvent conduire à des catastrophes financières.

Dans plusieurs cas vécus par l'auteur, le chiffrage prudent des réserves basé sur des sondages s'est montré en très bon accord avec les résultats de l'exploitation ultérieure; le tonnage de minerai et le poids de métal ont été retrouvés à quelques pour-cent près. Dans l'ensemble, la méthode de prospection par sondage paraît économiquement très favorable à condition d'être entreprise sur une échelle suffisante, c'est-à-dire avec plusieurs appareils et pendant plusieurs années. Citons deux statistiques; toutes deux portent sur environ 50.000 m. de sondage exécutés au cours d'une dizaine d'années. Dans un cas, le prix de revient des sondages représente environ 3,5 %, dans l'autre 1,5 % de la valeur du métal inscrit aux réserves à la suite de ces travaux. Ou, sous une autre forme, 1 fr. investi dans les sondages rapporte 28 fr. 50 dans le premier cas et 66 fr. 60 dans le deuxième. Signalons tout particulièrement que dans le premier cas il y a eu sept années de vaches maigres et trois seulement où de substantiels résultats furent obtenus. On ne peut juger de la valeur de cette méthode avant d'avoir foré un nombre suffisant de mètres, répartis sur de nombreux gisements. La recherche minière exige souvent une longue patience... et le temps est de l'argent.

Chacun sait que des techniques d'étude très particulières des sondages se sont développées dans le cadre de la recherche pétrolière où l'on utilise presque exclusivement le rotary, c'est-à-dire la méthode de forage qui détruit complètement la roche, sans fournir de carotte. Pour obtenir les renseignements géologiques, physiques et chimiques indispensables, on a créé des méthodes et des instruments efficaces. Dans la recherche métallifère, on préfère encore le carottage mécanique, aussi n'effectue-t-on que peu ou pas de mesures dans les trous, à l'exception parfois de celles destinées à indiquer l'inclinaison et la direction du forage. Le carottage mécanique fournit des échantillons bien repérés et pouvant faire l'objet d'analyses diverses; à part les sondages au pétrole, le rotary est employé parfois dans les recherches pour eau, uranium, lignite, charbon et sel. Néanmoins, si le besoin s'en faisait sentir, toute une gamme de procédés et d'instruments deviendraient rapidement disponibles et permettraient de résoudre des problèmes très variés.

Du point de vue fonctionnel, on peut classer les sondages comme suit:

— sondages d'éclairage de l'exploitation;
— sondages de prospection systématique;
— sondages de reconnaissance sur indices de minéralisation;
— sondages de reconnaissance sur axes présumés de minéralisation;
— sondages géologiques d'intérêt local, courts, destinés à éclairer un problème local;
— sondages géologiques d'intérêt général destinés à élucider l'allure et les propriétés de toute une formation.

Il paraît superflu d'insister sur l'intérêt vital qu'il y a d'intégrer tous ces sondages dans un programme élaboré en prenant en considération tous les arguments géologiques et économiques.

Nous avons constaté qu'il est bon de dresser une sorte d'inventaire permanent des sondages prévus et des tableaux récapitulatifs des sondages exécutés. L'établissement des programmes financiers, d'achat de matériel, d'utilisation des appareils et du personnel s'en trouve grandement facilité.

Ce chapitre sur le « développement » a fourni l'occasion de traiter dans son ensemble la question des sondages. Naturellement, ils ne constituent qu'un aspect du travail au cours d'une phase où toute l'activité de l'entreprise est orientée vers la mise en valeur du gisement. Plus loin, nous parlerons des travaux miniers dans le cadre de la recherche; quant aux questions techniques liées au stade préparatoire, elles abondent et leur exposé déborderait les limites de notre article.

