
**Essai de comparaison
entre les programmes de recherche géochimique
du Canada, des États-Unis et de l'U.R.S.S.,**

par J. JEDWAB.

Les liens qui unissent un chercheur scientifique à la vie sociale sont complexes et multiples. Généralement ignorés dans la pratique quotidienne de la recherche ⁽¹⁾, ils influencent pourtant fortement la vie du chercheur, le choix du sujet de ses recherches, les moyens mis à sa disposition et l'écho que ses résultats éveillent chez ses contemporains.

En géologie-géochimie (au sens large), ces relations entre chercheur et vie sociale présentent certains aspects bien particuliers, dus à des causes purement naturelles, et d'autres qui sont intimement liés à l'histoire et à l'économie politique :

La quantité des matières minérales accessibles aux hommes n'est pas illimitée et ne peut être indéfiniment multipliée comme c'est le cas pour les plantes, les animaux, les produits chimiques et l'énergie.

Les richesses minérales sont très inégalement réparties sur la planète, donc entre les différents États.

⁽¹⁾ J. D. BERNAL : « What (the scientists) are doing should be ascertainable, as it appears in the numbers of the thirty thousand odd scientific periodicals, but nowhere is it possible to find how and why they do it ». (*The social function of science*, Londres, 1939.)

Il est possible d'augmenter les réserves minérales par la découverte de nouveaux gisements ou de nouvelles méthodes de prospection et de traitement.

Les lois de l'offre et de la demande, les ressources en devises, l'équilibre naturel ou réglementé des marchés des matières minérales, etc., influencent de manière plus ou moins directe, et en des sens très divers, la recherche de ces matières, ainsi que la recherche fondamentale qui y est liée.

Sous l'action des divers facteurs énumérés (dont la liste est loin d'être exhaustive) on voit se dégager actuellement une certaine unité dans les préoccupations des hommes chargés de fournir les matières minérales à l'industrie des grandes nations. Cette unité est très profonde et peut être observée jusque dans le détail.

Nous avons tenté de comparer ici quelques textes émanant d'instances compétentes du Canada, des États-Unis et de l'U.R.S.S., parus dans les dernières années, et où l'on peut voir inscrites les tendances des recherches futures. Ces textes nous permettront de saisir dans une certaine mesure les motivations des recherches tellement variées qui sont du domaine de notre science.

Les textes dont nous disposons, et dont nous citerons des passages plus loin, sont de nature très différente; ils répondent cependant à des préoccupations similaires (quoique portant sur des objets qui ne sont pas exactement superposables) que nous pensons pouvoir synthétiser comme suit :

1. L'état actuel de nos connaissances sur l'origine des gisements est très insuffisant pour trouver de nouveaux gîtes.

2. Il est indispensable de développer les recherches fondamentales.

3. Il est nécessaire d'attaquer les problèmes par plusieurs côtés à la fois (le plus possible), et avec des hommes de formation très diverse.

4. Il faut intégrer dans les sciences géologiques-géochimiques les acquisitions des autres sciences.

5. L'expérimentation devrait prendre une part plus importante dans l'interprétation de processus dont nous n'observons que les produits.

6. La méthode comparative, appliquée avec des moyens puissants à des gîtes ou à des districts judicieusement choisis, amènera plus de résultats que des travaux portant sur une infinité de localités, étudiées par des chercheurs isolés à formation scientifique limitée.

7. Problèmes de documentation : la mise en circulation publique des documents et résultats est indispensable au progrès général. La documentation accumulée, judicieusement exploitée, pourrait apporter des résultats intéressants.

Ces propositions peuvent évidemment sembler quelque peu triviales et relever uniquement du sens commun : il n'en est rien. Pour arriver à les formuler clairement, il a fallu s'apercevoir que des sommes gigantesques ont été dépensées en prospections de type classique sans que les résultats soient proportionnés à ces dépenses.

Quelques mots sur la nature des textes étudiés ne seront pas superflus.

