

LES VOIES GEOLOGIQUES DE L'AVENIR POUR LA RECHERCHE EN METALLOGENIE EN VUE DE L'EXPLOITATION ET DE L'APPROVISIONNEMENT MINERAL. QUELQUES OPINIONS

par

Pierre ROUTHIER

Directeur de Recherche au Centre National de la Recherche Scientifique (France)¹
Docteur Honoris Causa de l'Université de Liège

PRESENTATION.- Pour honorer la mémoire et les travaux de P. BARTHOLOME j'aurais souhaité pouvoir préparer un article vraiment adapté, qui rejoigne ses écrits et ses préoccupations. Il faut donc éclairer un peu les raisons d'un autre choix. Jetons un regard en arrière sur des manifestations savantes récentes en l'honneur de grands métallogénistes ou géologues économiques européens. Au Jubilé de notre ami I. de MAGNEE (1976) j'ai présenté quelques premiers pas dans le domaine d'une Métallogénie régionale nouvelle. A celui d'A. MAUCHER (1978) j'ai esquissé l'évolution de la Métallogénie durant le dernier tiers de siècle.

Les charges et les forces de chacun étant ce qu'elles sont, j'ai finalement choisi de présenter ici, en les adaptant légèrement, les conclusions d'un ouvrage sur les provinces métalliques, qui sera présenté à la 26^{ème} session du Congrès géologique international dans les mémoires spéciaux que le B.R.G.M. prépare à cette occasion (1).

A vrai dire, beaucoup plus que les conclusions de cet ouvrage particulier, ce sont celles d'une vie d'enseignant et de chercheur, où j'ai fait mon possible pour me rapprocher des problèmes et des préoccupations des praticiens et pour former des élèves dans cet esprit. Pensant à P. BARTHOLOME il me semble que, sur ce point, nos soucis fondamentaux n'étaient guère différents, même si nos formations et nos approches l'étaient. En présentant ce texte je rends hommage, non seulement à P. BARTHOLOME, mais aussi à tous les valeureux ingénieurs des mines et géologues belges, dont les travaux au Zaïre ou en Belgique ont, directement ou indirectement, fécondé la Métallogénie, et je remercie ceux d'entre eux qui m'ont comblé d'honneurs dont je suis fier.

Sur les enseignements d'un domaine aussi vaste que la Métallogénie et ses applications on ne peut prétendre à un consensus. Les opinions qui vont être exprimées sont évidemment "personnelles", d'où l'usage du "je", mais il est certain qu'elles rencontreront celles de divers collègues et je rends hommage à tous ceux qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à leur élaboration.

Il n'est pas possible de réduire ces opinions à des points de vue purement intellectuels. Dans l'exercice d'une profession jouent des facteurs psychologiques et une morale, sans cesse sous-jacente même lorsqu'elle est mal respectée. On ne peut les escamoter sans déformer les perspectives, et lorsqu'on a pu longuement mesurer leur poids on ne doit pas les celer. La pire des subjectivités est celle qui dissimule les facteurs usuellement qualifiés de "subjectifs", et souvent pour mieux pouvoir en jouer. D'aucuns s'étonneront, et quelques-uns manifesteront peut-être de l'indignation lorsqu'en tentant un bilan je dénoncerai ce que je

considère comme des maux. Pourtant, comment et pourquoi refuser de voir que le développement scientifique, lui aussi, a ses maux ?

Nous exposerons ces opinions assez brièvement, en géologue, et il ne sera guère question ici de géophysique appliquée, de sondages, de valorisation, de méthodes d'exploitation, bref de "presque tout" l'arsenal de méthodes et de techniques qui conditionnent la découverte et l'exploitabilité des gisements. Tout ... sauf la Géologie.

Nous n'évoquerons pas ici le conditionnement géo-politique de l'approvisionnement minéral.

1 Equipe "Province métallogéniques" Université P. & M. Curie, Laboratoire de Géologie Appliquée, 4, pl. Jussieu 75230 Paris Cedex 05.

(1) Titre : "Où sont les métaux pour l'avenir ? Les provinces métalliques. Essai de Métallogénie globale". Mém. BRGM n° 105, 1980.

Ce qu'il faut d'abord avoir le plus présent à l'esprit quand on parle de technique et de science, c'est le **prix des actes et des outils**. Les chercheurs universitaires feraient souvent bien, à cet égard, de prendre quelques leçons auprès des ingénieurs; on y reviendra pour finir.

Examinons le rôle de la Géologie et les réquisitions correspondantes.

I.- QUE PEUVENT FAIRE LA GEOLOGIE ET LES GEOLOGUES DE TOUTES CATEGORIES POUR AIDER A L'APPROVISIONNEMENT MINERAL ?

Notre réponse générale sera : exploiter à fond les notions de provinces métalliques et de métallotectes révélateurs; ensemble ou alternativement. Cet objectif impose un certain nombre de réquisitions et d'"attitudes d'esprit". Il n'y a pas lieu ici de distinguer nettement des objectifs "fondamentaux" (ou théoriques) et appliqués (pratiques). Les uns et les autres s'entremêlent trop étroitement; à vouloir trop les contraster on tombe toujours dans des prises de position manichéennes et intéressées, alors que les dosages, réels ou nécessaires, sont infiniment variés.

1. Entretenir et développer l'arsenal des connaissances de base en géologie, mais lesquelles ?

Théoriquement on peut "tout utiliser" mais il faut savoir "tout intégrer". Et si l'on était plus modeste, notamment dans l'éducation des aspirants géologues ?

Citons d'abord l'exercice difficile de la **cartographie géologique**, si souvent décrié aujourd'hui, à tel point qu'il n'y aurait bientôt plus que d'humbles praticiens pour s'y livrer ! Je ne sais si ce décri est, dans toutes les nations, aussi aigu que dans certains groupes académiques en France, bien que cela soit à craindre. De là, il diffuse parfois jusqu'à des instances élevées, de telle sorte qu'il faut périodiquement réparer les effets nocifs de la cuistrerie ou de l'irresponsabilité de certains maîtres, plus soucieux d'exposer en "brillant" des théories que d'enseigner modestement les bases du métier. Comme par ailleurs il est difficile de faire comprendre aux béotiens (en la matière) que la carte géologique ne saurait être définitive, qu'elle est toujours à approfondir, à renouveler et à refaire pour qu'elle soit de plus en plus exacte, riche et utile, les plaidoyers en sont d'autant plus délicats. Il est également très difficile de redresser les travers et les

abusives prétentions de ceux qui ont été mal "dressés". On apprend à lever des cartes entre 20 et 25 ans; après 30 ans il est trop tard, mais on ne cesse de s'améliorer car représenter correctement le terrain et l'interpréter exige rigueur, culture, intelligence au sens le plus large. Connaît-on, en Géologie, une seule grande oeuvre durable qui ne se soit enracinée dans le terrain ? Et que signifieraient toutes les oeuvres de Pétrologie, Géochimie, Métallogénie etc... si elles ne s'y ancrèrent pas ? Rien du tout; elles n'existeraient même pas. Tant que divers "théoriciens" chercheront à briller en accablant la "valetaille de terrain" de leur mépris, on ne pourra accomplir de progrès décisifs dans la moralité de la profession et atteindre sa pleine efficacité. Mais faut-il aussi que la prétendue valetaille se défende !

