

Chapitre IV

La mise en valeur des richesses minérales

«Le mineur en effet doit faire preuve de beaucoup d'habileté dans son travail. Il doit d'abord savoir quelle est la montagne, colline, vallée ou plaine qu'il peut prospector avec profit et connaître celles qui n'offrent aucune promesse...»

Georgius Agricola, 1556

IV.1 Considérations générales

Au chapitre II nous avons souligné le rôle que joue l'industrie minière et pétrolière dans le développement économique du Canada. Dans le présent chapitre nous évaluerons l'importance des travaux géoscientifiques pour l'essor de cette grande industrie et discuterons entre autres des taux les plus rationnels d'exploitation minérale, de l'insuffisance des découvertes pour soutenir le présent rythme de production, et des mesures qui permettraient d'augmenter l'efficacité des méthodes de prospection géoscientifique.

La mise en valeur des richesses du sous-sol a ceci de particulier qu'elle concerne des ressources épuisables et exige des efforts d'exploration et d'exploitation suivis. Il s'ensuit que l'État, l'industrie et le monde des affaires doivent disposer des renseignements suffisants sur les richesses du sous-sol pour que l'exploitation minière et pétrolière soit la plus avantageuse pour le pays, tant au point de vue de l'emplacement, de la nature, du moment et de l'ampleur des travaux, que des besoins actuels et futurs en approvisionnements de minéraux et de combustibles fossiles.

Le coût actuel des travaux d'exploration s'élève à près de 90 millions de dollars par an pour les minerais métallifères et non métallifères, et à 300 millions de dollars par an pour les combustibles fossiles. Comme ces travaux dépendent étroitement des sciences de la Terre pour leur réalisation, on conçoit facilement que l'amélioration des connaissances géoscientifiques et leur application à la

découverte de nouveaux dépôts de minerais ou combustibles procurent de grands avantages. Non seulement la prospection scientifique s'en trouve-t-elle améliorée, mais il en résulte également de plus grandes réserves de substances minérales pour les besoins internes du pays, et pour permettre à l'industrie canadienne d'affronter la concurrence sur les marchés mondiaux.

L'application des sciences de la Terre à la recherche minière est d'autant plus nécessaire que les besoins en produits minéraux ouverts doublent environ tous les quinze ans et que la recherche de nouveaux gîtes devient de plus en plus complexe et coûteuse. De plus, l'exploitation rationnelle des richesses du sous-sol constitue le meilleur moyen de mettre en valeur de très grandes étendues du territoire canadien; l'implantation d'entreprises rentables dans des régions reculées permet en outre d'améliorer l'économie du pays et elle profite à l'ensemble de la population. Presque toute l'activité industrielle au nord des grandes agglomérations repose en effet sur l'industrie extractive et l'exploitation des ressources hydroélectriques. Il importe donc d'encourager les sciences de la Terre au Canada afin que l'industrie minière puisse poursuivre son rôle historique de pionnière, ouvrant de nouvelles régions à l'activité humaine et favorisant le progrès socio-économique du pays tout entier.

La croissance soutenue de l'industrie minière devrait demeurer au cœur des principales préoccupations de l'État et intéresser les géoscientifiques des secteurs industriel, public et universitaire. Pour réaliser cet objectif et permettre à l'industrie de se diversifier, il faut de toute évidence améliorer et multiplier les travaux de prospection scientifique. Il faut aussi encourager la recherche géoscientifique afin de découvrir de nouveaux principes scientifiques et ainsi guider la recherche incessante de nouveaux gisements.

Le Canada a tout intérêt à encourager spécialement la recherche scientifique en exploration minière et à améliorer la coordination des programmes et l'agence-

ment des formes de soutien à cette fin. On devrait élaborer, à l'échelle nationale, des projets thématiques à réalisation pluridisciplinaire afin de découvrir de nouveaux concepts en géologie et de nouvelles applications des sciences à la découverte de gisements. Les objectifs nationaux suivants méritent une considération particulière: a) le perfectionnement des techniques de forage et des instruments d'arpentage des sondages; b) la confection d'instruments miniatures et automatiques de diagraphie des sondages; c) la mise au point d'instruments d'analyse géochimique automatique des sondages, des carottes et des boues de sondages, et des affleurements rocheux; d) la création de carothèques et de laboratoires régionaux d'études lithologiques de districts miniers; e) l'élaboration et l'utilisation à l'échelle nationale d'un réseau informatique pour l'accumulation et la recherche des données géoscientifiques; f) la création d'un certain nombre de bureaux régionaux pour les recherches sur le terrain.

Les universités canadiennes doivent continuer à dispenser une formation fondamentale dans les domaines les plus importants des sciences de la Terre, mais elles doivent augmenter leurs effectifs d'étudiants en ce domaine afin de fournir à l'industrie les spécialistes dont elle a besoin.

Trop souvent les étudiants, les professeurs et le public en général ont une piètre opinion de l'industrie minière: celle-ci devrait s'efforcer de corriger cette appréciation. De plus, elle devrait offrir à ses scientifiques et ses ingénieurs des occasions plus nombreuses de relever des défis scientifiques ou professionnels, de même qu'une rémunération plus élevée et de meilleures indemnités pour compenser l'éloignement des grands centres et autres inconvénients inhérents aux travaux sur le terrain.

Pour encourager le développement des régions nordiques, le gouvernement fédéral pourrait bien offrir des réductions d'impôts substantielles à ceux qui travaillent au nord d'une certaine ligne, comme

cela se fait en Australie, ou encore et conjointement avec l'industrie, fournir des encouragements financiers importants d'un autre genre à ces personnes. Enfin, la prospérité de l'industrie extractive au Canada dépend beaucoup de l'ampleur et de la qualité des services scientifiques de l'État. C'est vraiment dans l'intérêt national que ces services devraient croître, tant dans le secteur provincial que fédéral, à un rythme *au moins* égal à celui de la croissance des dépenses d'exploration de l'industrie. Les ministères provinciaux des Mines et des Richesses naturelles, en particulier, devraient augmenter leurs activités géoscientifiques d'au moins 10 pour cent par an durant les dix prochaines années, afin de fournir un cadre d'information scientifique suffisant pour bien orienter la prospection minière et pétrolière.

IV.2 Perspective

«Au Conseil du Trésor, la science n'est pas considérée comme une chose en elle-même, mais plutôt comme un moyen pour atteindre une fin. En général les projets scientifiques particuliers ne sont pas étudiés en fonction de leurs propres mérites mais plutôt en tant que parties de programmes ayant des objectifs définis».¹ De même, l'industrie minière considère les sciences de la Terre comme un moyen d'accroître l'efficacité de l'exploration minière pour abaisser le coût unitaire des découvertes minières et pétrolières. L'industrie minière étant de beaucoup le plus important employeur de géoscientifiques au Canada (voir tableau II.5), et consacrant les fonds les plus élevés aux sciences de la Terre (voir tableau II.1), il n'est que normal que ces sciences contribuent de plus en plus à l'économie canadienne et au développement social.

L'exploration minière est à la base même de l'industrie extractive. Il est donc approprié au début du présent chapitre de mettre l'accent sur l'importance de

¹ Sénat du Canada. «Le Conseil du Trésor». Procès-verbaux du Comité spécial de la politique scientifique, n° 26, p. 3693-3796, Ottawa, 1969.

l'industrie minérale pour l'économie canadienne, d'en présenter une vue d'ensemble et d'étudier son évolution.

Vue d'ensemble

Les aspects essentiels de l'industrie minière canadienne ont été exposés au chapitre II:

1. La production a atteint une valeur de 4.7 milliards de dollars en 1968 (voir tableau II.11).

2. La valeur de la production est neuf fois plus élevée en 1968 qu'en 1945 (voir fig. II.4).

3. Le volume de la production a plus que quadruplé de 1950 à 1968, alors que le secteur industriel n'a pas triplé le sien (voir fig. II.5).

4. De 1946 à 1968 l'indice réel du produit national pour le secteur minier a enregistré une croissance annuelle moyenne de 8.7 pour cent, comparativement à 5.5 pour cent pour la fabrication, 2.3 pour cent pour l'exploitation forestière et 1.7 pour cent pour l'agriculture.

5. En 1969, la valeur de la production minière représentait 7 pour cent du produit national brut comparativement à 4.2 pour cent en 1945 (ce pourcentage ne comprend pas la valeur de l'activité manufacturière fondée sur les minéraux, et la multiplication économique ainsi engendrée dans les industries des transports et autres).

6. Les minéraux et les métaux représentent actuellement environ 30 pour cent de toutes les exportations canadiennes, comparativement à 20 pour cent en 1950 (voir fig. II.7). C'est en bonne partie grâce à ces exportations que le Canada a pu se hisser au 5^e rang mondial dans le domaine du commerce international.

7. Les salaires versés par l'industrie minière sont presque le double de ceux versés par l'industrie forestière et bien supérieurs à trois fois le revenu de la main-d'œuvre agricole.

8. Les bénéfices avant taxation des sociétés minières et pétrolières constituent environ 11 pour cent des bénéfices de l'ensemble des industries.

9. Les sociétés minières, pétrolières et

connexes versent près du cinquième de l'impôt fédéral sur le revenu, et elles apportent une contribution importante aux caisses provinciales et municipales.

10. L'industrie minière exerce une profonde influence sur l'expansion régionale dans tout le pays. Elle est en fait le seul grand facteur de développement économique dans le Grand Nord.

11. L'industrie minière a beaucoup contribué à la croissance de l'industrie secondaire.

12. Enfin, l'expansion de l'industrie minière a été un des principaux facteurs de l'extension du réseau de transports canadien et du réseau de télécommunications.

L'évolution de l'activité géoscientifique au Canada

Une société opulente ne peut exister sans un approvisionnement suffisant en minéraux et en métaux, quelle qu'en soit l'origine. Au Canada, il n'est pas possible de soutenir l'industrie minière sans un investissement considérable en main-d'œuvre et en fonds pour la prospection scientifique.

Les dépenses relatives aux sciences de la Terre

La situation suivante, mise au jour en grande partie grâce aux nombreuses réponses à notre questionnaire, est des plus révélatrices:

1. En 1968 l'industrie minière a dépensé 392 millions de dollars en travaux géoscientifiques (voir tableau II.1), presque entièrement en prospection scientifique. Ce montant représente 8.3 pour cent de la valeur brute de la production minière en 1968. Il est 7.3 fois supérieur à toutes les dépenses des organismes publics dans le domaine géoscientifique (pour toutes fins) et 20 fois plus important que les dépenses des organismes provinciaux dans le même domaine.

2. Quoique le gouvernement fédéral ait recueilli des sociétés minières et pétrolières 185 millions de dollars en 1967 sous forme d'impôts au niveau de la production primaire et 8 millions de dollars

en 1968-1969 sous forme de droits miniers et de redevances, il a dépensé seulement 12 millions de dollars en 1968 dans le secteur des sciences de la Terre appliquées à l'exploration minérale.

3. Les gouvernements provinciaux réunis ont reçu environ 349 millions de dollars sous forme d'impôts et de redevances de l'industrie minérale en 1968 et ont dépensé en tout 7 millions de dollars en travaux géoscientifiques dans le domaine minéral (moins de 6 p. 100).

4. L'industrie minérale a dépensé 42 millions de dollars en recherche et développement géoscientifiques en 1968, alors que le gouvernement fédéral a dépensé 13 millions et les gouvernements provinciaux 4 millions en travaux géoscientifiques (une partie seulement de ces dépenses de l'État est consacrée à l'industrie minérale).

5. L'industrie a dépensé 345 millions de dollars en collecte de données géoscientifiques; le gouvernement fédéral a dépensé 15 millions de dollars et les gouvernements provinciaux 11 millions (une bonne partie de ces dépenses du gouvernement fédéral ne s'applique pas directement à l'industrie minérale).

6. L'industrie a dépensé 5 millions de dollars dans le domaine de l'information géoscientifique, alors que le gouvernement fédéral a dépensé 6 millions et les gouvernements provinciaux 2 millions (voir tableau II.4). Les dépenses de l'État en ce domaine consistent surtout en frais de dessin et d'impression de publications.

7. Sur les 345 millions de dollars dépensés par l'industrie en collecte de données, 172 millions ont été consacrés aux forages d'exploration (voir tableau II.16), ce qui représente 44 pour cent des dépenses totales de l'industrie dans le domaine géoscientifique.

8. Sur les 392 millions dépensés en tout par l'industrie, 14 sociétés minières et pétrolières à elles seules ont dépensé 153 millions de dollars, soit 39 pour cent du total (voir tableau II.10). Ces 14 grandes sociétés ont dépensé 18 millions de dollars en recherche et développement géoscientifiques en 1968, soit 43 pour

cent du total que l'industrie a consacré à cette recherche et ce développement. Les mêmes sociétés à elles seules ont dépensé 135 millions de dollars en 1968 pour la collecte des données géoscientifiques, soit 39 pour cent du total dépensé par l'industrie.

9. C'est l'industrie du pétrole qui est la plus active dans les sciences de la Terre. En 1968, elle a dépensé 299 millions de dollars alors que l'industrie minière a dépensé 88 millions (voir tableau II.17).

10. Les frais des travaux géologiques représentent 5.9 et 20.8 pour cent des dépenses totales des industries pétrolières et minières respectivement, tandis que les pourcentages pour la géophysique sont de 37.2 et 13.1, et pour la géochimie, de 0.2 et 5.1 (voir tableau II.17).

11. De 1964 à 1968 les dépenses en exploration pétrolière se sont accrues de 165 à 299 millions de dollars par année tandis que les dépenses en exploration minière ont augmenté de 48 à 88 millions de dollars (voir tableau II.17).

12. Cette activité sans précédent dans l'exploration minérale au Canada est bien indiquée à la figure IV.1, qui illustre la croissance des dépenses annuelles d'exploration de 1950 à 1968, de même que l'augmentation de la valeur de la production minérale annuelle au cours de la même période.

13. La figure IV.2 indique la croissance relative des dépenses annuelles d'exploration des sociétés minières (produits métallifères seulement) et des sociétés pétrolières et gazières au cours de la période 1950-1968.

14. Enfin, nous évaluons à 1.5 milliard de dollars les dépenses de l'industrie minérale canadienne pour l'exploration au Canada, au cours des cinq dernières années (1964-1968). Environ 84 pour cent de cette somme fabuleuse ont été dépensés en travaux sur le terrain (forages d'exploration inclus).

Ces renseignements sont clairs par eux-mêmes et il n'est guère nécessaire de s'étendre sur l'importance des sciences de la Terre pour l'industrie minérale sauf pour mentionner leurs contributions pas-

sées, présentes et futures à l'exploration minérale canadienne, surtout du point de vue recherche et développement. Cependant avant de le faire nous analyserons la situation de la main-d'œuvre dans l'industrie.

Les effectifs géoscientifiques dans l'industrie minérale

Avant cette étude il n'existait pas de données sûres relatives au nombre de spécialistes des sciences de la Terre dans l'industrie minérale. Une enquête nationale sur les effectifs spécialisés a été effectuée en 1967, mais les résultats n'en ont jamais été publiés. Il nous a fallu procéder à notre propre enquête, dont voici les principaux résultats:

1. En 1968 le nombre de géoscientifiques dans l'industrie minérale atteignait environ 4 000, y compris 457 consultants (voir tableau II.19).
2. De ce total, 30 pour cent possédaient des diplômes supérieurs au baccalauréat (voir tableau II.19).
3. Les géologues et les géophysiciens réunis représentaient 82 pour cent des effectifs géoscientifiques de l'industrie, soit 56 pour cent de tous les géoscientifiques du pays (voir tableau II.6 et II.18).
4. La proportion entre géologues et géophysiciens est de 25 à 1 dans l'industrie pétrolière et de 21 à 1 dans l'industrie minière (voir tableau II.18), tout comme les dépenses qui en géophysique sont dix fois plus élevées pour l'exploration pétrolière que pour l'exploration minière, tandis que les dépenses en géologie sont à peu près les mêmes dans les deux industries (voir tableau II.17).
5. Les géochimistes représentent moins de un pour cent des effectifs, tandis que les ingénieurs miniers et autres en représentent 13.5 pour cent (voir tableau II.18).

6. À l'échelle nationale, le spécialiste qui travaillait en 1968 dans l'exploration minérale avait la responsabilité de travaux représentant une valeur moyenne de 110 000 dollars (voir tableau II.1 et II.5) comparativement à 87 000 dollars en

1964.

7. Si l'on tient compte d'un taux de remplacement de 3 pour cent (retraites, décès, etc.), l'accroissement moyen du personnel géoscientifique dans l'industrie minérale de 1964 à 1968 a été de 332 par an, soit un accroissement annuel moyen de 9.4 pour cent (voir tableau II.19).

8. Les universités canadiennes ont fourni seulement un tiers des nouveaux effectifs géoscientifiques dans l'industrie de 1966 à 1968, et cette dernière a dû compter largement sur l'immigration pour satisfaire ses besoins (en 1968 seulement, 336 géologues ont émigré au Canada tandis que l'ensemble des universités canadiennes a décerné 220 B.Sc., 62 M.Sc. et 38 Ph.D en géologie).

9. Si le rythme des cinq dernières années dans l'exploration minérale au Canada se maintient (figure IV.1), les dépenses d'exploration pourraient dépasser le milliard de dollars par année en 1985. Ceci représente environ 10 pour cent de la valeur de la production minérale annuelle prévue. Si l'on se fonde sur le personnel géoscientifique de l'industrie au cours des années 1964-1968 et sur le rythme de l'exploration au cours de cette période, l'industrie pourrait employer plus de 8 000 géoscientifiques en exploration vers 1985, contre 4 000 en 1968 (voir tableau II.5).

Comme il en a été question à la partie III.6, nous pensons qu'il existe un sérieux problème de recrutement de géoscientifiques canadiens compétents. En génie minier, le problème est encore plus grave.

IV.3 L'importance des sciences de la Terre pour l'industrie minérale

Les sciences de la Terre jouent un rôle de premier ordre en prospection scientifique parce qu'il faut bien connaître la constitution et l'évolution de la Terre pour découvrir les gîtes minéraux exploitables, tant recherchés. Dans le passé, plusieurs gisements ont été trouvés par des prospecteurs empiriques (et encore aujourd'hui il se peut que l'on en trouve de cette façon, surtout dans les régions septen-

Figure IV.1 – Accroissement de la valeur de la production minérale au Canada de 1950 à 1968, et accroissement correspondant des dépenses en exploration minérale (Sources: notre enquête et le BFS)

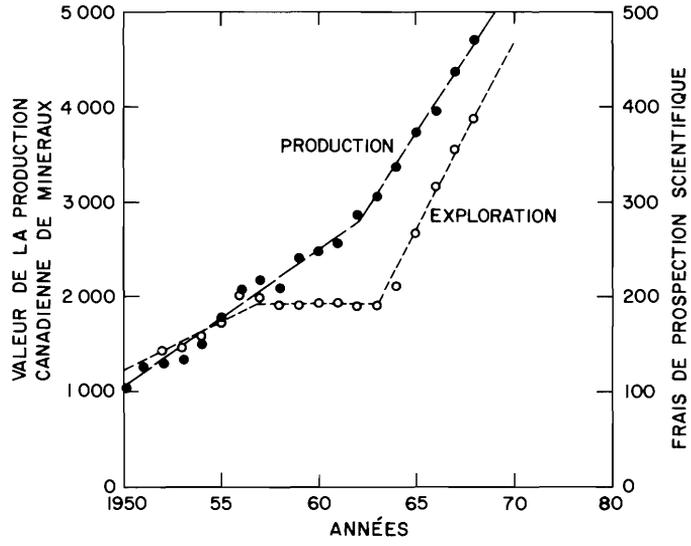
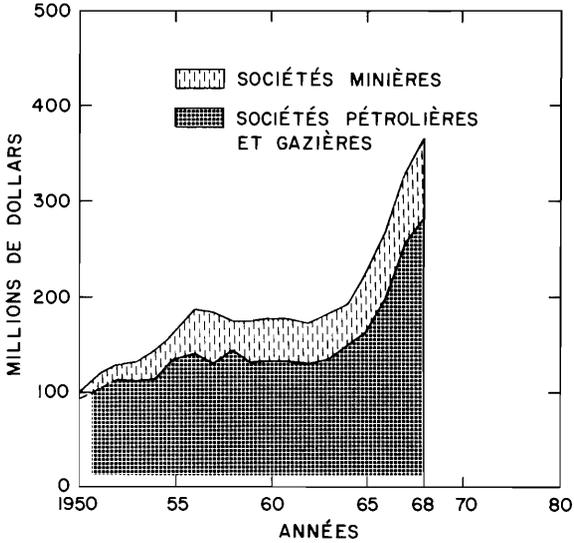


Figure IV.2—Dépenses annuelles d'exploration des sociétés minières (produits métallifères seulement) et des sociétés pétrolières et gazières de 1950 à 1980 (Sources: notre enquête et le BPS).



trionales); cependant la prospection scientifique est maintenant devenue une occupation très complexe et coûteuse. Elle est de plus en plus fondée sur des méthodes géologiques, géophysiques et géochimiques et dans une certaine mesure il faut utiliser les géomathématiques, l'informatique et la recherche opérationnelle en méthodologie de l'exploration.

Exposé général

Exploration pour le gaz et le pétrole

Nulle part ailleurs l'exploration n'apparaît aussi complexe que chez les grandes sociétés pétrolières. Ainsi, une importante société pétrolière au Canada peut posséder un personnel scientifique permanent de 50 à 190 spécialistes, y compris 30 à 100 géologues, 10 à 60 géophysiciens, un à 3 géochimistes et 5 à 25 programmeurs d'informatique. Ses dépenses d'exploration peuvent atteindre de 10 et 25 millions de dollars par année. La société peut posséder un système intégré de rassemblement des données, d'information scientifique, et de recherche et développement géoscientifiques requérant l'emploi de quelque 40 scientifiques et d'un personnel d'exécution d'environ 80 employés. Son budget annuel en recherche et développement géoscientifiques peut atteindre 2 millions de dollars.

Ses dossiers sur les puits peuvent contenir plus d'un million de documents individuels, ce qui représente de 100 à 200 années de travail pour le rassemblement et le classement de dossiers. La société peut aussi posséder sur microfilms quelque 600 000 ou 700 000 séismogrammes. Les dossiers sur les puits qui peuvent être traités à l'ordinateur et qui sont décrits à l'Annexe 7 contiennent des données sur quelque 50 000 ou 60 000 puits dans tout le Canada.

Les techniques géologiques et géophysiques ont joué un rôle très important dans la découverte des champs de pétrole et de gaz au Canada. La prospection géophysique en particulier a été intensive et appliquée sur une grande échelle, puisque dans l'Ouest du Canada seulement l'industrie a procédé à des travaux séismi-

ques équivalents à quelque 21 650 mois de travail d'une équipe, ce qui représente 1 300 000 milles de profils séismiques. Dans cette même partie du Canada, d'autres travaux de géophysique comme les levés gravimétriques et magnétiques ont été effectués et représentent environ 2 000 mois de travail d'une équipe.

Lorsque les géologues ont entrepris la recherche du pétrole au Canada, ils s'en sont tenus d'abord à la théorie simple de l'accumulation dans les charnières anticlinales, qui avait remporté tant de succès aux États-Unis et ailleurs. La cartographie géologique de surface a permis d'effectuer plusieurs découvertes importantes, y compris celle du premier grand champ pétrolifère canadien à Turner Valley.

L'exploration s'est ensuite déroulée dans la région des Plaines et la séismologie à simple réflexion est devenue le principal outil de prospection pétrolière. On a ainsi découvert la majeure partie des grands champs récifaux de Leduc entre 1947 et 1955. Cette méthode a aussi servi par la suite à repérer les champs géants de Beaverhill Lake, comme ceux de Swan Hills, de Judy Creek et de Virginia Hills.

De 1955 à 1958, l'industrie a de nouveau porté son attention sur la région des avants-monts des Rocheuses où une combinaison des techniques de réflexion et de réfraction séismiques et la cartographie géologique détaillée de surface ont permis d'effectuer d'importantes découvertes de gaz comme celles de Waterton et de Lookout Butte.

Vers la fin des années 1950 et au début des années 1960, la prospection géophysique a progressé à grands pas avec la mise au point de l'enregistrement sur bande magnétique, des sautages ponctuels d'équipotée et du traitement automatique des données. Ces progrès ont permis d'obtenir de meilleures données séismiques favorisant plusieurs découvertes importantes. La première a été le champ Rainbow A en 1965. Cette découverte a été rapidement suivie de plusieurs autres dans la même région, qui ont amené l'exploitation des Pinnacle Reefs dans les ré-

gions de Zama et de Virgo, également situées dans le nord-ouest de l'Alberta. Plus récemment, vers la fin de 1968, ces nouvelles méthodes séismiques ont permis d'effectuer de nouvelles découvertes de gaz dans la formation récifale Leduc des régions de Strachan et de Ricinus, dans le centre ouest de l'Alberta. De telles découvertes n'auraient pas été faites sans ces nouvelles techniques.

Dans le domaine de la stratigraphie, des progrès remarquables ont été enregistrés au cours de la dernière décennie dans les méthodes de description et d'interprétation des roches carbonatées. Ces progrès ont été particulièrement importants pour l'ouest du Canada, où 56 pour cent des réserves de gaz et de pétrole se trouvent dans de telles formations. L'important prolongement du champ gazifère Kaybob South Beaverhill Lake a été trouvé en 1968 grâce à ces techniques géologiques améliorées.

La diaggraphie des puits et la technologie des réservoirs-magasins ont été très profitables elles aussi. Les nouvelles techniques analytiques qui en ont résulté ont presque éliminé la possibilité de manquer les réservoirs rentables lors des forages d'exploration.

Les progrès réalisés dans l'exploration pétrolière des plaines intérieures s'appliquent aussi à l'exploration pétrolière sous-marine. On s'intéresse de plus en plus, dans le monde, aux ressources des plates-formes continentales; la prospection scientifique au large des côtes a maintenant gagné le Canada dont la plate-forme continentale couvre quelque 1 500 000 milles carrés, ce qui équivaut à 40 pour cent de la superficie totale du pays. Depuis l'émission des premiers permis d'exploration sous-marine en 1960, l'industrie a déjà dépensé 40 millions de dollars en levés géophysiques et environ 20 millions de dollars en puits d'exploration de la plate-forme continentale canadienne. Au cours des prochaines dix années, l'industrie prévoit qu'elle dépensera un milliard de dollars environ pour l'étude de ces terres submergées. La grande découverte de pétrole à Prudhoe Bay en

Alaska a naturellement suscité chez l'industrie l'espoir de trouver d'importants champs de pétrole dans l'Arctique canadien. Cette grande activité dans l'exploration au large des côtes exigera une participation accrue des sciences de la Terre et l'emploi d'une nouvelle technologie marine.¹

Prospection scientifique pour les minéraux métalliques et non métalliques

Alors que les champs pétrolifères et gazifères occupent des structures géologiques relativement continues, que la géophysique permet de déchiffrer, la plupart des gîtes minéraux se trouvent par contre dans le cadre de milieux géologiques discontinus de toute sorte, comme les failles, les brèches, les intrusions, les zones d'altération, certaines structures sédimentaires et certains faciès lithologiques, etc. La géophysique sert beaucoup à préciser l'emplacement des sondages dans les régions couvertes de drift glaciaire et à localiser des gisements possibles à faible ou moyenne profondeur. Il arrive cependant que plusieurs anomalies géophysiques se révèlent stériles quand le forage est effectué, de sorte qu'habituellement il n'est pas rentable de pratiquer un forage pour chaque anomalie. Cependant, la géophysique aéroportée peut permettre une meilleure différenciation entre les anomalies et ainsi déterminer à relativement peu de frais les endroits les plus prometteurs. La géochimie du sol ou des roches, ou les deux à la fois, peuvent être utilisées avec profit dans des régions restreintes, mais encore une fois il existe une forte proportion de risque et rien n'assure qu'avec la meilleure technique on pourra trouver un gisement exploitable. Sur 1 000 zones minéralisées, peut-être une ou deux seulement se révéleront d'importance économique. Les géoscientifiques et les ingénieurs miniers doivent donc s'efforcer de rendre cette recherche fructueuse au coût le plus faible possible.

¹Le Conseil des sciences du Canada a entrepris en 1969 une étude spéciale de la science et de la technologie marines au Canada, qui traitera ce sujet en profondeur.

La géologie. Le Canada regorge d'exemples illustrant l'importance de la géologie en prospection minière. Les travaux de cartographie géologiques effectués par la Commission géologique du Canada, de même que par les ministères provinciaux des Mines et par les sociétés minières ont conduit à d'importantes découvertes et ont fourni le cadre essentiel à de nombreux programmes d'exploration très fructueux. La géologie a été un facteur essentiel dans plusieurs découvertes importantes. Ainsi on lui doit au cours des vingt dernières années:

- l'hypothèse géologique qui a de nouveau attiré l'attention sur le district de Pine Point et qui a conduit à la découverte par forage des gros gisements de plomb-zinc au sud du Grand Lac des Esclaves;

- les hypothèses géologiques qui ont guidé la recherche des sulfures massifs dans les formations archéennes des régions de Noranda et de Timmins et qui ont mené à la découverte des mines Vauze, Lac Dufault et Delbridge, et la découverte à l'aide des méthodes géophysiques du fabuleux gisement polymétallique de la Texas Gulf Sulphur dans le canton Kidd;

- la découverte des facteurs stratigraphiques et sédimentologiques qui influencent la minéralisation uranifère dans la région de Blind River;

- les vues géologiques qui ont guidé la prospection géophysique des sulfures massifs dans la région de Matagami, dans le nord-ouest du Québec et dans la région de Bathurst au Nouveau-Brunswick;

- les notions géologiques qui ont mené à la découverte du gisement de cuivre des Mines Madeleine dans la péninsule de Gaspé;

- les hypothèses géologiques qui ont guidé la recherche du nickel dans la région de Thomson dans le nord du Manitoba;

- les connaissances géologiques qui ont mené à la découverte des plus grands gisements de potasse au monde dans le sud-est de la Saskatchewan;

- l'hypothèse structurale qui a été à

l'origine de la découverte de la zone de cisaillement Campbell à Yellowknife;

- les études géologiques qui ont guidé la découverte par forage de nouveaux gisements de nickel-cuivre et d'importants prolongements de gisements connus à Sudbury;

- l'établissement de guides structuraux, lithologiques et texturaux pour l'exploration du minerai de fer dans le fossé du Labrador, au Nouveau-Québec et du Labrador, etc. De plus, il ne faut pas oublier que la géologie sert continuellement à trouver des prolongements latéraux et inférieurs de gisements déjà en exploitation. Même si ces travaux soulèvent moins d'enthousiasme que la découverte de nouveaux gisements, ils n'accroissent pas moins de façon importante les réserves de minerais.