U.R.S.S. — Le premier texte en date est la résolution finale de la « Première conférence de l'Union sur le problème du développement déterminé du magmatisme en liaison avec les gîtes minéraux » (1953). Bibliographie : A.

Le second texte est la résolution finale de la « Première conférence de l'Union sur les méthodes géochimiques de prospection des gîtes minéraux » (1956). Bibliographie : B. Nous y ferons moins appel en raison du caractère plus spécialisé de cette conférence.

États-Unis. — Nous disposons d'une intéressante brochure publiée par la « National Science Foundation », et contenant des propositions faites à cette fondation par un comité consultatif réuni à l'initiative de cette dernière. Ce comité était composé de représentants de sociétés privées, d'organismes gouvernementaux et d'instituts d'enseignement et de recherche (1956). Bibliographie : C.

Canada. — Nous disposons d'un rapport annuel s'inscrivant dans une série habituelle. Le rapport de la commission des États-Unis était connu des Canadiens et explicitement mentionné (1957). Bibliographie : D.

Afin de garder aux textes leur originalité, nous avons évité dans la mesure du possible de faire des découpages arbitraires.

Pour la même raison, nous donnons les textes anglais sous leur forme originale. Les textes russes sont donnés en traduction, pour des raisons matérielles que nous regrettons vivement (1).

SUR L'ÉTAT ET LES INSUFFISANCES ACTUELLES DES SCIENCES GÉOLOGIQUES-GÉOCHIMIQUES.

In the long run, however, the flow of mineral raw materials and continued corporate existence depend upon the discovery of new deposits to replace those that are being exhausted (C, p. 2).

But on analysis, there is not sufficient collected or collective knowledge to provide a genetic pattern of ore deposition that will guide the searcher to mineral deposits that the eye cannot see and the prospector cannot reach (C, p. 3.)

Le développement colossal de la consommation de matières minérales correspond à une augmentation des activités de prospection, aussi bien en U.R.S.S. qu'à l'étranger. Cependant, la méthodique de ces travaux, à l'exception du pétrole et de quelques autres branches, s'est développée lentement. Les prospections de la plupart des gîtes, qu'ils soient ferreux, non-ferreux ou de métaux rares, sont basées sur les méthodes visuelles, dont les possibilités sont limitées aux gîtes que l'on peut découvrir par ces méthodes. Le fonds des gîtes « faciles à découvrir » diminue rapidement, et dans la plupart des pays capitalistes, ainsi que dans les vieux districts miniers de l'U.R.S.S., on est près de l'épuisement (B, p. 17).

The importance of knowledge of the genesis of mineral deposits in exploration is discussed by several members of the subcommittee. It is suggested that slow progress toward an understanding of ore-forming processes is in part due to failure to test and apply ideas and methods developed by geochemists, geophysicists and mineralogists in a truly systematic way. More support for basic research and more co-operative effort is needed (D, p. 5).

Studies of mining districts by individuals and small groups have provided a great deal of basic informations, but results have fallen below expectations, largely because of the inherent limitations of such projects. Investigations having a wider range and carried on by a group of scientists with diverse training and experience should result in a more rapid advance in our knowledge of fundamental processes (C, p. 29).

(1) C. F. DAVIDSON : « The problem of augmenting our knowledge of Russian geological literature is not easily solved. Perhaps the first step is to see that the problem exists and to recognize that our inability to make the fullest use of such publications as become available to us must, in the course of time, materially handicap the relative progress of western science ». (*Radiogeology in Russia. The Mining Mag.*, Nov. 1957.)

Geological studies of mining districts and of ore bodies in these districts have provided much basic information, but the results in the main have been far below expectations, largely because such studies have been much too narrow in scope; each deals with but one or two of the many facets that awake up the overall problem. What is needed are investigations having a much wider range, concentrated on certain ore deposits, and carried on by groups of scientists with diverse training and experience. We need new knowledge in geology, and in geophysics and geochemistry, which are now essential parts of geology, but equally, or more important, we need the integration and synthesis of our knowledge into a connected whole (D, p. 1).