La cartographie, sans cesse et sans cesse, a renouvelé et renouvelle beaucoup de bases et de problèmes de la Géologie. Il faut respecter toutes les cartes qui représentent presque toutes un acquit considérable et un effort de synthèse de cet acquit. Incluons-y les cartes minérales ou métallogéniques. Il faut apprendre à en tirer le parti maximum et à les rectifier, en les adaptant à ses propres besoins.

Profondément lié à la carte est le **déchiffrement des chronologies**, à toutes les échelles; qui ne sait pas le faire mélange les périodes, les phases de déformation et de concentration et les systèmes thermodynamiques successifs, dont les effets se superposent. Comme toute la Géologie, la Métallogénie est histoire.

Puis, il faut avoir quelques lueurs sur les divers domaines de la Géologie appliquée (en anglais : Economic Geology, en allemand : Lagerstättenkunde) : hydrocarbures et eau notamment et, pour notre domaine, d'abord la connaissance des **types de gisements**. Ils ont leurs anatomies propres, leurs lois physiologiques et écologiques, qu'il vaut mieux bien connaître sous peine de se risquer à des diagnostics faux ou à des "détours" non indispensables. Je ne peux résister ici au plaisir de citer R.L. STANTON (1978) qui, répondant aux critiques de "purs structuralistes", leur fait observer que la zonalité dans un amas sulfuré est un critère de polarité de valeur si générale qu'il permet de reconstituer l'essentiel de la structure de Broken Hill (Australie), sans recourir à des analyses structurales qui "vont et viennent" ("come and go").

Le reste, tout le reste, peut parfois être important mais viendra de surcroît : sédimentologie, analyse structurale, pétrologie magmatique, etc...; il faut savoir en prendre mais aussi en laisser et appeler

le spécialiste quand le besoin s'en fait sentir. L'intervention du spécialiste n'est efficace que lorsque le généraliste est bon, c'est-à-dire capable de l'intégrer à une synthèse et d'en tirer un pronostic. Les grands géologues d'exploration deviennent, par nécessité, des généralistes, plus diverses autres choses. Au train où va un peu partout la spécialisation on peut se demander s'ils ne resteront pas bientôt les seuls, avec une certaine proportion d'enseignants luttant pied à pied. S'il est vrai que la science progresse par diversification et bourgeonnement il apparaît aussi de plus en plus certain que, dans de nombreux secteurs, des blocages ou des redondances apparaissent par hyper-spécialisation sclérosante. A ce sujet il nous semble que le péril est grand de vouloir transposer brutalement, du monde industriel et commercial au milieu de l'université et de la recherche, les notions de recherche "pointue", de "créneaux" et de "marketing". Il y faut, en tout cas, beaucoup de mesure. Partagé entre deux nécessités : celle d'approfondir un thème pour en tirer le meilleur parti et celle de changer parfois de créneau pour ne pas devenir un spécialiste trop étroit, le chercheur n'a pas devant lui un chemin facile, surtout lorsqu'il est soumis à des invitations ou à des injonctions contradictoires de hauts responsables ou de commissions. Quoi qu'il en soit, des spécialisations trop étroites et trop prolongées risquent d'aboutir à des individus bornés et intolérants; c'est déjà le cas dans certains secteurs. Plus on est limité et intolérant, moins on s'embarrasse de scrupules et plus on consacre de temps à la publicité d'un petit clan. En même temps moins on prépare l'avenir car celui-ci est grandement conditionné par la tolérance des aînés à l'égard de ceux qui les suivent. Ces remarques ne s'appliquent en général pas aux "modestes" spécialistes du monde de l'exploration; elles s'appliquent surtout ailleurs. Encore que l'on ait vu, dans telle Compagnie minière, une petite "révolution de palais", fondée sur une idée à la mode mais vague, porter au sommet quelque temps les zéloteurs de cette idée ... puis, quelques années après, cette "idée" s'étant révélée dépourvue de valeur prédictive, ces zéloteurs étaient replacés dans des fonctions plus modestes.

2. Traquer le fond géochimique en roches, en relation avec les types lithologiques et les structures. Le dessiner, avec les "halos de dispersion primaire" ou les "halos négatifs". Travailler avec les spécialistes pour la précision analytique et les traitements mathématiques.

Naturellement la géochimie de sols et de stream-sediments, si possible "calée" sur la géochimie de ro-

ches, reste essentielle, de même que : étude des cha-peaux de fer, des concentrés alluvionnaires, des indices minéralogiques en général, de la dispersion des éléments dans les profils pédologiques épais (ex : latérites) et dans les formations glaciaires. C'est le lot commun des "exploracionnistes", de plus en plus appuyés sur des laboratoires bien équipés. Le métallogéniste académique n'est pas censé pouvoir l'ignorer totalement.

3. Construire transitoirement des hypothèses génétiques modestes, portant d'abord sur les phénomènes de dépôt et intégrant de manière cohérente, suivant une chronologie rigoureuse, les étapes de concentration-accumulation. Toute la géologie de base, la typologie, la géochimie y concourent. En sortiront des résultats vraiment "poly-méthodologiques et intégrés". Dans le livre en cours d'impression j'en analyse un exemple pris à Trèves, dans les Causses.

Remettre souvent en cause ces hypothèses, notamment par des comparaisons avec celles formulées pour d'autres gisements comparables. Ne pas croire que l'on puisse construire une hypothèse génétique sur un seul gisement; en réalité on utilise toujours tout un "amont".

Précisons un peu plus. Dans beaucoup d'écrits on évoque sempiternellement la notion de "modèle", avec un sous-entendu génétique aux contours vagues. En réalité le modèle est d'abord une **organisation**, c'est-à-dire un système de relations constantes entre organes, et entre l'"organisme" et son milieu (ici milieu rocheux). C'est ce que nous appelons le type; on peut aussi l'appeler "modèle anatomique et écologique" ou "ore occurrence model" (P. BAILLY, 1978). C'est le système de relations avec le milieu que l'on désigne par métallogénite(s) et c'est lui qui guide l'"exploracionniste". A la limite on peut dire que celui-ci pourrait s'en contenter.

Mais toute organisation implique une physiologie au moment où elle fonctionnait, avant de se figer. Il est légitime, et même nécessaire, d'essayer de décortiquer cette physiologie, désignée par les métallogénistes sous le nom de "genèse". Comme on l'a indiqué ailleurs elle comporte toujours diverses facettes : source(s), filtrage(s), transport(s), dépôt(s). De l'aval : le dépôt, vers l'amont : la source, tout devient, en général mais non toujours, plus difficilement déchiffrable. Reconstituer le modèle génétique complet est un idéal absolument digne de nos recherches. Mais ce n'est nullement une nécessité pour pratiquer une exploration efficace. Les clercs discuteront encore sur la genèse des gisements découverts et bien connus tandis que les groupes d'ex-

ploration en découvrent bien d'autres de mêmes types. Cet idéal est en même temps un ferment intellectuel utile, à telle enseigne que bien rares doivent être les géologues d'exploration qui ne se sont jamais formulés de "scénarios" sur la genèse ! Mais à la différence de divers clercs, ils savent qu'il faut parfois, ou souvent, en changer, tandis que le type est une référence plus constante et plus solide. En tout cas tout modèle génétique qui devient trop général, au point de s'éloigner du modèle anatomique, et donc vague, perd sa valeur prédictive (2).