La prospection géophysique. La géophysique minière canadienne a connu des succès jamais obtenus par un autre pays au monde, tant au point de vue du nombre de gisements trouvés que du tonnage de minerai découvert. En 1967 les dépenses en géophysique minière au Canada représentaient 34 pour cent des dépenses totales du monde libre (32 millions de dollars américains), soit presque autant que les dépenses des États-Unis ajoutées à celles de l'Europe.¹ En géophysique aéroportée, les dépenses canadiennes représentaient 37 pour cent de l'ensemble des dépenses du monde libre, tandis que celles de l'Afrique toute entière représentaient 17.5 pour cent et celles des États-Unis, 16 pour cent.¹ De même, le Canada occupe le premier rang dans le monde libre pour la recherche en géophysique minière.

Contrairement à la géophysique du pétrole qui repose essentiellement sur les méthodes sismiques, la géophysique minière utilise surtout les levés magnétiques et électromagnétiques aériens et au sol pour les travaux de reconnaissance. La méthode électromagnétique et les méthodes de polarisation provoquée sont très

¹Hood, P. *World Expenditures in Mining Geophysics during 1967*. C.I.M. Bull., Vol. 61, n° 680, p. 1453-1459, décembre 1968.

utilisées pour découvrir respectivement des amas de sulfures massifs ou disséminés.

Les levés aérogéophysiques ont exercé une énorme influence sur la prospection scientifique au Canada à cause de leur grande rapidité et de leur coût relativement peu élevé. De nombreux gisements découverts ces dernières années ont été localisés à l'aide de ces levés, en particulier les sulfures massifs, les formations ferrifères magnétiques et les venues de minéraux radioactifs. Les méthodes géophysiques au sol ont aussi été des plus efficaces.

Il est impossible dans le présent rapport d'énumérer toutes les découvertes effectuées au Canada grâce à la géophysique. Voici quelques exemples qui serviront plutôt à illustrer l'importance de la géophysique des mines:

- la première découverte géophysique au Canada a été faite à Buchans (Terre-Neuve) en 1926 à la suite d'un levé équipotentiel au sol;

- le gros gisement de fer de Marmora a été découvert sous une épaisse couche de roches sédimentaires recouvertes de drift glaciaire grâce uniquement à un levé aéromagnétique effectué en 1949;

- quoique la mine Horne à Noranda ait été exploitée depuis 1927, ce n'est qu'en 1945 que le grand gisement de la mine Quemont a été trouvé par forage sur la propriété adjacente à la suite d'un levé magnétique au sol;

- la découverte effectuée par la Texas Gulf Sulfur à quelques milles au nord de Timmins, et qui est une des plus spectaculaires, a été le résultat du levé électromagnétique aérien d'un horizon volcanique favorable en 1964, et ce un demi-siècle après le début de l'exploitation minière dans la région de Timmins;

- de nouveaux districts miniers ont pris naissance dans la région de Bathurst au Nouveau-Brunswick et dans la région de Matagami, dans le nord-ouest du Québec, à la suite de découvertes effectuées au cours des années 1950, grâce à des levés aéromagnétiques combinés avec des levés électromagnétiques aériens et au sol;

- l'utilisation de la polarisation provoquée a mené directement à la découverte en 1966 du grand gisement de plomb-zinc Pyramid à Pine Point;

- la grande zone nickélicifère de la région de Thomson-Moak dans le nord du Manitoba a été découverte à la suite de levés magnétiques et électromagnétiques aériens et au sol effectués entre 1947 et 1956; en 1969, des découvertes importantes de métaux communs ont été réalisées à l'aide de levés électromagnétiques aériens à Ruttan Lake Manitoba, à Uchi Lake et à Sturgeon Lake dans le nord-ouest de l'Ontario, et un gisement d'uranium a été localisé dans la région de Wollaston dans le nord de la Saskatchewan à la suite d'un levé scintillométrique aérien.

La géochimie. Au cours des quinze dernières années, la géochimie est devenue un auxiliaire très important dans la recherche de nouveaux gîtes métallifères au Canada. En dépit du drift glaciaire qui existe partout, et qui par endroits est très épais et imperméable à la migration des métaux, les techniques de plus en plus sensibles de la prospection géochimique sont souvent très utiles, surtout lorsqu'elles sont utilisées de concert avec les méthodes géologiques et géophysiques.

Les méthodes géochimiques sont particulièrement utiles en prospection scientifique car elles permettent la discrimination et la localisation des gîtes. Une des principales carences des méthodes géophysiques est de ne pouvoir indiquer avec précision quels éléments sont présents dans les roches sous-jacentes caractérisées par une anomalie géophysique. Par ailleurs, les méthodes d'exploration géologique, qui sont pourtant d'une valeur inestimable, ne conduisent pas à la localisation des gisements de minerais, c'est-à-dire ne permettent pas de les repérer avec précision.

La prospection géochimique a été introduite au Canada par H. Lundberg en 1940 mais ce n'est qu'en 1945, au moment où les professeurs H. V. Warren et R. E. Delavault de l'Université de la Colombie-Britannique ont entrepris leurs

recherches, que l'usage de la géochimie en prospection s'est répandu au Canada. C'est grâce à la géochimie que le gisement d'étain de Mount Pleasant au Nouveau-Brunswick a été découvert en 1954 et que l'on a trouvé le gisement de cuivre de Newman Lake. Le grand gisement de molybdène d'Endako en Colombie-Britannique avait été localisé il y a longtemps lors d'un levé biogéochimique effectué par le professeur Warren, mais la découverte elle-même à l'aide de forage ne s'est produite que beaucoup plus tard. Aussi en Colombie-Britannique, la géochimie a collaboré directement à la localisation des gisements de Stikine Copper et de Boss Mountain. La découverte du gisement de plomb-zinc du lac Portage dans la région de Bathurst au Nouveau-Brunswick est à mettre au crédit de la géochimie, de même que la récente découverte du grand gisement de plomb-zinc-argent d'Anvil au Yukon. La minéralisation de plomb-zinc, malheureusement non rentable, de la péninsule de Bruce en Ontario a été trouvée grâce à la prospection géochimique. Ces quelques exemples suffisent à démontrer que la géochimie a un rôle à jouer au Canada, même si de grandes étendues de notre territoire ont été soumises à la glaciation et que peu de recherches sur la prospection géochimique dans les conditions canadiennes ont été effectuées. Les terrains glaciaires posent de fortes restrictions à l'utilisation générale de la prospection géochimique des sédiments des sols et des cours d'eau, quoiqu'il n'y ait vraiment pas de limitation à l'utilisation de la géochimie des roches.

L'importance relative des méthodes de prospection scientifique

L'exploration minière au Canada se distingue particulièrement par le fait que la plupart des programmes sont fondés sur le travail d'équipe. Le graphique de la figure IV.3 illustre les combinaisons et l'ordre des méthodes scientifiques les plus souvent utilisées dans de grandes régions du pays. Le choix des régions, qui est un aspect très important des programmes de

prospection scientifique, est fondé sur des études géologiques et des hypothèses de travail. La combinaison des études géologiques et géophysiques a donné des résultats spectaculaires comme la découverte du gisement de cuivre-zinc-argent de la Texas Gulf Sulphur Co. au nord de Timmins et de la zone nickélicifère Thomson-Moak dans le nord du Manitoba. La géochimie est souvent utilisée de concert avec les méthodes géologiques et géophysiques pour délimiter de nouvelles régions favorables et localiser les endroits prometteurs où entreprendre des forages.

Lang¹ et Derry² exposent l'importance relative des diverses méthodes d'exploration qui ont conduit à la découverte des mines canadiennes de métaux non ferreux depuis le début des années 1900. Quoique Derry reconnaisse que plusieurs de ces gisements ont été trouvés grâce à une combinaison de deux méthodes différentes ou plus, il a fouillé les archives afin de déterminer le facteur décisif pour chacune des découvertes. Voici les résultats de ses recherches:

1. sur les 75 mines de métaux non ferreux trouvées avant 1950, 85 pour cent ont été trouvées par la prospection classique et le reste grâce à des déductions géologiques;

2. sur les 75 mines découvertes de 1951 à 1966, seulement 37 pour cent ont été trouvées grâce à la prospection classique, 33 pour cent sont dues à la géophysique et 29 pour cent à la géologie (la géochimie a été la cause d'une découverte au cours de cette période);

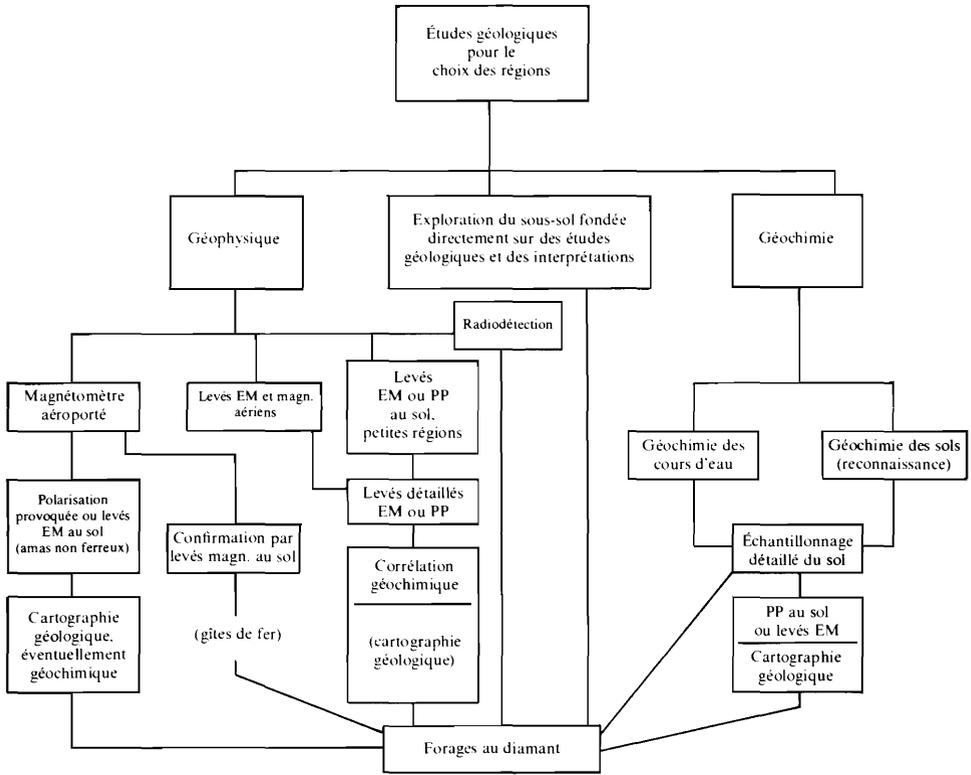
3. les découvertes dues à la géophysique ont été les plus nombreuses de 1956 à 1960 alors que 14 nouvelles mines ont été découvertes par cette méthode (en 1969, quatre découvertes importantes ont été effectuées grâce à la prospection géophysique).

Force nous est de constater que l'exploration minière s'appuie de plus en plus sur les méthodes scientifiques. Si l'on

¹Lang, A.H. *Discovery methods of post-1955 new producers*. Can. Min. Jour. Vol. 88, n° 1, p. 47-50, 1967.

²Derry, D.R. *Exploration-targets and the choice of weapons*. Mining Mag., Vol. 120, N° 3, p. 151-163, 1969.

Figure IV.3—Stratégie d'utilisation des méthodes scientifiques les plus fréquentes pour l'exploration minière de grandes régions du pays



considère l'étendue de moins en moins grande du territoire canadien encore non étudiée ou non cartographiée du point de vue géologique, on peut penser que la géophysique et la géochimie continueront à jouer un rôle de premier plan dans la découverte des mines. Avec l'amélioration de méthodes qui sont encore à l'étape expérimentale, comme les levés aériens à très basses fréquences, la détection aérienne des oligo-éléments, la photographie aérienne à l'infra-rouge, la technique du halo mercurique, la géochimie des sols glaciaires, etc., nous pouvons penser que jusqu'en 1985 environ la géophysique et la géochimie permettront la découverte de 60 à 70 pour cent de toutes les nouvelles mines canadiennes.

Il ne faut pas oublier que les méthodes géophysiques actuelles ne permettent d'atteindre qu'une profondeur de quelques centaines de pieds, tandis que l'exploitation minière dans des conditions idéales peut se faire jusqu'à 10 000 pieds ou plus de profondeur. On peut donc supposer que d'ici la fin du siècle le problème consistera à rapprocher les possibilités d'exploration géophysique des possibilités d'exploitation.

Vers 1985 la géologie pourrait bien devenir le principal facteur de découverte des mines. On cherchera par exemple des gisements stratiformes en grande profondeur à l'aide de méthodes géologiques semblables à celles de l'exploration pétrolière ou gazière. La prospection scientifique sera alors essentiellement dirigée selon la troisième dimension (profondeur) et influencée par la dimension chronologique des accidents géologiques. On entreprendra alors de nombreux sondages d'essai fondés surtout sur la stratigraphie, la lithologie et la structure des formations. Concurrentement, on recherchera des gisements en profondeur dans les massifs intrusifs ou dans leur voisinage en utilisant à la fois des méthodes géologiques, géochimiques et géophysiques. D'importants programmes auront aussi pour but de mettre à l'épreuve des théories géologiques prometteuses. L'analyse métallogénique et la recherche opération-

nelle à l'aide des techniques mathématiques les plus complexes et de modèles géologiques conceptuels assumeront alors une importance dominante.

Nous pouvons prédire aussi que nous devrons compter beaucoup plus à l'avenir sur les grands gîtes métallifères à basse teneur, en surface ou en faible profondeur, qui deviendront exploitables à la suite de la mécanisation et des autres progrès réalisés dans l'exploitation à grande échelle, comme l'utilisation de l'énergie atomique comme source d'énergie pour briser ou transporter le minerai. Les travaux de recherche permettront aussi de découvrir de nouvelles façons d'extraire les minéraux utiles de leur gangue. La recherche de ces gisements demandera une collaboration entre la géologie, la géophysique, la géochimie et la technologie des minéraux.

Il est probable aussi qu'il se produira un accroissement considérable du coût des découvertes, parce qu'il faudra prospector dans des régions plus éloignées, ou à de plus grandes profondeurs, en utilisant des techniques plus avancées et plus coûteuses. Le coût de découverte par tonne de minerai augmentera, et il sera plus difficile de trouver de nouveaux gisements de haute qualité. Par conséquent, on peut s'attendre à ce que les dépenses d'exploration augmentent en fonction de la croissance générale de l'industrie minière (voir fig. IV.1).

Recherche et développement géoscientifiques

L'industrie minière canadienne a dépensé 41 millions de dollars en recherche et développement géoscientifiques en 1968 (y compris l'interprétation des données), dont 77 pour cent ont été dépensés par les sociétés pétrolières et gazières (voir tableau II.2). De ce total, 8 millions ont été dépensés en recherche fondamentale et appliquée, dont 70 pour cent par les sociétés pétrolières et gazières (voir tableau II.16). Il est bon de noter que de ces dépenses en R & D, 5 millions de dollars ont concerné les travaux sur le terrain.

Ces travaux de recherche et de déve-

loppement dans l'industrie extractive sont singulièrement importants parce que les phénomènes auxquels ils s'appliquent sont uniques et il n'existe pas deux gîtes minéraux ni deux champs pétrolifères identiques. Un échantillon de roche prélevé d'une séquence naturelle ne peut plus jamais être prélevé de nouveau. De même, une analyse ne peut plus être répétée si le matériau original est détruit en préparant l'échantillon. La plupart des géoscientifiques connaissent bien les complexités des phénomènes terrestres, mais peu de scientifiques des autres disciplines semblent se rendre compte de la façon dont la durée peut influencer la plus lente des réactions chimiques et ce que les forces de la nature peuvent produire à l'échelle globale. Enfin, même avec les meilleurs cerveaux du pays, la meilleure méthode scientifique et les meilleurs appareils, on ne peut jamais être complètement sûr que l'on trouvera les gisements espérés en profondeur à cause de conditions géologiques imprévues. La recherche et le développement géoscientifiques doivent porter sur les matériaux et les phénomènes terrestres pris dans leur milieu naturel; selon la nature des problèmes, une partie substantielle des travaux en R & D devront être effectués sur le terrain.

L'importance des travaux de R & D en exploration pétrolière provient du coût élevé des forages d'exploration. Un forage de reconnaissance de 15 000 pieds dans le delta du McKenzie peut coûter plus de 2 millions de dollars; la décision de forer ce puits doit être fondée sur de bons raisonnements inductifs du point de vue géologique, appuyés sur une bonne définition géophysique des structures et de la stratigraphie à grande profondeur. Avant la mise au point des séismographes à réflexion, les puits d'essai étaient fructueux dans une proportion de 1 à 20. L'application sur une grande échelle de la séismique et les améliorations qu'on y a apportées font que cette proportion est maintenant de 1 à 7.

Le caractère très coûteux et la complexité de la prospection scientifique du

pétrole ont entraîné la formation de grandes sociétés internationales. Par conséquent, on comprend que plusieurs grandes sociétés pétrolières au Canada dépendent des installations de recherche de leurs sociétés-mères américaines quand il s'agit d'effectuer des recherches sur des problèmes canadiens. *Nous évaluons à environ 20 millions de dollars (175 années de spécialiste) les fonds dépensés aux États-Unis en recherche relative à des problèmes typiquement canadiens, contre 6 millions dépensés au Canada.* Cette situation peut être très favorable aux sociétés canadiennes, mais nous pensons qu'une plus grande partie de cette recherche pourrait être effectuée au Canada (voir section VI.5).

Les considérations suivantes illustrent l'importance de la recherche et du développement géoscientifiques concernant l'exploration pétrolière¹:

1. L'analyse et l'interprétation des lithofaciès et des biofaciès sont nécessaires pour interpréter l'évolution des sédiments et prévoir les conditions favorables à l'existence de réservoirs.

2. La paléontologie appliquée est indispensable à la datation des strates possiblement pétrolifères, aux corrélations biostratigraphiques entre les divers groupes de roches, et à la reconnaissance des divers milieux de dépôt.

3. Les analyses géométriques des masses rocheuses, étayées par l'étude de leur développement chronologique, sont d'une importance fondamentale dans l'exploration du pétrole. Les comparaisons analytiques de grandes structures canadiennes avec des zones orogéniques qui existent ailleurs dans le monde sont également nécessaires, tant du point de vue théorique que pratique.

4. La technologie de l'éclatement ou du broyage des formations rocheuses dans les puits est d'une grande importance en forage et son perfectionnement exige l'accroissement des recherches en

¹Renseignements tirés en grande partie des mémoires soumis par la *Canadian Association of Petroleum Geologists* et la *Canadian Well Logging Society*.

mécanique des roches. De plus, les études dans cette discipline sont très utiles pour mieux comprendre certains phénomènes comme la formation des nappes de chevauchement et des diapirs d'évaporites; ces structures pourraient être étudiées selon des principes analogues à ceux qui ont servi à l'étude des dômes de sel du littoral du Golfe du Mexique.

5. L'exploitation maximale de tout réservoir doit être fondée sur une bonne connaissance des conditions géologiques qui ont causé la formation du réservoir, y compris les déformations structurales, l'activité organique, la diagénèse, l'hydrodynamique, le classement, les changements de faciès, la porosité et la perméabilité, etc. Grâce à des ordinateurs très rapides, on peut maintenant tenir compte des effets d'un nombre presque infini de variables et mettre au point des programmes qui permettent d'améliorer la récupération primaire, secondaire et tertiaire des réservoirs. Il est important d'acquérir une bonne connaissance de la porosité et de la perméabilité en fonction de la profondeur, de la géométrie des pores et des pressions capillaires pour améliorer l'exploration et la récupération du pétrole.

6. Il est maintenant possible de calculer avec une extrême précision les valeurs de la porosité à l'aide de la diagraphie sonore, si l'on possède quelques données sur le genre de roches en cause. On peut même espérer qu'un jour on pourra évaluer avec précision le degré de perméabilité des formations en place. La programmation des diagraphies et l'utilisation des ordinateurs permettent maintenant l'élaboration de modèles mathématiques servant à relier directement les divers genres de diagraphies à la lithologie ou autres éléments particuliers des formations. Les lithodiagraphies qui en résultent permettent de meilleures corrélations stratigraphiques et de meilleures interprétations de facteurs aussi complexes que les milieux de dépôt.

7. La mise au point de séismogrammes synthétiques à partir de diagraphies soniques a permis de mieux contrôler les vitesses en exploration géophysique et par-

tant d'améliorer les interprétations sismiques.

8. La mise au point de microdiagraphies, de diagraphies latérales et de techniques d'induction pour mesurer la résistance électrique des couches traversées par les forages a permis de déterminer la répartition des fluides (pétrole ou eau) en profondeur, tandis que les techniques «gamma-neutron» et «gamma-density» par radioactivité naturelle ou provoquée ont servi à déterminer la structure des pores et à identifier les genres de roches.

9. La recherche a démontré que la géochimie organique et inorganique peut jouer un rôle important dans la délimitation et l'évaluation des quatre facteurs indispensables à l'existence d'un champ pétrolifère, soit la source, le réservoir, le piège et la conservation:

a) l'évaluation de la *source* peut se faire par l'analyse et la corrélation des propriétés chimiques et isotopiques des hydrocarbures et des solides contenus;

b) dans certains cas l'efficacité des *réservoirs* est fortement influencée par certains phénomènes comme la lixiviation, la cimentation et la dolomitisation qui altèrent à la fois le volume et la disposition des pores; la connaissance de la chronologie et des facteurs déterminants de ces phénomènes chimiques est importante pour l'évaluation des champs connus et la détection des régions prometteuses;

c) on peut habituellement localiser les *pièges* si l'on possède suffisamment de données géologiques et géophysiques; cependant on connaît encore assez mal la chronologie de la migration du pétrole et l'efficacité relative de l'écran d'étanchéité que constituent différentes unités rocheuses à diverses étapes de tassement;

d) la *conservation* physique et chimique du pétrole dans un milieu qui en permet l'exploitation est la condition essentielle de la rentabilité d'un gisement; les phénomènes physiques comme l'érosion ou la dislocation d'un piège sont des agents destructeurs évidents et reconnaissables; cependant, les phénomènes chimiques comme les altérations thermiques ou bactériennes et le lavage sont aussi

très importants, mais pour les reconnaître ou prédire leurs effets il faut effectuer plusieurs études géochimiques.

10. Enfin, pour améliorer l'évaluation des réserves totales de pétrole et de gaz et d'autres substances connexes dans un bassin sédimentaire, il faut une meilleure connaissance de la région et de la configuration du bassin, du volume et du genre de sédiments qui s'y trouvent, de la présence ou de l'absence de couches pétrolifères et de leur teneur en hydrocarbures, du genre de pièges, de l'âge et du genre des structures et des discordances; la comparaison de ces données avec les caractéristiques de bassins semblables comportant des puits productifs est indispensable à l'évaluation des réserves totales de pétrole.

Quand il s'agit de prospection des minéraux métalliques et non métalliques, la recherche et le développement géoscientifiques jouent un rôle de plus en plus important à mesure que les gisements deviennent plus difficiles à trouver, que les réserves existantes s'épuisent, que le coût unitaire des découvertes croît et que la demande nationale et mondiale pour les métaux et les minéraux non métalliques s'accroît.

Les travaux de R & D géologique dans l'industrie minière canadienne se font, de façon générale, au hasard et de façon peu coordonnée; ils dépendent en grande partie des préférences individuelles. Pourtant, peu après 1900, la formulation d'hypothèses géologiques pour expliquer la formation des gîtes connus et pour localiser des gisements semblables dans les mêmes régions ou ailleurs jouait un rôle important pour la prospection de nombreuses régions minières comme celles de Sudbury, de Cobalt, etc. Des hypothèses similaires ou différentes ont par moment joué un rôle important aussi dans plusieurs découvertes minières au Canada.

L'importance de la recherche en métallogénèse se comprend facilement car il nous est rarement donné d'assister dans la nature à la formation de gîtes minéraux. Tout ce que nous pouvons découvrir ne sont que d'infimes manifestations

se rapportant à quelques rares genres de minéralisations. Il n'existe pas vraiment de théorie générale du dépôt des minerais comme il existe, par exemple, une théorie du magnétisme. Il n'est donc pas surprenant que les idées sur la genèse des gîtes minéraux soient fondées en grande partie sur des observations faites sur le terrain, étayées par la suite par des observations au microscope et des mesures chimiques faites en laboratoire sur des échantillons naturels et des matériaux synthétiques.

L'importance pratique de la recherche métallogénique se mesure au besoin de définir le milieu de dépôt et les conditions qui ont donné naissance aux gisements. Grâce surtout à des géologues européens et en particulier à des géologues soviétiques, on a reconnu que les gîtes métallifères sont spatialement et chronologiquement liés au milieu géologique où ils se trouvent; l'explication de leur genèse se trouve donc dans ces roches et non dans quelque source plutonique hypothétique en grande profondeur. On a aussi reconnu, assez lentement à vrai dire, que les gîtes minéraux et leurs roches encaissantes constituent des systèmes chimiques; de là le besoin de recherche pour concilier les observations sur le terrain avec les relations physicochimiques observées grâce aux systèmes expérimentaux.

La recherche métallogénique est importante aussi pour l'acquisition de connaissances sur les conditions de température et de pression ayant présidé à la formation des minerais, et sur la nature de leurs fluides générateurs. Comme les gîtes minéraux se sont formés pendant presque toute l'étendue des temps géologiques et dans diverses provinces géochronologiques ou structurales, l'étude des isotopes stables et radioactifs fournit un excellent moyen d'éclairer la géologie des gisements.

La recherche en géologie minière est d'une importance particulière parce qu'elle apporte de nouvelles connaissances sur les gisements qui, dans les mines, peuvent être étudiés selon trois dimen-

sions, ce qui permet de déterminer leurs caractéristiques les plus complexes. Lorsque l'on sait que des géologues miniers compétents et d'expérience doivent souvent répéter leur étude détaillée de milliers de pieds de carottes de forage, et refaire leurs journaux de sondages deux ou trois fois lorsqu'il s'agit de milieux géologiques complexes, il est évident que la recherche est nécessaire et qu'il faut accorder à ces géologues le temps requis pour entreprendre ces travaux indispensables. Si ce travail n'est pas fait, des données géologiques importantes seront irrémédiablement perdues au détriment non seulement de la science elle-même, mais aussi de l'efficacité des méthodes géologiques de recherche du minerai dans ces mines ou aux environs.

Les minéraux non métalliques et les matériaux de construction sont de plus en plus utilisés. La valeur de la production canadienne de sable, de gravier et de pierre de construction en 1968 était à peu près égale à celle de la production d'or, de platinides, d'uranium, d'antimoine, de bismuth, de cobalt, de niobium, de sélénium et de magnésium. Quoique le principal problème soulevé par les minéraux industriels et les matériaux de construction soit celui de leur mise sur le marché, la recherche géologique en ces domaines est importante si l'on veut trouver des sources d'approvisionnement plus grandes, de meilleure qualité et plus rapprochées des centres de traitement et des régions de consommation. En même temps, comme on insiste beaucoup pour préserver les milieux naturels à l'intérieur et aux environs des grandes villes canadiennes, les géologues peuvent contribuer utilement à la découverte de nouvelles ressources en minéraux industriels proches de ces centres. Ceux-ci pourront ainsi sauvegarder la partie de leur économie fondée sur les ressources minérales.

L'importance de la recherche et du développement en géophysique dans notre vaste pays est bien évidente si l'on considère l'histoire des découvertes de minerai dues à la géophysique (voir section IV.3). Les Canadiens ont certainement fait

preuve d'esprit inventif en mettant au point plusieurs nouvelles méthodes et nouveaux appareils de prospection géophysique. Les appareils modernes qui sont utilisés au Canada comportent habituellement les circuits électroniques les plus perfectionnés. Ils sont légers, portatifs, sensibles, fiables et permettent de se livrer toute l'année à des levés peu coûteux et sûrs.

Les succès canadiens en géophysique sont attribuables non seulement à l'esprit inventif de nos géophysiciens, mais de façon plus générale à une combinaison de facteurs favorables qui caractérisent le milieu canadien. Ce sont, entre autres, des facteurs d'ordre géologique, géophysique, géographique, politique et économique qui se combinent pour stimuler une intense concurrence dans la recherche des gisements. Cette concurrence à son tour a stimulé le progrès de la géophysique minière du Canada. Au cours de l'après-guerre les Canadiens ont réalisé des progrès importants en ce domaine, de nouvelles méthodes ont été mises au point et d'anciennes ont été rénovées. On a profité de l'avancement des mathématiques, de la physique et des immenses progrès récents en électronique. L'accès au monde de l'électronique américaine a été des plus profitables. On a maintenant tendance à construire des appareils à fonctions de plus en plus complexes, plus petits et nécessitant moins d'énergie.

Toutes les méthodes aériennes de prospection géophysique connaissent actuellement une grande évolution. Tout d'abord les anciens procédés d'enregistrement analogique ou sur bande de papier ont été modifiés; l'enregistrement se fait maintenant en numérique sur bande magnétique avant d'être utilisé par l'ordinateur; ensuite les appareils détecteurs eux-mêmes ont été grandement améliorés. Le magnétomètre aéroporté à forte résolution est environ 50 fois plus sensible que le meilleur magnétomètre classique à noyau saturable ou à proton. De plus, on travaille à améliorer les levés aériens électromagnétiques afin de pouvoir utiliser une gamme de fréquences plus

étendue qu'auparavant.

Grâce à ces divers progrès, une industrie canadienne de géophysique minière fort rentable a pu se constituer. Elle comporte la fabrication d'appareils d'exploration parmi les meilleurs du monde et elle offre des services complets d'exploration minière à l'aide de ces instruments et d'autres. Comme nous le mentionnerons au chapitre VIII, ces appareils et ces services sont devenus des produits d'exportation très avantageux.

La prospection géochimique s'effectue partout au Canada, mais la place qu'elle occupe est modeste comparativement à celle de la géologie et de la géophysique, car elle ne représente seulement que 4.5 pour cent de toutes les dépenses effectuées dans le secteur géoscientifique (forages d'exploration compris) par l'industrie minière en 1968 (voir tableau II.17). La recherche et le développement en ce domaine sont minimes et se limitent essentiellement aux travaux entrepris par la Commission géologique du Canada et quelques sociétés minières. Sauf quelques modestes efforts de trois départements universitaires de sciences géologiques, il existe un manque évident de recherche sur la prospection géochimique dans les universités canadiennes, contrairement à ce qui se fait dans les centres de spécialisation tels que la *Royal School of Mines* en Angleterre et la *Colorado School of Mines* aux États-Unis. Cependant, comme Boyle¹ l'a fait remarquer, de grands problèmes se posent si l'on veut trouver de nouveaux gisements, de même que les prolongements latéraux et inférieurs des gisements connus. Ces problèmes comprennent:

1. la définition de provinces géochimiques et leurs rapports avec les gîtes minéraux;

2. la mise au point de méthodes pour la découverte de grands gisements à basse teneur;

3. la mise au point de méthodes pour la découverte de gisements profondément enfouis;

4. des améliorations aux méthodes servant à délimiter les halos primaires;

5. la mise au point et la formulation de techniques permettant de relier l'extension des halos et leurs teneurs en oligo-éléments de même que celles des trains de dispersion à la teneur des gisements;

6. la mise au point et l'amélioration des méthodes biogéochimiques, surtout celles qui utilisent les plantes indicatrices, étudient les effets de la chlorose ou de l'intoxication et emploient des techniques microbiologiques;

7. la délimitation de la nature et de l'étendue des halos géochimiques et biogéochimiques associés aux champs de pétrole et de gaz.