L'exploitation

Un gisement entre progressivement en exploitation et, sur un gisement d'une certaine importance, on assiste simultanément à différentes phases de la recherche. En un sens, l'exploitation elle-même prolonge et continue la recherche, du moins dans les entreprises bien conduites. Bien entendu, le mineur remplit l'emploi le plus important et le financier est absorbé par les tâches que pose la direction d'une telle entreprise. Parmi les problèmes que doivent résoudre en collaboration le mineur et le financier figure celui des relations entre la teneur et le tonnage exploité, le bénéfice et la durée de la mine. On peut énumérer quelques règles à suivre:

— on obtient le bénéfice maximum quand on exploite la mine à sa pleine capacité de production même si, pour fournir le tonnage requis, il faut abattre du minerai à teneur inférieure à la teneur-limite;
— la teneur-limite au-dessous de laquelle il n'y a plus d'avantage économique à descendre est celle dont la valeur de réalisation couvre exactement les frais variables par tonne de minerai; la répartition des frais fixes sur un très gros tonnage permet d'abaisser le prix de revient à la tonne;
— la combinaison la plus avantageuse de teneur et de tonnage varie pour chacune des opérations de l'exploitation; on la détermine dans chaque cas en étudiant la variation de la teneur en fonction du tonnage dans l'hypothèse où il n'y a ni bénéfice ni perte.

D'autre part, il est clair que le problème de la capacité à donner à l'usine de traitement doit avoir été résolu de façon satisfaisante au cours de la phase précédente. Pour certains types de gisements, on admet empiriquement que la capacité journalière de l'usine ne doit pas dépasser le tonnage qui correspond à une tranche de 10 cm. de minerai.

Le géologue ne s'efface pas lors de la mise en train de l'exploitation; bien au contraire, les contacts entre le mineur et le géologue doivent se multiplier et favoriser une collaboration organisée en vue de buts bien déterminés. Les tâches du géologue se subdivisent en quatre catégories:

— Il doit occuper d'abord le poste de conseiller technique que l'on consultera avant de choisir l'emplacement des localités, des camps de travailleurs, des ouvrages d'art, des captages de sources et bien sûr avant d'élever un barrage important. On aura recours à ses services au cours des études qui précèdent l'implantation des puits de mine et des galeries d'accès au gisement. Pendant les travaux on doit tenir compte de son avis pour disposer, loin des zones disloquées et à l'abri des venues d'eau, les installations fixes telles que sous-stations, compresseurs, trémies, ventilateurs, pompes, etc.
— Comme les sondages, les travaux miniers coûtent cher; il faut en tirer le maximum de profit et le géologue doit effectuer un lever géologique détaillé des travaux d'exploitation pour étudier la minéralisation, rechercher l'origine du minerai et ses conditions de mise en place afin de pouvoir guider l'exploitant dans son travail et orienter le prospecteur vers d'autres gisements de même type.

— Dans le cadre même du gisement, le géologue doit inspirer et superviser tous les travaux de recherche, qu'ils aient lieu par galeries ou par sondages, qu'ils soient le fait du service d'exploitation ou du service de prospection.
— Enfin, et nous touchons là un point très sensible, le géologue devrait être chargé de diriger l'échantillonnage du minerai, d'établir les réserves, de tenir à jour les inventaires des réserves, de superviser le lever des plans, tout ceci en liaison avec le mineur. Nous ne justifierons pas ce point de vue et n'insisterons pas sur les problèmes techniques; il suffira de mentionner que cet aspect du travail géologique se heurte, en général, à l'hostilité du mineur qui prétend conserver toutes ses attributions traditionnelles. En fait, le problème dépasse les contingences personnelles; on doit le poser sur le plan de l'efficacité de l'entreprise et de la recherche du résultat financier.

On devrait charger de ces travaux un géologue chevronné, rompu à toutes les opérations de la recherche, connaissant par expérience directe les divers types de gisements du minerai exploité; l'octroi de certains avantages matériels rendrait hommage à ses mérites et le mettrait sur le même pied que les ingénieurs ou les chefs de service de l'exploitation.