Dans mon livre j'essaie en particulier de montrer que ce qui paraît le plus mystérieux dans le modèle génétique, la source, n'est pas toujours inaccessible, car elle est parfois saisissable "dans la province". Une idée communément et implicitement reçue, mais jamais discutée au fond, est qu'en Géologie, et par exemple dans le domaine des gisements minéraux, **la prédiction ne pourrait être bonne tant que l'on n'a pas compris la genèse, toute la genèse.** Cette idée trop élastique, derrière laquelle se réfugient bien des "fondamentalistes" peu tournés vers les applications, naît plus ou moins de comparaisons trop peu approfondies avec la Médecine ou la Physique. Or, s'il est vrai, et encore ne l'est-ce pas dans tous les cas, que l'on n'a de maîtrise sur les **phénomènes**, physiques ou physiologiques, que lorsqu'on en a compris tous les facteurs et enchaînements, cela est beaucoup moins vrai lorsqu'il s'agit de découvrir des objets qui n'évoluent pratiquement plus. Cette découverte requiert essentiellement des associations d'objets allant ensemble, disposés suivant un plan architectural constant, et des gradients parfois mesurés ou mesurables.

Sur cette analyse trop peu approfondie se greffent alors des affirmations bien trop péremptoires. C'est ainsi qu'en France (et sans doute ailleurs) certains clercs tiennent depuis peu, dans les coulisses de notre discipline, des propos du genre suivant : "Si d'autres (que les métallogénistes actuels et les géologues d'exploration) intervenaient - c'est-à-dire nous - on découvrirait beaucoup plus aisément des gisements". Un doute est ainsi jeté, que l'on espère profitable. Il est jeté parce que les pouvoirs publics accordent une importance accrue aux inventaires nationaux de substances minérales, et donc des crédits à proportion. Ce sont là des propos légers, injustes et au total mal-faisants. Auxquels il faut répondre : "Venez-y et vous verrez comme il est facile de retrouver une aiguille dans un tas de foin!" Il est d'ailleurs aisé de venir, puisque la politique d'incitation, en France les "Actions Thématiques Programmées" du Centre National

de la Recherche Scientifique et les "Actions Concertées" de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique", le permet. Mais le hic est de venir avec des projets accrochés à des objets précis, ce qui suppose un minimum de connaissances préalables dans le domaine des gisements et de la Métallogénie. Celle-ci est un vaste domaine, et il est "accueillant". Il est très souhaitable que plus de chercheurs y viennent, mais avec quelque respect préalable pour ce qui a été déjà fait et, au lieu de vouloir à tout prix se "démarrer" d'emblée, qu'ils s'associent avec d'autres qui n'y sont pas des novices complets. Dans les applications des sciences il faut se garder des rodomontades, d'autant qu'elles peuvent engendrer de durs retournements.

4. Croire qu'il existe des lois, au moins à notre humble échelle terrestre !

Sans cette croyance, que j'ai tenté de justifier en énonçant quelques lois dans l'ouvrage, on n'est pas tenté de **comparer** avec ténacité et, sans comparaisons étendues, sans "inventaires", on ne dégage aucune loi. Cet exercice est, au même titre que toutes les autres activités du géologue passionné par son métier, une véritable "ascèse" intellectuelle.

Mais, sur la loi générale, avoir l'oeil ouvert aux variantes, voire aux contradictions. C'est ce que s'acharnent à faire, par exemple, ceux qui travaillent sur les porphyry coppers.

Il faut ajouter que, par un singulier complexe d'infériorité né de comparaisons mal approfondies, encore une fois avec la Physique ou la Biologie, très peu de géologues osent croire et articuler qu'il existe des lois en Géologie et que l'on en a déjà découvert un certain nombre. La polarité de l'évolution géosynclinale, par exemple, en est une. Le complexe des géologues naît de la croyance implicite que leurs lois ne vaudraient rien tant qu'elles ne seraient pas dûment raccordées à celles de la Physique, avec toutes les difficultés de méthodologie scalaire qui s'interposent dans l'intervalle. C'est une distorsion complète au point de vue épistémologique, et en même temps sémantique : une loi est une "formule générale énonçant un rapport constant entre phénomènes" (avec l'ambiguïté qui pèse sur le concept de phénomène).

(2) *Qu'on veuille bien nous excuser d'introduire en français ce mot anglais latin.*

Il y a bel et bien des lois en Géologie et en Métallogénie; certaines sont découvertes et à approfondir, beaucoup d'autres restant à découvrir. De la même manière qu'en Physique la "loi de Mariotte" n'est valable que dans un certain domaine entre certaines limites, les lois géologiques comportent des limites, principalement liées à une évolution terrestre irréversible.

5. Développer un esprit plus réellement "mondialiste", peu à peu, chacun dans la mesure de ses moyens. Sans quoi la réquisition précédente ne peut être satisfaite que fort imparfaitement. Cet esprit ne doit pas viser trop vite aux synthèses "cosmogoniques" mais s'armer de patience pour réaliser des "synthèses étagées". Tout ce qui se prétend "global" ne représente qu'un idéal, vers lequel il faut tendre. L'esprit mondialiste, par un autre côté, ne s'acquiert qu'en voyageant et en lisant beaucoup. N'abordons pas ici la question des "barrières linguistiques"; on va y revenir par un autre biais.

6. Préparer des publications et des rencontres (Symposia, sessions) plus synthétiques.

Si les enseignements précédents "coulent de source", ou presque, celui-ci par contre mérite des commentaires, auxquels je n'ai pas envie de résister. Il s'agit de souligner divers obstacles aux synthèses.

Les publications, moyen essentiel de diffusion des connaissances, ont proliféré au fur et à mesure que les auteurs d'articles se multipliaient et se spécialisaient. Cette prospérité apparente n'est pas forcément toujours un bien. Comme on ne peut accumuler dans les bibliothèques des Laboratoires toutes les revues géologiques, géophysiques, géochimiques et encore moins les lire assidûment et les assimiler, beaucoup trouvent dans la prolifération une sorte d'alibi à l'ignorance. Dans un texte inédit de G. MILLOT (1979) nous lisons ces questions pertinentes : "Sommes-nous la génération de la mort des bibliothèques ? Pouvons-nous, sans livres, incliner les chercheurs à l'ascèse de la lecture, à la culture nécessaire et à la discussion scientifique ? Ne voit-on pas à l'étranger, mais aussi déjà en France, le déclin de la lecture ?".

Plusieurs conséquences s'enchaînent sur ce déclin. L'une est éthique. La Règle morale, la tradition, aussi et surtout la nécessité de pouvoir reconstituer le développement des idées, imposent que l'on s'efforce de "rendre à César"... Comme les érudits sont devenus (proportionnellement) fort rares, comme la bonne critique scientifique, celle qui dépasse

les querelles momentanées et de personnes, est un genre bien peu cultivé (il y aurait beaucoup à dire sur ce sujet !), la tradition est mal maintenue. Dans la prolifération et la confusion actuelles, il est devenu aisé de prélever discrètement un fait, une idée et de les replacer ailleurs; "ni vu ni connu". Sous le prétexte que cela ne modifie en rien l'évolution générale, on pourrait certes en rire, mais cela ne fait qu'aggraver la confusion et polluer l'atmosphère. Ces larcins sont encore plus aisés lorsqu'on peut se sentir à l'abri, à la fois de la rapide diffusion des connaissances et de la "barrière linguistique".