Étant donné que les gîtes métallifères et leurs épontes sont en grande majorité le résultat de phénomènes chimiques, il devrait être possible de déterminer la nature et l'évolution de ces phénomènes selon les méthodes de la chimie moderne. Avec des données précises de ce genre et de meilleures connaissances géologiques, on peut espérer qu'un jour on pourra pratiquement découvrir des gisements de toutes natures dans un milieu géologique quelconque.

En résumé, l'expérience montre que la recherche et le développement géoscientifiques sont un facteur important du développement économique. Le succès de la prospection scientifique dépend en grande partie d'une combinaison de méthodes adaptées aux conditions locales. Nous pensons donc que:

Conclusion IV.1

L'industrie minière devrait accorder un soutien plus ample à la recherche sur l'utilité des diverses combinaisons des méthodes géologiques, géophysiques et géochimiques appliquées à différentes conditions géologiques et différents sols canadiens.

¹Boyle, R.W., *Geochemical Prospecting—Retrospect and Prospect*, Compte rendu du Colloque sur la prospection géochimique, Commission géologique du Canada: Étude 66-54, p. 30-43, Ottawa, 1967.

Conclusion IV.2

Pour tirer plein avantage des données scientifiques que l'on pourrait recueillir dans les mines en exploitation où les gisements sont exposés dans leurs trois dimensions, les sociétés minières devraient assigner à un géologue de recherche dans chaque mine principale ou district minier la tâche de rassembler et d'analyser systématiquement toutes les données géologiques s'y rapportant et qui autrement seraient irrémédiablement perdues.

Conclusion IV.3

Le gouvernement canadien devrait prendre des mesures pour encourager l'industrie minérale à entreprendre ou à patronner un plus grand nombre de travaux de recherche dans le pays.

Conclusion IV.4

Les spécialistes qui élaborent les politiques scientifiques et les organismes d'aide à la recherche au Canada devraient reconnaître qu'il faut encourager la recherche et le développement en prospection scientifique afin de favoriser le développement économique; ils devraient accepter le fait que fréquemment et nécessairement ces travaux de recherche et de développement se font sur le terrain.

Conclusion IV.5

Les universités canadiennes devraient accroître leurs travaux de recherche en prospection scientifique et d'ici 1975 doubler leurs recherches en géologie économique et tripler celles qui concernent la prospection géophysique et géochimique.

Une façon d'encourager la recherche pratique dans les universités est d'octroyer des bourses en recherche industrielle et d'instituer des congés d'études grâce auxquels des scientifiques de l'industrie et des organismes publics pourraient poursuivre leurs recherches

dans les universités pendant un certain temps. La création d'un régime de «congés de recherches» bien rémunérés pourrait être très avantageux pour toutes les parties en cause. Il permettrait aux chercheurs universitaires d'entrer en contact étroit avec des gens qui ont beaucoup d'expérience pratique et permettrait à ces derniers de prendre connaissance des derniers progrès scientifiques, et de se retremper par la recherche dans l'atmosphère universitaire.

C'est peut-être avec cet objectif que le Conseil national de recherches a créé en 1967 un programme de bourses de recherche industrielle dans le cadre de son programme PIER. En 1968, il a accordé un total de 18 bourses d'environ 6 000 dollars chacune. En 1969 le Conseil en a octroyé 28, dont 15 étaient des renouvellements de bourses allouées l'année précédente. Toutefois, une seule de ces 28 bourses concernait la mécanique des sols et une autre le génie minier; il n'y en avait aucune en géologie, en géophysique ou en d'autres domaines de la prospection scientifique. En conséquence, nous croyons que:

Conclusion IV.6

L'industrie et les organismes publics devraient instituer des congés d'étude pour que leurs scientifiques puissent faire des stages de recherches géoscientifiques dans les universités. L'industrie minérale devrait tirer parti du programme PIER du Conseil national de recherches et demander des bourses en recherche industrielle.

La collecte des données scientifiques

L'industrie minérale canadienne a dépensé 345 millions de dollars en collecte de données en 1968 (voir tableau II.16), dont 173 millions pour des forages d'exploration. Il est bon de noter que de 1964 à 1968, les dépenses en forages d'exploration sont passées de 85 à 140 millions de dollars pour l'industrie du pétrole, et de 18 à 33 millions de dollars pour l'industrie minière (voir tableau II.17). Les autres dépenses en rassemblement de don-

nées (levés géologiques, géophysiques, géochimiques et travaux de laboratoire connexes) ont de même presque doublé au cours de ces cinq années.

La collecte des données scientifiques (forages d'exploration compris) représente environ 88 pour cent du coût total de tous les travaux géoscientifiques relevant de la prospection scientifique; le reste comprend les travaux de R & D et d'information scientifique. La collecte des données est donc un aspect important de la prospection scientifique. Comparativement aux 172 millions de dollars dépensés par l'industrie en levés et en travaux de laboratoire connexes, tous les organismes publics réunis ont dépensé 27 millions de dollars (voir tableau II.3) pour la collecte des données géoscientifiques à tous usages (y compris les relevés pédologiques, inventaires des eaux souterraines, etc.). En d'autres termes, la proportion des dépenses de l'industrie par rapport à celles du gouvernement en ce domaine excède 8 à 1, ce qui est de beaucoup supérieur au rapport qui prévaut dans les autres industries canadiennes du secteur primaire.

L'importance de la collecte des données en prospection scientifique s'explique par la nécessité de savoir *où et comment chercher* pour trouver des concentrations exploitables de minéraux et de combustibles fossiles. Nous pourrions disposer des meilleures théories au monde, si nous ne connaissons pas les *données fondamentales* sur les roches canadiennes, leurs propriétés et leur répartition dans le temps et l'espace, nous pourrions tout aussi bien nous fier à la baguette du sourcier. Le Canada mesure 3 800 000 milles carrés, sans compter les 1 500 000 milles carrés du plateau continental. C'est dire que la collecte des données géoscientifiques y est loin d'être achevée (voir chapitre VII). Dans le cadre de la documentation géoscientifique fondamentale fournie par les organismes fédéraux et provinciaux, on accomplit des travaux de prospection scientifique dans un nombre nécessairement restreint de régions. Les géoscientifiques ont donc pour mission

d'indiquer celles qui offrent les meilleures possibilités à un moment donné. Ainsi il a été reconnu que les zones volcaniques archéennes sont susceptibles de contenir des gisements stratiformes de sulfures de métaux communs et il est important, pour le spécialiste de la prospection scientifique, de connaître la répartition, la lithologie, la stratigraphie, la structure et la composition chimique de ces roches volcaniques.

Il s'ensuit que, chaque année, l'industrie fournit de grandes quantités de nouvelles données dans le domaine géoscientifique. Il faut reconnaître que ces données sont en majeure partie la propriété de l'industrie. Cependant il faudrait trouver moyen de l'encourager à publier une plus grande partie de ces données où à les communiquer pour des fins de synthèses régionales (voir parties IV.5 et IV.6).

L'information scientifique

Selon notre enquête, l'industrie minière canadienne a dépensé 5 millions de dollars en 1968 en information géoscientifique, dont 4 millions représentent la part de l'industrie pétrolière (voir tableau II.16). Les organismes fédéraux et provinciaux ont dépensé 7 millions de dollars (voir tableau II.4), principalement en frais de publication de cartes et de rapports géologiques et géophysiques.

Les dépenses de l'industrie en information géoscientifique représentent 1.3 pour cent de ses dépenses totales en exploration en 1968. Sont compris dans les dépenses: les frais des bibliothèques géoscientifiques, l'achat des programmes informatiques pour traiter les données géoscientifiques et les frais de participation aux réunions scientifiques.

Quelques-unes des sociétés minières et pétrolières les plus importantes ont organisé leur propre département d'information scientifique. *L'Imperial Oil Limited* à Calgary dépense 150 000 dollars par année en ce domaine et possède un personnel de 12 employés qui exploitent un fonds bibliographique de 38 000 volumes et rapports, plus 450 revues qui parviennent régulièrement à la bibliothèque. La

création de ces départements provient: a) de ce que l'on apprécie de plus en plus l'importance de l'information et des organes d'acheminement, b) de l'accroissement du volume de l'information au sein des sociétés elles-mêmes, et c) de l'existence de nouvelles technologies d'informatique, de meilleurs appareils de reprographie, de l'amélioration des communications entre les bibliothèques, des microfilms, etc.

Le progrès des méthodes de prospection scientifique au Canada dépendra de plus en plus de notre aptitude à suivre le développement des connaissances. L'accumulation et la récupération des données au moyen d'ordinateurs permettent de faire face à la marée des connaissances. Nous espérons que l'industrie minière canadienne participera pleinement au programme national récemment institué en ce domaine (voir section IV.5).

Plusieurs sociétés ont fait savoir qu'elles étaient satisfaites de la qualité des publications géoscientifiques fédérales et provinciales. Cependant, certaines ont émis l'opinion que les organismes publics devraient accélérer la diffusion de leurs ouvrages. Les organismes publics devraient prendre note de cette recommandation et trouver des moyens de réduire les délais entre la rédaction du manuscrit et sa publication (voir section II.5).

IV.4 Prospective de la production minière canadienne

Après avoir analysé l'importance des sciences de la Terre pour la prospection scientifique au Canada, nous étudierons dans la présente section quelle serait la production minière canadienne dans 10 ou 15 ans. Ensuite nous étudierons quel serait le rythme optimal de mise en valeur des richesses minérales dans notre pays et nous déterminerons si le rythme actuel des découvertes minérales est suffisant. Ce rythme exerce lui-même une influence très importante sur l'importance future de l'activité géoscientifique au Canada.

Prévision de la production en fonctions des réserves

Quoique les réserves minérales inscrites dans les catégories «mesurées» et «indiquées» se soient beaucoup accrues au cours des dernières années, à la suite de l'accélération des travaux de prospection scientifique (voir figure IV.1), pour certains minéraux l'augmentation n'a pas été proportionnelle à l'accroissement de la production. De fait, le rapport entre les réserves et la production annuelle en 1967 était inférieur pour plusieurs minéraux à ce qu'il était vers 1955. Ainsi, quoique les réserves de cuivre mesurées et indiquées aient augmenté de près de 40 pour cent de 1956 à 1967, le rythme de croissance annuelle de la production a été si élevé que fin 1967 la durée future des réserves avait fléchi de près de 20 pour cent comparativement à 1956. Des tendances semblables et du même ordre d'importance existent pour l'or, le plomb, le zinc, le nickel et l'amiante. Cependant, la mise en valeur rapide de quelques-unes des découvertes les plus récentes comme celles de minerai de fer, de molybdène et de potasse dépassent de beaucoup les possibilités accrues des marchés et ont entraîné une forte amélioration des réserves comparativement à la production prévue.

Le tableau IV.1 illustre bien le besoin de poursuivre les programmes d'exploration et de mise en valeur. Il donne la production cumulative de certains minéraux pour la période de 1950 à 1967, ainsi que les estimations de la production cumulative pour les dix-huit années suivantes, soit de 1968 à 1985. Nos prévisions pour cette dernière période sont fondées sur une croissance annuelle semblable à celle de la période précédente. *Les estimations de réserves pour 1967, fournies comme comparaison, ne comprennent pas les réserves «supposées» ni «potentielles» et par conséquent ne constituent pas une mesure définitive des réserves canadiennes.* Cependant elles indiquent clairement qu'il faut utiliser les meilleures technologies géoscientifiques pour trouver de

Tableau IV.1—Production cumulative de divers minéraux au Canada de 1950 à 1967, en fonction des réserves mesurées et indiquées en 1967, et production anticipée pour 1968-1985

Minéraux	Production cumulative, 1950-1967	Réserves mesurées et indiquées en 1967	Production cumulative prévue, 1968-1985
Cuivre (millions de tonnes)	7	19.5	13.9
Plomb (millions de tonnes)	3.8	12.1	6
Nickel (millions de tonnes)	3.5	7.1	6
Zinc (millions de tonnes)	9.2	31.1	30
Platine (millions d'onces)	6.6	13.3 ^a	9.3
Minerai de fer (millions de tonnes)	389	33 106	1 151
Molybdène (milliers de tonnes)	40	614	425
Amiante (millions de tonnes)	20.2	1 192	31.4
Gypse (millions de tonnes)	87.2	?	137.2
Potasse (millions de tonnes de K ₂ O)	7.5	6 400	90
Soufre (millions de tonnes)	11.3	134.8	63.1
Pétrole brut (milliards de barils)	3.3	8.2 ^b	11.5
Gaz naturel (billions de pi. ³)	10.6	45.7	51
Sable et gravier (milliards de tonnes)	2.8	très importantes	5.5
Pierre (millions de tonnes)	818	très importantes	2 131

Source: Direction des ressources minérales, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Ottawa.
^a Évaluation fondée sur les réserves de nickel de 1967 et calculée selon le rapport nickel/platine de la production de 1950-1967 (le platine est un sous-produit des minerais de nickel au Canada).

^b Sans compter les énormes réserves potentielles des sables bitumineux canadiens.

nouvelles réserves et répondre à la demande prévue.

Pour plusieurs minéraux, les réserves mesurées et indiquées en 1967 sont petites comparativement aux productions prévues pour les dix-huit prochaines années. Dans le cas du cuivre, les besoins cumulatifs jusqu'en 1985 sont de 14 millions de tonnes, alors qu'en 1967 les réserves disponibles étaient de l'ordre de 19 millions de tonnes. Il faut remarquer cependant que les réserves de 1967 se sont beaucoup accrues au cours des deux dernières années à la suite d'importantes découvertes en Colombie-Britannique, en Ontario, au Manitoba et au Yukon. Les données semblables pour le plomb sont respectivement de 6 et 12 millions de tonnes, pour le nickel de 6 et 7 millions de tonnes, pour le zinc de 30 et 31 millions de tonnes, pour le pétrole brut de 11 et 8 milliards de barils et pour le gaz naturel de 51 et 46 billions (10¹²) de pieds cubes. Aucune de ces réserves n'est excessive comparativement à la demande prévue jusqu'en 1985. Si le rythme de la demande jusqu'en 1985 excédait celui enregistré de 1950 à 1967, les réserves seraient insuffisantes, surtout s'il se produisait un fléchissement dans le rythme

des découvertes, dans l'activité d'exploration, ou dans les deux à la fois.

L'uranium n'est pas compris dans le tableau parce que ce n'est seulement qu'au cours des dernières années que ce métal a commencé à jouer un rôle important comme combustible industriel. La production est passée de moins de 1 000 tonnes de concentré d'oxyde d'uranium (U₃O₈) en 1952 à 15 900 tonnes en 1959. Par la suite, à cause de besoins moindres en matière de défense, la production a baissé jusqu'à environ 4 000 tonnes d'U₃O₈ par année en 1968. On estime présentement que les réserves canadiennes raisonnablement assurées et exploitables au coût de 10 dollars la livre d'U₃O₈ ou moins sont d'environ 200 000 tonnes d'U₃O₈, soit presque 29 pour cent des réserves totales du monde libre. De plus il a été calculé¹ en se fondant sur ces réserves que *la capacité de production totale du Canada est seulement de 11 000 tonnes d'oxyde par année* et qu'une capacité de production supérieure à ce niveau devrait s'appuyer sur de nouvelles réserves assurées.

¹AEEN, *Uranium production and short term demand*, Paris, janvier 1969.

L'Agence européenne d'énergie nucléaire (AEEN) prévoit que la capacité installée d'énergie nucléaire dans les pays du monde non communiste, évaluée à 26 000 MWE pour 1970, atteindra entre 233 000 et 328 000 MWE en 1980, ce qui exigera en tout entre 492 000 et 668 000 tonnes d' U_3O_8 au cours des dix prochaines années. *Pour satisfaire cette demande le monde non communiste devra produire entre 73 000 et 106 000 tonnes d' U_3O_8 par année vers 1980.* Si on se fonde sur les prévisions moyennes de l'Agence relatives aux besoins annuels en uranium vers 1980, et si l'on tient compte de la nécessité d'accumuler des réserves au moins 8 ou 10 ans à l'avance, il devient évident qu'il faudra trouver à l'échelle mondiale de nouvelles réserves à faible coût d'exploitation d'au moins 1 000 000 de tonnes d' U_3O_8 avant 1980 si l'on veut obtenir les niveaux de production prévus pour cette époque. Quoique les besoins du Canada en combustible nucléaire paraissent petits en comparaison des besoins mondiaux, ils seront notables. Il est évident que s'il faut satisfaire ces besoins à partir de minerai canadien, et si en même temps le Canada veut maintenir son rang de principal fournisseur d'uranium, on doit encourager les programmes de prospection scientifique.

Prévisions de production en fonction des tendances passées

On peut obtenir une indication générale de l'importance qu'atteindra la production minérale canadienne vers 1985 en comparant la croissance de l'industrie minérale avec celle de notre produit national brut (PNB). De 1950 à 1967, la croissance moyenne réelle du PNB a été de 4.5 pour cent, c'est-à-dire en pondérant les chiffres pour tenir compte de l'inflation. Au cours des mêmes années le taux de croissance moyen de la valeur de la production minérale en dollars constants a été de 6 pour cent par année. Si la production minérale croît au même rythme durant les dix-huit prochaines années, sa valeur, qui atteignait 4.7 milliards de dollars en 1968, passera à 12.7 milliards en

1985. Par contre, si la valeur de la production minérale devait croître à un rythme comparable à celui de l'économie toute entière depuis 1950, c'est-à-dire 4.5 pour cent, ce qui est un taux annuel considéré par les économistes comme un but acceptable pour l'avenir¹, alors la valeur de la production minérale exprimée en dollars de 1968 atteindrait en 1985 près de 10 milliards de dollars. *Ces critères laissent bien prévoir que la valeur de la production minérale de 1985 pourrait se fixer entre 10 et 12 milliards de dollars (en dollars de 1968) ou soit 2.5 fois la valeur de celle de 1968 (4.7 milliards).* On note que l'extrapolation de la courbe «valeur de la production» à la figure IV.1 indique aussi 10 milliards de dollars pour 1985. Vu qu'il existe une assez bonne corrélation entre la valeur de la production et les dépenses en prospection scientifique (voir figure IV.1) nous pouvons calculer que selon le rythme actuel de la croissance des dépenses d'exploration, et compte tenu des difficultés prévues dans la découverte de nouvelles sources de minéraux, *les dépenses de prospection scientifique pourraient atteindre un milliard de dollars par année en 1985 (en dollars de 1968).* Naturellement, si des changements radicaux d'ordre fiscal devaient se produire, qui nuiraient au progrès normal de l'industrie minérale, un tel chiffre ne serait pas atteint.

Prévision de production en fonction des besoins mondiaux futurs

Vu que le Canada est la troisième grande source de nombreux minéraux au monde, nous pouvons penser que la demande des minéraux canadiens croîtra au même rythme que la demande mondiale. Plusieurs experts estiment qu'en 1985 le monde aura besoin d'au moins deux fois la quantité de minéraux consommés en

¹Dans son Sixième rapport annuel de septembre 1969, le Conseil économique du Canada a prévu pour 1975 un PNB de l'ordre de 100 milliards de dollars (en dollars constants de 1967), ce qui représente, si cela se produit, une moyenne d'accroissement annuel de 5.5 pour cent par rapport au PNB de 1967 (65 milliards de dollars) alors qu'on escompte un taux de croissance de 4.5 pour cent par année pour la production réelle des 21 pays de l'OCDE.

1967 et qu'en l'an 2000, lorsque la population mondiale sera probablement le double de ce qu'elle était en 1967, les besoins en minéraux auront presque quadruplé.

L'urgence d'un programme canadien de prospection scientifique, plus étendu et de plus en plus efficace, paraît évidente si l'on examine la situation de l'offre et de la demande de certains minéraux dans un contexte mondial. Le Canada fournit près de 10 pour cent de la production mondiale de cuivre. Si l'on accepte le même pourcentage pour l'an 2000 et une croissance moyenne annuelle de la demande mondiale semblable à celle qui s'est manifestée au cours des 20 dernières années, la demande que l'industrie canadienne du cuivre devrait satisfaire au cours des 30 prochaines années atteindrait près de 35 millions de tonnes. Même si l'on tient compte de l'accroissement considérable des réserves de cuivre du pays au cours des trois dernières années, le rythme moyen des découvertes des 20 dernières années ne serait pas suffisant pour assurer les réserves requises à la fin du siècle. Par conséquent, il faut accroître les travaux de prospection scientifique pour le cuivre de même que pour un certain nombre d'autres minéraux comme les métaux communs et l'uranium.

Il faut envisager la production minière canadienne en fonction de l'énorme et presque insatiable appétit des États-Unis pour les matières premières. Selon une étude¹ récente de la *National Academy of Sciences*, la consommation des minéraux aux É.-U. atteindrait 45 milliards de dollars (en dollars de 1966) en 1985 alors qu'elle était de 27.5 milliards de dollars en 1968. Une partie importante des substances minérales utilisées aux É.-U. proviendra du Canada. Ainsi, pour tirer parti de toutes les possibilités du marché, le Canada doit accroître ses découvertes de richesses minérales.

En conséquence, vu les estimations faites à la section IV.2, nous croyons que:

Conclusion IV.7

En supposant que les nouveaux régimes

fiscaux ne nuiront pas aux progrès normaux de l'industrie minière et au rythme de l'exploration, il est prévu qu'en 1985:

a) *la valeur brute de la production minière canadienne atteindra entre 10 et 12 milliards de dollars par année contre 4.7 milliards en 1968;*

b) *les dépenses d'exploration pourraient atteindre un milliard de dollars par année contre 400 millions environ en 1968; et*

c) *les effectifs géoscientifiques d'exploration minière au Canada pourraient dépasser 8 000 spécialistes contre 4 000 en 1968.*

Conclusion IV.8

Pour plusieurs minéraux canadiens importants, y compris l'uranium, l'indice de durée des réserves «mesurées» et «indiquées» en 1967 est trop faible pour la demande et la production prévues au Canada jusqu'en 1985; il faut donc poursuivre avec vigueur les programmes de prospection scientifique dans notre pays.

Le rythme optimal de mise en valeur des ressources minérales

Quoique le rapport entre les réserves minérales existantes et les besoins extrapolés jusqu'en 1985 (fondés sur les tendances passées) indique une déficience dans le cas de plusieurs minéraux, à moins que les programmes d'exploration soient de plus en plus fructueux, il reste deux questions fondamentales à étudier. D'abord quel est le rythme optimal d'exploitation de nos ressources minérales? Ensuite, est-ce que le bilan des découvertes du passé, par exemple depuis 18 ans, donne l'espoir qu'on puisse maintenir un rythme de découverte suffisant pour soutenir cette cadence optimale d'exploration? Bien entendu, on ne peut répondre à la deuxième question qu'en fonction de la première et celle-ci à son tour dépend des opinions qu'on peut avoir sur la contribution optimale de l'industrie minière aux grands objectifs nationaux. Comment, par exemple, l'industrie minière peut-elle

¹National Academy of Sciences. *Mineral Science and Technology*. 129 p., Washington D.C., 1969.

contribuer le mieux à la réalisation d'objectifs comme l'expansion régionale, le plein emploi, une croissance économique forte et soutenue, une stabilité raisonnable des prix, une saine balance des paiements et une répartition équitable de revenus accrus?

Nous croyons que l'industrie minière apportera une contribution optimale si elle croît le plus rapidement possible, tout en fournissant le meilleur rendement économique et les meilleurs avantages sociaux qui s'y rattachent. Un tel objectif entraîne non seulement la mise en valeur judicieuse des ressources mais une productivité maximale du capital et du travail. Comme les minéraux sont sans valeur s'ils ne sont exploités, l'objectif comporte aussi l'accroissement des revenus grâce à la vente de produits minéraux à l'étranger et leur utilisation pour satisfaire les besoins du pays. Naturellement cet énoncé demeure assez vague en ce sens qu'on peut difficilement le présenter en termes quantitatifs. Cependant, les grandes lignes exposées ci-dessous donneront quelque idée du rôle optimum de l'exploitation minière au Canada.

Nos ressources minérales ne se présentent pas sous forme d'un ensemble assorti mais plutôt comme un inventaire dont l'importance dépend en fin de compte des coûts et des prix. Plus l'on consacrera de moyens à l'extraction de minéraux de valeur du sous-sol, plus les réserves croîtront. Si la mise en valeur des minéraux canadiens devenait trop onéreuse, nous pourrions nous trouver éliminés des marchés mondiaux. La technologie constitue le principal facteur qui puisse prévenir cet état de chose et retarder l'épuisement de nos gisements économiquement exploitables. Il est bien connu que la technologie minière peut modifier beaucoup les possibilités de nouveaux approvisionnements et rendre des ressources, de qualité autrefois inférieure, tout au moins égales à celles de haute qualité, en fonction de ce critère essentiel: le coût unitaire de production d'un minéral donné.

Le vieux concept «d'épuisement des ressources» doit être remplacé par celui de

«possibilité d'exploiter des ressources à un certain coût». Les gîtes minéraux ont toujours été considérés comme des ressources non renouvelables et l'état de ville-fantôme, comme le sort ultime de la majorité des villes minières. Cette catastrophe sociale et cette perte économique n'est pas nécessairement inévitable; plusieurs régions productrices, capables de produire pendant plusieurs générations, pourraient être désignées comme telles mais il faudrait que le gouvernement et l'industrie s'en préoccupent de façon appropriée. Ces régions (comme Sudbury) doivent posséder un potentiel minéral important et de préférence de grosses quantités initiales de minerai à haute teneur. En règle générale, plus la teneur baisse, plus le tonnage augmente dans ces régions. Après l'épuisement des amas riches, il devient nécessaire de réaliser des économies grâce à la production à grande échelle, l'amélioration continue de la technologie, l'emploi d'une main-d'œuvre bien formée et des mesures gouvernementales qui tiennent compte des particularités de l'industrie minière et de la nature des gisements économiques. Une région minière de ce genre peut continuer à concurrencer des producteurs étrangers de minerai de meilleure qualité parce qu'une technologie avancée et l'amortissement d'importants investissements conduisent à des économies à une échelle qui permet d'exploiter de grandes quantités de minerai à très basse teneur simplement grâce à un abaissement relatif des coûts de production.

L'exploitation des gisements de cuivre de l'Arizona et des minerais de fer du Minnesota sont des réussites exemplaires de cette conception. Les réserves de taconite du Minnesota semblent presque sans limite. La technologie et des politiques fiscales judicieuses, jointes à d'importantes ressources, ont fait que ces minerais d'une teneur de 30 pour cent en fer peuvent concurrencer des minerais étrangers d'une teneur de 60 pour cent. L'Arizona a continuellement accru sa production de cuivre depuis plusieurs décennies, parce que ces minerais de cuivre de basse te-

neur ont pu concurrencer les minerais étrangers de haute teneur, grâce à des méthodes perfectionnées d'extraction et de traitement et à d'importants investissements dans les secteurs de l'extraction, de la fonte et de l'affinage, qui permettent de réaliser de grandes économies.

Des situations à peu près semblables existent au Canada. Le fer du fossé du Labrador et le nickel de la zone Thomson au Manitoba en sont des exemples. Le fer du Labrador et du Nouveau-Québec peut concurrencer des minerais étrangers de qualité supérieure parce que la région a été mise en valeur en temps opportun et que d'énormes investissements en usines et en moyens de transport ont été faits au cours des 20 dernières années. Il est très douteux que la région ferrifère de Schefferville aurait pu être mise en valeur aujourd'hui, vu la concurrence des minerais étrangers naturellement riches; on peut également douter que les autres minerais de fer du fossé du Labrador puissent aujourd'hui être mis en valeur vu la forte concurrence des riches minerais étrangers. La zone nickélique Thomson offre les conditions géologiques nécessaires à la production pendant une longue durée. Le coût des grandes usines peut être amorti grâce aux minerais de haute teneur et la production peut être alimentée par de grandes quantités de minerai à basse teneur. À l'aide de politiques gouvernementales bien conçues, d'une exploration minérale soutenue, et grâce aussi à la recherche, la région peut atteindre son plein développement et continuer à concurrencer les minerais étrangers, même si ceux-ci sont de teneur supérieure. Les grands gisements de cuivre et de cuivre-molybdène à basse teneur de la Colombie-Britannique pourraient aussi constituer une région d'exploitation minière de grande durée grâce aux économies qu'entraîne l'exploitation à très grande échelle.

Par conséquent, pour que la production atteigne son rythme maximal, elle doit se faire immédiatement sur une grande échelle, en procurant le maximum de profits nets et d'avantages pour la nation. Nos ré-

serve non exploitées peuvent devenir inutiles si d'autres produits les remplacent ou si de grands pays industrialisés mettent en place une économie surtout fondée sur l'utilisation du fer et de l'aluminium, qui sont les métaux les plus abondants dans la croûte terrestre. La prospection scientifique permet de découvrir les minéraux à valeur économique, mais les géoscientifiques doivent déterminer les régions où il est possible d'accroître les réserves de minerai grâce à des progrès technologiques et à des mesures gouvernementales bien conçues.

Au sujet des profits nets mentionnés ci-dessus, il ne faut pas oublier que les fonds nécessaires à la mise en valeur des ressources minérales ne sont disponibles que si l'investisseur, qu'il s'agisse d'une grande société internationale ou d'un individu, est convaincu qu'il n'y a pas de meilleur endroit où placer son argent. Le fait que quelques sociétés minières canadiennes se sont lancées à certains moments dans d'autres domaines d'activité industrielle illustre leur besoin de répartir les risques financiers et leur désir de tirer parti de meilleures possibilités de placement dans d'autres secteurs. De même, il y a eu un va-et-vient de fonds dans les divers secteurs de l'industrie minérale et particulièrement entre le secteur des métaux et celui du pétrole et du gaz. Si le producteur ne retire pas un profit intéressant, il ne sert pas à grand'chose de viser à une production maximale car le pays n'en retirerait que peu d'avantages, tels l'impôt sur le revenu et les gains en devises; il y aura de même diminution des bénéfices pour la société et ses actionnaires.

Dans le cas du pétrole brut, le Canada aurait pu produire à un rythme plus élevé mais il en a été empêché par le manque de débouchés dû à la concurrence internationale et aux restrictions à l'importation de pétrole par les États-Unis. L'accroissement de notre production d'uranium a été ralenti par des facteurs d'ordre international, comme les retards dans la construction des réacteurs nucléaires et l'arrêt des importations américaines d'uranium canadien. Le Canada aurait

pu produire beaucoup plus de minerai de fer et de potasse s'il y avait eu des débouchés. Les facteurs concurrentiels du marché mondial et les ententes ou contrats internationaux entre sociétés pour la production et la commercialisation ont quelque peu ralenti la croissance de notre production minérale.

Dans le cas du nickel cependant, la mise en valeur n'a pas suivi les possibilités du marché. La courbe de la production canadienne de nickel au cours des dernières années présente une croissance maximale en fonction des capacités de production. Les mises en valeur des minerais de plomb et de zinc par contre se sont maintenues plus près du taux de croissance de la demande mondiale.