Conclusions

Il y aurait encore beaucoup à dire sur les laboratoires et leur équipement, sur les méthodes indirectes de recherche des indices (par exemple géochimie et géophysique), sur la formation du personnel, la stabilité de l'emploi, sur les rapports idéaux entre le géologue et le mineur et avec ce mineur particulier qu'est le prospecteur. Il conviendrait d'analyser les fonctions du géologue et du prospecteur et de montrer que l'entreprise trouve son plus grand avantage quand le prospecteur remplit l'office d'un entrepreneur qui réalise sondages et travaux miniers au prix de revient le plus bas, sur les emplacements choisis par un géologue chez qui se marient les connaissances scientifiques et techniques. Il faudrait discuter aussi les rapports fonctionnels et hiérarchiques existant entre le personnel occupé effectivement à la recherche et celui qui l'administre ou le télécommande de plusieurs centaines ou plusieurs milliers de kilomètres parfois; le premier ne comporte pas uniquement des hommes pour qui l'action prime la pensée; même sur le terrain, la méditation a sa place.

*

En résumé, nous avons vu au début de cette note que la recherche minière est une entreprise aléatoire et onéreuse; en conséquence, depuis longtemps et pratiquement partout, on a compris la nécessité de doser l'effort financier en fonction des résultats obtenus et des espoirs de gain. Nous avons montré comment on réalise cette condition; or, pour parler comme les mathématiciens, cette condition est nécessaire mais non suffisante; elle doit être accompagnée par la collecte et la conservation méthodique de tous les renseignements géologiques. Et cette vérité n'a pas encore trouvé une audience étendue auprès des milieux qui s'occupent de la recherche minière; à notre connaissance, elle n'a même pas encore été explicitement formulée à propos de la prospection des gîtes métallifères.

Chacun le sait, les plus grands gisements s'épuisent un jour; on estime que l'étude de la surface des plus grands districts miniers touche à sa fin et les réserves connues de certains minerais ne suffiront pas à couvrir les besoins de l'humanité pendant les dix à quinze prochaines années. Jusqu'à présent, on connaît très approximativement et on a exploité sporadiquement les cent premiers mètres de la croûte terrestre; depuis l'apparition de l'homme sur

la terre, cette pellicule a satisfait ses besoins en produits minéraux. A l'avenir, il devra s'adresser à des zones en moyenne plus profondes dont les gisements ne se manifesteront pas ou guère à la surface. Les difficultés, par conséquent le coût, de la recherche et de l'exploitation minières iront donc en augmentant. C'est pourquoi, dans une économie minière conçue non seulement pour couvrir les besoins du moment mais encore pour assurer des ressources minérales à la prochaine génération, le dosage de l'effort financier ne représente qu'une face du problème; l'autre face correspond à la collecte et à la conservation, dès le début des travaux, de toutes les observations qui pourront servir un jour à orienter la recherche des gisements profonds, c'est-à-dire des gisements cachés. C'est pour cette fin que le géologue doit œuvrer au cours de l'exploration et de la prospection, dans ce but qu'il doit être organiquement et intimement associé au mineur pendant le développement et l'exploitation. Cet effort en vue d'un avenir parfois très éloigné est rarement spontané. On devrait l'imposer à tous ceux qui participent à la recherche, spécialement à ses états-majors. D'autre part, on ignore *à priori* quelles informations s'avéreront réellement utiles et, pour qu'elle atteigne un jour son objet, il faut que la documentation soit totale et complète. Le sens de l'avenir, le souci d'établir des prévisions fondées sur une documentation irréprochable font encore souvent défaut. Or, pour parvenir à ses buts supérieurs, l'industrie minérale doit s'appuyer sur des hommes d'envergure capables de concevoir et de réaliser des plans valables pour de vastes territoires, pendant de nombreuses années. Il est indispensable que financier, géologue et mineur prennent clairement conscience de ces impératifs et en tirent une règle pratique pour coordonner leurs efforts.

*

Pour terminer, nous schématiserons notre pensée dans le diptyque suivant: on a coutume de dire que *le minerai est là où on le trouve* (ore is where you find it). Cet aphorisme correspond à une mentalité qu'il faut tenir désormais pour arriérée; nous vivons à une époque où tous nos efforts consciemment organisés devraient tendre à *trouver le minerai là où il doit être.*