Examinons donc un peu cette dernière. L'anglophonisation galopante de l'expression scientifique après la deuxième guerre mondiale est un fait. De ce fait il faut mesurer diverses conséquences. Les chercheurs des nations non anglophones doivent traduire ou faire traduire beaucoup de leurs travaux. Ainsi :

1. ils doivent faire payer aux citoyens de leurs pays encore un peu plus pour développer, qu'on le veuille ou non, une culture anglophone;
2. très souvent les traductions sont médiocres : au mieux maladroitement et trahissant des nuances du texte original, au pire ridicules ou quasi illisibles; ce pire est assez souvent atteint et de très mauvais "abstracts" sont ainsi imprimés dans diverses revues non anglophones. On peut vraiment douter qu'ils puissent être des messagers efficaces.

Il serait bon que les anglophones un peu soucieux d'harmonie internationale fassent un effort d'imagination et se rendent compte de ce que cela représente "pour les autres". Or que voyons-nous ? Occupant la position "impériale" ils croient trop souvent pouvoir se permettre de demeurer indifférents ou paresseux. Collectivement ils feront occasionnellement exception, en vertu de principes qui relèvent pour le moins autant de la politique internationale que de la science. Un parti-pris déguisé ou quasi inconscient du genre : seules les très grandes nations dominantes produisent de la bonne science a conduit, par exemple "Economic Geology", à présenter régulièrement des résumés en anglais de publications en russe, mais celles-ci n'ont pas toujours été assez passées au crible. Il est par contre bien rare que des mémoires en allemand, en français, en italien etc... soient "reviewés", dans ce Bulletin et dans bien d'autres. Je le dis avec d'autant plus de sérénité que j'ai la plus haute estime pour cet admirable Bulletin et pour son "Editorial Board", que j'ai été l'un des rares métallogénistes non anglophones à y bénéficier d'une longue et "compréhensive" revue sous la plume du grand géochimiste et métallogéniste améri-

cain K. KRAUSKOPF (3), et enfin qu'un changement semble s'amorcer.

D'un autre côté l'anglophonisation en question a fait naître une distorsion du jugement du côté des non anglophones. Sera évidemment le plus cité celui qui publie le plus en anglais, effet essentiellement statistique; il le sera encore plus s'il se cite abondamment lui-même. Il aura alors tout intérêt, dans son pays, à faire prévaloir un système de jugement fondé sur cette base simpliste. On arrive vite à la démesure, où des activistes, un peu mieux armés que les autres en anglais parce qu'ils ont fait un séjour d'assez longue durée aux USA pour s'y perfectionner en général dans une spécialité, prétendent s'imposer seuls à l'"avant-garde". Mais qui donc a jamais constaté une relation constante entre la maîtrise d'une langue étrangère et la créativité scientifique ?

En France, le mal est déjà assez profond. Il est tout à fait indispensable de revenir à un peu plus de mesure. Oui il faut que les chercheurs français condensent leurs résultats en anglais, pour les propager. Mais faut-il, pour les en convaincre, instituer un système de jugement de la qualité de leurs travaux plus que discutable, d'autant qu'il ouvre le jeu à de petits clubs internationaux de congratulation (citation) mutuelle. Si des responsables haut placés dans l'administration de la recherche scientifique se laissent aller, eux aussi, à une telle démesure, qui peut côtoyer le snobisme, la science et en tout cas la Géologie, en pâtiraient à terme rapproché. On va voir pourquoi.

Une autre maladie, parfois grave, de l'expression scientifique peut être une excessive brièveté. Disons tout de suite que ce n'est pas un cas trop général chez les métallogénistes. Bien entendu une évidente raison en est économique, à laquelle on ne peut échapper. Mais la transformer en justification intellectuelle est plus discutable. On part du principe que ce qui est intéressant et nouveau peut être dit en peu de mots, de graphiques, de cartes et de coupes. Cela est à la fois vrai et tout à fait faux. Par trop de brièveté on assène des "résultats" mais souvent on ne les prouve pas; de plus on tombe parfois dans le ton journalistique, pour ne pas dire "publicitaire". Certes il est toujours bon de rappeler à un jeune chercheur que le second principe de la thermodynamique a été présenté par Carnot en très peu de pages, mais il est mauvais de lui laisser croire qu'en Géologie on puisse toujours opérer comme en Physique. Dans notre domaine par exemple la reconstitution de l'histoire d'un gisement ou d'une province exige celle de l'histoire de son enveloppe régionale;

laquelle doit être construite comme une démonstration méthodique, que l'on puisse suivre pas à pas, et éventuellement contrôler sur le terrain. Comme le dit encore G. MILLOT : "ne voit-on pas le risque d'entraîner une communauté à publier des notes brèves dans des revues de "haut niveau international"(4), sans que des revues sérieuses de base accumulent les pierres de l'édifice ?".

Les meilleurs des professeurs d'Université dirigeant des thèses ont toujours exigé à la fois cette démonstration et des conclusions qui, en quelques pages, condensent tout ce que la thèse apporte de neuf et de bien-fondé, en soulignant aussi les questions qui restent sans réponse. Aujourd'hui trop de ces thèses, qui sont parfois de magnifiques démonstrations, que ce soit à Paris, à Munich, à Montréal ou ailleurs, restent impubliées. Il arrive surtout souvent que le jeune docteur parte dans un emploi sans avoir rédigé un article bref dans une revue, article où l'on apprendrait où l'on peut trouver toute la démonstration. La perte globale de documentation et d'intelligence, à l'échelle mondiale, est certainement fort importante. Il est vrai que d'excellentes thèses, préparées avec le concours de Compagnies minières, voient le jour; il suffit de consulter par exemple le numéro d'Economic Geology consacré aux porphyry coppers du Sud-Ouest du Pacifique (1978) pour s'en rendre compte. Cela est vrai partout, mais plus particulièrement dans les pays où l'industrie minière est très développée.

Après la thèse, ceux qui restent dans des organisations de recherche vont être "suivis", d'année en année, par des commissions; ainsi en France par celles du "Centre National de la Recherche Scientifique". Qu'advient-il devant ces commissions ? Si le chercheur ne veut pas être "oublié", s'il veut éviter que sa productivité soit mise en cause, il a intérêt à publier au moins un peu chaque année. Là gît un bien détestable paradoxe. Il a eu assez de "souffle" pour aller au bout d'une thèse qui a duré plusieurs années (en France, couramment, au moins 6 pour la thèse dite d'Etat) et pour rédiger un mémoire synthétique. A ce "coureur de fond" on demande maintenant de se manifester surtout par des sprints !

Il en résulte trop souvent que le chercheur perd peu à peu le goût de la synthèse et parfois jusqu'à

(3) *Econ. Geol.*, 1964, v. 59, n° 5 : 943-946.

(4) Dont, curieusement, les Comités de Lecture sont pré-supposés toujours plus compétents que les Comités nationaux !

l'aptitude à celle-ci. Alors qu'en progressant en expérience il devrait embrasser de plus en plus de données, multiplier les comparaisons et les confrontations, et ainsi parvenir à des lois, seul idéal valable d'une vie de chercheur, on le verra accumuler des "introductions à", qui ne sont pas assez suivies, ou répéter avec des variantes ce qu'il a déjà écrit à propos d'autres cas.