La planification de travaux miniers ou pétroliers importants est déterminée tout d'abord par les perspectives à moyen et à long terme de la vente du produit minéral en question. Cependant, lorsque la décision a été prise d'exploiter un grand gisement, il peut y avoir surplus de capacité au moment où les gisements sont prêts à être exploités, si des décisions semblables ont été prises ailleurs au Canada ou dans d'autres pays. Cette situation peut se compliquer, si entre temps il s'est produit un ralentissement de l'activité économique dans les principaux pays consommateurs. Par contre, on peut enregistrer un regain inattendu d'activité de sorte que l'offre se révélera insuffisante même si de nouveaux gisements sont mis en valeur dans plusieurs pays. On prévoit que ce sera le cas de l'uranium vers le milieu ou la fin des années 1970.

Le Canada est en concurrence avec les autres pays producteurs et subit l'effet de divers facteurs d'ordre économique, technologique et politique. L'industrie et l'État, par leurs politiques et leurs décisions, peuvent modifier le coût de la production et créer ou éliminer de vastes réserves minérales. Il en est ainsi particulièrement des minerais à basse teneur, qui sont les grandes sources de métaux de l'avenir. Également importante est la concurrence des minerais étrangers sur une base commerciale normale. Ainsi les

gisements latéritiques de nickel des pays tropicaux sont en concurrence directe avec nos minerais sulfurés d'où provient tout notre nickel. Si les coûts augmentent trop au Canada, les acheteurs se tourneront en plus grand nombre vers des minerais latéritiques que nous ne possédons pas au Canada, et notre importante industrie du nickel pourra en subir le contre-coup.

Il s'ensuit qu'il nous faut connaître le mieux possible l'emplacement, l'importance et les caractéristiques physiques de nos ressources minérales afin d'éviter toute mise en valeur inutile. Dans l'intérêt national, l'industrie minérale doit continuer à prendre de l'expansion à un rythme semblable à celui des vingt dernières années. De nouvelles découvertes sont nécessaires pour assurer cette croissance et nous devons nous demander si le rythme de découvertes faites dans le passé sera suffisant, s'il est maintenu.

Le problème de la cadence des découvertes minérales au Canada

Les analyses suivantes ont été entreprises pour voir si le rythme des découvertes par le passé est suffisant.

Analyse A

L'étude¹ des 81 mines (métaux précieux, métaux communs, amiante et gypse seulement) qui sont entrées dans leur phase de production de 1958 à 1967 révèle que 53 pour cent d'entre elles étaient des gisements déjà connus et le reste de nouvelles découvertes. Si l'on considère la production totale de ces mines durant la même période, on constate que les nouveaux gisements se sont partagés 66 pour cent de la valeur de la production, surtout à cause de l'exploitation sur une grande échelle des mines à ciel ouvert, méthode qui est de plus en plus répandue.

Dans cette analyse, on a considéré que l'existence d'un gisement n'était confirmée que lorsque suffisamment de travaux avaient été effectués pour jus-

¹Source: Direction des ressources minérales. Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources.

tifier le décision de l'exploiter. De plus, pour qu'un gisement soit considéré comme nouvelle découverte, on a estimé qu'il ne devrait pas y avoir eu d'interruption importante dans les travaux préliminaires à la mise en chantier. Par contre on a classé comme «ancien gisement» celui qui avait connu une interruption de plus de dix ans entre la découverte initiale et la décision d'entreprendre l'exploitation.

En nous fondant sur cette analyse nous pouvons conclure que, même si l'industrie ne s'est pas exagérément fondée sur les anciennes découvertes minérales, le niveau d'exploration des dernières années représente le strict minimum nécessaire pour maintenir un rythme de découvertes suffisant pour satisfaire la demande actuelle et prévue de produits minéraux. Les observations suivantes étayaient cette conclusion:

1. Même si le nombre des sources possibles se maintient grâce à de nouvelles découvertes, il demeure que 53 pour cent des mines ouvertes au cours des 10 dernières années étaient des gisements déjà repérés;

2. Le rythme actuel de la production minière au Canada est le plus élevé de l'histoire de l'industrie et l'on prévoit que la production doublera au moins au cours des dix ou quinze prochaines années; même au taux actuel de production du cuivre par exemple, un gisement de l'importance de celui de Granduc en Colombie-Britannique (32 millions de tonnes d'une teneur moyenne de 1.93 pour cent en cuivre) doit être découvert tous les 18 mois si l'on veut équilibrer la production de cuivre au Canada; une augmentation de la production exigera naturellement un accroissement de la fréquence des découvertes;

3. Une forte activité de prospection scientifique est nécessaire pour maintenir la croissance de l'industrie minière (voir figure IV.1).

Analyse B

Cette seconde analyse est fondée sur une étude des découvertes remontant aux années 1920, et en particulier sur le rythme

des découvertes et l'importance de la production minière depuis 1955. Aux fins de l'analyse, les découvertes suivantes ont été exclues:

1. Les mines de fer, parce qu'à quelques exceptions près elles existent dans des formations ferrifères connues depuis longtemps et elles ont été ouvertes à la suite de besoins nouveaux dans le domaine du fer et de l'acier;

2. Les gisements stratiformes de minéraux non métalliques, comme ceux de potasse, parce que le début de leur exploitation a surtout été influencé par de nouveaux facteurs économiques;

3. Les gisements qui appartiennent à de petites exploitations marginales.

En tout, nous avons analysé 1960 mines ouvertes ou réouvertes ou dont l'exploitation devait commencer tôt au cours de la période 1955-1968. De cette analyse on a conclu que 47 pour cent de ces gisements avaient été découverts avant 1959 et près de 20 pour cent avant 1920. En ce qui concerne les gisements qui devaient commencer à produire peu après 1950, le rythme moyen de découverte a été d'environ cinq gisements de métaux non ferreux par année, comparativement à une moyenne de neuf ouvertures ou réouvertures de mines par année. *Il s'en suit que par année, sur neuf nouvelles mines, quatre se rattachaient à d'anciens gisements.* même si dans l'analyse on avait tenu compte de plusieurs nouvelles exploitations au Nouveau-Brunswick en 1952, de neuf mines d'uranium découvertes à Elliot Lake de 1953 à 1955, de trois grandes découvertes de nickel effectuées par l'INCO au Manitoba en 1956, et de trois grandes découvertes de métaux communs à Matagami en 1957.

Ainsi les résultats de ces deux analyses apportent un appui supplémentaire à notre conclusion antérieure, à savoir que parallèlement à la demande toujours croissante de produits minéraux et au besoin de repérer, à l'avenir, de nouvelles réserves en quantités suffisantes, les géoscientifiques et les ingénieurs canadiens se doivent d'améliorer continuellement la technologie de l'exploration minière et de concevoir de nouvel-

les idées et de nouveaux principes pour guider la prospection scientifique.

Les coûts d'exploration en fonction de la valeur de la production minérale

La figure IV.1 indique que les dépenses en prospection scientifique au Canada de 1950 à 1968 ont représenté environ 10 pour cent de la valeur brute de la production minérale. La courbe de croissance des coûts d'exploration indique un rapport presque exact de 10 pour cent de 1950 à 1957, un niveau constant des dépenses de 1957 à 1964, et une activité accélérée de 1964 à 1968. En d'autres mots, le palier atteint entre 1957 et 1964 est maintenant compensé par l'accroissement de l'activité en exploration depuis 1964; il en résulte que la courbe des coûts d'exploration pour les cinq dernières années se rapproche de la courbe de la valeur de la production minérale, soit de 10 pour cent.

Puisque la courbe des frais d'exploration à la figure IV.1 englobe les dépenses des non-producteurs (qui représentent 5.5 pour cent du total des dépenses de l'industrie en 1968) et celles des sociétés pétrolières et minières, nous indiquons à la figure IV.4 le rapport entre les coûts d'exploration des sociétés individuelles et la valeur de leur production minérale en 1968. L'étude embrasse 88 producteurs miniers et pétroliers qui ont participé à notre étude et dont la valeur de la production minérale en 1968 atteignait 3.2 milliards de dollars. La corrélation statistique bilogarithmique est frappante et se prête aux conclusions suivantes:

1. Les producteurs de pétrole consacrent en moyenne à l'exploration des fonds équivalant à environ 22 pour cent de la valeur brute de leur production de gaz et de pétrole, tandis que les dépenses des producteurs miniers équivalent à 3 pour cent (dans les deux cas la proportion des dépenses d'exploration comparativement aux profits nets est beaucoup plus élevée que le pourcentage indiqué); en d'autres termes, par rapport à la valeur brute de la production minérale de chaque société, les sociétés pétrolières dé-

pensent huit fois plus en travaux d'exploration que les sociétés minières;

2. On compte six sociétés minières dont la production individuelle annuelle vaut d'un à sept millions de dollars; elles ont dépensé environ 21 pour cent de l'ensemble de l'industrie minière;

3. Par contre 11 sociétés minières, dont la production individuelle vaut de 1 à 55 millions de dollars, n'ont dépensé en moyenne que 25 000 dollars par année en prospection scientifique, comparativement à 3 seulement dans le secteur du pétrole (dont la production annuelle valait d'un à cinq millions de dollars); ces sociétés «pauvres» représentaient 16 pour cent du groupe étudié.

Il est évident par conséquent qu'il y a un rapport direct entre l'ampleur de la production minérale canadienne et le niveau d'exploration nécessaire pour trouver de nouvelles sources d'approvisionnement. Dès lors, il nous faut bien conclure qu'il est indispensable d'augmenter continuellement la prospection scientifique au pays, sans quoi l'essor de l'industrie minérale serait compromis.

Répartition statistique des dépenses d'exploration minérale des sociétés pétrolières et minières

La figure IV.5 est un tracé logarithmique d'une droite de Henry des dépenses d'exploration de 123 sociétés minières et pétrolières faisant partie de notre enquête (y compris 31 non-producteurs). Dans ce graphique, la fréquence percentile cumulée des sociétés est pointée sur l'échelle de probabilité relativement aux dépenses d'exploration individuelles de ces sociétés en 1968. Voici comment lire le graphique: pour trouver le pourcentage des sociétés qui dépensent plus qu'un certain montant en exploration, il convient de choisir ce point sur la ligne de répartition de fréquence, de lire le pourcentage correspondant en ordonnée et de soustraire ce dernier de 100 pour cent. Ce graphique permet de tirer les conclusions suivantes:

1. Les dépenses d'exploration minérale en 1968 de ces 123 sociétés suivent une

Figure IV.4—Nuages de corrélation bilogarithmique des dépenses annuelles d'exploration de 88 sociétés minières et pétrolières canadiennes, en fonction de la valeur de leur production minérale en 1968 (s'élevant à un total de 3.2 milliards de dollars). Les droites en pointillé représentent les proportions des dépenses d'exploration par rapport à la valeur de la production minérale.

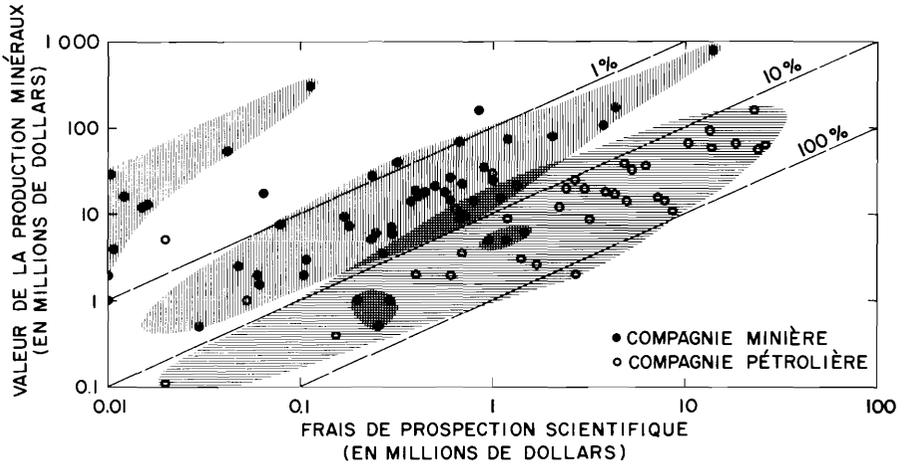
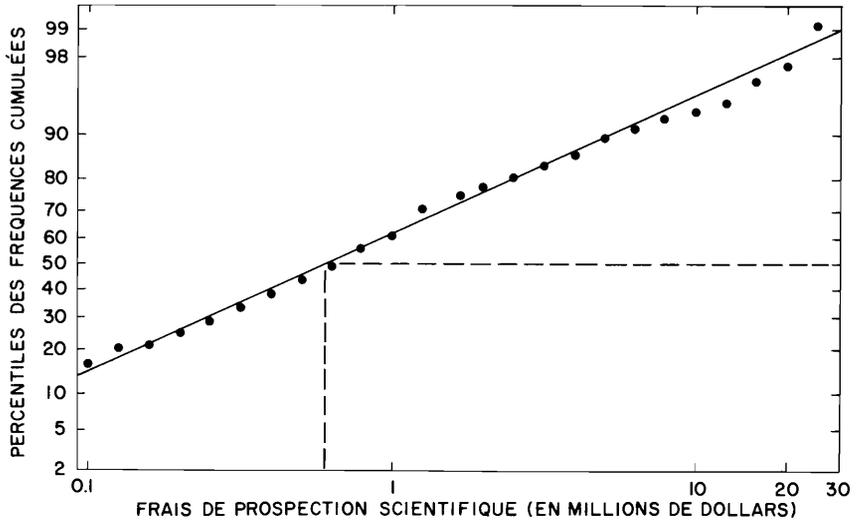


Figure IV.5—Tracé de probabilité logarithmique des dépenses d'exploration de 123 sociétés minières et pétrolières en 1968, y compris 31 sociétés non productrices.



excellente loi lognormale de répartition;

2. La moyenne probabiliste des dépenses d'exploration de ces sociétés en 1968 a été de 600 000 dollars par société;

3. Cinq pour cent de ces sociétés ont dépensé plus de 10 millions de dollars; 30 pour cent, plus d'un million; et 25 pour cent, moins de 200 000 dollars en exploration minérale en 1968.

IV.5 Les moyens d'accroître l'efficacité de l'exploration minérale au Canada

Nous étudierons dans cette section une série de mesures qui, selon nous, pourraient améliorer sensiblement les activités géoscientifiques en exploration minérale. Nous mettrons l'accent sur les déficiences actuelles et les principaux moyens de les corriger tout en visant d'autres améliorations. Notre principal souci est que l'on fasse le meilleur usage possible des installations de recherche existantes et des compétences scientifiques disponibles. Pour cette raison, nous proposons d'assurer une meilleure coordination de la recherche et d'aider plus généreusement en fonds et en personnel la recherche en exploration minérale dans les laboratoires existants.

Encouragements fiscaux pour l'industrie minérale

Il ne fait aucun doute que la politique canadienne d'encouragements fiscaux en faveur de l'industrie minérale a été très efficace, puisqu'elle a entraîné plus d'investissements dans l'exploration que dans tout autre pays au monde et que de surcroît elle a provoqué une croissance sans précédent de l'industrie minérale. Vu l'importance de cette industrie pour le développement économique, social et régional au pays (voir section IV.2) et le fait que tant de travaux géoscientifiques dépendent directement de l'activité en exploration minérale (voir le tableau II.1), nous nous inquiétons des récentes propositions de réforme fiscale¹ et des effets que ces nouvelles mesures pourraient

avoir sur le rythme de l'exploration minérale au Canada.

Dans notre mémoire² au gouvernement fédéral, nous avons préconisé ce qui suit:

1. Les dépenses antérieures à l'exploitation et consacrées à l'exploration et à la mise en valeur sont des dépenses normales encourues en vue d'un profit et nous sommes d'accord pour que le gouvernement maintienne sa réglementation fiscale à ce sujet.

2. Si l'exemption triennale d'impôts pour les nouvelles mines devrait être supprimée, le gouvernement devrait accorder un allègement fiscal pour encourager les sociétés minières à risquer leurs capitaux dans l'exploration minière; la proposition gouvernementale visant à autoriser un amortissement rapide du capital investi par la société ne lui permet que de récupérer une partie des intérêts sur les impôts ajournés; cette mesure est nettement insuffisante et le gouvernement devrait plutôt permettre aux sociétés minières d'amortir une fois et demie leurs immobilisations avant d'être imposées.

3. La proposition gouvernementale de rattacher directement la déduction pour épuisement aux dépenses d'exploration et de mise en valeur est logique et sert au mieux le pays; cependant, la déduction proposée d'une somme équivalente au tiers des frais de travaux d'exploration et de mise en valeur est nettement insuffisante et le gouvernement devrait plutôt accorder une déduction de la moitié des frais consacrés aux travaux d'exploration et de mise en valeur afin d'encourager les travaux permettant de découvrir

¹ *Propositions de réforme fiscale*, par l'hon. E.J. Benson, Ministre des Finances, Ottawa, 1969.

² *The possible effect of proposed tax reforms on mineral exploration in Canada*. Mémoire au Comité permanent des Finances, du Commerce et des Questions économiques de la Chambre des Communes, présenté par le Groupe d'études des sciences de la Terre du Conseil des sciences du Canada, 26 février 1970, photocopié 39p.

des extensions des gîtes pour en contrebalancer l'exploitation.

Encouragements à la recherche en prospection scientifique

Les données des tableaux II.13 et II.17 montrent bien la nécessité d'accroître la recherche en prospection scientifique. On y note que, de 1964 à 1968, les dépenses de prospection scientifique se sont accrues de 82 pour cent comparativement à une augmentation de 40 pour cent de la valeur brute annuelle de la production minérale. Comme nous l'avons souligné dans la section IV.4, le rythme des découvertes minérales pour plusieurs métaux importants est généralement insuffisant, compte tenu des débouchés que l'on prévoit, même si l'on a enregistré une activité accrue en prospection scientifique au cours des dernières années (voir figure IV.1).

De plus, l'élément d'incertitude en ce domaine mérite une considération spéciale du point de vue des encouragements à la recherche. Comme on l'a fait remarquer à la section IV.3, même si l'on disposait des meilleurs cerveaux et de la technologie la plus avancée, il n'est pas assuré que l'on trouverait un gisement rentable à un endroit particulier de la croûte terrestre. Le problème se présente avec toute la complexité des phénomènes géologiques, la très grande étendue du drift glaciaire qui dissimule les formations rocheuses, l'insuffisance de données pour de nombreuses régions, les dimensions du pays, la situation éloignée de plusieurs régions prometteuses, et ainsi de suite.

Il ne faudrait pas sous-estimer l'élément de risque. L'expérience canadienne démontre que parmi des milliers d'indices minéralisés, quelques-uns seulement se révèlent d'importance économique. Il faut donc répartir sur un grand nombre d'entreprises les risques que la recherche doit s'efforcer de réduire. Le simple calcul suivant illustre la nature du problème. Supposons que sur 1 000 indices examinés, 10 justifient une étude détaillée en surface; supposons aussi que chacun de ces derniers ait une chance sur 100 de de-

venir un gisement exploitable. Voici alors les probabilités de succès:

Tableau IV.2—Probabilité de succès en prospection scientifique

Résultat	Probabilité
0 gisement	9 sur 10
1 gisement	9 sur 100
2 gisements	4 sur 1 000
3 gisements	1 sur 10 000
4 gisements	2 sur 1 000 000

La recherche en prospection scientifique est donc une nécessité pratique. La question est de savoir quel genre de recherche et combien de travaux il faut faire. On peut trouver la réponse à la première partie de la question à la section 5 du présent chapitre tandis que la réponse à la deuxième partie, dans une certaine mesure, doit être fournie par l'industrie. On peut penser que l'industrie sait mieux que quiconque quelles recherches il faudrait entreprendre et qu'elle considère le niveau actuel de la recherche industrielle en ce domaine (5 millions de dollars dans l'industrie pétrolière et 2 millions dans l'industrie minière en 1968) comme suffisant pour le moment. Cependant, plusieurs sociétés minières et pétrolières, en réponse à nos questionnaires, ont indiqué que l'industrie ne faisait pas suffisamment de recherche en prospection scientifique et qu'il ne s'en faisait pas assez au Canada. Dans les universités et au sein des organismes publics, on s'accorde à dire que l'industrie ne fait pas suffisamment de recherche, à l'exception de quelques grandes sociétés (cependant la majeure partie de la recherche effectuée pour les grandes sociétés pétrolières se fait hors du Canada, soit environ 18 millions de dollars par année en recherche sur des problèmes canadiens, comparativement à 5 millions dépensés au Canada). La difficulté est donc de trouver le moyen d'encourager l'industrie à faire plus de recherche en prospection scientifique. Une solution partielle se trouve dans les programmes gouvernementaux d'encouragement à la recherche industrielle.

Les principaux programmes en ce domaine sont la Loi sur les encouragements à la recherche et au développement industriel (IRDIA), le programme pour l'avancement de la technologie industrielle (PAIT) du Ministère de l'Industrie et du Commerce, et le Programme d'aide à la recherche industrielle (IRAP) du Conseil national de recherches. Les deux premiers sont essentiellement conçus pour encourager la recherche et le développement dans l'industrie manufacturière et ne sont pas adaptés aux industries qui s'occupent des ressources primaires comme de prospection scientifique, sauf en ce qui concerne la mise au point d'instruments d'exploration comme les appareils de géophysique. Par contre, le Conseil national de recherches n'offre pas d'aide à la mise au point d'instruments et se préoccupe exclusivement de contribuer à la rémunération du personnel supplémentaire de recherche et de développement requis pour entreprendre des recherches qui ont reçu son approbation.

Le programme PAIT est spécialement conçu pour améliorer la productivité dans les industries manufacturières et s'applique à des études spécifiques ayant un but précis. Environ 7 ou 8 millions de dollars sont dépensés annuellement à ce chapitre. Excepté une aide occasionnelle accordée à quelques sociétés qui fabriquent des instruments de géophysique, le programme PAIT ne s'applique pas aux firmes de prospection scientifique.

Le programme IRDIA encourage un peu plus utilement que le programme PAIT la recherche géoscientifique, mais son application est très restreinte car, ainsi qu'il est stipulé dans la loi, il «exclut les travaux qui se rattachent à . . . (vii) la prospection, l'exploration ou le forage en vue de la production de minéraux, de pétrole ou de gaz naturel». L'aide en vertu de ce programme consiste en une exemption d'impôt de 25 pour cent qui porte exclusivement sur les dépenses de recherche (recherche définie selon la loi de l'IRDIA et non selon nos propres termes: voir chapitre I du présent rapport) excédant la moyenne des cinq années précé-

dentes. Même pour les travaux approuvés, cette loi encourage seulement les sociétés pétrolières et minières soit à poursuivre continuellement l'expansion de leurs propres installations de recherche dans le pays, soit à transférer leurs travaux de recherche à des laboratoires situés dans d'autres pays où les conditions sont plus avantageuses. Quoique la loi actuelle serve admirablement bien l'expansion de la recherche manufacturière (35 millions de dollars sont ainsi dépensés annuellement) elle n'apporte aucune aide à la recherche en prospection scientifique. En conséquence nous sommes d'avis que:

Conclusion IV.9

Pour encourager l'industrie minière à établir des installations de recherche au Canada et à accroître son niveau de recherche en prospection scientifique, il faudrait songer à accorder des exemptions d'impôt qui seraient calculées sur le budget annuel des recherches effectuées au Canada.

Toujours au sujet des encouragements à la recherche industrielle, il ne faudrait pas oublier notre conclusion au chapitre I relative à une révision des définitions de la recherche et du développement géoscientifiques, afin qu'elles puissent mieux s'appliquer à la prospection scientifique.

Nous reconnaissons que le secret professionnel et les droits de propriété des sociétés minières et pétrolières posent un problème fondamental. Ce dernier est presque insurmontable dans un système de libre entreprise et il faut reconnaître que d'énormes quantités de données géoscientifiques recueillies au Canada n'atteignent jamais le public. Cette situation occasionne des répétitions d'efforts en recherche et en travaux d'exploration coûteux, ce qui fait croître le coût unitaire des découvertes minérales. Le gouvernement et l'industrie doivent par conséquent chercher une solution pratique à cet important problème. *Une solution partielle consiste à encourager l'industrie à entreprendre des recherches dans des do-*

maines qui l'intéressent particulièrement et pour lesquelles elle possède des capacités spéciales, et à en publier les résultats essentiels.

Instituts de recherche en prospection scientifique

Pour revenir à l'idée de «centres de spécialisation» exposée dans la section III.12, nous recommandons que deux centres de spécialisation en recherche sur la prospection scientifique soient fondés au Canada, l'un dans l'Est et l'autre dans l'Ouest. Voici les raisons de cette recommandation:

1. La prospection scientifique est une activité typiquement canadienne inégalée dans le monde; c'est un domaine dans lequel le Canada possède de nombreux avantages naturels (voir la section III.3), qui en plus est un important facteur de développement régional (grâce à la découverte de gisements et la mise en chantier de nouvelles mines dans des régions éloignées ou économiquement pauvres) et un élément essentiel du développement économique du Nord canadien (conjointement avec l'exploration pétrolière).

2. La recherche pluridisciplinaire en prospection scientifique est très efficace, à la fois en ce qui concerne les innovations (élaboration de meilleurs instruments de prospection scientifique) et le rythme de découverte de nouveaux gisements (voir la section IV.3).

3. Le niveau de la recherche en ce domaine est relativement faible (voir la section IV.3) dans l'industrie (voir tableau II.2), dans les universités (voir la section IV.6) et dans les organismes publics (voir tableau II.2).

4. Il n'existe pas actuellement dans les universités canadiennes de département de premier plan qui s'occupe de l'ensemble des aspects de la prospection scientifique (géologie économique, géophysique minière, prospection géochimique, statistique, technologie des ordinateurs et recherche opérationnelle). Les moyens actuels des universités en ce domaine sont non seulement limités mais aussi très éparpillés. Pas une université canadienne

n'approche du degré d'excellence en ce domaine de certaines écoles de géologie appliquée américaines ou anglaises.

5. Comme l'a déclaré un directeur de la *Prospectors and Developers Association of Canada*: «il semble étrange que dans un pays comme l'Angleterre, particulièrement démuné de minéraux métalliques, il soit possible pour une société minière d'obtenir la collaboration des universités pour des projets de recherche qui concernent directement ses problèmes... Malheureusement, nos universités canadiennes semblent vouloir renoncer aux programmes d'enseignement en génie minier, en géologie et en géophysique, pour s'en tenir seulement à l'aspect purement scientifique». Même si cette déclaration d'un spécialiste canadien bien connu en géologie économique est exagérée, le fait demeure que les firmes de prospection scientifique ne savent à quelle université s'adresser pour faire exécuter leurs travaux de recherche en prospection scientifique ou obtenir la solution de leurs problèmes. Il n'est donc pas surprenant d'entendre ce secteur déplorer que les universités canadiennes se concentrent trop sur la recherche pure en sciences de la Terre. Il ne met pas en doute le besoin de faire beaucoup de recherche fondamentale en ce domaine dans les universités, mais il déplore l'insuffisance des recherches universitaires dans des domaines qui se rattachent directement à la prospection scientifique.

6. Notre groupe d'étude a reçu jusqu'à huit exposés qui recommandent l'accroissement de la recherche en prospection scientifique et l'établissement de divers genres d'instituts de recherche en prospection scientifique (voir Annexe 3),

7. Nous pensons que la recherche en prospection scientifique exigera de plus en plus d'argent et d'effectifs et il est douteux que des sociétés ou des bureaux de consultants entreprennent de nouveaux travaux importants, de leur propre initiative et en dépensant leur propre argent, sauf dans le cas de quelques grandes sociétés minières.

8. La majeure partie de la recherche

industrielle sur les nouvelles méthodes d'exploration est trop souvent entourée de secret, ce qui conduit à un certain gaspillage des efforts.

9. Toute nouvelle technique utilisée pour la découverte des mines sera au même titre profitable à toutes les sociétés, améliorant ainsi leur position sur le plan mondial quant aux découvertes et à la production.

10. Il existe vraiment un besoin d'établir au Canada des centres de spécialisation qui pourraient offrir des services de qualité dans le domaine de la prospection scientifique. Si ces centres ne sont pas établis, des sommes de plus en plus considérables consacrées à la recherche seront transférées à l'étranger et la compétence canadienne s'amointrira.

Quoique la liste de ces objectifs ne soit pas exhaustive, nous recommandons que les centres de spécialisation en recherche sur la prospection scientifique soient fondés en tenant compte des principes directeurs suivants:

1. Le ou les centres de spécialisation doivent être établis sur les terrains d'une université ou à proximité afin qu'ils puissent dispenser ou mieux une formation scientifique et utiliser au maximum les installations de recherche de l'université, y compris les bibliothèques et les grands ordinateurs.

2. Au cours de ses premières années d'existence, le centre devrait fonctionner surtout à l'aide des installations existantes. En d'autres termes, le centre doit être constitué de scientifiques plutôt que de locaux. Lorsque le centre aura démontré son utilité et que ses scientifiques auront prouvé qu'ils peuvent résoudre des problèmes pratiques, on pourra construire un édifice pour abriter personnel et équipement et ajouter à son prestige. Si le centre faillit à sa tâche, les dispositions originales prendront fin après une période d'essai de cinq années au moins.

3. Le centre doit fonctionner sur une base de collaboration avec engagement ferme de la part de l'université locale, du gouvernement provincial en cause, du gouvernement fédéral et de l'industrie

minière. Ainsi l'université concernée devrait fournir les services d'ordinateur à un prix minime.

4. La demande d'établissement d'un centre devrait venir du groupe universitaire intéressé et être appuyée des documents nécessaires, apportant notamment la preuve que les sociétés minières et le ministère provincial des Mines lui accordent leur appui.

5. Il devrait exister deux centres de ce genre, l'un dans l'Est et l'autre dans l'Ouest.

6. On propose que chaque centre soit entièrement autonome, constitué en société privée à but non lucratif, et financé conjointement par le gouvernement et par l'industrie.

7. En plus de se livrer à des travaux de recherche pour le compte du Comité national de recherche minéralière (voir la section II.5), *chaque centre pourrait entreprendre des recherches sous contrat pour des organismes publics, des sociétés minières et pétrolières et des bureaux de consultants.*

8. Le personnel de chaque centre serait composé de membres nommés par le Conseil d'administration, de chercheurs associés (nommés par le Directeur du centre), de techniciens et d'employés. Les membres seraient nommés pour une période de six mois à un an (avec possibilité de reconduction de leur nomination). Les chercheurs associés normalement travailleraient au centre durant des périodes relativement courtes pour entreprendre des recherches de leur choix en prospection scientifique; leurs traitements seraient payés en partie ou en totalité par leurs employeurs habituels ou au moyen de bourses de recherche.

9. On prévoit qu'un institut de ce genre comporterait un personnel de 15 scientifiques (y compris six professeurs à mi-temps) et dix-neuf employés auxiliaires.