SUR LES MOYENS DE FAIRE PROGRESSER LES CONNAISSANCES GÉOLOGIQUES-GÉOCHIMIQUES.

PROPOSITIONS DES CHERCHEURS SOVIÉTIQUES (A, pp. 13 et sq.).

Une théorie bien fondée de la formation des minerais endogènes doit s'appuyer sur la connaissance du déterminisme du magmatisme, en relation avec les roches encaissantes, sur la connaissance du moment et du lieu de la séparation des composants des minerais magmatiques.

Pour résoudre ces problèmes et remédier aux insuffisances relevées par la conférence, il est recommandé ce qui suit :

1. Renforcer l'étude du déterminisme de l'activité magmatique dans les zones de plate-forme et dans les zones mobiles.

2. Approfondir les questions théoriques se rapportant aux conditions de formation et de mise en place, ainsi que la succession des formations magmatiques de genèses différentes, ultra-basiques, basiques, alcalines et granitiques.

3. Susciter de grands travaux monographiques, dans lesquels seraient généralisés les matériaux en possession des organismes de recherche scientifique et de production.

4. S'attacher à éclaircir les points suivants :

a) position des intrusions, grandes et petites, dans les structures tectoniques, et relation entre leurs particularités pétrochimiques et la composition lithologique des roches encaissantes, et les particularités géologiques;

b) formes des corps intrusifs, leurs structures internes, par l'emploi de différentes méthodes, géophysiques y comprises;

c) déterminisme de la répartition des différents types de minéralisation d'après la consanguinité des intrusions et, en particulier, la zonalité.

5. Renforcer l'étude des questions suivantes :

a) paléo- et néovolcanisme, pour éclairer les causes de la succession d'effusions de composition différente;

b) relations entre effusions et intrusions, dans diverses zones structurales, ainsi que la métallogénie liée aux processus effusifs.

6. Éclaircir le rôle du faciès des corps magmatiques dans la formation des gîtes.

7. Rechercher des critères distinctifs de comagmatisme des diverses formations existant dans un même complexe intrusif et définir des indices permettant de distinguer des roches formées par granitisation, des roches de composition similaire, mais d'origine magmatique.

8. Étudier les processus les plus tardifs des intrusions d'un complexe magmatique, jusqu'à la fin des formations hydrothermales, afin d'établir la liaison entre les minéralisations magmatiques vraies, les processus auto-hydrothermaux et hydrothermaux.

9. Accorder une attention particulière à l'étude des phénomènes métamorphiques et métasomatiques accompagnant les processus magmatiques, auto-hydrothermaux et post-magmatiques (remplacements magmatique, assimilation, hybridisation, changements près des minerais).

De plus, la conférence attire l'attention des pétrographes soviétiques sur l'importance exceptionnelle qu'il faut accorder aux questions du métamorphisme en général et régional en particulier, vu que dans ce domaine on observe des signes évidents de retard.

10. La conférence pense que les travaux spéciaux suivants seraient nécessaires sur :

a) les particularités de composition, y compris les minéraux accessoires et les traces, dans des complexes intrusifs de genèse différente, dans les limites d'un même district, d'un champ minéralisé, d'un point de croisement, ainsi que dans les roches correspondant aux différentes étapes de l'activité magmatique;

b) les particularités pétrographiques et géochimiques des roches des séries filoniennes, afin d'établir le lieu et le moment de la formation des minerais dans le déroulement des processus magmatiques, ainsi que le mécanisme de la séparation des constituants des minerais;

c) les relations géologiques (temps et lieu) entre les pegmatites et les autres catégories de roches, ainsi qu'entre les processus de la minéralisation et les pegmatites.

11. Organiser l'étude pétrographique-chimique (y compris isotopique) des roches des zones de contact, afin d'élucider le rôle des roches encaissantes comme sources possibles de matières d'appoint des minerais.

12. Renforcer l'étude pétrographique et pétrochimique dans les limites des champs minéralisés, et l'étude des remplacements comme importants critères de prospection et d'exploration.