On aurait pu au moins espérer que ces maux, détectables peu après la deuxième guerre mondiale, dès la première forte croissance du nombre des chercheurs, seraient soigneusement examinés par les commissions. Et que celles-ci, largement composées d'hommes encore jeunes, élaboreraient une politique nouvelle pour le jugement des travaux de recherche et des chercheurs. Le premier terme de cette politique devrait être : "à celui qui a déjà prouvé son endurance et sa capacité à aboutir, donner une nouvelle chance de les prouver encore". C'est-à-dire trois ou quatre ans pour conduire un programme à un point décisif ou critique, à partir duquel on discuterait sérieusement avec le chercheur de la suite à donner ou à ne pas donner, en fonction de l'opportunité internationale ou nationale, et du coût de cette suite.

Au lieu de cela les commissions, aussitôt mises en place et débordées par le travail courant, multiplié évidemment par la manie du contrôle annuel, n'ont plus le temps de réfléchir à l'essentiel. On me dira sans doute que nous sommes là bien loin de la Métallogénie et de ses liens avec les applications. Je répondrai que nous en sommes très près. En effet la Métallogénie exige bonne géologie (et dans des domaines fort variés), bonne minéralogie, bonne géochimie, bonne thermodynamique, donc une longue accumulation et une réflexion mûrie entre chercheurs d'optiques différentes. Pour qu'ils deviennent réellement fonctionnels de tels liens doivent être longuement tramés.

Le jugement trop fréquent des hommes, qui doivent se justifier **individuellement**, est donc préjudiciable à la formation d'équipes multi-disciplinaires, tant prônées, encouragées par ce qu'en France nous appelons "**politique d'incitation**", dont un des objets est de primer de préférence les projets réunissant des spécialistes différents, projets encore bien trop rares.

Et finalement, si l'on retourne aux publications, il est clair que le chercheur habile à faire valoir "ce qu'il a produit dans l'année" sera fréquemment le mieux considéré. Mais est-il forcément parmi les meilleurs ? Et ainsi ne l'encourage-t-on pas au déguisement et ne rejoint-on pas certains des maux dénoncés, dans

une partie du monde industriel, par le "principe de Catt" (5).

Il nous faut enfin dire quelques mots des pseudo-synthèses ou "agglomérats". Elles naissent de plus en plus souvent par le curieux processus que voici. Puisque tant de chercheurs s'abandonnent au foisonnement des petites publications éparses, la place est libre pour une nouvelle race : celle des "éditeurs" au sens "américain" du terme. Pour constituer un "agglomérat" il n'est plus toujours besoin d'être un chercheur réellement éminent. Il suffit d'avoir un entourage suffisant pour obtenir des contributions d'un certain nombre d'auteurs. Ces contributions sont, au mieux, distribuées dans des chapitres, mais l'éditeur se compromet rarement à effectuer un effort de comparaison et à en faire part dans un ou plusieurs chapeaux généraux, allant au-delà des remerciements. D'ailleurs, dans de tels livres, les auteurs reprennent souvent, avec quelques variantes, ce qu'ils ont déjà exposé dans des journaux scientifiques ou techniques.

La Métallogénie internationale n'est malheureusement pas toujours exempte de ces entreprises, qui débouchent rarement sur des vues synthétiques puissantes. Il existe, bien entendu, de très notables exceptions, d'ailleurs souvent d'un volume plus modeste. Pour être précis, citons parmi d'autres, les numéros spécialisés d'"Economic Geology" sur les gisements d'Afrique du Sud et de Rhodésie (1976), sur Bingham (1978), sur les porphyry coppers du Sud-Ouest du Pacifique (1978). Certes un livre rassemblant des données et des réflexions éparses a toujours "le mérite d'exister" et sans doute d'aider aux vraies synthèses et à la découverte de lois. Il n'en reste pas moins que les synthèses étagées seraient bien activées si plus d'"éditeurs" déployaient plus d'efforts dans ce sens au lieu de se réfugier derrière ce qu'il faut bien appeler un libéralisme mou.

Abandonnons ces considérations morales ou psycho-sociologiques, pour en venir à une question partout en filigrane dans l'ouvrage.

(5) Ivor CATT. *The Catt concept. The new industrial Darwinism.* G.P. Putman's Sons, New York, 1971. Traduction française : *Le Principe de Catt. Comment conserver son job.* Stock, Paris, 1972. Ce livre s'applique à des milieux industriels à forte dose de recherche. En réalité il s'agit plutôt d'un "Système" comportant plusieurs principes, dont certains pourraient être transposés à d'autres organisations de recherche, et à de beaucoup plus nombreux domaines. Par exemple, "principe des paris stupides" : les pronostics doivent toujours être résolument optimistes.

II.- LES "RETOMBEES" DE L'EXPLORATION MINIERE ET DES ETUDES METALLOGENIQUES ASSOCIEES SUR L'ENSEMBLE DE LA GEOLOGIE

Ces retombées sont innombrables et encore mal mesurées par la collectivité géoscientifique. Parmi des centaines d'exemples possibles, citons-en trois. En province sud-ibérique la nécessité de caler les amas sulfurés dans une histoire et une paléogéographie a imposé que l'on reconstitue celles-ci, donc a imposé l'exécution d'une carte géologique homogène (50.000e) qui n'existait pas encore, laquelle a comporté beaucoup d'enseignements régionaux et généraux (sur le volcanisme acide).

La découverte d'amas sulfurés à Zn-Pb-Cu en Bretagne (France) a conduit à prendre conscience d'un volcanisme mal connu (du Dévonien inférieur), à en reconstituer les caractères et à déchiffrer des phases de déformation.

La découverte de porphyries dans de nombreux pays a déclenché une somme impressionnante de travaux minéralogiques, pétrologiques et thermodynamiques. Mais aussi, sans l'exploration orientée vers ces porphyry coppers, on saurait encore assez peu de choses sur de nombreux arcs insulaires, comme ceux du Sud-Ouest Pacifique, Papouasie incluse. Cette exploration est en réalité, comme d'autres, une véritable "épopée"! Au centre de la Nouvelle-Guinée par exemple la visibilité est le plus souvent de moins de 50 mètres ("le pays des nuages"). Là, comme en bien d'autres régions, on a aujourd'hui, grâce à l'exploration, d'abord des cartes géologiques détaillées et, de fil en aiguille, des retombées aussi raffinées que les études minéralogiques et pétrologiques sur le "Koloula igneous complex" de Guadalcanal (îles Solomon). Toute l'étude du magmatisme calco-alcalin est reprise à sa base et de nouveaux tableaux plus synthétiques en naîtront dans quelques années. D'ores et déjà on a rectifié des généralisations trop hâtives, comme celle relative au gradient de K_2O des arcs insulaires aux cratons.

Il ne servirait à rien de multiplier les exemples si l'on n'en dégageait pas le moteur intellectuel. L'exploration minérale exige, du moins à partir du moment où l'on a accroché des cibles, beaucoup de précision dans la géométrie et la chronologie des corps rocheux, dans leurs contrastes ou leurs transitions. Chaque espoir sera testé par des sondages. Tout géologue impliqué dans l'exploration est donc forcément conduit :

1. à serrer de près les fondements de ses constructions,

2. à en vérifier la validité ou l'invalidité au fur et à mesure que les travaux progressent et à les réviser souvent.