10. Le budget annuel de l'institut serait de l'ordre de 600 000 dollars (y compris le loyer des locaux).

11. Durant les trois premières années d'existence, l'institut serait financé comme suit: 250 000 dollars proviendraient

du gouvernement fédéral, 50 000 du ministère provincial des Mines et 300 000 de l'industrie minière.

12. Par la suite, le financement serait calculé en fonction des revenus escomptés grâce à la recherche sous contrat; les revenus des contrats menés à bien au cours des trois premières années d'existence seraient utilisés comme réserve.

13. Voici les principales fonctions d'un tel institut:

a) Entreprendre des recherches destinées à améliorer l'efficacité des méthodes de prospection scientifique;

b) faire l'essai de nouveaux instruments et de nouvelles techniques en prospection scientifique;

c) améliorer les méthodes d'estimation des réserves de minerai;

d) recueillir les données sur les découvertes de gisements minéraux canadiens;

e) diffuser les renseignements touchant à la prospection scientifique et la métallurgie;

f) organiser de temps à autre des réunions et des séances d'études sur le sujet de la prospection scientifique;

g) collaborer avec l'Agence canadienne de développement international à des programmes d'aide technique pour les pays en voie de développement.

En conséquence nous recommandons:

Conclusion IV.10

On devrait fonder des centres de spécialisation en recherche sur la prospection scientifique, l'un dans l'Est et l'autre dans l'Ouest du pays, avec la collaboration étroite de l'industrie, du gouvernement et de quelques universités.

Orientation et coordination de la recherche en prospection scientifique

Comme on l'a bien mentionné au chapitre II du présent rapport, il faudrait créer un Comité qui se chargerait d'orienter et de coordonner les principaux aspects de la recherche minière au Canada.

L'une des principales fonctions de ce Comité serait de promouvoir la recherche en exploration minière et pétrolière et de s'en servir pour accentuer le développe-

ment économique du pays. Nous pensons que cet organe de délibérations à l'échelon national pourrait faire beaucoup pour rétablir l'équilibre entre la recherche pure et la recherche appliquée dans les universités, procurant des subventions importantes à la recherche concernant la prospection scientifique. Les chercheurs employés par l'industrie pourraient aussi recevoir des subventions afin qu'on puisse tirer parti de leurs compétences spéciales et des installations de recherche dans l'industrie et trouver ainsi des solutions à d'importants problèmes pratiques, tout en encourageant la publication de leurs données géoscientifiques qui autrement dormiraient dans les dossiers.

Le Comité national que l'on propose pourrait aussi se préoccuper de coordonner, dans la mesure requise, les travaux de recherche géoscientifique effectués dans les secteurs universitaire, public et industriel. Une autre fonction importante du Comité serait d'indiquer à tous les secteurs les principaux domaines méritant des recherches en prospection scientifique, comme ceux dont il est question ci-dessous.

Les principaux objectifs de la recherche géoscientifique dans le domaine de la prospection scientifique.

Les objectifs de recherche suivants sont fondés sur nos réflexions et sur l'opinion des auteurs qui nous ont soumis des études et des exposés. Ils sont rassemblés ci-dessous selon qu'ils se rattachent à la géologie, à la géophysique, à la géochimie ou à d'autres disciplines. Il faut bien comprendre que les sujets ne sont pas exposés par ordre d'importance.

L'efficacité de la prospection scientifique est une affaire de stratégie, d'argent, de personnel, de tactiques et de jugement. Les objectifs de la recherche énumérés ci-dessous visent surtout à améliorer l'élément stratégique.

Géologie

En ce qui concerne la prospection scientifique pour les minéraux métalliques et

non métalliques (combustibles minéraux non inclus), voici les objectifs de recherche qui paraissent les plus appropriés:

1. Il faut avant tout obtenir de *meilleures connaissances sur les caractéristiques de répartition des gîtes minéraux dans le temps et dans l'espace* en fonction de leur milieu géologique entier. Ainsi les gisements de sulfures massifs que l'on trouve dans les roches volcaniques doivent être étudiés en fonction de la géochronologie, de la stratigraphie, de la structure, de la lithologie, de la pétrologie et de la géochimie des laves où ils reposent. Il s'ensuit que les relations ainsi observées sur le terrain constituent un élément essentiel de cette recherche.

2. Il importe aussi d'obtenir une bonne connaissance physico-chimique des constituants des gîtes minéraux, afin de pouvoir mieux interpréter les relations observées sur le terrain et jeter plus de lumière sur la genèse de ces systèmes chimiques. Vu la somme importante de recherches de ce genre faites aux États-Unis et accessibles aux Canadiens, et vu le coût relativement élevé et le degré de complexité de ces recherches, il serait sage de n'encourager ce genre de recherche que dans quelques centres universitaires.

3. Il faudrait établir un *programme accéléré de datation des minéralisations et des roches associées* afin de perfectionner l'interprétation métallogénique et d'améliorer la stratégie de l'exploration.

4. Un programme complet de recherche devrait être entrepris pour *déterminer les caractéristiques physiques et chimiques d'un grand nombre de roches et de minéraux canadiens* afin de guider l'interprétation des données géophysiques et géochimiques.

5. Nous devrions *poursuivre les études structurales des gîtes minéraux et des roches encaissantes*, en particulier ceux qui ont subi plus d'une période de plissement, afin de pouvoir trouver des gisements à des profondeurs qui ne peuvent pas être atteintes par les méthodes géophysiques actuelles.

6. Vu que les dépôts glaciaires sont très répandus au Canada, la recherche

sur *la répartition, la minéralogie et la géochimie des dépôts glaciaires* devrait être plus poussée afin d'améliorer les techniques de prospection scientifique.

7. Nous pensons que les organismes publics et l'industrie devraient réaliser conjointement un plus grand nombre de forages en vue de délimiter d'importants accidents géologiques qui pourraient fournir de nouvelles bases à l'exploration en profondeur.

8. On devrait entreprendre des *recherches géologiques sur les gisements en exploitation* afin d'obtenir de meilleurs renseignements sur les propriétés de ces gisements et de leurs environs, et d'en déchiffrer l'origine.

9. La *recherche métallogénique* au Canada devrait prendre de l'expansion et être fondée:

a) sur une compilation systématique et une évaluation détaillée de toutes les données recueillies par les organismes publics, les universités et l'industrie sur les districts miniers et d'autres régions prometteuses;

b) sur des études globales comme celles de la dérive des continents, de la structure continentale, des zones métamorphiques, et de l'évolution fondamentale des provinces géologiques du Canada;

c) sur de nouvelles connaissances de l'anatomie et de l'évolution des géosynclinaux.

10. *Les recherches sur de nouvelles méthodes de cartographie géologique de vastes régions, y compris la télédétection*, doivent être fortement encouragées afin d'accélérer la cartographie géologique de tout le pays et fournir ainsi un fondement aux futurs travaux de prospection scientifique.

Les principaux objectifs de la recherche géologique en exploration pétrolière et gazière au Canada ont déjà été exposés à la section 3 du présent chapitre, où il était question de l'importance de la recherche en exploration pétrolière. Ces objectifs et d'autres peuvent être résumés comme suit:

1. On a besoin de beaucoup de recher-

ches supplémentaires sur l'écologie détaillée des carbonates bioclastiques et des milieux récifaux en portant une attention accrue à leur morphologie interne et aux étapes de leur croissance.

2. Il faudrait accroître la recherche sur la mécanique de la sédimentation et la configuration des ensembles argilo-sableux, surtout à la suite des découvertes de Prudhoe Bay-Sag River en Alaska et des travaux d'exploration dans le delta du Mackenzie, dans le bassin Sverdrup et sur les îles Reine-Elisabeth.

3. Il est nécessaire d'effectuer d'autres travaux de recherche sur *L'identification typologique des sables dispersés*. La reconnaissance rapide des genres de masses de sable (grève, barre, chenal, couche, etc.) et de leur configuration probable par rapport à celle des bassins est importante pour déterminer les directions préférentielles des roches sous-jacentes.

4. Il faudrait se préoccuper plus en profondeur de l'analyse des paléostructures puisque leur influence sur les caractéristiques subséquentes de la sédimentation est souvent déterminante, même dans le cas d'une infime modification aux conditions structurales.

5. La croûte terrestre est un milieu dynamique, une enveloppe mobile dont les pulsations et les fragmentations dépendent en grande partie des forces sous-corticales. La structure du socle cristallin et les phénomènes géophysiques en profondeur révèlent plusieurs aspects relatifs à la sédimentation phanérozoïque et à la géologie du pétrole. *L'accent que l'on met actuellement sur la dérive des continents et sur l'extension des fonds océaniques n'est qu'un aspect d'une série d'études importantes pour le spécialiste en stratigraphie économique.*

6. *La mise au point d'un système sûr de datation absolue ou relative s'appuyant sur des paramètres géochimiques ou radioactifs variant chronologiquement procurerait une aide énorme à l'étude des faciès du profil sédimentaire, de concert avec les déterminations paléontologiques et palynologiques.*

7. *Les problèmes de diagénèse en géné-*

ral, et de dolimitisation et de silicification en particulier, devraient recevoir une attention accrue à cause de l'influence de ces phénomènes sur la nature des réservoirs de pétrole.

8. *Le champ complet des évaporites mérite une attention spéciale en ce qui a trait à la fois au pétrole et aux minéraux non métalliques comme la potasse, le sel, etc. Plusieurs géologues de longue expérience diront que tel massif de sels minéraux s'est formé en eau profonde, alors que d'autres experts invoqueront plutôt un milieu peu profond. Lorsqu'un problème aussi fondamental que celui-là au sujet des évaporites demeure sujet à discussion, c'est qu'évidemment il y a encore beaucoup de recherches à effectuer en ce domaine.*

9. L'expansion récente de l'exploration au large des côtes canadiennes attirera l'attention sur *la structure et la stratigraphie des plates-formes continentales*. Si l'on accepte la version moderne de la théorie de la dérive des continents, une partie de la réponse aux problèmes locaux que présentent les plates-formes pourrait bien se trouver à des milliers de milles, de l'autre côté de l'Atlantique. Des études géophysiques et un programme de forage en profondeur au large des côtes en des endroits choisis (comme celui du *Joint Oceanographic Institutes Deep Earth Sampling*) pourraient fournir des réponses.

10. On connaît peu de chose encore des roches-mères, quoiqu'on fasse beaucoup de suppositions. *Le domaine complet des roches-mères, des eaux de formation, de l'hydrodynamique, de la migration du pétrole et de sa géochimie offre de merveilleuses possibilités de recherche.*

11. Les tendances prévisibles de la recherche directement ou indirectement reliée aux problèmes stratigraphiques sont très nombreuses. *C'est dans le domaine du traitement par ordinateur que l'on peut prévoir les progrès les plus importants. Ce domaine va de l'entreposage et de l'accès jusqu'au traitement régulier de grandes quantités de données et aux analyses complexes de facteurs à plusieurs variables.*

12. Les futurs travaux de recherche en paléontologie devraient être orientés vers des études taxonomiques systématiques à l'aide des concepts modernes sur la statistique des populations, destinées à fournir une identification taxonomique sûre aux fins d'exploration pétrolière.

13. Les analyses cinématiques des modes de développement des structures géologiques et de leur évolution durant tout le Phanérozoïque devraient être activement poursuivies afin de trouver l'explication des migrations des hydrocarbures vers les pièges structuraux et hors de ceux-ci, et de définir les effets des structures sur la sédimentation qui s'ensuit.

La prospection géophysique

Quoique plus coûteux que la recherche géologique, les travaux de prospection géophysique sont appelés à jouer un rôle très important dans les années à venir. Nous pensons¹ que les principaux objectifs de la recherche canadienne en prospection géophysique doivent comporter:

1. Les levés géophysiques d'orientation ou l'étude des indications géophysiques que fournissent des gisements connus, afin de pouvoir différencier les anomalies géophysiques et ainsi améliorer les méthodes d'interprétation.

2. Les méthodes de différenciation géophysique entre les conducteurs graphiques et les minéralisations sulfurées.

3. L'étude des effets topographiques et morainiques sur les méthodes électriques.

4. La recherche sur les causes des phénomènes de polarisation provoquée (PP) et sur l'amélioration des techniques permettant la détection par PP d'amas contenant moins d'un pour cent de sulfures disséminés.

5. La recherche sur la détection géophysique des sulfures économiques pour les distinguer des sulfures stériles.

6. La recherche sur les méthodes magnétiques à très grande sensibilité applicable à la cartographie des sols et des roches sédimentaires faiblement magnétiques.

7. La recherche sur les causes des propriétés conductrices et magnétiques des mi-

nerais et des roches.

8. Les améliorations et innovations en instruments de géophysique minière, en méthodologie et en automatisation des diagraphies instrumentales des trous de forage, par exemple la géophysique nucléaire (pratiquée en URSS et en Pologne), les compteurs-enregistreurs de susceptibilité magnétique, les méthodes des ondes de radio fictives, etc.

9. La mise au point d'instruments de géophysique pour la mesure rapide et précise des diverses propriétés physiques des carottes de forage.

10. La mise au point de nouveaux instruments de géophysique pour la recherche de minerai à des profondeurs de 500 pieds ou plus et offrant la même fiabilité que les techniques de prospection à faible profondeur.

11. La recherche sur les signatures diagraphiques propres aux divers genres de roches généralement présentes dans les districts miniers.

12. Les études sur l'utilité géologique des levés à très basse fréquence.

13. Les études sur l'utilité des satellites d'inventaire des ressources et les études paramétriques de vérification au sol.

14. Les études sur les applications de la télédétection à la cartographie des structures des roches (plis, failles, etc.) et de la répartition des oligo-éléments (p. ex. la délimitation des provinces uranifères du Canada).

15. Les études géologiques sur le terrain constituant la suite aux levés aéromagnétiques, gravimétriques et sismiques régionaux effectués par les organismes publics.

16. La recherche sur l'utilisation des levés aérogéophysiques pour obtenir une interprétation sûre de la géologie à des profondeurs de 2 000 pieds et plus.

17. La mise au point d'instruments radiométriques améliorés.

18. La recherche pour évaluer les sources d'énergie sismique et pour déterminer

¹La plupart de ces objectifs ont été reconnus par le sous-comité de la prospection géophysique du Comité associé de géodésie et de géophysique du Conseil national de recherches, comme par d'autres groupes de géophysiciens canadiens.

leur utilisation la plus efficace.

19. La recherche pour *améliorer les conditions de réception de l'énergie sismique*, y compris l'efficacité des géophones pour l'annulation des bruits, les géophones télécommandés et l'enregistrement à haute fréquence.

20. La recherche sur *le traitement en numérique* pour améliorer les procédés de traitement des données.

21. L'étude des problèmes de *mesure précise des paramètres des couches à vitesse de transmission variable, situées près de la surface*. Ces couches causent des difficultés pour l'établissement de cartes structurales sismiques précises.

22. La recherche concernant l'effet des changements de densité, de porosité et de lithologie en profondeur sur l'énergie sismique réfléchie.

La prospection géochimique

En plus des principaux problèmes exposés à la section IV.3, la recherche en géochimie au Canada devrait comprendre les objectifs suivants:

1. Les *levés géochimiques d'orientation* ou l'étude de la répartition des métaux dans la roche en place et les morts-terrains aux environs de gisements connus.

2. La *délimitation par la géochimie de petites zones dans des régions favorables où les chances de découvertes seraient les meilleures*.

3. La *mise au point de méthodes instrumentales d'analyse chimique continue* sur place dans les trous de forage ou sur les affleurements.

4. La *mise au point de méthodes d'analyse chimique rapide des débris des sondages non carottés*.

5. Les études pour *déterminer à quelle profondeur les indices métalliques libérés depuis la glaciation peuvent pénétrer dans une couche de till*.

6. Les études sur la *répartition des divers métaux dans les divers genres de sol*, en mettant l'accent sur la répartition des sols établis par l'Inventaire des terres du Canada.

7. La recherche sur *les caractéristiques des oligo-éléments des sulfures ferrifères*

des gîtes économiques pour les différencier de ceux qui appartiennent aux zones stériles.

8. Croissance de la recherche sur *les possibilités d'application de la technique du halo mercurique*.

9. Les études géochimiques destinées à *trouver des minéralisations d'or natif*.

10. La recherche sur *la géochimie des halogènes comme outil d'exploration*.

11. *La recherche additionnelle en géochimie organique* pour mieux comprendre les transformations chimiques et chromatographiques que cause la migration du pétrole à travers divers genres de roches, et ce qui est très important, les facteurs qui déterminent l'efficacité de la migration et de l'accumulation primaires du pétrole.

12. *Les études en géochimie inorganique* afin de parvenir à une meilleure compréhension des phénomènes diagénétiques qui influent sur les réservoirs. Il faut accroître notre connaissance de l'interaction entre les composants organiques et inorganiques comme les argiles, les saumures, le soufre, l'uranium.

La recherche dans les domaines connexes

Les autres objectifs de la recherche concernant spécialement la prospection scientifique comprennent:

1. *Les études mathématiques sur la répartition spatiale des teneurs dans les gîtes minéraux* pour améliorer l'évaluation des réserves de minerai et fournir des paramètres mathématiques d'importance métallogénique. Trop souvent, on a cru à tort que la répartition des indices métalliques dans ces gisements obéissait à la loi des variables aléatoires alors qu'en fait la statistique ordinaire ne s'applique pas à ces phénomènes, à moins d'utiliser des artifices mathématiques. Il faudrait entreprendre plus d'études au Canada sur les techniques de krigeage mises au point et appliquées avec succès en Afrique du Sud.

2. En se fondant sur ce qui a été dit ci-dessus, il faudrait *chercher à améliorer la corrélation entre les teneurs des sondages voisins et mettre au point les meilleurs plans de forage possibles*.

3. On devrait faire de plus nombreuses recherches au Canada sur les *modèles mathématiques pour guider la prospection scientifique régionale*.

4. Une voie prometteuse est l'*application de la recherche opérationnelle aux programmes de prospection scientifique*; on prendrait en considération les coûts et les possibilités d'application respectives des diverses méthodes aux conditions naturelles en se fondant largement sur le déroulement de découvertes antérieures. Avec l'utilisation des ordinateurs et à l'aide de bonnes données de base pour commencer, il devrait être possible d'optimiser les efforts de prospection scientifique à un niveau sans précédent au Canada.

5. Il n'y a guère de doute que notre capacité future à trouver des gîtes minéraux et des champs de pétrole dépendra largement de l'utilisation des techniques de *traitement électronique des données* consistant à stocker et à chercher rapidement l'information requise et à traiter efficacement un grand nombre de variables afin de mettre en évidence les caractères anormaux et d'améliorer l'interprétation des levés. Les ordinateurs serviront de plus en plus à résoudre des problèmes complexes comme:

a) l'adaptation de surfaces mathématiques rigoureuses à des données structurales;

b) l'analyse de Fourier des données structurales, combinée à divers traitements d'écran, pour identifier certaines structures peu apparentes et les distinguer du « grain » régional;

c) l'élaboration de modèles de structures hypothétiques grâce à des ordinateurs afin d'établir une comparaison avec des structures reconnues sur le terrain;

d) la mise au point de méthodes informatiques d'analyse statistique des données structurales pour déterminer la nature d'éléments structuraux importants;

e) la détermination par ordinateur de la minéralogie en se fondant sur les caractéristiques chimiques et physiques obtenues par diagraphie géophysique des puits;

f) la mise au point de modèles pour

rattacher directement les diverses diagraphies converties en numérique à la lithologie et autres éléments des réservoirs prometteurs;

g) des techniques améliorées de conversion en numérique et d'interprétation des données aérogéophysiques, etc.

6. L'économie des minéraux est un important sujet de recherche étroitement lié à la prospection scientifique. Le besoin se fait de plus en plus sentir de faire des recherches dans les domaines interdépendants des ressources, de la technique, de l'économie et de la politique pour parvenir aux meilleures politiques possibles dans le domaine de l'exploration et de la mise en valeur de nos richesses minérales et pour aider aussi les pays en voie de développement (voir section VIII.9). Cette recherche par exemple pourrait se fixer les objectifs suivants:

a) des études sur l'économie de la mise en valeur des minéraux dans nos régions nordiques;

b) une évaluation détaillée de l'importance de l'essor minier et pétrolier pour la correction des disparités économiques régionales et pour la croissance économique;

c) des études sur les réseaux de transport comme élément indispensable à l'essor minier et pétrolier;

d) des relevés systématiques des facteurs qui ont conduit à de nouvelles découvertes;

e) en s'appuyant sur des critères économiques, dont la mise sur le marché, des études sur les mesures qui assureraient les meilleures conditions de l'essor minier et pétrolier, comme la découverte de produits minéraux présentement très recherchés ou qui le seront à l'avenir;

f) l'évaluation continue de l'influence qu'exercent les mesures fiscales d'encouragement à l'industrie minérale sur l'essor minier et pétrolier;

g) des études continues sur les facteurs qui influencent la situation du Canada sur le marché international des minéraux;

h) des études sur l'exploitation optimale de nos richesses minérales;

i) des études continues sur le rythme des nouvelles découvertes en fonction des coûts croissants d'exploitation, de l'importance de la demande prévue pour les produits minéraux, etc.;

j) les effets sur l'essor minier et pétrolier de l'évolution des prix, des progrès technologiques en exploitation minière, en traitement minéralurgique, en métallurgie, etc.;

k) l'assistance technique aux pays du Tiers-Monde.

Améliorations à la technologie des forages d'exploration

Vu qu'on dépense actuellement 172 millions de dollars en frais de forages d'exploration au Canada (voir tableau II.16), qu'il devient de plus en plus difficile de trouver des gîtes (voir section IV.4), qu'il faut explorer de façon plus active (section IV.4) et à de plus grandes profondeurs, il ne fait pas de doute que l'amélioration de la prospection minérale au Canada exige de meilleures techniques de forage.

Il est assez anachronique que l'âge de la technologie spatiale n'ait pas apporté de révolution dans la technologie du forage d'exploration comparable disons, à l'invention du trépan tricône ou à la mise au point des boues de forage réalisées il y a plusieurs années. Quoique l'on ait enregistré des progrès importants dans l'industrie des forages au diamant comme l'utilisation de tubes carottiers à fil et de foreuses munies de têtes hydrauliques, la concurrence est trop forte et la marge de profits trop faible pour permettre aux entrepreneurs canadiens de consacrer des sommes importantes à la recherche en forage d'exploration.

On fore chaque année au Canada des millions de pieds pour des besoins d'exploration et pourtant il n'existe pas de programme national pour améliorer cette technologie. Le forage au diamant mérite une attention particulière car en plus d'être presque toujours utilisé en exploration minière on l'emploie de plus en plus en exploration pétrolière. De plus, le forage au diamant est un article d'exportation important. Les spécialistes canadiens

du forage au diamant ont acquis une réputation mondiale pour leur habileté et le pays ne tire guère parti de cette compétence. En conséquence nous proposons que:

Conclusion IV.11

Un programme national de recherche et de développement pour améliorer la technologie canadienne des forages d'exploration devrait être établi conjointement par le Conseil national de recherche et les firmes canadiennes de forage, avec la collaboration de l'industrie minérale.

Améliorations des relevés des sondages

À une époque où des rayons laser dirigés vers la Lune permettent de mesurer la distance Terre-Lune à quelques pouces près, nous avons encore de la difficulté à déterminer exactement où les trous de forage au diamant aboutissent à quelques centaines ou milliers de pieds de profondeur. Il existe bien quelques compas servant à la mesure de l'azimut et de l'inclinaison d'un trou, mais leurs données ne sont pas sûres lorsqu'il y a des roches magnétiques (comme il s'en trouve fréquemment dans les massifs sulfurés et ailleurs). Il faudrait mettre au point un appareil portatif et peu coûteux qui permettrait de faire le relevé des sondages de petit diamètre et nous proposons:

Conclusion IV.12

Un programme national de recherche devrait être établi par le Conseil national de recherches pour mettre au point de meilleurs instruments et améliorer les méthodes de relevés des sondages.

La création de carothèques (dépôts de carottes de forage)¹

Par le passé, on s'est privé de données géoscientifiques de valeur car l'on se débarrassait des carottes de forage après en

¹Cet exposé se fonde beaucoup sur un mémoire de David K. Francis, publié dans les *Études documentaires sur les Sciences de la Terre au Canada*, C. H. Smith, C.G.C., Étude spéciale 69-56, 1970.

avoir tiré les renseignements dont on avait besoin. Il n'y a pas de doute que dans tout programme d'exploration, ce sont les carottes qui fournissent les données les plus importantes. En 1968, les frais de forages d'exploration ont représenté 37 pour cent des 88 millions de dollars dépensés en exploration minière au Canada (tableau II.16), ce qui constituait de beaucoup la part la plus importante des dépenses en ce domaine.

Ce serait dans l'intérêt du pays d'encourager l'industrie à conserver les carottes et à communiquer leurs journaux de sondages. La constitution de carothèques sous l'égide d'organismes publics permettrait d'améliorer appréciablement l'exploration minière au Canada. Les carottes étant à la disposition de tous les chercheurs, cette mesure fournirait les matériaux nécessaires à d'importantes études géologiques du sous-sol, à la reconstitution de la troisième dimension des accidents géologiques, à l'évaluation de la nature des conducteurs géophysiques et à des recherches géochimiques.

Les raisons favorisant la création des carothèques.

Les carottes sont de valeur inestimable, car grâce à ces échantillons on peut vraiment vérifier la troisième dimension (profondeur) des accidents géologiques, ce qui est particulièrement important dans les régions dépourvues d'affleurements. Comme les forages pénètrent à des milliers de pieds dans la croûte terrestre, cette troisième dimension devient très importante, surtout lorsque l'on cherche des gisements à grande profondeur. Nous proposons que la destruction des carottes de forage cesse immédiatement pour les raisons suivantes:

1. Le forage de plusieurs nouveaux trous pourrait être évité si l'on pouvait étudier des carottes obtenues antérieurement;

2. dans les régions de drift glaciaire et de moskeg, les carottes constituent la seule indication sûre pouvant renseigner sur la géologie locale;

3. Les carottes actuellement sont la

seule source des données nécessaires pour entreprendre des études géochimiques tridimensionnelles;

4. les carottes constituent une importante matière d'étude pour définir les causes des anomalies géophysiques;

5. les journaux de sondages ne représentent que l'opinion du géologue qui a fait l'étude des carottes. Souvent il ne dispose pas du temps ni des installations nécessaires pour faire une étude complète des carottes au point de vue scientifique. Il y a donc un avantage certain à conserver une partie représentative des carottes, afin que d'autres spécialistes puissent ultérieurement les étudier et ainsi élargir les connaissances à leur sujet. De plus, l'application de nouvelles connaissances et l'amélioration des techniques peuvent rendre un journal de sondage complètement périmé alors que les carottes, elles, demeurent inchangées. Il faut donc conserver les carottes pour les études et nouveaux essais futurs.

Les pratiques industrielles courantes d'entreposage des carottes

Notre enquête, qui couvre environ 70 pour cent du secteur de l'exploration minière au Canada, a révélé que:

1. la majeure partie des carottes provenant des forages d'exploration sont étudiées, décrites et conservées aussi longtemps qu'elles peuvent être utiles, tandis que les parties minéralisées sont habituellement prélevées pour qu'on puisse les analyser et s'y référer à l'avenir;

2. dans les régions éloignées, les carottes sont habituellement laissées sur le terrain, en ordre dans leurs boîtes, à la fin de la saison des travaux; si les boîtes sont rares ou coûteuses elles sont récupérées et les carottes sont alors jetées pêle-mêle; plusieurs sociétés, à ce sujet, ont mentionné que le gouvernement devrait fournir les entrepôts et le personnel nécessaires à la récupération des carottes qui autrement seront perdues; elles soulignent le gaspillage de temps et d'argent que comporte la répétition inutile des travaux à une date ultérieure;

3. au terme d'une option sur une pro-

priété, les carottes sont remises au propriétaire;

4. dans le cas des mines en exploitation, les carottes sont conservées tant que leur volume, les inconvénients que comportent leur collection et leur entreposage, et le coût des boîtes ne rendent pas la chose prohibitive;

5. plusieurs sociétés ont résolu le problème d'entreposage des carottes en téléscopant les longueurs retenues grâce à des échantillons de quelques pouces prélevés à tous les dix pieds ou lorsqu'il y a modification de la lithologie, et ce, après avoir photographié l'ensemble des carottes, habituellement en couleurs;

6. plusieurs sociétés ont indiqué cependant qu'elles ne suivent pas de méthodes bien arrêtées à ce sujet et que leurs façons de procéder varient considérablement selon les circonstances;

7. notre enquête révèle que la majorité des sociétés minières canadiennes sont en faveur de la création de carothèques régionales en vue d'améliorer la recherche géoscientifique et la prospection scientifique au Canada; les organismes publics et les départements de sciences de la Terre des universités partagent cette opinion;

8. cependant la réponse favorable de l'industrie comporte plusieurs restrictions; 25 sociétés ont répondu que le rassemblement de toutes les carottes serait difficile et que seul leur rassemblement sous forme condensée ou télescopée était possible; 8 autres ont proposé que les collections soient constituées sur une base régionale; 7 ont proposé de ne conserver que les données relatives aux forages et les journaux géologiques de sondage; 4 ont recommandé de conserver des documents photographiques concernant toutes les carottes;

9. sept sociétés d'exploration minière voudraient que l'État prenne des mesures sévères pour que toutes les sociétés minières permettent l'accès à leurs dossiers, leurs journaux de sondage et leurs collections de carottes.

Proposition relative à l'entreposage de carottes

L'intérêt du pays exige que le gouvernement adopte des politiques fermes relatives à l'acquisition et à l'entreposage des carottes provenant de l'exploration minière. Nous pensons que ces politiques devraient se fonder sur les principes suivants:

1. il n'est ni pratique ni souhaitable de recueillir et d'entreposer toutes les carottes provenant des forages d'exploration;

2. tout système pratique d'acquisition et d'entreposage des carottes devrait relever d'organismes de l'État et fonctionner grâce aux géologues provinciaux résidents ou à leurs homologues fédéraux au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest;

3. un système uniformisé de collecte et d'entreposage serait hautement souhaitable;

4. il serait très utile aussi de normaliser les formules des documents et la terminologie des journaux de sondage;

5. puisqu'il est question de droit de propriété pour presque tous les travaux d'exploration, les sociétés minières devraient avoir le droit de ne pas divulguer leurs renseignements relatifs aux forages et de conserver leurs carottes durant une certaine période, à déterminer de concert avec l'État;

6. les représentants de l'État devraient avoir le droit d'examiner toutes les carottes en tout temps;

7. toutes les carottes devraient être enregistrées et entreposées dans des carothèques régionales sous forme condensée ou télescopée: *au moins 5 pour cent des carottes devraient être conservés, avec un échantillon minimal de 3 pouces prélevé à des intervalles ne dépassant pas dix pieds ou à des intervalles moindres dans le cas de changements importants dans la lithologie;*

8. des indemnités généreuses sous forme de crédits pour travaux statutaires devraient être offertes pour la cession des carottes à ces carothèques, avec un barème progressif pour celles qui sont raménées de régions éloignées;

9. toutes les carottes soumises devraient être accompagnées des journaux

des géologues qui en ont fait l'étude, et de tous les autres détails relatifs aux sondages comme l'emplacement exact, la cote d'altitude, l'azimut et l'inclinaison des trous, etc.;

10. chaque carotte remise devrait être indexée selon le Système de référence cartographique national et être dotée d'un numéro; un système de fiches accompagnant les numéros devrait être établi, comportant tous les renseignements nécessaires; l'enregistrement de ces renseignements devrait se prêter au stockage et la recherche automatique des données;

11. ces carothèques devraient être établies dans des centres appropriés où règne une certaine activité en prospection scientifique.