13. Faire entrer dans la pratique du travail pétrographique les méthodes d'étude géologique, dont la plus importante est la cartographie.

(A, p. 16.)

Dans le domaine du développement des nouvelles méthodes d'investigation, la conférence signale comme tâches primordiales :

1. L'étude approfondie de la composition des roches, de leurs minéraux essentiels et accessoires par l'emploi des méthodes les plus modernes, parmi lesquelles l'analyse isotopique des roches et des gisements qui leur sont liés;

2. Équiper les laboratoires pétrographiques des techniques modernes (pétro-chimiques et physico-chimiques) indispensables à l'étude approfondie des roches, ainsi qu'aux déterminations d'âges absolus.

3. Renforcer les études expérimentales physico-chimiques de précision, afin d'interpréter les processus profonds de l'écorce terrestre inaccessibles à l'observation directe, mais qui jouent un rôle si important dans la formation des complexes intrusifs et de leurs gîtes.

PROPOSITIONS DES CHERCHEURS NORD-AMÉRICAINS.

A. — Canada.

Le rapport cité ne comporte pas de programme poussé dans le détail. Nous relevons cependant une proposition intéressante : d'étudier à fond un gisement canadien. Un sous-comité a étudié le problème de l'organisation de cette étude et a défini les conditions auxquelles ce gisement devrait répondre idéalement (D, pp. 1 et 2) :

1. The orebody or orebodies selected for study should be isolated, so that the aureole about it should not be complicated by overlap of aureoles of nearby deposits.

2. The geological environment should be simple rather than complex although oversimplicity should be avoided.

3. Preferably the upper limit of the orebody should be below the present erosion surface.

4. The orebody should not be too large.

5. Most or all of the mine workings should be accessible.

Relevons encore dans ce rapport quelques titres des projets de recherche subventionnés par le Service géologique du Canada :

Déterminations d'âges géologiques.

Relations entre les phases silicatées et sulfurées.

Études géochimiques :

analyse des xénotimes pour Y, Th et U;

étude des minéraux des skarns des provinces de Québec et de l'Ontario.

Minéralogie des minerais de Sudbury.

Altération des minerais dans les conditions de surface et de profondeur.

Age des orogénies des Cordillères.

B. — États-Unis.

Le rapport à la « National Science Foundation » contient un grand nombre de propositions, émanant de plusieurs sous-comités. Les propositions des sous-comités géologique et géochimique sont assez similaires. Le principal résultat consiste en une proposition de fonder un institut central de recherche géologique fondamentale.

Voici les titres des cinq projets proposés à l'activité de cet institut par le sous-comité de géochimie :

1. Étude des fluides dans les roches sédimentaires, métamorphiques et volcaniques.
2. Différenciation hydrothermale des roches éruptives.
3. Circonstances accompagnant le dépôt des minerais.
4. Études isotopiques en relation avec le dépôt des minerais :
Géochronologie des dépôts.
Étude des rapports isotopiques en relation avec le mécanisme du dépôt des minerais.
5. Étude détaillée d'intrusions auxquelles sont ou ne sont pas liées des gîtes minéraux.

Le sous-comité de géologie a élaboré un projet assez poussé des recherches et de leur organisation à l'échelon national. Quoique ce projet n'ait pas été entièrement retenu sous sa forme primitive, il mérite cependant d'être largement cité.

SURVEY OF RESEARCH PROBLEMS.**Ore-forming processes.****METAMORPHIC AND METASOMATIC PROCESSES.****Migration and exchange of components in solid rocks.**

Thermodynamics and kinetics of migration and exchange of substances in reactive environments; possible use of model systems; diffusion in solid state and in fluid solvents; viscous flow of gases and condensed solutions under varying conditions of capillarity and permeability.

Mechanisms of replacement.

Effects of surface forces on ion movements and fixation in metasomatism; diffusion in films along crystal surfaces; osmotic gradients in semi-permeable materials; precipitation and solution effects in the movement of liquids through stressed and unstressed solids; effects of temperature gradients.