C'est une bonne école ! Il en va de même pour le géologue "académique", qui a le goût et la chance - et s'il en a le goût il trouve souvent la chance -, d'être associé à l'exploration. Au contact du géologue d'exploration et des difficultés naturelles (et psychologiques) auxquelles celui-ci se heurte il apprendra vite qu'un schéma théorique ne vaut pas grand chose s'il ne peut être adapté économiquement à un cas pratique bien défini. Il apprendra en outre que, s'il est aisé de construire des schémas de Tectonique globale en plaçant, ici ou là, des plans inclinés s'enfonçant sous les arcs insulaires ou les continents, tout le monde ne se donne pas la peine de construire et de reconstruire sans cesse à partir de toutes les bases de terrain et de laboratoire. Il prendra alors pleine conscience de la véracité de ces adages : "The most commonly used and the most potent of all remote sensing methods is geological thinking" (P. BAILLY, 1976) et "their prime forte (of the exploration geologists) will be the ability to organize a multitude of seemingly unrelated data into a logical sequence of facts which leads to an ore discovery" (L.J. MILLER, 1976).

Heureux sont les pays où une forte vocation minière entraîne dans son sillage beaucoup de géologues "académiques", dont certains passent ensuite dans l'exploration minérale, et inversement où beaucoup d'explorateurs de compagnies et de "consultants" vont, pendant quelques années, parfois à plusieurs reprises dans leur carrière, enseigner dans des universités. Ainsi s'établit la dialyse si nécessaire entre ce qu'on appelle communément la Géologie fondamentale et les applications de la Géologie; ainsi sont mieux perçues les retombées de la seconde sur la première et inversement, c'est-à-dire ce qu'on pourrait appeler la Cybernétique des sciences de la Terre.

Venons-en maintenant, et enfin, à la question qui introduit l'ouvrage en préparation.

III.- OU SONT DONC LES METAUX POUR L'AVENIR

J'ai sous les yeux les passionnants "Scénarios du futur" du perspicace et courageux journaliste français François de CLOSETS (1978). Entre les conclusions modestes que je présente et ce livre la distance peut paraître grande, mais l'est-elle tant ? Dans les

deux premiers chapitres j'ai tenté de montrer que, malgré les ressources sous-marines, certaines caractéristiques de l'extraction minérale resteraient encore longtemps assez stables. Toutes les constructions que j'ai proposées et les lois de l'évolution métallogénique terrestre que j'ai suggérées partent d'un connu essentiellement terrestre et ne se hissent pas au niveau d'une synthèse cosmologique et futurologique. Ce n'est pas "mon affaire"; celle-ci est la question posée dans le titre.

Où sont les métaux ? Disons métal, comme d'habitude, pour simplifier . . .

Tout d'abord, compte-tenu des vicissitudes géopolitiques, ils sont "dans notre jardin"; espérons qu'il en renferme et cherchons-les. Notre jardin est double. Il est fait : 1) d'économie et de recyclage, 2) de métaux neufs. On peut envisager une Société où les matériaux récupérés deviennent les réserves majeures et où les réserves naturelles deviennent un complément (back-up supplies). Cette société de recyclage pointe à l'horizon et l'aluminium pourrait servir de catalyseur dans sa venue, bien qu'aux USA on n'en récupère encore que 5 0/0, contre 20 0/0 pour le cuivre et près de 50 0/0 pour le plomb. Notons que, lorsqu'on recycle l'aluminium, on économise 95 0/0 de l'énergie nécessaire pour fabriquer du métal neuf à partir de bauxite. Cette énergie représente 1 0/0 du budget énergétique des USA et, depuis 1940, les industriels n'ont pas cessé de travailler, avec succès, à la réduire. La Compagnie Reynolds, l'un des leaders de l'industrie de ce métal, avait en 1978, 73 centres permanents de recyclage et 150 unités mobiles rachetant les "cans" en 800 endroits. En 1977 les Américains ont récupéré 6 milliards de cans, c'est-à-dire plus de 100.000 t Al (Nat. Geograph., August 78, vol. 154, n° 2); cela ne représente que moins du centième de la consommation mondiale, mais c'est un bon début.

Cela dit, lorsqu'une nation consomme autant d'énergie pour produire du froid que du chaud, le bénéfice énergétique du recyclage peut apparaître encore bien mince ! L'économie est donc la priorité des priorités, et son absence détruirait l'effet bénéfique du recyclage.

Economie, recyclage et recherche de métaux neufs exigeront toujours une combinaison harmonieuse de science "avancée" et de pragmatisme; les pragmatiques devront sans cesse, comme ils l'ont toujours fait, "retenir par la manche" divers scientifiques qui ont tendance à se laisser entraîner par le bourgeonnement et par diverses sophistications plus ou moins

redondantes et coûteuses. On verra bientôt, on voit déjà, qu'en raison de la faim dans le monde et des problèmes de l'approvisionnement énergétique, notre monde est encore trop pauvre pour s'offrir beaucoup de redondances. Tant qu'un ensemble de méthodes et les outils correspondants sont suffisants pour trouver des gisements, il n'est pas nécessaire d'en ajouter d'autres si ces derniers ne sont pas plus performants et/ou moins coûteux.

Pour la recherche des métaux neufs l'ouvrage a assez montré que la majorité écrasante des réserves et ressources sont dans la croûte continentale. En 1970-71, pour le Monde Occidental, 90 0/0 de la production était assurée par environ 1.000 mines (alluvions mises à part, charbon exclu), chacune produisant annuellement plus de 150.000 t de minerai; en 1979 le nombre de mines reste encore de 1079. Nous avons vu que la moyenne de profondeur de ces mines serait actuellement de 300 à 400 mètres. Nous avons vu, de plus, que les grands gisements de beaucoup de ces métaux sont enclos dans des provinces (métallogéniques, métalliques) limitées, souvent en forme de ceintures. Et que, même en consentant à descendre vers les basses teneurs (malgré le frein énergétique) mais en exigeant de grandes accumulations, on se retrouvera la plupart du temps dans les mêmes provinces. L'inventaire total des provinces, et l'inventaire des indices au sein de toutes celles qui sont connues, ne sont certes pas achevés et les méthodes d'exploration aujourd'hui "conventionnelles" ont encore devant elles un avenir de plusieurs décennies et même sans doute de quelques siècles dans diverses régions. Il n'en reste pas moins que l'avenir, dans deux à trois siècles, est "toujours plus profond" et que nous sommes mal armés. L'exploitation du "théorème fondamental", des quelques lois formulées dans l'ouvrage et de quelques autres ne pourra être qu'un guide permanent et général et non un doigt magique pointé exactement sur l'objectif. En effet, la prévision des minéralisations en profondeur est plus que difficile ! Il ne paraît pas utile de récapituler ici par le menu l'usage que l'on peut faire de la Métallogénie régionale. Contentons-nous de rappeler que, telle que nous la concevons, elle constitue l'extension, exprimée dans un langage plus scientifique, et donc plus "conscient", de l'expérience du prospecteur et de sa démarche centrifuge : dans un domaine où l'on connaît déjà du minerai, il en reste à trouver, soit latéralement, soit en profondeur. Il s'agit d'essayer de circonscrire, aussi objectivement que possible, le domaine; le développement de l'ouvrage montre comment. Il s'agit ensuite de trouver les intersections de ce domaine avec des révélateurs

"sous-exploités". Par exemple on remarque, en France, que jusqu'ici on ne connaît aucun gisement de Zn-Pb dans la bordure mésozoïque septentrionale des Pyrénées, ce qui est "peu normal". On reprend alors l'examen régional et on re-découvre des indices et vieux grattages oubliés. Conduiront-ils à un ou plusieurs gisements exploitables ? C'est une autre affaire et ce sera une nouvelle longue aventure, mais on a au moins dégagé une nouvelle idée prospective. De nombreuses idées de ce genre sont sans cesse dégagées par les équipes d'explorateurs, et débouchent sur des succès au bout de cinq à dix ans, parfois plus. Nous n'épiloguerons pas ici sur l'analyse des composants de la chance (luck), très bien faite par P. BAILLY (1978).