La question des coûts

Les forages d'exploration minière au Canada se sont chiffrés à 4 millions de pieds en 1968. Si 5 pour cent des carottes obtenues était conservé, la quantité entreposée chaque année dans les collections représenterait 200 000 pieds de forage par année. Sur 20 carothèques régionales à travers le pays, chacune recevrait annuellement environ 10 000 pieds de carottes sous forme condensée; le double serait encore acceptable.

Le coût d'un entrepôt central d'une capacité de 200 000 pieds (édifice en acier genre Armco sur dalles de béton, avec étagères en acier) serait de l'ordre de 150 000 dollars. En ajoutant le coût des installations auxiliaires (broyeurs, pulvérisateurs, machines pour fabrication de lames minces, établis, bureaux) les immobilisations pourraient atteindre 200 000 dollars, ce qui correspond à une dépréciation du capital d'environ 25 000 dollars par an. Le coût d'entretien serait d'environ 5 000 dollars par année et les frais d'exploitation, 20 000 dollars (y compris les salaires d'un géologue subalterne, d'un technicien, du personnel de bureau et le coût des fournitures), ce qui donnerait un total de 50 000 dollars par année (non compris le salaire du géologue résident). Si cet entrepôt recevait 20 000 pieds de carottes sous forme con-

densée, il en coûterait à l'État \$2.50 du pied. Cela peut sembler élevé, mais il ne faut pas oublier que le coût d'obtention des ses carottes dépasse 200 fois ce montant.

Même si ces installations ne contribueraient qu'à une seule découverte en 20 ans, l'activité économique et les recettes fiscales qui en résulteraient feraient plus que compenser les dépenses d'aménagement et de fonctionnement de ces carothèques. Bien que les provinces et les territoires aient obtenu des revenus considérablement accrus grâce à l'industrie minière au cours des quelques dernières années (voir figure II.14), leurs dépenses totales en travaux géoscientifiques sont en général demeurées à un faible niveau. On peut soutenir qu'une plus grande part des revenus miniers devrait être réemployée pour accroître l'efficacité de l'exploration minière grâce à la recherche minière.

L'établissement de ces carothèques doit répondre à un besoin. Les chercheurs de l'industrie et des universités doivent être consultés sur l'opportunité d'établir ces collections en certains endroits et sur les genres de services à fournir. Il faudrait accorder une attention spéciale aux tendances possibles de la recherche future et aux méthodes de prospection scientifique qui pourraient être utilisées vers 1980 ou 1985. Enfin, ces laboratoires d'étude des carottes devraient devenir propriétaires des lames minces, des poudres, etc. de tout ce qui est prélevé des carottes avec l'autorisation du géologue responsable; ils conserveraient le double des résultats de toutes les études faites sur ces échantillons. Nous estimons que:

Conclusion IV.13

Des carothèques régionales financées et administrées par l'État devraient être créées pour augmenter l'efficacité de la prospection scientifique au Canada et pour promouvoir la recherche géoscientifique appliquée à des problèmes canadiens.

Stockage et recherche des données géoscientifiques

L'un des moyens les plus puissants pour accroître l'efficacité de la prospection scientifique au Canada consiste dans l'utilisation de l'informatique pour accumuler, diffuser, échanger les données géoscientifiques qui intéressent les spécialistes de la prospection. De fait, de nombreux géoscientifiques canadiens soutiennent que l'enregistrement informatique des connaissances actuelles de façon systématique doit constituer l'objectif commun le plus important des organismes publics, des départements d'universités et des sociétés qui s'intéressent à la prospection scientifique. L'accroissement de la masse des données géoscientifiques est si rapide, et le besoin de pouvoir retrouver rapidement ces données est si urgent, que nous ne voyons pas d'autre façon de faire face à cette marée de l'information. L'informatique offre des possibilités presque sans limites.

Les géoscientifiques canadiens sont à l'avant-garde mondiale en ce domaine. Faisant preuve d'une remarquable prévoyance, le Comité consultatif national de la recherche en sciences géologiques a créé en 1965 un comité spécial pour élaborer un système national de stockage et de recherche automatique des données géoscientifiques. Le rapport définitif publié en 1967 a été grandement apprécié au Canada et à l'étranger. La position d'avant-garde que se sont acquise les scientifiques canadiens se trouve illustrée par le fait que l'*American Society of Petroleum Geologists* a adopté la méthode de codification recommandée dans le rapport. Le président du comité spécial a ensuite assumé la présidence d'un comité spécial de l'Union internationale des sciences géologiques et un autre membre du comité a été invité à participer à une entreprise de l'*American Geological Institute* visant à élaborer un programme national d'information géoscientifique aux États-Unis.

Le réseau canadien d'information géoscientifique a reçu l'approbation complète des organismes fédéraux et provin-

ciaux, des universités et d'un certain nombre de sociétés minières et pétrolières. L'utilisation de ce réseau exigera des modifications notables des méthodes de traitement des données géoscientifiques et toutes les parties en cause devront contribuer à l'établissement de banques locales de données sur une base uniforme. Mais si un réseau de ce genre n'est pas créé rapidement, il y aura perte énorme de données géoscientifiques accumulées en divers secteurs en attendant d'être utilisées à des fins de recherche.

C'est pourquoi une autre étude demandée par le Comité consultatif national de la recherche en sciences géologiques a recommandé la création d'un Institut canadien des données géoscientifiques. L'Institut travaillerait à accroître l'efficacité des sciences de la Terre exploitant les données relatives aux richesses naturelles. *Les possesseurs des banques de données demeureront propriétaires exclusifs de leurs données*, mais l'Institut constituerait un Index canadien des données géoscientifiques afin de permettre aux scientifiques et autres utilisateurs de localiser et de retrouver rapidement les données qui les intéressent. Une autre fonction de l'Institut consisterait à diffuser l'information sur la conception, la réalisation, l'exploitation et la gestion des blocs d'informatique pour les données géoscientifiques et à faciliter et coordonner la création des normes nécessaires à la réalisation du Réseau canadien d'informatique géoscientifique. La proposition visant à établir cet Institut a été étudiée en profondeur à la Conférence des ministres provinciaux des Mines en septembre 1969. Les ministres des Mines ont alors accepté en principe l'idée d'un réseau national coordonné de stockage et de recherche des données géoscientifiques et ont recommandé au gouvernement fédéral l'établissement par la Commission géologique du Canada d'un Index national à cette fin.

¹Brisbin, W. C., et N. M. Ediger, Ed., *A national system for storage and retrieval of geological data in Canada*, Comité consultatif national de la recherche en sciences géologiques, 175 p., Ottawa, 1967.

Plusieurs sociétés minières et pétrolières se sont déclarées en faveur d'un tel système, dont la mise au point a d'ailleurs été faite grâce à la collaboration de certaines d'entre elles. Toutefois, plusieurs autres sociétés ont émis des réserves parce qu'elles craignent que leur droit de propriété ne soit pas suffisamment respecté. Il importe donc de souligner que le réseau n'empiètera en rien sur leur droit de propriété des données. En fait, le réseau ne fait qu'indiquer où trouver les rapports des travaux faits sur le terrain et les synthèses de recherche, sans rien révéler de ce qu'ils contiennent. Le réseau est fondé sur le principe de l'uniformité de codage et de classification. Si un particulier ou une société veut obtenir des renseignements auprès d'une banque de données quelconque, faisant partie du réseau national, il ne peut les obtenir qu'avec la permission des propriétaires des données puisque celles-ci ne peuvent être véritablement en possession de quelqu'un d'autre.

Les applications du traitement électronique des données ont été décrites par Sharp et Burk¹. *En résumé «le but du stockage électronique des données géoscientifiques est de rendre les données accessibles au plus grand nombre de scientifiques, en plus grandes quantités, plus rapidement, sous des formes plus facilement utilisables et à des coûts unitaires moindres que ne le permettent les autres méthodes.»*

Étant convaincus des avantages économiques du réseau national de stockage et de recherche des données géoscientifiques, tout autant que leur importance intrinsèque pour la recherche scientifique, nous proposons que:

Conclusion IV.14

L'industrie minière devrait collaborer pleinement avec l'État et les universités à l'établissement du Réseau canadien d'informatique géoscientifique et contribuer à la formation de l'Institut canadien des données géoscientifiques.

IV.6 Le rôle géoscientifique des divers secteurs pour l'essor minier et pétrolier

L'État, les universités de l'industrie partagent tous la responsabilité de maintenir le Canada à l'avant-garde de la technologie moderne. Dans un domaine aussi vaste que la mise en valeur des richesses minérales, la contribution des sciences de la Terre doit être évaluée en fonction de l'apport de chaque secteur principal. La façon dont nous traiterons de ce sujet est loin d'être exhaustive, mais elle permet de nous faire une idée des améliorations que chaque secteur devrait apporter pour accroître l'efficacité de la prospection scientifique.

L'industrie

L'industrie doit faire le meilleur usage des connaissances techniques, de la main-d'œuvre et des ressources naturelles en vue d'en profiter à court et à long terme et d'en faire bénéficier la nation toute entière:

1. L'industrie contribue principalement à développer les connaissances dans les domaines de la recherche appliquée et de l'interprétation des données.
2. Vu l'ampleur des dépenses en forages d'exploration et autres travaux de collecte des données géoscientifiques (tableau II.3), il y a tout lieu de penser que l'industrie devrait faire plus de recherche en prospection scientifique (en 1968, les travaux de recherche ne représentaient que 2 pour cent seulement des dépenses consacrées à la collecte des données). Les moyens de recherche géoscientifique des universités et des organismes publics sont beaucoup plus limités que ceux de l'industrie sur le plan tant des effectifs (tableau II.7) que des ressources financières (tableau II.1 et II.2). De plus, les universités et les organismes de l'État doivent assumer dans le domaine de la recherche des responsabilités qui vont bien au-delà

¹Sharp, D. A. et C. F. Burk. *Computer Storage and Retrieval of Earth Science Data*, dans: Études documentaires sur les sciences de la Terre au Canada, sous la direction de C. H. Smith, C.G.C., Étude spéciale 69-56, 1970.

des besoins de l'industrie minière seule.

3. L'industrie, les sociétés pétrolières en particulier, devrait faire plus de recherches au Canada comparativement à celles qu'elle fait entreprendre dans d'autres pays.

4. Nous pensons que l'industrie servirait mieux le pays si les sociétés autorisaient une plus large publication des résultats de leurs recherches et des données géoscientifiques s'y rapportant. Nous reconnaissons que les sociétés doivent protéger leur position concurrentielle, mais il n'est pas rare que des données et des résultats de travaux de recherche qui ont de la valeur dorment dans les dossiers des sociétés à cause d'une attitude trop prudente envers les droits de propriété. Les géologues, géophysiciens et géochimistes au service des sociétés devraient être encouragés à publier tous les résultats qui ne mettraient pas en danger la position concurrentielle de leur employeur. Peut-être que la meilleure façon pour l'industrie d'atteindre ce but général consisterait à jouer un rôle plus actif dans les congrès des sociétés savantes canadiennes, non seulement dans les discussions mais aussi dans la présentation de communications géoscientifiques.

5. L'industrie devrait soutenir les instituts de recherche géoscientifique appliquée de certaines universités, pour les raisons suivantes:

a) en aidant financièrement ces instituts, l'industrie peut exercer une influence déterminante sur le choix des principaux problèmes à résoudre et guider en conséquence l'orientation de la recherche;

b) les sociétés minières et pétrolières seront les bénéficiaires directes de cette recherche appliquée;

c) avec un minimum d'investissements en installations de recherche supplémentaires et une aide technique suffisante, on pourrait créer au profit de l'industrie des centres de spécialisation en prospection minière dans les universités (voir la section III.12);

d) l'industrie favoriserait ainsi la formation des étudiants diplômés.

6. L'industrie devrait jouer un rôle plus actif au sein des comités consultatifs nationaux de recherche et surtout au sein du Comité consultatif national de recherche minière (voir la section II.5).

7. En tant qu'employeur le plus important de géoscientifiques au Canada, l'industrie devrait améliorer sa réputation dans les universités afin d'attirer plus de spécialistes dans ses cadres et d'encourager un plus grand nombre d'étudiants à faire carrière en sciences de la Terre. Cela peut se faire de diverses façons, entre autres:

a) un plus grand nombre de scientifiques au service de l'industrie pourraient participer aux programmes des universités en tant que conférenciers invités;

b) ces scientifiques pourraient participer de façon plus active aux conférences régionales annuelles des étudiants;

c) on pourrait accorder plus d'attention aux étudiants qui détiennent des emplois d'été en leur offrant de plus grandes responsabilités et de meilleures conditions de travail et de rémunération;

d) les étudiants devraient pouvoir se livrer plus facilement à des travaux de recherche;

e) des représentants de l'industrie pourraient contribuer à l'orientation professionnelle des étudiants en leur indiquant ce que fait l'industrie et quels sont les emplois disponibles;

f) on devrait augmenter les possibilités d'emploi pour les femmes géologues.

8. L'un des plus grands obstacles à l'embauche d'un nombre suffisant de géologues et de géophysiciens dans l'industrie minière est le cycle des «vaches maigres» et des «vaches grasses», qui, si souvent, caractérise l'exploration minière. Durant les années de gêne, l'industrie devrait faire tous ses efforts pour affecter son personnel en excédent à diverses études de longue durée; les gens les plus qualifiés pourraient se livrer à des recherches poussées. L'industrie pourrait aussi tirer parti de ces périodes creuses pour diriger un certain nombre de ces professionnels vers les universités et leur per-

mettre d'acquérir une formation supplémentaire et d'entreprendre des travaux de recherche.

9. Nous pensons aussi qu'à qualifications égales les spécialistes travaillant dans les localités minières ou dans la brousse pourraient recevoir une rémunération notablement plus élevée que celle que touchent ceux des centres urbains.

10. Il apparaît aussi que les géoscientifiques, qui travaillent dans les localités isolées au service de l'industrie, ont de grandes difficultés à se tenir au courant des progrès scientifiques et technologiques. Il faudrait donc qu'ils aient de meilleures possibilités d'assister à des réunions scientifiques et techniques ou de suivre des cours à l'université. De même, l'industrie devrait proposer à ses spécialistes des travaux scientifiques et technologiques plus intéressants et leur accorder des effectifs techniques suffisants.

Le gouvernement fédéral

Le rôle du gouvernement fédéral dans le domaine minéralier devrait demeurer axé sur le développement économique du pays. Ses organismes devraient continuer à assumer la responsabilité d'études fondamentales de longue durée et d'inventaires dans le cadre de leur mission qui est d'apporter des corrections aux disparités régionales et de coordonner l'activité scientifique dans le meilleur intérêt du pays.

Quoique la gestion des richesses minérales dans les territoires provinciaux et la responsabilité essentielle de leur développement soient clairement du ressort des provinces, les scientifiques canadiens estiment presque unanimement qu'il faut maintenir au sein du secteur fédéral, et en particulier au sein de la Commission géologique du Canada, une très haute compétence géoscientifique. Notre pays est si étendu et sa géologie si complexe qu'un organisme fédéral fort dans le domaine des sciences de la Terre est absolument nécessaire à l'essor minier et pétrolier. On peut souligner que 44 des 92 sociétés qui ont fait connaître leur opinion au sujet des services fédéraux ont spé-

cifiquement mentionné les consultations fréquentes et régulières qu'elles ont eues avec les fonctionnaires de la Commission géologique du Canada, tandis que 6 autres ont fait appel à ce service de temps en temps. Les autres réponses indiquent combien il est utile de consulter librement les dossiers, les bibliothèques et autres services de référence (voir l'Annexe 5 pour une description de l'activité des ministères et organismes fédéraux en sciences de la Terre). Notre enquête indique de plus que les publications géologiques et géophysiques des organismes fédéraux sont hautement appréciées et que l'industrie minière les utilise de façon intensive (voir Annexe 6).

Par moments, il y a eu confusion au sujet du rôle que ces organismes géoscientifiques fédéraux doivent jouer dans l'essor minier et pétrolier. Nous pensons que ce rôle doit essentiellement s'exercer dans des tâches d'intérêt national comme:

1. L'établissement de cartes géologiques régionales par la Commission géologique du Canada, à une échelle supérieure à un mille au pouce. Une cartographie géologique plus détaillée devrait être entreprise par les provinces, excepté dans les Territoires du N.-O. et le Yukon, où la Commission géologique doit s'en charger. De l'avis général, celle-ci devrait accélérer ses travaux de reconnaissance du pays et fournir des compilations régionales.

2. Des études sur les grandes unités géologiques à l'intérieur du territoire des provinces ou à cheval sur leurs limites.

3. Toute la cartographie topographique et la photographie aérienne.

4. Les levés aérogéophysiques régionaux; lorsqu'une grande partie du territoire d'une province est en cause, les levés devraient être entrepris en partageant les frais avec la province concernée.

5. Les recherches spécialisées pour lesquelles de grandes dépenses en installations de laboratoires et du personnel hautement spécialisé sont nécessaires et qui portent notamment sur la fixation de normes nationales en analyse chimique,

l'établissement des collections typiques de roches, de minéraux et de fossiles, des études-pilotes de nouvelles méthodes géophysiques, des recherches sur le mode de venue de certains minéraux, etc.

6. La recherche fondamentale et appliqué dans les domaines connexes comme l'économie des minéraux (discipline essentielle qui devrait être encouragée), les problèmes relatifs au traitement mécanique des minerais, etc.

7. Des réseaux nationaux de stockage et de recherche informatique des données, comprenant une coordination avec les organismes provinciaux, les universités et l'industrie.

8. La représentation géoscientifique sur le plan international.

9. La coordination de l'effort géoscientifique national dans les programmes d'aide technique aux pays en voie de développement.

10. L'appui technique et financier aux recherches dans des domaines connexes aux tâches du gouvernement fédéral, effectuées par les universités, les conseils provinciaux de recherche et l'industrie.

11. L'aide technique et financière aux centres de spécialisation géoscientifique (voir la section III.12).

Voici les domaines des activités fédérales se rapportant aux sciences de la Terre, où des améliorations pourraient être apportées:

1. L'accélération du processus de publication. Plusieurs sociétés ont fait observer que le laps de temps qui s'écoule entre les travaux sur le terrain et la publication des résultats est beaucoup trop long.

2. Une régionalisation plus poussée du personnel et des installations de recherche en tenant compte de l'idée de «Centres de spécialisation» exposée dans la section III.12.

3. L'accroissement des études en économie des minéraux, y compris une recherche plus poussée sur les minéraux rares qui font l'objet d'une grande demande.

4. Une meilleure coordination avec les organismes provinciaux pour déterminer

la priorité des programmes géoscientifiques à long terme.

5. L'élaboration d'un programme national d'information géoscientifique fondé sur les méthodes de l'informatique, et qui:

a) serait intégré au réseau national d'information scientifique qui a été proposé;

b) recueillerait l'information scientifique en question, disséminée dans tous les rapports techniques et les revues scientifiques publiés actuellement;

c) procurerait des traductions d'ouvrages rédigés en langues étrangères.

6. Une réglementation appropriée et la création d'entrepôts à l'intention des échantillons de forage, ce qui permettrait de s'assurer que les matériaux obtenus lors des travaux d'exploration au large des côtes sont conservés et utilisés.

7. Une activité accrue portant sur les travaux de cartographie des ressources naturelles par satellite et la recherche sur les techniques de télédétection, y compris l'application de la recherche spatiale et militaire à la prospection scientifique. Il va sans dire que ces travaux devraient s'appliquer à tout le domaine des ressources naturelles et non pas seulement à la prospection scientifique.

Les gouvernements provinciaux

Les organismes provinciaux qui s'occupent de la gestion des richesses minérales et de leur mise en valeur jouent un rôle important que l'on peut ainsi résumer:

1. Outre la gestion des ressources, ces organismes ont comme responsabilité première l'inventaire géologique systématique de leur province, y compris la cartographie géologique à l'échelle d'un mille au pouce ou plus. Cela comporte la collecte et la classification de données géoscientifiques que les organismes effectuent pour leur propre compte ou qui leur sont soumises à la suite de travaux réglementaires.

2. Les relevés détaillés, les compilations et synthèses géologiques qu'effectuent ces organismes dans les districts miniers sont très importants. Plusieurs so-

ciétés nous ont fait observer que ces travaux leur sont indispensables.

3. Un autre rôle important consiste dans l'établissement de cartes métallogéniques de certaines régions, fondées sur l'ensemble des données géoscientifiques existantes, y compris les renseignements soumis pour les travaux réglementaires.

4. Les efforts que déploient ces organismes dans les régions non encore soumises à l'exploration active sont d'importance capitale, car c'est grâce à cette information de base que l'industrie peut entreprendre sûrement des programmes de prospection scientifique. Nous pensons cependant que les organismes provinciaux devraient restreindre leurs activités quand, dans les nouvelles régions, les conditions nécessaires à la mise en œuvre de programmes industriels sont atteintes et, dans certains cas, abandonner quelques domaines pour travailler dans d'autres où les besoins sont plus urgents.

5. Des sociétés minières nous ont souvent rappelé la valeur des services fournis par les géologues résidents des ministères provinciaux; comme on le propose ci-dessous, c'est là un domaine qui mérite un accroissement d'activité.

6. Les organismes provinciaux ont aussi un rôle à jouer en recherche géoscientifique, quoique le niveau de cette recherche (comme le niveau de toutes les autres activités en sciences de la Terre) varie considérablement d'une province à l'autre (voir section II.6).

7. Quelques conseils provinciaux de recherches ont entrepris des travaux géoscientifiques, mais leur activité dans le domaine de l'exploration minérale est relativement minime.

Les principaux domaines d'activité géoscientifique des organismes provinciaux où il faudrait apporter des améliorations sont les suivants:

1. Il existe un réel besoin, qui peut facilement se justifier, d'accroître le niveau de ces activités dans la majeure partie des provinces, surtout à Terre-Neuve et en Colombie-Britannique. Les provinces sont en bonne posture pour fournir des services scientifiques de valeur à l'indus-

trie minérale, mais à cause d'un personnel limité, d'une aide technique généralement inexistante, de crédits insuffisants (les recettes provinciales accrues provenant de l'industrie minérale sont employées à répondre à d'autres priorités provinciales), plusieurs projets importants pour l'industrie minérale n'ont pas été entrepris. Nous pensons que les organismes provinciaux devraient accroître leur activité géoscientifique en augmentant régulièrement leurs dépenses de 10 pour cent par année jusqu'en 1975 tout au moins.

2. Comme nous le recommandions à la section IV.5, les organismes provinciaux devraient créer des carothèques publiques (seules l'Alberta, la Colombie-Britannique, la Nouvelle-Écosse et la Saskatchewan ont des collections de carottes actuellement).

3. Comme nous le recommandions aussi à la section IV.5, les organismes provinciaux devraient collaborer avec la Commission géologique du Canada à l'établissement et à l'utilisation d'un Réseau national d'informatique géoscientifique: ils devraient également donner la forme voulue à leurs données géoscientifiques afin de permettre leur mémorisation informatique.

4. Dans l'intérêt national, les ministres provinciaux et fédéraux des Mines devraient créer un organisme pratique analogue peut-être au Conseil canadien des ministres des ressources, afin de poursuivre l'étude et les discussions sur des sujets d'intérêt commun relatifs aux richesses naturelles. Dans le domaine géoscientifique ces sujets pourraient porter sur:

a) la collaboration permanente entre les provinces et entre celles-ci et le gouvernement fédéral, en vue de coordonner les programmes géoscientifiques, d'améliorer à long terme leur planification et les prévisions budgétaires et d'utiliser au mieux les effectifs et les ressources financières;

b) l'amélioration des mesures législatives pour servir au mieux les intérêts du pays;

c) une politique minérale pour le Canada;

d) l'importance et l'efficacité de l'exploration minérale au pays;

e) la mise au point d'un meilleur système que le jalonnement des concessions pour établir les droits d'exploration minière (d'importantes sommes sont dépensées pour couper des arbres et des branches, qu'il vaudrait mieux dépenser en travaux de forage);

f) l'amélioration des réseaux d'informations géoscientifiques;

g) l'amélioration des moyens de relevé des ressources, y compris les satellites prospecteurs;

h) la pénurie d'effectifs dans l'industrie minérale;

i) la normalisation des échelles de cartes;

j) la pollution industrielle et les mesures de protection des terres;

k) les moyens d'accélérer la préparation et la publication des rapports et des cartes;

l) le perfectionnement continu du personnel scientifique et technique;

m) les liaisons officielles entre le gouvernement et l'industrie (dans le numéro du 12 juin 1969 du *Northern Miner*, la *Prospectors and Developers Association* a exprimé son inquiétude à propos du «manque de liaisons entre l'industrie minière et le gouvernement»;

n) les échanges de vue officiels entre les universités, les organismes publics et l'industrie au sujet de l'évolution de l'enseignement universitaire dans les domaines des sciences de la Terre aux niveaux du 1^{er} et des 2^e et 3^e cycles.

5. Les ministères des Mines de l'Ontario, du Québec et du Nouveau-Brunswick nous ont exposé les grandes difficultés qu'ils éprouvent à recruter des géologues compétents en nombre suffisant dans nos universités. La même opinion prévaut semble-t-il dans d'autres organismes publics et dans l'industrie. Les organismes provinciaux devraient s'efforcer d'attirer plus de candidats qualifiés. Ils pourraient parvenir à ce but à l'aide de certaines mesures, destinées notamment à:

a) permettre à leurs scientifiques de travailler plus souvent sur des sujets iné-

dités offrant un plus grand intérêt;

b) fournir aux scientifiques l'aide technique nécessaire pour les libérer des travaux de routine;

c) constituer des centres régionaux de recherche dans les principaux districts miniers, sous le contrôle direct du géologue résidant.

Action de l'État en faveur du travailleur du Nord canadien

De nombreux spécialistes des sciences de la Terre et ingénieurs employés par l'industrie minérale passent une bonne partie de leur vie dans les localités du Nord canadien et par leur travail contribuent à l'expansion du pays. On penserait que dans une *société juste* ils jouissent de privilèges spéciaux puisqu'ils contribuent à l'essor du Canada et qu'ils ont accepté les durs inconvénients qui se rattachent à leur travail. Pourtant en vivant ainsi dans le Nord ils sont en fait *pénalisés*: climat plus rigoureux, moins d'ensoleillement, éloignement des parents et amis, isolement du monde scientifique, des centres culturels, absence de voies de communication, rareté des loisirs, souvent pas d'écoles acceptables pour leurs enfants (surtout au niveau du secondaire), etc. Ces spécialistes reçoivent habituellement une rémunération plus élevée que s'ils travaillaient plus au sud, mais ce surplus est rapidement éliminé par le coût de la vie plus élevé dans ces localités, par les voyages occasionnels vers les villes du sud et par le coût des études supérieures de leurs enfants. Pour empirer les choses, ces gens paient les mêmes impôts que s'ils bénéficiaient de tous les avantages de la vie méridionale, s'ils utilisaient les routes, les parcs nationaux, etc.

Nous pensons que le gouvernement canadien devrait accorder des avantages spéciaux à ceux qui travaillent dans le grand Nord. La façon la plus efficace consisterait à réduire les impôts de tous ceux qui travaillent au nord d'une certaine ligne. On pensera, au sein du gouvernement, qu'un pareil programme est presque impossible à appliquer et pourtant l'Australie offre ce genre d'encoura-

gement aux particuliers. La principale difficulté consisterait à établir la ligne qui séparerait le grand Nord du reste du Canada, mais il ne s'agit pas là pourtant d'une difficulté insurmontable. En tout cas, l'industrie et l'État se doivent d'encourager ceux qui travaillent dans le Nord.

Les universités

Nous avons exposé en détail le rôle des universités au chapitre III et il n'est pas nécessaire de répéter ce qui a été dit au sujet de leur fonction pour le développement économique du pays.

Les Instituts de technologie

De façon générale, on a trop comparé le financement des universités au financement d'instituts de technologie. Ces collèges fournissent une excellente formation aux futurs techniciens en géologie et en géophysique, qui sont très demandés par l'industrie. Les faits ont démontré par exemple que plusieurs diplômés du Northern College de Haileybury ont obtenu des postes de commande dans l'industrie minière à cause de leur compétence en grande partie acquise par l'expérience pratique.

Malheureusement, nous n'avons pas pu dans notre étude inclure les instituts de technologie qui s'occupent de former des techniciens dans des domaines connexes de l'industrie minière. Cependant, d'aucuns nous ont fait remarquer que les diplômés de ces instituts sont en général fort compétents et l'industrie voudrait bien pourvoir en embaucher davantage.

En conséquence nous proposons aux gouvernements provinciaux qu'au lieu de permettre la multiplication des départements universitaires de géologie, ils se préoccupent de renforcer les départements existants qui ont les meilleures chances de devenir brillants, et de créer de nouveaux instituts de technologie pour répondre aux besoins de l'industrie.

Chapitre V

La géotechnique et le milieu ambiant

«En toutes choses, le succès dépend d'une préparation préalable et sans cette préparation, l'échec est inévitable».

Confucius, 551-478 av. J.-C.

V.1 Aperçu

L'un des principaux secteurs de l'économie canadienne, dont l'expansion est des plus rapides, est celui de la construction; son chiffre d'affaires s'est élevé à quelque 13 milliards de dollars en 1969. Étant donné que chaque ouvrage de génie est fondé sur le roc ou sur les sols, un rôle particulièrement important échoit aux sciences de la Terre intéressant le génie civil, que l'on désigne sous le nom collectif de *géotechnique*.

En 1968, le secteur privé a dépensé 33 millions de dollars pour ses activités géotechniques. On peut prévoir qu'en ce domaine les dépenses ne cesseront d'augmenter, car aux besoins accrus de construction résultant de l'expansion démographique viendront s'ajouter les difficultés naturelles des nouveaux emplacements.

Bien que la géotechnique ne se soit vraiment développée au Canada qu'après la Seconde guerre mondiale et que les spécialistes qui y travaillent soient en nombre relativement restreint (un peu plus de 500), des ouvrages comme le barrage Gardiner, le canal de dérivation de la Rivière Rouge, la mine Steep Rock et la centrale des Chutes Churchill reflètent, d'ailleurs partiellement, le rôle récent joué par la géotechnique canadienne dans les progrès du pays.

La grande superficie du Canada, ses variations climatiques extrêmes et la diversité de ses formations géologiques posent des problèmes particulièrement graves pour l'ingénieur en ce qui concerne les voies de transport et l'exploitation des richesses naturelles. Dans les zones urbaines en rapide expansion, ceux qui établissent des projets et les mettent à exécution doivent résoudre les difficultés que créent les bouleversements du terrain avec tou-

tes les conséquences que cela entraîne, ainsi que les catastrophes naturelles. La géotechnique s'emploie à mieux saisir les données de ces problèmes et à y apporter une solution économique et garante de sécurité.