Energy sources and heat and energy flow in natural environments.

Gravitational energy in diagenesis and low grade metamorphism; endothermic and exothermic processes and their bearing on temperature gradients; re-evaluation of the heat flow in the crust as related to metamorphic and metasomatic processes; application of geologic thermometry to field conditions.

Transportation of sulfides and oxides in regional metamorphism.

Effects of temperature and pressure on solution and redeposition; solution and redeposition as factors in mineral zoning and metallogenetic provinces; re-evaluation of criteria of mineral sequences; quartz bodies of metamorphic environments.

Significance of granitization in ore genesis.

Distribution of trace elements in granitization compared to igneous differentiation; migration of the sulfid-forming elements in silicate metasomatism; distribution of sulfides in gradational contacts or fronts; porphyroblastic versus porphyritic texture in rocks associated with ore deposits.

Evolution of the Earth's crust in its bearing on ore forming processes.

Role of selective fusion in secretion of an ore-enriched liquid; role of metasomatism; metamorphic differentiation and fractionation processes in deep environments.

MAGMATIC PROCESSES.**Evolution of the crust and origin of parent magmas.**

Partition of ore-forming and trace elements in crystallisation differentiation; selective fusion and immiscibility in silicate systems; origin of granodiorites and related rocks.

Origin of magmatic oxide ores.

Water and other hyperfusibles in mobilization of iron, titanium and chromium oxide; solubility of water in oxide melts; distribution and associations of oxide ores.

Separation of sulfides.

Experimental work on sulfide-silicate systems of high sulfur content; possible re-resolution of sulfides in late-stage hydrothermal activity; effects of other volatiles on lowering melting point of sulfide systems, effects of alkali-rich gases at high pressure; distribution and association of nickel-copper ores.

Causes of segregation of elements like copper and sulfur in late magmatic and micropegmatitic stages.

Effects of ionic bonding with water molecules and volume changes on mixing in non-ideal systems compared to ideal silicate melts; effects of lattice retention and rejection of trace elements.

PEGMATITIC AND HYDROTHERMAL PROCESSES.**Sources of water and metals.**

Connate waters, sediment and metamorphic rocks, as compared to magmatic sources; variation of water content with pressure in magma column.

Use of model systems.

Model systems as a guide in experimental crystallization of systems transitional from ideal (silicate) melts to non-ideal (watery) systems; use of model systems as a guide to investigations of highly corrosive systems.

Physical and chemical character of the ore fluid.

Late-stage alteration of igneous rocks; stages of separation of ore fluid; relation of pegmatites, aplites and hydrothermal deposits; solubility of ore substances in two-phase systems; relation of solubility to density of gas phase; phase equilibria in the system sulphur-water; quantitative mineralogical data; field criteria of injected ore bodies.

Mixing of hydrothermal solutions with ground waters.

Effect on shallow hydrothermal activity; heat effects; colloidal phenomena; upper limits of mineralization in shallow environments.

Fumaroles, hot springs and mine waters.

Significance in relation to shallow mineralizing processes; nature of transition to deeper processes; sources of mineralizing agents like fluorine and boron, whether from connate waters; country rock, deep metamorphic zone or magmas.

SEDIMENTARY AND DIAGENETIC PROCESSES.

(Titres seuls.)

Formation of saline deposits.

Deposition of hydrated oxides of manganese and iron.

Origin of banded siliceous iron-formation.

Distinction between changes produced in diagenesis and in lowgrade metamorphism.

Role of bacteria in precipitation of iron and manganese compounds and of elemental sulfur.

Transport of metals in ground water.

WEATHERING AND ENRICHMENT.

(Titres seuls.)

Oxidation and enrichment of sulfide ores.

Laterites and residual ore deposits.

Environment of ore deposition.

REGIONAL PROBLEMS.

(Titres seuls.)

Magnitude and distribution of metallogenetic provinces.