D'autre part, il est bon d'insister sur notre manque de pénétration. La géophysique d'exploration minière ne voit pas profond (150 à 200 m) et finalement ce sont essentiellement la Géologie, la Métallogénie typologique, la Minéralogie et la Géochimie combinées qui, avec des réseaux de sondages plus ou moins systématiques, permettent de découvrir des gisements à plusieurs centaines de mètres, exceptionnellement 1.000 m de profondeur, dans des cas géologiquement assez simples. On se souviendra des exemples d'Elmwood, Tennessee : Zn-Pb en roches carbonatées et des porphyry coppers de Red Mountain, Arizona et de Recsk, Hongrie. On est encore loin des trois kilomètres atteints par les mines les plus profondes à partir d'indices superficiels, comme la mine d'or de Morro Velho, Brésil.

A chaque nation, suivant son potentiel prévisible, d'en dégager les conséquences. En ce qui concerne la Géophysique d'exploration minière il est indubitable que diverses grandes nations devraient, d'ores et déjà, effectuer un effort plus important, qui aurait tout intérêt à être international. Dans ces pays il ne manque pas de géophysiciens "fondamentaux" très doués, passionnés par les hypothèses sur ce qui se passe à 40 ou 100 kilomètres de profondeur et qu'on aurait grand intérêt à convertir à des profondeurs plus modestes, où les sondages peuvent vérifier les "causes" des anomalies ! La coupure entre les géophysiciens fondamentaux et les géophysiciens appliqués des organisations de recherche minière, la "distance" que maintiennent trop souvent les premiers avec les problèmes qui assaillent les seconds, sont fort préjudiciables. En gros, mais avec peut-être plus de nuances, on peut en dire autant pour la Géochimie.

Pour les méthodes et outils géologiques, dont le principal est bien la "pensée" géologique, c'est, *mutatis mutandis*, à peu près la même chose. Un peu

plus de modestie dans les desseins, un peu moins de prétention dans les doctrines, ne messieraient point.

Quant aux investissements dans la recherche, sont-ils toujours très judicieux ? Citons quelques chiffres, valables en 1970-1971. Pour le Monde non communiste la valeur totale annuelle de la production des mines métalliques était de l'ordre de 25.000 M\$, le "capital d'entretien" de l'ordre de 50.000 M\$, à quoi il faudrait ajouter les dépenses globales d'exploration (qui assurent l'entretien des réserves), chiffre dont on ne dispose pas.

A la même époque les investissements prévus dans la recherche minière sous-marine étaient : Hughes Toll Cy : 200 M\$ - Deep Sea Ventures : 200 M\$, International Decade of Ocean exploration : 16 M\$ (en 1972). Les dépenses prévues, celles-là inévitables, pour adaptation à des lois sur l'environnement étaient, pour Phelps Dodge de 240 M\$.

Maintenant que l'on est mieux informé sur le potentiel espérable des ressources métalliques sous-marines et les difficultés de leur exploitation ne ferait-on pas mieux de ralentir les investissements océaniques et d'en reporter une partie sur les méthodes d'investigation à terre ?

Puisque nous en sommes à des chiffres nous voudrions pouvoir recommander au lecteur ceux qui ont été rassemblés par P. BAILLY (1978) dans l'une de ses passionnantes analyses : "Today's resource status. Tomorrow's resource problems. The need for research on mineral deposits". Malheureusement cette étude, présentée devant des professionnels à Toronto, n'est pas destinée à la publication. Condensons-la à l'extrême.

BAILLY pose la question : "Combien coûte l'exploration et quelle est son efficacité ?". C'est l'occasion de préciser ici le peu qui en a été dit dans les deux premiers chapitres et en même temps de revenir aux données essentielles : le prix des actes et des outils. On constate malheureusement que seul le Canada fait l'effort de rassembler les données adéquates et qu'il n'existe pas de données comparables aux USA. S'en tenant donc au Canada, l'auteur introduit trois paramètres :

1. Efficacité de l'exploration : valeur de tous les métaux, économiquement récupérables, découverts/dépenses totale d'exploration; désigné par EFT.
2. Efficacité d'un projet : valeur du gisement découvert/coût de l'exploration pour ce gisement particulier. Pour peu de projets ce rapport s'exprime en milliers; pour la plupart il est de 0 (connaissances

acquises mises à part ...). Il est désigné par PE.

3. **Ratio de succès** : 0/o des dépenses totales d'exploration consacré aux projets qui ont atteint le succès; c'est SR.

Ces trois paramètres sont liés par la relation $EFT = PE \times SR$. Leur évolution pour le Canada sur 20 ans, prise par périodes de cinq ans (1951-1970) est la suivante :

1. EFT a décréu de 160 à environ 50. En 1970 un dollar investi dans l'exploration produisait une valeur métal de 50 dollars (en moyenne et non pour chaque investisseur !). Le chiffre serait, selon des données d'AMAX, très voisin pour l'Ouest des USA.
2. PE n'a pas diminué en moyenne de beaucoup plus d'un tiers; de 1.050 à 700 dollars pour 1.
3. SR par contre est tombé de 15 0/o à 7 0/o.

Cette chute du ratio de succès est la principale responsable de la division par 3 de l'efficacité de l'exploration au Canada.

On peut interpréter ces évolutions en termes techniques et financiers. La diminution de l'efficacité d'un projet est fortement due au fait que les cibles deviennent un peu plus profondes tandis que la technique du sondage minier n'a pas bénéficié de progrès vraiment substantiels depuis trente ans, simultanément à l'exigence de plus en plus grande d'une très bonne estimation du gisement avant de s'embarquer dans des investissements colossaux.

On peut se demander ensuite comment élever le ratio de succès, c'est-à-dire l'efficacité de l'exploration. Après examen des méthodes et techniques qui ont participé aux diverses découvertes au Canada et aux USA, P. BAILLY, tout en constatant que le Canada est encore "dans la période d'or de l'électro-magnétique aéroportée" (cf. les amas sulfurés), estime que l'on doit imputer 75 0/o des succès surtout au raisonnement géologique (cf. les types ou ore occurrence models). Il ajoute que la confiance paresseuse (ou prudente) dans les techniques, surtout géophysiques, a entraîné trop souvent une atrophie du raisonnement géologique et un manque d'audace dans la communauté de l'exploration. A mon avis cela rejoint ce qui a été dit plus haut du complexe d'infériorité du géologue, souvent greffé sur la magie des nombres.