Au Canada, les groupes de géotechniciens des secteurs privé, universitaire et public ont atteint un haut degré de compétence dans plusieurs domaines de cette science. Toutefois, il existe une grave pénurie d'ingénieurs spécialisés en géotechnique, notamment dans les domaines de la géologie urbaine et de la technologie du moskeg et du pergélisol. Il faudra faire face à la demande que l'on prévoit dans le domaine de la construction et de l'exploitation des richesses naturelles; aussi devra-t-on encourager assidûment la recherche scientifique sur les problèmes géotechniques particuliers au Canada.

V.2 Définition de la géotechnique et des activités qui s'y rattachent

La géotechnique emprunte à la géologie et autres sciences naturelles, ainsi qu'aux sciences de l'ingénieur, les connaissances, les techniques et la méthodologie nécessaires à l'étude pratique des matériaux naturels et des phénomènes. Les activités qu'embrasse la géotechnique ne constituent pas une simple branche ou discipline des sciences de la Terre, mais forment plutôt une vaste mosaïque pluridisciplinaire axée à la fois sur ces sciences et sur les technologies du génie civil.

On utilise de plus en plus le néologisme *géotechnique* pour désigner l'ensemble de ces activités.¹ Au Canada, ce mot embrasse la géologie de l'ingénieur, la mécanique des sols, la mécanique des roches, les technologies des tourbes, du pergélisol, de la neige et de la glace superficielle. En outre, la géotechnique bénéficie largement des études réalisées dans des sciences connexes telles que la géomorphologie, l'hydrogéologie et la

¹Legget, R. F. *Geotechnique and national development*. The Earth Sciences in Canada par E. R. Neale. Soc. Roy. du Can., Pub. spéc. n° 11. p. 186-202, 1968.

géophysique appliquées aux problèmes du génie.

Les études sur la neige et la glace superficielle débordent généralement des cadres que l'on a assignés à la présente étude. Cependant, nous sommes les premiers à reconnaître la grande importance des glaces en notre pays, tant du point de vue scientifique qu'économique. Aussi espérons-nous que l'on pourra bientôt entreprendre au Canada une étude séparée et approfondie de ce sujet plein d'intérêt.

Au cours de toute l'histoire, l'homme a dû surmonter les catastrophes naturelles qui ont ravagé son milieu; on citera, entre autres, les tremblements de terre, les tsunamis, les ouragans, les inondations et les glissements de terrain, qui ont causé des hécatombes et des pertes matérielles accrues par les activités même de l'homme. Bien que la définition de ces catastrophes, leur prévision, et le calcul des dangers qu'elles comportent soient de la compétence de scientifiques et d'ingénieurs de nombreuses disciplines, il demeure que le premier objectif de la géotechnique est d'étudier et de limiter ces catastrophes, dans la mesure où elles touchent aux ouvrages et où elles sont influencées par ceux-ci.

Si l'on envisage l'aspect comptable du secteur de la construction, la géotechnique, notamment à l'étape qui précède la conception des travaux, contribue à minimiser ou à éliminer les frais superflus qui résulteraient d'une conception trop élaborée et de mesures inutiles de sécurité; en effet, grâce à la géotechnique, on peut concevoir les ouvrages en fonction des propriétés mécaniques ou du comportement des matériaux d'assise. Par contre, en exploration minière ou pétrolière, les activités géoscientifiques ont pour principal objectif la découverte de gisements ayant une valeur commerciale.

Il apparaît donc que les frais de géotechnique servent plutôt à réduire les investissements qu'à procurer directement un profit. Si l'on veut tirer le meilleur parti de la géotechnique, il faut effectuer les études avant le début des travaux afin

que les résultats puissent être pleinement utilisés lors de la conception et de la planification des projets.

V.3 Importance de la géotechnique au Canada

Tableau rétrospectif des activités géotechniques au Canada

Les origines des activités géotechniques canadiennes sont intimement liées au déroulement et à la progression des levés géologiques qui ont débuté avec la création de la Commission géologique du Canada en 1842. À cette époque, les activités géologiques étaient surtout orientées vers la découverte des richesses naturelles telles que le charbon, les minerais métallifères, la chaux d'amendement, la pierre à bâtir et la chaux à mortier, qui répondaient aux besoins d'une société pré-industrielle peu urbanisée. Ainsi, la recherche de matériaux de construction en cette période primitive fut à l'origine des investigations géotechniques.

L'augmentation de la population canadienne a entraîné depuis un accroissement proportionnel de l'étendue et de la complexité des zones urbaines, quoique dès le début du siècle plusieurs études géologiques furent menées sur les zones urbaines de l'Est du Canada.^{1,2} On peut citer comme autres exemples de premières études canadiennes à caractère géotechnique, les recherches effectuées par Ells³ sur les glissements de terrain dans les régions de la vallée de l'Outaouais et des basses-terres du Saint-Laurent, et l'examen des carottes des sondages exécutés pour les fondations du pont de Québec⁴ et de ses culées.

¹Ami, H. M. *On the geology of the principal cities in Eastern Canada*. Trans. Roy. Soc. Canada, 2^e sér., vol. VI, sec. IV, p. 125 à 164, 1900.

²Ells, R. W. Rapport sur la géologie et les richesses naturelles du territoire compris dans la carte de la ville d'Ottawa et des environs. Com. géol. du Canada. Rap. annuel 1899, partie G (1902).

³Ells, R. W. Éboulement récent sur la rivière du Lièvre. P.Q. Com. géol. du Canada, Rap. som. 1903, p. 156-159 (1908).

⁴Ami, H. M. *Notes on drillings obtained in six diamond-drill boreholes in the bed of the St. Lawrence River at Victoria Cove, Sillery, eight miles above Québec City and in vicinity of Québec bridge*. Com. géol. du Can. Rapp. somm. 1902, partie A, p. 328 à 338, 1903.

Vers 1915, l'automobile vint occuper une place de choix dans les transports canadiens, ce qui nécessita l'amélioration du réseau routier. Les géologues de l'époque s'attaquèrent aux problèmes que posaient les besoins en matériaux nécessaires à la construction des routes, ainsi qu'en font foi les rapports publiés par la Commission géologique du Canada.^{1, 2, 3, 4, 5}

On pourrait citer également de nombreux exemples de participation de géologues et ingénieurs canadiens à des travaux impliquant la géologie et le génie civil et l'utilisation des connaissances géologiques à la recherche des eaux souterraines. Ces premiers travaux, bien qu'utiles à l'époque, étaient surtout d'ordre qualitatif et descriptif, et fort éloignés de la science géotechnique moderne fondée sur les principes de la mécanique des milieux continus.

C'est en 1936 seulement que la mécanique des sols s'imposa en tant que discipline scientifique intrinsèque. Tout au long des années 1930, les sciences de la Terre devaient d'ailleurs connaître un nouvel élan grâce au perfectionnement des méthodes analytiques quantitatives qui permirent une meilleure utilisation de la géologie en recherche des eaux souterraines. Toutefois, la géotechnique devait connaître des progrès particulièrement rapides durant la Seconde guerre mondiale, en réponse aux problèmes urgents relatifs à la construction militaire et à l'analyse des terrains.

Cependant, la croissance la plus rapide des activités géotechniques au Canada, ainsi que dans les autres pays industrialisés, s'est produite au cours des vingt dernières années. La demande dans le domaine de la construction et de l'exploitation des ressources, dans le secteur de l'énergie notamment, a nécessité l'approfondissement des connaissances sur la nature des terrains et le comportement mécanique des matériaux naturels. Ces recherches ont en retour suscité la conception d'instruments de précision destinés à mesurer les interactions des matériaux meubles et des ouvrages; par ailleurs il a fallu utiliser des ordinateurs pour cal-

culer les relations contraintes – déformations et autres phénomènes mécaniques complexes, perfectionnant ainsi les connaissances géotechniques.

Aspects économiques

Le secteur de la construction est l'un des secteurs de l'économie canadienne qui connaissent la plus grande expansion et où les mises de fonds sont les plus importantes.

Au cours de la période quinquennale qui s'est terminée en 1961, la valeur des nouveaux bâtiments⁶ et ouvrages d'ingénierie⁷ (fig. II.10) a oscillé entre 5 milliards et 6 milliards de dollars par an. Toutefois, depuis 1961, la valeur des nouveaux bâtiments et ouvrages d'ingénierie s'est accrue rapidement chaque année pour atteindre un montant d'environ 13 milliards en 1969.

Au cours de la période 1962-1966, la valeur moyenne des ouvrages d'ingénierie et des bâtiments industriels, commerciaux ou d'utilité publique, qui comprennent tous une forte composante géotechnique, a atteint les deux tiers de l'ensem-

¹Reinecke, L. *Road material surveys in Ontario and Québec* (Character of deposits of bedrock and gravels between Ottawa and Prescott and results of tests on stone available for the Montréal-Ottawa road). Com. géol. du Canada, Rapp. somm. 1915, p. 147 à 155, 1916.

²Reinecke, L. *Road material surveys in Ontario and Québec* (Rideau Canal route). Com. géol. du Canada, Rapp. somm. 1916, p. 193 et 194, 1917.

³Clark, K. A. *Road materials available for the Toronto-Montreal road between Trenton and Napanee, Ontario*. Com. géol. du Canada, Rapp. somm. 1916, p. 195 à 198, 1917.

⁴Gauthier, H. Matériaux routiers dans les comtés des Deux-Montagnes et d'Argenteuil. Québec, Com. géol. du Canada, Rapp. somm. 1916, p. 198 à 201, 1917.

⁵Picher, R. G., Matériaux routiers dans les comtés de Soulanges et de Vaudreuil. Qué. Com. géol. du Canada, Rapp. somm. 1916, p. 201 à 206, 1917.

⁶Le Bureau fédéral de la statistique (BFS) englobe dans les nouveaux bâtiments, les constructions domiciliaires, industrielles, commerciales, d'utilité publique, ainsi que d'autres comme les bâtiments agricoles, les têtes de ligne de transport, les baraquements, les camps, etc. Les dépenses comprennent à la fois les frais des nouvelles constructions et les réparations.

⁷Les ouvrages d'ingénierie mentionnés par le BFS englobent les ports, les routes, autoroutes et aérodromes, les réseaux d'adduction d'eau et d'égouts, les barrages et réseaux d'irrigation, les centrales électriques, les chemins de fer, le téléphone et le télégraphe, les installations pétrolières et gazières, etc. Les dépenses comprennent les frais de construction des nouveaux ouvrages et les réparations.

ble des dépenses du secteur de la construction. Ainsi, en 1969, la valeur des travaux de construction où la géotechnique a joué un rôle aura été de 9 milliards de dollars environ, somme qui excède de beaucoup la valeur actuelle de la production minière et pétrolière du Canada.

La géotechnique joue un rôle important dans des devis de fondations des bâtiments. Cependant, son importance apparaît plus particulièrement dans les exploitations minières à ciel ouvert et dans les travaux de construction des autoroutes, des voies ferrées, des barrages, des installations portuaires et autres ouvrages qui nécessitent de grandes excavations et le déplacement d'importants volumes¹ de matériaux meubles.

La nature des terrains et les facteurs climatiques

Le Canada, dont la superficie est de 3.85 millions de milles carrés, est le plus grand pays du monde après l'URSS. Aussi la distance est-elle un facteur économique qui joue un rôle considérable dans le développement des transports terrestres et des communications qui doivent relier les zones très éloignées d'exploitation des richesses naturelles et de développement industriel.

Or, à cet élément de base que constitue la distance s'ajoute une grande diversité de terrains et de conditions climatiques qui, du point de vue géotechnique, exercent une influence considérable sur le développement économique du Canada.

Un trait caractéristique du sol canadien est qu'il offre la plus grande étendue de dépôts glaciaires parmi tous les pays.² Ces matériaux, qui remontent au Pléistocène et couvrent 97 p. 100 de la surface du Canada, sont à la fois un atout et un handicap pour les travaux de construction.

Les dépôts de sable et de gravier sont abondamment utilisés comme matériaux de construction et en 1968 on évaluait leur valeur globale à 128 millions de dollars. Si l'on calcule qu'en 1980 la valeur des travaux dans le secteur de la construction atteindra 20 milliards de dollars,

celle du sable et du gravier se chiffrera à 200 millions de dollars environ. Les étendues d'argiles marines ou lacustres (fig. V.3), qui sont d'ailleurs très favorables à l'agriculture, posent de graves problèmes pour les fondations et sont à l'origine de l'instabilité des pentes qui gêne les ouvrages d'ingénierie (fig. V.1).

En outre, quelque 500 000 milles carrés de la superficie du Canada sont recouverts de tourbes qui suscitent des difficultés particulières à la construction de routes et de voies ferrées ou à l'exploitation des richesses renouvelables. Ces sols organiques se trouvent sous toutes les latitudes au Canada (fig. V.1), mais on les rencontre surtout dans le Bouclier canadien, notamment au Nord.

De plus, les sols minéraux ou organiques du Nord canadien posent des problèmes de construction engendrés par leur forte teneur en glace dans les nombreuses zones de pergélisol. Si l'on bouleverse la surface du sol par des travaux de construction ou le passage de véhicules dans une zone de pergélisol, on provoque souvent un déséquilibre du bilan thermique, qui peut causer la fonte de la glace dans le sol (sol pseudokarstique), ruiner complètement un ouvrage ou accélérer l'érosion du sol, ce qui peut occasionner des frais élevés sur le plan local.

Cependant, les activités géotechniques canadiennes ne s'appliquent pas uniquement aux matériaux meubles du Pléistocène, mais en fait s'adressent à toute la gamme de matériaux de divers âges géologiques que l'on trouve au Canada. Les excavations pratiquées dans le roc pour des fins d'exploitation minière ou d'amé-

¹ Exemples:

Creusement du canal de dérivation de la Rivière Rouge, volume de matériaux déplacés- 100 millions de verges cubes;

Remblais du barrage Gardiner-27 millions de verges cubes;

Remblais du barrage Mica-40 millions de verges cubes;

Industrie minière canadienne; volume de roc extrait chaque année-200 millions de verges cubes;

(Pour fins de comparaison, un parallélépipède d'un mille carré de base, haut de 97 pieds, offre un volume de 100 millions de verges cubes).

² Legget, R. F. *Soils in Canada*, Soc. Roy. du Canada, publ. spé. n° 3, p. 3 à 5, 1961.

nagement d'installations hydroélectriques, ou encore la construction de barrages et de ponts reposant sur les schistes argileux foisonnants d'âge Crétacé dans l'Ouest du Canada (voir fig. V.3), voilà autant d'exemples de milieux géologiques où la géotechnique joue un rôle essentiel dans la réalisation des travaux d'ingénieur.

Dans la région de la Cordillère, dans l'Ouest canadien, la topographie accidentée et les facteurs climatiques ont une forte incidence sur la construction et l'entretien des voies d'accès, comme le prouvent les conséquences des grands glissements de terrain le long des routes qui vont de Hope à Princeton et à Squamish, ainsi que les avalanches dans les environs du col Rogers. Aussi est-il particulièrement important d'effectuer des études géotechniques en vue d'empêcher ou de minimiser ces catastrophes.

Certes, le Canada n'a pas souffert dernièrement de forts tremblements de terre, mais il existe dans notre pays deux régions où des séismes importants pourraient se produire (voir fig. V.4). Ce sont la vallée du Bas Saint-Laurent, qui est parmi les plus peuplées du Canada, et le littoral du Pacifique.

Si les calculs qui portent sur l'intensité des tremblements de terre et sur leur prévision, dans un cadre régional, sont une des tâches majeures du sismologue, par ailleurs les répercussions des ondes sismiques sur les différents types de sol intéressent l'ingénieur qui étudie la mécanique des sols et les fondations. L'actuel Code national du bâtiment prévoit et précise que, dans le cas des sols compressibles, les bâtiments doivent être conçus pour résister à une poussée de 1.5 fois la force prévisible d'un séisme. On applique ce facteur de façon arbitraire, sans tenir compte de la hauteur de l'édifice, de la profondeur du sol ni de l'emplacement du bâtiment, faute de connaître de façon plus précise les réactions du sol aux ondes sismiques dans les différentes conditions stratigraphiques et topographiques. On estime¹ que ce facteur sismique coûte 500 000 dollars par an à la seule ville

d'Ottawa et qu'on pourrait le réduire considérablement si l'on connaissait suffisamment le comportement des sols qui sont soumis aux forces sismiques.

Aussi la géotechnique occupe-t-elle un rôle important, grâce aux éléments de sécurité et d'économie qu'elle apporte dans les travaux de construction ou d'excavation pratiqués en terrains divers.

V.4 La géotechnique et l'exploitation des richesses naturelles

Les richesses naturelles que constituent les minerais, les combustibles fossiles et l'eau sont à la base même de l'économie canadienne. Aussi la découverte, l'exploitation et la gestion de ces ressources en vue d'en tirer les meilleurs bénéfices pour le présent ou le futur intéressent-elles tous les secteurs de l'économie.

La tâche essentielle de la géotechnique dans la mise en valeur des ressources est de fournir les données premières sur les conditions du sol et sur les propriétés mécaniques et physiques des matériaux meubles qui, ensemble, jouent un rôle fondamental dans l'économie et la sécurité des ouvrages qui s'appuient ou pénètrent les matériaux précités, ou qui s'en composent.

Un excellent exemple nous est fourni par le barrage de Portage Mountain (W.A.C. Bennett), un remblai de terre de 600 pieds de haut, édifié sur le cours de la Rivière de la Paix, près de Hudson Hope (C.-B.) (fig. V.2). C'est grâce à la géotechnique, dont l'apport fut indispensable à la réalisation de cet ouvrage, que l'on a trouvé les matériaux meubles destinés à la construction,² que l'on a conçu

¹Comité associé de la recherche géotechnique du Conseil national de recherches et Division de géotechnique de l'Institut des ingénieurs du Canada. Mémoire sur les sciences géotechniques au groupe d'études des sciences de la Terre auprès du Conseil des sciences du Canada. Com. ass. rech. géotechn., CNRC, Mém. techn. 95, 1969.

²Ripley, C.F. *Portage Mountain dam: an outline of the project*. Can. Geotech. Jour., Vol. IV, n° 2, p. 125 à 151, 1967.

Figure V.1—Éboulement d'argile sensible à Nicolet, Québec, Québec, 1956. On voit qu'un bâtiment est resté intact. (Photo de la Division de recherche en bâtiment du CNRC n° M2836).



Figure V.2—Le barrage W.A.C. Bennett—Vue de la culée de la rive droite, novembre 1968 (Photo communiquée gracieusement par la Régie des eaux et d'énergie électrique de la Colombie-Britannique).



Figure V.3—Aspects géotechniques importants du sol canadien.

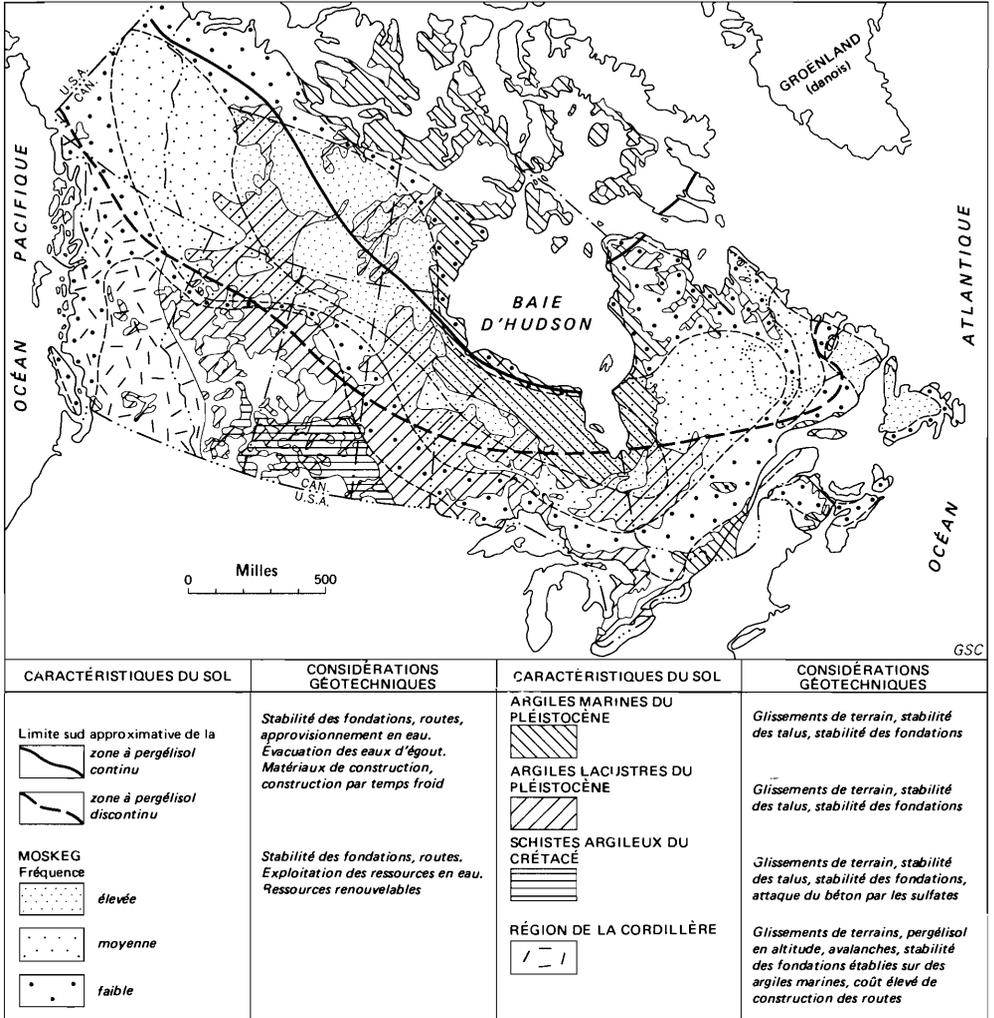
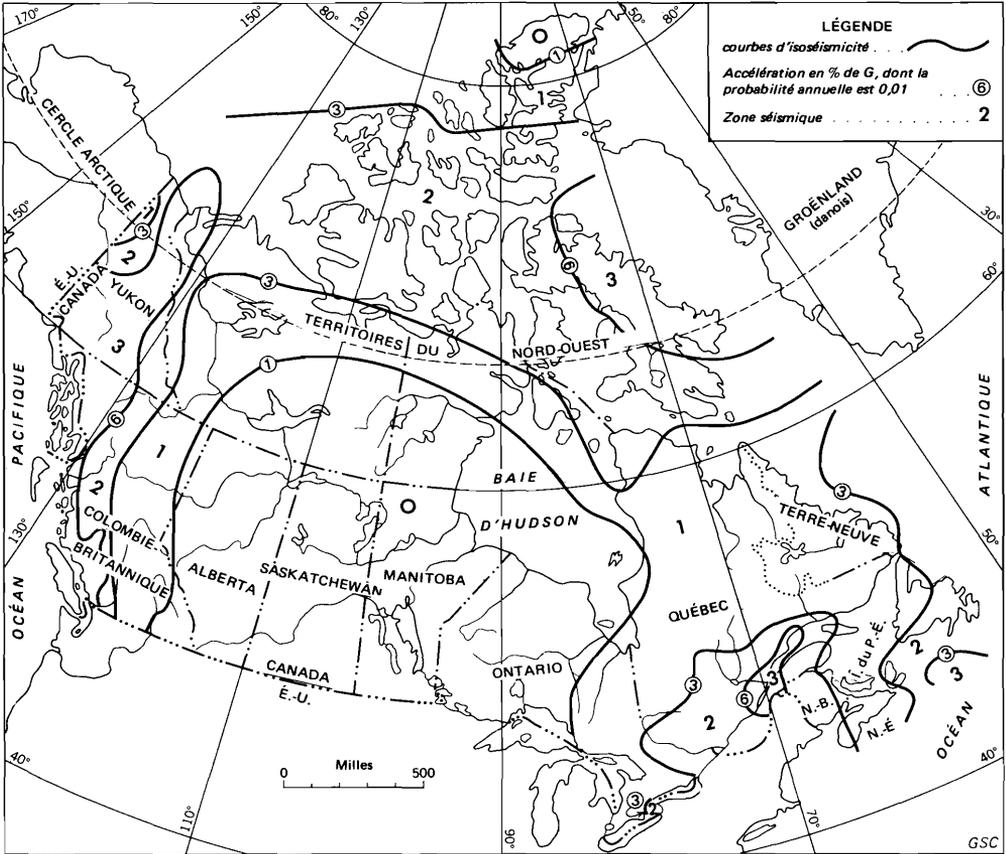


Figure V.4—Zones sismiques du Canada (1969). (Données provenant de la Direction des observatoires fédéraux, Min. de l'E.M.R.).



les différentes phases du barrage¹ et contrôlé la qualité des matériaux pendant les travaux.²

Beaucoup de problèmes géotechniques, tels que la stabilité des talus, la lutte contre les infiltrations souterraines et la rupture des parois rocheuses se posent à la fois en génie minier et en construction. Le besoin continu de ressources minérales entraînera l'exploitation plus fréquente des gîtes minéraux à basse teneur situés à faible profondeur, ou de gisements à teneur élevée à une grande profondeur. Les problèmes de stabilité des talus, de l'établissement économique des parois des mines à ciel ouvert, de la détection des écoulements souterrains et superficiels et des mesures pour s'en protéger sont déjà des facteurs qui interviennent dans les travaux miniers.

Les mines à ciel ouvert sont ordinairement des fosses de milliers de pieds carrés de superficie et de centaines de pieds de profondeur; pour y mettre le minerai à jour il faut donc exploiter des millions de verges cubes de roc stérile et de matériaux meubles. L'exploitation économique de ces mines exige que l'on donne l'inclinaison la plus raide aux parois de la fosse, tout en respectant les normes de sécurité. Une faible augmentation de la pente de ces parois, fût-elle de quelques degrés, permet d'éviter l'extraction de millions de verges cubes de roches; aussi ne devrait-on pas hésiter à consacrer aux recherches géotechniques les modestes sommes requises pour les études de la stabilité des parois de ces mines, car il pourra en résulter de très grandes économies d'exploitation.

Quand les excavations se font en-dessous du niveau hydrostatique, il devient essentiel de se prémunir contre l'action des eaux souterraines, à la fois pour assurer la stabilité des pentes et pour permettre aux travaux d'excavation de se poursuivre à sec. Dans les travaux de fondation, l'exhaure est une mesure temporaire qui ne s'impose ordinairement que pendant la période de fonçage à ciel ouvert. Toutefois, dans une mine à ciel ouvert, l'exhaure constitue une opération perma-

nente et les quantités d'eau que l'on évacue journallement peuvent être de l'ordre de millions de gallons, comme par exemple à Schefferville³ où l'on pompe chaque jour des mines de fer à ciel ouvert plus de 23 millions de gallons d'eau.

On ne peut concevoir un système d'exhaure efficace et économique qu'en s'appuyant sur une connaissance approfondie des caractéristiques aquifères et de la répartition en profondeur des couches géologiques, ce qui constitue un des secteurs de la géotechnique appliquée au génie minier et aux travaux de construction.

La répartition spatiale et la grandeur des espaces lacunaires des roches et des sols sont deux traits morphologiques qui non seulement influencent la migration et l'accumulation du pétrole et des gaz mais constituent également un facteur important en géotechnique; ainsi, les études géotechniques ne s'appliquent pas uniquement aux propriétés des matériaux meubles eux-mêmes mais encore aux lacunes qui influencent le comportement global des matériaux.

Au Canada, la mise en valeur des richesses naturelles se fait souvent de façon simultanée mais à des endroits très éloignés, que ce soit dans le secteur minier ou dans celui de l'énergie. Par exemple, la construction du barrage W.A.C. Bennett sur la Rivière de la Paix en Colombie-Britannique a coïncidé partiellement avec la mise en valeur des gisements de potasse en Saskatchewan, et l'intensité actuelle des efforts de prospection pétrolière en Arctique est contemporaine des travaux hydroélectriques des chutes Churchill au Labrador et sur la rivière Columbia en Colombie-Britannique. On voit que cette concomitance dans la mise en valeur des ressources naturelles exige que la géotechnique canadienne emploie

¹Morgan, C.C. et M.C. Harris. *Portage Mountain dam, materials*. Can. Geotech. Jour., Vol. IV, n° 2, p. 142 à 183, 1967.

²Low, W.I. et A.P. Lyell. *Portage Mountain dam, development of construction control*. Can. Geotech. Jour., Vol. IV, n° 2, p. 184 à 228, 1967.

³Stubbins, J.B., et P. Munro. *Open-pot mine dewatering - Knob Lake*. C.I.M.M. Bull. vol. 58, n° 640, p. 814 à 822, 1965.

ses moyens et ses ressources en vue de fournir de façon simultanée les renseignements de base et les services nécessaires à la juste estimation des caractéristiques géotechniques d'une grande variété de sols, de matériaux meubles et de techniques.

Aussi devons-nous conclure:

Conclusion V.1

La mise en valeur et l'exploitation des richesses naturelles nécessitent qu'un haut degré de compétence géotechnique soit maintenu au Canada, notamment en ce qui concerne la connaissance des propriétés mécaniques et l'étude du comportement des divers genres de terrains et des matériaux meubles soumis aux variations atmosphériques et aux contraintes des ouvrages.

V.5 La géotechnique et les transports

L'union politique des provinces et des territoires du Canada en 1867 dépendait largement des moyens de transport disponibles, et en fait ne pouvait que précéder l'entrée des provinces maritimes et de la Colombie-Britannique dans la Confédération. Depuis, les transports ont constitué le facteur le plus important du progrès économique du pays. Cette constatation demeure toujours valable et le sera encore probablement pendant plusieurs années.

Au Canada, comme dans les autres pays, les progrès technologiques et les différents types de marchandises à transporter ont fortement marqué l'évolution des modes de transports. Au cours de la période 1850-1925, la longueur des voies ferrées est passée de 66 à 40 000 milles. Depuis 1925, la longueur des voies principales exploitées s'est stabilisée, chez nous, autour de 43 000 milles. On doit inclure dans ce dernier estimé environ 2 500 milles de nouvelles voies ferrées construites depuis la Seconde guerre mondiale dans des terrains très accidentés afin de desservir des exploitations minières importantes telles que celles des gise-

ments de plomb et de zinc de Pine Point dans les Territoires du Nord-Ouest, et des gîtes ferrifères du Nouveau-Québec et du Labrador.