Primary causes of metallogenetic provinces.

Correlation of metallogenetic provinces and epochs.

Metallogenetic provinces, igneous activity and tectonics.

Significance of depth environment and intensity zones.

Special problems of the shallow, epithermal deposits.

LOCAL PROBLEMS.

(Titres seuls.)

Structural controls in ore deposition.

Relation of ores to folds.

Stratigraphic controls in ore deposition.

Mineralogical studies and hypogene zoning.

Wall-rock alteration.

The bottoming of ore in the district and the « roots » of ore shoots.

Special problems and methods.

LABORATORY PROBLEMS.

(Titres seuls.)

Improved methods in study of polished sections.

Mineral associations and crystal chemistry.

Application of theory of statistics in interpretation of geologic, geochemical and geophysical data.

FIELD PROBLEMS.

(Titres seuls.)

Application of aerial color photography.

Interpretation of magnetic surveys.

Geochemical studies.

Sur les problèmes de documentation.

The Subcommittee (on fundamental geochemical research) felt very strongly that the members of the proposed foundation (cf. ci-dessus) should be given freedom to publish results immediately, since restrictions on publication would very probably prevent participation by qualified personnel (C, p. 11).

In certain respects, the science of geology is at a stage in which the thorough synthesis and fruitful analysis of data lag behind their accumulation. The causes for this are partly inherent in the complexity of processes of ore deposition and in the need to bring modern concepts of chemistry and physics to bear more directly upon the problems of the field geologist. The lack of time and opportunity to review and synthesize the available material also contributes to the present situation. It has been demonstrated in the past that research of this type carried on by experimented geologists may provide new concepts of major significance, to be checked in the field and laboratory; the need for continued enquiry is not lessened by the emphasis on new techniques.

Contributions are likely to come from geologists connected with the universities and in Government in their critical review of the voluminous literature; those in industry should also give serious consideration to this type of research. Many will have at their disposal quantitative data not generally available, and the analysis of such material, with the publication of results, should be encouraged (C, p. 23).

A côté de succès indubitables dans l'élaboration et l'utilisation pratique des méthodes géochimiques, on peut observer de sérieuses carences :

L'abondant matériel de faits obtenu dans les levés métallométriques par les organisations géologiques et géophysiques du Ministère de la Géologie et du Sous-Sol n'est généralisé par personne. Ce fait freine l'établissement des bases théoriques et entrave le développement futur des méthodes géochimiques.

Jusqu'à ces derniers temps, il n'y avait pratiquement pas d'échanges des expériences entre les organisations (industrielles ?) et les spécialistes occupés à perfectionner les méthodes et à les utiliser sur le terrain. Les matériaux scientifiques et économiques si précieux qui sont en possession des nombreux organismes, obtenus au cours des prospections géochimiques, ne sont ni exploités ni publiés (B, pp. 442 et 443).

BIBLIOGRAPHIE.

- A. — U.R.S.S., Résolution de la « Première conférence de l'Union sur le problème du développement déterminé du magmatisme en liaison avec les gîtes minéraux (1953) » in *Le magmatisme et les gîtes minéraux qui lui sont liés* (pp. 469-480). (*Acad. des Sc. de l'U.R.S.S.*, Moscou, 1955, 483 p. [en russe].)
 - B. — U.R.S.S., Résolution de la « Première conférence de l'Union sur les méthodes géochimiques de prospection des gîtes minéraux (1956) » in *La prospection géochimique des gîtes minéraux en U.R.S.S.* (pp. 442-454). (*Gosgeoltechizdat*, Moscou, 1957, 467 p. [en russe].)
 - C. — ÉTATS-UNIS, Report of the Advisory Committee on Minerals Research to the National Science Foundation. (*National Science Foundation Publications*, Washington, 1956, 76 p.)
 - D. — CANADA, National Advisory Committee on Research in the Geological Sciences. 7th annual Report. 1956-1957. (*Geol. Surv. of Canada*, Ottawa, 1957, 165 p.)
-