Ses conclusions pratiques pour une amélioration sont, sauf en ce qui concerne la géochimie qu'il paraît sous-estimer d'une manière trop générale, les mêmes que celles que nous venons de présenter ici. Et il a encore tout à fait raison de noter l'hystérésis considérable - qu'il estime à 20 ans - entre une amélioration de la "pénétration" géologique et son effet sur la production minérale. Dès lors cette amélioration, d'une grande valeur potentielle pour l'humanité, "mérite un encourage-

ment et une aide immédiats, patients et soutenus" (nous soulignons).

* * *

Qu'on fasse ou non ce qui a été suggéré plus haut à propos des investissements, ce qui nous attend donc tous, au total, c'est la poursuite d'un travail humble et continu, atténuant les a-coups des modes et des proclamations "inflammatoires". Ce qui attend de nombreux géologues est ce que tel de mes anciens élèves appelle, non sans quelque excès mais avec beaucoup de vérité : "La Métallogénie humble, rustique et traditionnelle, qui rentre par les pieds". Par humilité, rusticité et "pieds", il rappelle le travail de Géologie de "base" nécessaire, par "traditionnelle" il signifie encore que la source première (au sens logique et chronologique) de toute connaissance et de toute problématique en Métallogénie est la connaissance des gisements et de leurs types. Emprersons-nous d'ajouter que l'auteur de la formule n'est en rien un conservateur au point de vue scientifique et fait appel à toutes sortes de méthodes ! Malgré des ambitions apparemment beaucoup plus élevées j'ai, dans mon ouvrage, essayé de rester au plus près de cette formule ...

Presque deux siècles avant nous, soit six générations seulement, et beaucoup de bonne mais aussi de mauvaise science accumulées dans l'intervalle, c'est à peu près ce que disait aussi un Français nommé Charles COQUEBERT lorsqu'il dressait, devant le "Comité de Salut Public", un "Programme pour l'Art des Mines" (voyez la page au verso).

Mais pourquoi retourner deux siècles en arrière ?

C'est qu'en matière de besoins à satisfaire, d'ingéniosité et de productivité humaines, il n'est nullement démontré que l'évolution soit linéaire. En 1965 qui prévoyait le retour de faveur du charbon ? Il en est de même en ce qui concerne le "profil des intelligences". Tel mouvement que l'on croyait irréversible peut très bien apparaître plus tard comme une mode excessive et devoir être modifié. De grâce, que l'on ne nous fabrique que le nombre suffisant d'informaticiens, point trop d'économistes qui ne visent pas assez aux économies et de gestionnaires ignorant des vraies richesses, que l'on revalorise l'"humble sentier de l'observation et de l'expérimentation" et qu'on nous livre encore des géologues solides, des ingénieurs des mines adaptatifs, des "valorisateurs" et des recycleurs ingénieux ...

Si cette conclusion paraît trop modeste à certains, laissons-leur la responsabilité de ce jugement. Elle ne fut acquise, en tout cas, que par un examen respectueux des expériences des prospecteurs, des géologues d'exploration, des géologues miniers et des mineurs, depuis cinq millénaires, et aussi des métallogénistes plus théoriciens depuis environ un siècle.

Extrait de :

JOURNAL DES MINES DE LA REPUBLIQUE

N° 1er

Vendémiaire de l'an III ¹

Programme par Charles COQUEBERT

Approuvé par le Comité de Salut Public

Signé : CARNOT, FOURCROY, THURIOT, C.A. PRIEUR, P.A. LALY, Charles COCHON, MERLIN (D.D.) ²

“ Nous regardons la destruction des erreurs comme ce qu'il y a de plus essentiel au progrès de l'Art des Mines.

Cette partie des connaissances humaines a plus souffert des préjugés que de l'ignorance. D'un côté le goût des systèmes, de l'autre l'avidité, se sont emparés de ce qu'il y a nécessairement de conjectural dans la recherche et la poursuite des Filons. Il falloit rassembler des faits, multiplier les observations pour marcher à la lueur de l'analogie; on s'est hâté de créer de vastes théories, dont l'amour se mêlant ensuite à toutes les recherches ne laisse plus voir aux observateurs que ce qu'ils désiroient trouver. Encore si ces systèmes se bornoient à provoquer des Fouilles inutiles ou mal dirigées; il en résulteroit au moins des connaissances géologiques, peut-être même de ces rencontres heureuses qu'on fait en poursuivant des chimères. Mais sur la foi de ces guides trompeurs on dissipe des fonds en bâtimens, en frais de régie, en dépenses stériles. Il ne reste aux intéressés que des regrets, et dans le pays que des souvenirs décourageans. Pour nous, jaloux d'épargner à nos concitoyens ces erreurs qui discréditent l'Art des Mines, nous suivrons avec eux l'humble sentier de l'Observation, nous concluerons peu, nous douterons souvent et nous les engagerons à se défier du ton d'assurance qu'il est si facile de prendre et si dangereux d'écouter ”.

¹ Ce texte, datant de 1794, a été porté à notre connaissance par G. TROLY.

Il est bon de caler cette date de 1794 dans l'histoire de la Métallurgie. C'est vers 1720 que DARBY réussit à fabriquer de la fonte en traitant du minerai de fer par la houille préalablement transformée en coke, mais la transformation de la fonte en fer exigeait encore du charbon de bois. C'est l'invention du "puddlage", en 1783, qui libéra la métallurgie de cette exigence. Dès lors les éléments essentiels étaient réunis pour le développement de la métallurgie du fer, l'exploitation des bassins charbonniers et, de fil en aiguille, l'expansion de l'industrie minière, la naissance et le développement des géosciences.

² Nous laissons le désordre des noms et prénoms tel qu'il se présente. Pour l'information du lecteur indiquons très brièvement le curriculum de trois de ces personnages.

CARNOT (Lazare), surnommé l'Organisateur de la Victoire ou le "Grand Carnot", homme politique français (1753-1823). Ingénieur militaire, député à la Législative, devint membre du Comité de l'Instruction publique et se fit remarquer par ses interventions sur les questions militaires. En 1792, organisa l'armée du Midi et imposa ses vues de stratège. Ministre de la Guerre sous le Consulat, fut ensuite écarté du gouvernement pour son hostilité à l'Empire. Ministre de l'Intérieur pendant les Cent-Jours, dût s'exiler à la Restauration. Auteur d'ouvrages scientifiques remarquables : Essai sur les machines en général (1783), Géométrie de position (1803) Institut, 1796.

Son fils Sadi CARNOT, avec son mémoire intitulé : "Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance" est considéré comme le premier créateur de la Thermodynamique.

FOURCROY (Antoine François, comte de), chimiste et homme politique (1755-1809); a défini l'analyse immédiate et participé à une commission pour créer une nomenclature rationnelle en chimie. Membre suppléant de la Convention, y joua un rôle apaisant. Académie des Sciences, 1784.

MERLIN (Philippe Antoine, comte) dit Merlin de Douai (1754-1838). Député (1789), il fit abolir le droit d'aînesse (1790); Ministre de la Justice (1795). Reprit des charges juridiques sous l'Empire, exilé par la Restauration, il rentra en 1830; membre de l'Institut de 1795 à 1816.