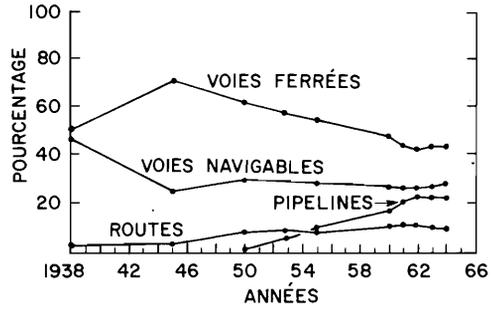
Jusqu'en 1900, les routes reliant les villes étaient peu nombreuses et leur aménagement était circonscrit à l'intérieur des villes ou autour de celles-ci, afin de faciliter la circulation et de développer le commerce sur le plan local. La nécessité de développer et d'améliorer le réseau routier, qui s'est d'abord manifestée vers 1915, s'est maintenue au point que le Canada possède à présent 450 000 milles de grandes routes et de routes rurales, dont 15 pour cent environ ont un recouvrement asphalté ou bétonné, les autres étant gravelées ou en terre compactée. En outre, on compte dans les agglomérations près de 45 000 milles de routes et de rues, dont 65 pour cent ont un revêtement.

La période d'après-guerre a connu un essor prodigieux des transports aériens, qui a nécessité l'aménagement de nombreux aéroports aussi bien dans les principaux centres du pays que dans les moins grands, notamment dans le Nord. Cependant, le mode de transport qui a progressé de la façon la plus étonnante depuis la Seconde guerre reste le pipeline.

La longueur des conduites était négligeable en 1950, alors qu'en 1968 les oléoducs de 42 sociétés pétrolières s'élevaient à un réseau de 14 457 milles de conduites principales et collectrices. En outre, à la fin de 1967, on comptait 48 295 milles de gazoducs dont 11 pour cent étaient constitués par des conduites collectrices, 32 pour cent par des conduites de transport et le reste par des conduites de distribution. Au cours des 17 années qui se sont écoulées depuis 1950, la proportion du trafic de marchandises, exprimé en tonnes-mille et acheminé par pipe-line, (fig. n° V.5) s'est élevée à environ 22 pour cent, ce qui représente environ le double des tonnes-mille à la charge des transports routiers et sensiblement l'équivalent des transports par eau.

Les pourcentages respectifs du trafic de marchandises exprimé en tonnes-mille et acheminé par les divers moyens de trans-

Figure V.5—Répartition du trafic interurbain en tonnes-mille à l'actif des différents modes de transport, 1928-1964



port canadiens sont les suivants: voies ferrées, 43 pour cent; voies navigables, 26 pour cent; pipelines, 22 pour cent; routes, 9 pour cent. Le transport de marchandises par voie aérienne, même s'il n'atteint qu'un pour cent du total en tonnes-mille des produits transportés, n'en connaît pas moins le taux de croissance le plus rapide; le trafic aérien exprimé en voyageurs-mille dépasse celui des moyens de transport commercial sur route ou encore par voie ferrée.

Même si l'on peut prévoir des changements dans les taux de croissance des différents modes de transport canadiens, il n'en demeure pas moins que tous ces modes dépendent tant soit peu de l'aide de la géotechnique, soit le long de leurs itinéraires, soit à leurs têtes de lignes.

En 1967, la construction de chemins et de routes au Canada a coûté environ 1.7 milliard de dollars et les deux grandes compagnies ferroviaires ont dépensé 351 millions de dollars en travaux de voie ferrée. Si l'on ajoute les dépenses occasionnées par les travaux de pipelines, de réseaux de canaux et d'aéroports, le total des frais annuels d'aménagement et d'entretien des différents moyens de transports dépasse de beaucoup 2 milliards de dollars. La moyenne de ces dépenses par Canadien excède 100 dollars par an, ce qui est presque un record dans le monde¹, et il est à noter que ce sont des problèmes de nature géotechnique qui sont à l'origine d'une grande partie des frais.

La nature du sol canadien et les conditions climatiques s'allient pour gêner l'aménagement économique des réseaux de transport terrestres. À mesure que les réseaux de communications et de transports doivent s'étendre plus au Nord, notamment dans des régions de pergélisol ou de tourbes, l'incidence économique de la nature du sol et des conditions météorologiques se fait de plus en plus sentir; dès lors les géotechniciens devront œuvrer de leur mieux pour réduire les investissements dans ces réseaux et leurs frais d'entretien.

V.6 Le rôle de la géotechnique en planification urbaine et urbanisme

Lors de la Confédération, la population du Canada était de 3.5 millions d'habitants; depuis, ce chiffre a sextuplé, et on compte à présent 21 millions de Canadiens. Au cours de la période écoulée, des changements importants se sont produits régionalement dans la répartition de la croissance démographique.

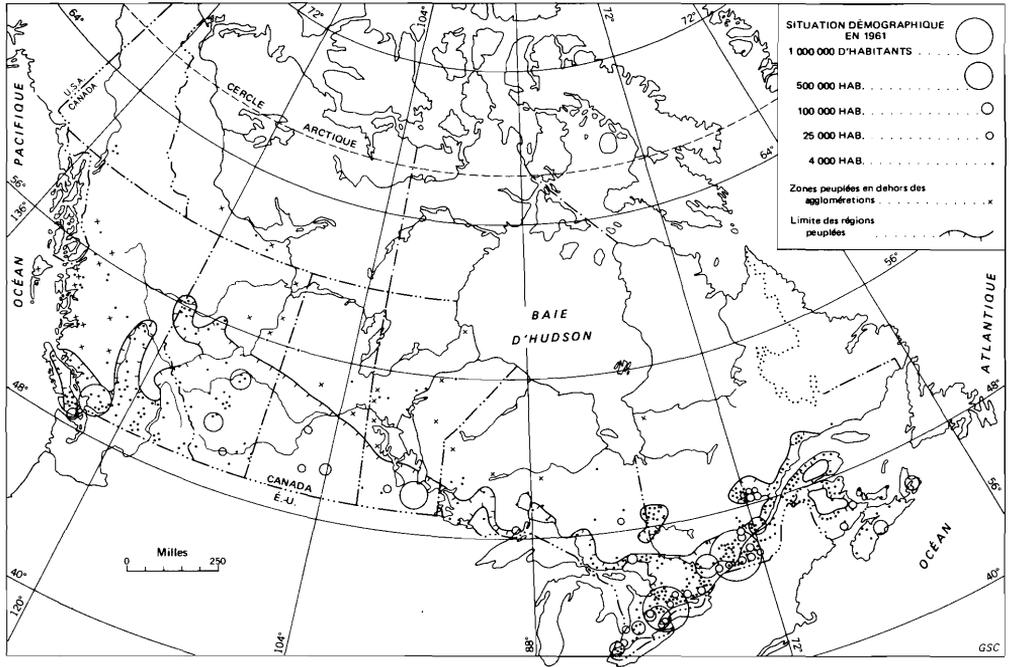
Au début du siècle, 60 pour cent environ de la population canadienne vivait dans des zones rurales et 40 pour cent de la main-d'œuvre nationale travaillait dans l'agriculture. Au cours des décennies qui ont suivi, notamment après la Seconde guerre mondiale, les villes se sont développées à tel point que 70 pour cent de la population actuelle est urbaine et que seulement 10 pour cent de la main-d'œuvre du pays est employée à des tâches agricoles.

Sur le plan géographique, la répartition de la population (fig. n° V.6) s'est caractérisée par des concentrations dans les grandes régions urbaines du Canada, notamment dans la vallée du Saint-Laurent et la région en aval des Grands Lacs, dans les provinces de l'Ontario et du Québec; un autre trait marquant a été la dispersion de la population dans les principales zones agricoles et minière des Provinces Maritimes, de l'Est du Canada, des Prairies et de la Colombie-Britannique. La croissance démographique des vingt dernières années a contribué à intensifier le processus actuel plutôt qu'à créer des modes de répartition vraiment nouveaux. Aussi, trouve-t-on près de 65 pour cent de la population actuelle du Canada dans un couloir relativement étroit qui s'étend de Québec à Windsor. Du point de vue géotechnique cette zone est caractérisée par les problèmes que posent les travaux de fondation et la stabilité des talus dans les terrains d'argiles marines et lacustres, ainsi que par les risques de séismes qui, en certains de ses points, sont les plus élevés au Canada.

On prévoit que la population cana-

¹Mémoire sur les sciences géotechniques, *op. cit.*

Figure V.6—Répartition de la population en 1961 (Tiré de *Population changes in Canada, 1867-1967*, de T.R. Weir. *Can. Geog.*, Vol. XI, n°4, 1967).



dienne doublera presque au cours des trente prochaines années, ce qui nécessitera la construction d'autant de bâtiments et d'ouvrages d'utilité publique qu'il n'en existe actuellement. L'urbanisation du Canada, causée par la progression rapide des industries et des services, constitue une tendance bien affirmée et l'on peut prédire logiquement que la croissance future de la population aura lieu dans les régions urbaines. Si cette croissance n'obéit pas à des modes nouveaux de répartition démographique, les centres actuels subiront inévitablement des pressions de plus en plus grandes les poussant à s'étendre latéralement et verticalement en réponse à la croissance démographique.

Les entreprises mènent généralement des études géotechniques sur les sols d'assise et les caractéristiques du tracé des grands ouvrages dans les zones urbaines canadiennes. De telles études sont menées le plus souvent par les ingénieurs-conseils pour le compte de différents clients des secteurs privé et public.

L'interprétation rationnelle des résultats techniques de l'examen du terrain requiert la connaissance de la superposition stratigraphique et de la répartition locale des matériaux meubles et doit tenir compte des rapports de ces matériaux avec la structure géologique régionale. Dans le cas de la plupart des centres urbains canadiens, c'est à peine si on connaît la superposition stratigraphique et la répartition locale des matériaux meubles. On pourrait tout de même tirer grand profit des nombreuses données géologiques qui pourraient être facilement obtenues lors des travaux d'excavation effectués dans les zones urbaines. Or, on ne consigne jamais la plus grande partie de ces renseignements et il n'est plus possible de se les procurer quand les excavations sont comblées. *Les tentatives faites par les géologues ou les ingénieurs en vue d'augmenter les connaissances sur la géologie locale des zones urbaines ont été trop fréquemment gênées par l'absence de soutien financier dû en partie aux problèmes des juridictions aux divers échelons municipal, ré-*

gional, provincial et fédéral. Aussi les géologues canadiens n'ont-ils pas pu faire la preuve, vis-à-vis du public en général et des organismes responsables en particulier, de l'importance de la documentation géologique pour l'aménagement urbain et régional.

Dans ces conditions, il ne faut pas s'étonner si les géologues ont choisi de se tourner vers les problèmes de recherche qui se posent dans les régions les plus éloignées du Canada où naturellement leurs efforts sont requis de façon urgente mais où les complications dues aux problèmes d'organisation sur le plan humain influent moins sur leur activité scientifique.

Par conséquent nous concluons que:

Conclusion V.2

Les grandes agglomérations urbaines devraient avoir à leur emploi au moins un ingénieur spécialisé en géotechnique, qui se chargerait, entre autres, de rassembler, de cataloguer et de diffuser toutes les données géoscientifiques intéressant les préposés à la conception des grands ouvrages et à l'aménagement urbain.

Les spécialistes de différentes disciplines¹ consacrent des efforts considérables à l'élaboration de concepts et de méthodes sur lesquels la société doit pouvoir fonder de façon rationnelle une planification visant à établir un équilibre optimal entre l'épanouissement de la collectivité nationale, la mise en valeur des ressources et la progression de l'économie. Quoique l'accord général ne puisse probablement se faire sur les limites précises de la région à aménager et sur la meilleure méthode et les meilleurs moyens organiques de conception et de mise en œuvre des plans à l'intérieur de la région, il apparaît néanmoins que les courants de population provoqueront la formation de collectivités régionales axées sur un centre urbain, telles que les décrit Gertler.²

¹«Conférence sur les ressources et notre avenir» Montréal, juillet 1961. Documentation et comptes rendus, 3 vol.

²Gertler, L.O. Regional planning and development. «Conférence sur les ressources et notre avenir» Documentation, vol. 1, p. 393 à 407, 1961.

Bien que la planification normale de l'aménagement urbain et régional soit dictée principalement par les concepts juridiques et les principes de l'économie, sa mise en œuvre est indissolublement liée aux conditions géologiques. *Aussi, le rôle essentiel de la géotechnique en matière d'urbanisme et d'aménagement régional est-il de fournir des données de base sur les conditions géologiques et les propriétés mécaniques des matériaux afin d'assurer l'utilisation la plus sûre, la plus économique et la plus efficace des terrains, des produits minéraux et des ressources en combustible et en eau. Cela permettra aux différents secteurs de la région aménagée d'employer les ressources de multiples façons.*

La plupart des travaux de génie nécessaires à l'aménagement urbain, (construction des fondations, réseaux de transports, implantation des ouvrages ou des services d'utilité publique, ou aménagement des zones de loisirs) sont pratiqués à quelques dizaines de pieds de profondeur. Dans des cas particuliers, les excavations peuvent atteindre une profondeur de cent ou deux cents pieds. Ces profondeurs sont d'ailleurs insignifiantes si on les compare à celles atteintes par les sondages de prospection minière (10 000 pieds) ou pétrolière (17 500 pieds). Cependant, l'importance sans cesse croissante des travaux effectués dans la couche superficielle exige que l'on connaisse en détail la répartition et les propriétés des matériaux meubles et des assises rocheuses que l'on trouve dans cette zone, et que l'on sache les conséquences que le bouleversement des matériaux meubles pourrait avoir sur l'équilibre biologique et hydrologique.

Les utilisateurs de données géologiques dans les zones urbaines comprennent les urbanistes et planificateurs régionaux, les ingénieurs municipaux, les ingénieurs des fondations, les fournisseurs de matériaux de construction, les géologues et le public en général. Aussi, dans ces zones, doit-on fournir des données géologiques adaptées aux besoins des utilisateurs.

Ces études de géologie urbaine doi-

vent, pour offrir le maximum d'aide à ceux qui seront appelés à les utiliser, porter sur des éléments tels que les propriétés physiques des matériaux meubles, les caractéristiques intéressant l'ingénieur civil, les risques d'érosion, la répartition des nappes phréatiques et la stabilité des terres en cas de séismes. Ces éléments doivent être étudiés dans leur contexte géologique et suivant la répartition et la succession stratigraphique des matériaux locaux.

En conclusion, nous affirmons que:

Conclusion V.3

Les organismes provinciaux doivent concentrer leurs efforts en vue de fournir une cartographie géologique détaillée (représentation cartographique au 1/50 000^e ou à une plus grande échelle) des régions urbaines et de leurs zones d'expansion, notamment en ce qui concerne les matériaux superficiels, les formes du relief et les conditions hydrogéologiques. Le gouvernement fédéral, par le truchement de ses organismes techniques, devrait encourager ces programmes des organismes provinciaux et contribuer à l'étude de régions pilotes tout en assurant la compilation et l'analyse des données géotechniques d'intérêt national.

V.7 Les activités géotechniques actuelles

Introduction

La géotechnique apparaît comme l'une des disciplines les plus complexes parmi les sciences de la Terre, si l'on considère la diversité de ses activités, son éparpillement géographique et ses relations avec les autres sciences et la technologie. On s'occupe principalement de géotechnique dans l'industrie, en faisant surtout appel à des firmes spécialisées, dans les organismes publics à l'échelon provincial et fédéral, et dans les universités. Nous avons évalué l'importance de l'activité géotechnique dans ces différents secteurs grâce aux réponses fournies à nos questionnaires et aux études de documentation faites

pour le compte de notre Groupe d'études. Les publications sur l'aide à la recherche en sciences de la Terre nous ont également été d'un précieux secours.

La présente partie porte sur les questions fondamentales que constituent l'importance et la répartition des effectifs géotechniques, l'intensité et les différents genres d'activités géotechniques dans les divers secteurs, l'ampleur et les sources du financement de ces activités, ainsi que l'influence et l'efficacité des moyens d'information actuels pour le développement de la géotechnique en tant qu'activité scientifique et atout pour le progrès du pays.

Au total 93 questionnaires furent distribués aux principaux cabinets d'ingénieurs-conseils et aux entrepreneurs et organismes publics qui s'occupent de géotechnique. Comme le montre le tableau I.2, 40 pour cent des questionnaires ont été remplis. Le coût total des ouvrages déclarés représentait 64 pour cent de la valeur totale des constructions non domiciliaires et des ouvrages de génie indiqués par le Bureau fédéral de la statistique pour l'année 1968. Donc, l'on peut considérer que les données fournies par les questionnaires représentent assez bien les degrés d'activité des secteurs privé et public.

La nature des projets de recherche et l'aide financière qui s'y rapporte sont bien connues grâce aux publications du Conseil national de recherches et de la Commission géologique du Canada, grâce auxquelles l'on a pu faire un bon relevé de la recherche en géotechnique dans les universités.

Par contre, l'évaluation de l'efficacité des moyens d'information dans le domaine de la géotechnique peut difficilement se mesurer. La documentation, les questionnaires et les mémoires rédigés pour le Groupe d'études, ainsi que les informations publiées sur les sociétés professionnelles et savantes, les conférences et autres renseignements connexes fournissent les éléments d'une vue d'ensemble instructive.

Le développement relativement récent

de la géotechnique et la multiplicité des activités dans ce domaine sont la cause de différences importantes dans le taux de croissance des divers segments de cette discipline. Ces inégalités sont attribuables en partie au fait que cette science ne s'est vraiment développée que depuis la Seconde guerre mondiale, quoique la croissance rapide de l'industrie du bâtiment et de l'industrie minière ait influencé beaucoup son développement. C'est ainsi que la géotechnique a été utilisée pour résoudre les problèmes immédiats qui se posaient dans ces industries, sans pour cela suivre une progression régulière et planifiée, tant du point de vue scientifique que de celui des effectifs.

Dépenses

L'activité géotechnique entraîne des dépenses surtout dans l'industrie et le secteur public, là où elle est directement liée à des travaux de construction, ainsi que dans le secteur universitaire où il faut financer la recherche en ce domaine.

Les dépenses liées aux travaux de construction

Les réponses à notre questionnaire nous ont permis d'établir le rapport entre le coût des ouvrages et les dépenses consacrées aux études géotechniques s'y rapportant. En 1968, les frais d'études géotechniques atteignaient en moyenne 0.4 pour cent des investissements dans les ouvrages. Toutefois, pour certains chantiers, ces frais peuvent varier entre moins de 0.1 pour cent et 2 pour cent, selon la complexité des travaux et l'interdépendance des divers facteurs géotechniques. Forage, sondage et échantillonnage (voir tableau II.20) forment 44 pour cent de l'ensemble de l'activité géotechnique liée aux travaux de construction, et constituent le poste le plus important des dépenses dans les secteurs privé et public; viennent ensuite, par ordre décroissant, les frais de laboratoire et de bureau, la cartographie géologique et autres activités sur le terrain, la recherche et la mise au point technique, et enfin la documentation scientifique.

En 1968, le total des frais engagés au Canada en recherche et développement géotechniques (voir tableau II.20) atteignait 4 millions de dollars, ce qui représente seulement 0.04 pour cent de la valeur des travaux de construction auxquels s'appliquaient les études géotechniques. Il en va différemment de l'industrie minière qui, en 1968, a consacré 42 millions de dollars à la recherche et au développement géoscientifiques, ce qui représente 1 pour cent de la valeur de la production minière. Dans tous les cas portés à notre connaissance les travaux de recherche et de développement géotechniques entrepris par l'industrie s'appliquaient directement aux travaux de construction pour lesquels des ingénieurs-conseils avaient été engagés. Ainsi, il apparaît que dans l'industrie canadienne, les activités de recherche et de développement géotechniques sont liées à des travaux de construction particuliers et qu'elles sont financées par les honoraires versés en contrepartie des services des ingénieurs-conseils; l'importance de la recherche et du développement géotechniques de portée «générale» est négligeable. L'insuffisance courante des recherches générales est due en partie au manque de ressources de toutes les firmes et au peu d'intérêt et d'enthousiasme dont témoignent certains ingénieurs-conseils pour la recherche et le développement; ils estiment qu'ils ne sont pas placés dans la meilleure situation pour les mener à bien; cependant, 71 pour cent des ingénieurs-conseils qui ont répondu à notre questionnaire indiquent qu'ils se livreraient volontiers à des travaux de recherche sous contrat et accepteraient de travailler dans des domaines qui ne seraient pas directement liés à un ouvrage particulier.

Secteur public

Les organismes de l'État fédéral et les organismes provinciaux qui ont répondu au questionnaire n'ont pas donné assez de renseignements sur leurs activités en matière de recherche et développement géotechniques pour qu'on puisse évaluer de

façon précise l'importance globale des fonds qu'ils ont consacrés à la recherche géotechnique. Cependant, on a procédé à l'estimation de ces frais en se fondant sur le montant des subventions fédérales connues et sur les coûts par professeur¹ des travaux de recherches effectués dans les facultés des sciences et du génie.

Secteur universitaire

On prévoyait qu'en 1969 le coût unitaire des subventions de fonctionnement et d'achat de petit matériel de recherche dans les facultés des sciences et du génie des universités canadiennes serait de 20 400 dollars par chercheur-enseignant.² Comme environ 70 universitaires s'occupent de géotechnique au Canada, on pouvait penser que le montant des dépenses de fonctionnement et d'achat de petit matériel serait d'au moins 1.4 million de dollars pour l'année 1969. Les frais de fonctionnement et d'achat de petit matériel constituant une proportion allant des deux tiers aux trois quarts des dépenses totales de recherches des départements universitaires de génie, on peut dire que la somme totale consacrée actuellement aux recherches géotechniques par les universités canadiennes est probablement de l'ordre de 2 millions de dollars, qui proviennent presque entièrement de l'État.

Les principaux organismes de l'État (voir le tableau II.27) qui octroient des subventions ont accordé, en tout, 763 000 dollars en 1968 pour encourager la recherche géotechnique dans les universités. Ce tableau indique que la répartition de l'aide à la recherche dans les différents domaines géotechniques est fort inégale, mais cette situation découle des centres d'intérêt des chercheurs et ne reflète aucunement la manière dont les fonds ont été répartis.

¹ Conseil national de recherches du Canada. *Prospectives des effectifs et du financement de la recherche dans les facultés des sciences et du génie des universités canadiennes. 1968-1972*. Rapport du Comité de prévision, 1969.

² *Op. cit.*

Secteur privé

Il apparaît que l'aide accordée actuellement par le secteur de la construction aux recherches géotechniques liées à des travaux particuliers est presque nulle. À première vue, cela paraît illogique si l'on considère le chiffre d'affaires annuel du secteur de la construction au Canada.

Mais l'on sait que dans ce secteur les cabinets d'études qui sont les principaux et les plus directs utilisateurs des résultats des recherches géotechniques comprennent un grand nombre de firmes relativement peu importantes dont le budget est déjà lourdement grevé de dépenses d'ordre interne. Aussi, tous les gains supplémentaires que ces maisons peuvent obtenir sont-ils consacrés au développement de l'entreprise. Il en va de même pour les entrepreneurs, et à moindre degré pour les fabricants et les fournisseurs du secteur de la construction. De plus, il n'existe actuellement aucun organisme central représentant les intérêts de tous les secteurs de la construction et qui pourrait entreprendre des recherches pour le compte de l'industrie. Dans ces conditions, la Division des recherches en bâtiment du Conseil national de recherches, par l'intermédiaire de ses laboratoires d'Ottawa et régionaux, comble une lacune importante. Les services de cet organisme pourraient être utilement relayés par les conseils des recherches provinciaux, tout en faisant appel à la collaboration des professionnels de la construction dans leurs régions respectives.

Répartition et fonctions des effectifs géotechniques

La répartition des effectifs dans les secteurs privé, public et universitaire est donnée au tableau V.1, pour l'année 1968. Ces estimés se fondent sur les réponses aux questionnaires qui nous sont parvenues des organismes publics et privés, et sur la liste des membres de la section canadienne de la Société internationale de mécanique des sols et des travaux de fondations.¹ Afin de tenir compte des effectifs probables dont l'existence n'est pas indiquée par les questionnaires, et de

rendre ces estimés aussi précis que possible, nous avons légèrement extrapolé le nombre de spécialistes œuvrant dans l'industrie.

Tableau V.1—Répartition par secteur des spécialistes de la géotechnique

Secteurs	Nombre	Pourcentage
Industriel	250	46
public—État fédéral	123	22
public—des provinces	105	19
universitaire	70	13
Total	548	100

Le tableau V.2 donne la répartition des effectifs de géotechniciens canadiens à la fois par secteur et par spécialité; il a été établi à partir de la liste pour 1968 des membres de la section canadienne de la Société internationale de mécanique des sols et de technique des fondations. Cette liste représente 79 pour cent du total du personnel indiqué au tableau V.1.

Il ressort clairement des tableaux V.1 et V.2 que la mécanique des sols est de loin la spécialité géotechnique prédominante, suivent la géologie de l'ingénieur et la mécanique des roches. La moitié environ du nombre total des géotechniciens se trouve dans le secteur industriel.

Dans l'industrie, les géotechniciens travaillent presque exclusivement dans des bureaux d'études techniques. Ces firmes non seulement procurent des services à l'intérieur du pays, mais elles exercent également leurs activités géotechniques à l'étranger. Si on se fie aux réponses à notre questionnaire, environ la moitié de ces firmes ont travaillé dans un total de 24 pays des Antilles, de l'Amérique centrale et l'Amérique latine, de l'Europe, de l'Afrique, du Moyen-Orient et de l'Asie. Leurs principales tâches à l'étranger portaient la conception d'aménagements hydroélectriques et de réseaux routiers.

Quant aux titres universitaires des géotechniciens des secteurs industriel et public, les questionnaires ont révélé que

¹Eden, W. J., J. Butler et D. Tremblay. *Rapport annuel de la section canadienne de la Société internationale de mécanique des sols et de fondations, pour l'exercice se terminant en juin 1968*. Cons. nat. de recherches. Comité associé de recherche géotechnique. rapport technique n° 94, 1968.

Tableau V.2—Répartition des membres de la section canadienne de la Société internationale de mécanique des sols et des travaux de fondations pour l'exercice se terminant en juin 1968

Spécialités géotechniques	Secteur universitaire				Secteur public				Secteur industriel	
	Professeurs		Étudiants diplômés		fédéral		provincial			
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
Mécanique des sols	56	12.9	32	7.4	83	19.2	54	12.5	174	40.2
Mécanique des roches	1	0.2	0	0	1	0.2	0	0	3	0.7
Géologie de l'ingénieur	6	1.4	1	0.2	1	0.2	4	0.9	13	3
Géographie	1	0.2	0	0	0	0	1	0.2	0	0
Géophysique	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.2
Biologie	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	65	14.9	33	7.6	85	19.6	59	13.6	191	44.1

plus de 50 pour cent des effectifs possédaient un baccalauréat de spécialité (voir fig. II.22). Mais, par ailleurs, les résultats ont montré nettement que depuis six ans la proportion du personnel doté d'un diplôme des second et troisième cycles, notamment la maîtrise, tendait à augmenter et que la proportion de géotechniciens munis seulement du baccalauréat était en baisse.

Formation professionnelle

Le caractère diversifié des activités géotechniques exige des géotechniciens des connaissances universitaires dans des disciplines aussi variées que les génies civil et minier, la géologie, la géographie physique, la pédologie et la biologie. La communauté canadienne de géotechniciens, qui comprend actuellement plus de 500 membres, possède cette formation universitaire éclectique. Nombre de géotechniciens ont été formés, partiellement ou totalement, dans des universités étrangères au cours de la période qui a suivi la Seconde guerre mondiale, mais qui a précédé l'essor de la géotechnique dans les universités canadiennes durant les dix dernières années.

À présent, l'enseignement de la mécanique des sols est dispensé aux trois niveaux universitaires dans 14 au moins des plus grandes universités canadiennes, alors que neuf d'entre elles se spécialisent en recherche et en études supérieures dans ce domaine. La géologie de l'ingénieur et l'hydrogéologie tiennent une pe-

tite place dans les programmes de la plupart des grandes universités. Ainsi, l'enseignement et la recherche dans les différents domaines de la géotechnique font l'objet d'une bonne répartition géographique dans tout le Canada, et il y a assez de professeurs pour voir à la formation des étudiants à tous les niveaux (voir tableau II.22). Deux ou trois universités canadiennes seulement se livrent à des recherches actives sur les tourbes; de même, peu de nos établissements universitaires mènent des études sur le pergélisol.

Au Canada et ailleurs ce sont surtout les écoles d'ingénieurs qui s'occupent de l'enseignement et de la recherche dans les différents domaines de la géotechnique, mais les départements de géologie, de géographie et de pédologie des facultés des sciences et des arts y apportent également une contribution importante. On voit donc que l'enseignement actuel de la géotechnique dans nos universités comporte de nombreux aspects, ce qui nous amène à conclure que:

Conclusion V.4

La formation supérieure des divers spécialistes de la géotechnique devrait être assurée dans nos universités grâce à l'étroite collaboration des départements de génie civil, de géologie et des autres sciences de la Terre, au moyen de programmes de cours et de recherches conjoints, et de subventions spéciales à la recherche pluridisciplinaire.

Tableau V.3—Panorama des travaux récents de recherche géotechnique

Thèmes d'activité géotechnique	Secteur public		Secteur universitaire	Secteur industriel
	fédéral	provincial		
Argiles marines				
Caractéristiques technologiques	5 ^a	—	5	—
Glissements de terrain	—	1	—	—
Levés géologiques				
Géologie urbaine	—	—	1	—
Géologie régionale et locale	2	—	—	X ^b
Roc				
Propriétés physiques et caractéristiques technologiques	6	—	3	X
Classification technologique	3	—	—	—
Stabilité des talus	5	—	1	X
Mesure des contraintes	7	—	1	—
Argiles lacustres	2	—	1	XXX
Schistes argileux	1	—	2	—
Pergélisol et action du gel	3	—	1	—
Tourbes et tourbières	1	—	—	X
Calcul des fondations et essais sur place	—	—	—	XXX
Méthodes de sondage et d'échantillonnage	—	—	—	X
Instruments pour les travaux sur le terrain	—	—	—	X

Sources: 1. Comité consultatif national pour la recherche en sciences géologiques. *Recherches actuelles en sciences géologiques, 1966-1967*; Com. géo. du Can., étude 67-58, 1967-1968; Com. géo. du Can., étude 68-54.

2. Réponses au questionnaire géotechnique distribué par le Groupe d'études.

^a Les chiffres indiquent le nombre de chercheurs qui s'adonnent à un travail particulier de recherches cité à la source n° 1.

^b Indique le nombre relatif de mentions faites dans les réponses au questionnaire.

Domaines actuels de la recherche géotechnique

Les facteurs naturels liés à la nature des terrains et au climat, tels qu'ils sont décrits dans la section V.3, constituent le principal champ d'activité de la recherche géotechnique canadienne. Le tableau V.3 n'est qu'un sommaire partiel des activités de recherches actuelles mais il montre qu'au Canada tous les grands problèmes géotechniques sont abordés. Les contributions, surtout d'origine canadienne, faites ces six dernières années à la *Revue canadienne de géotechnique* (voir figure V.7) ont permis de déterminer la répartition actuelle des activités de recherche géotechnique tant au point de vue géographique qu'à celui des spécialités. Bien que cette revue n'ait pas publié d'études sur la mécanique des roches, ce sujet a été traité dans de nombreuses autres revues scientifiques canadiennes.¹

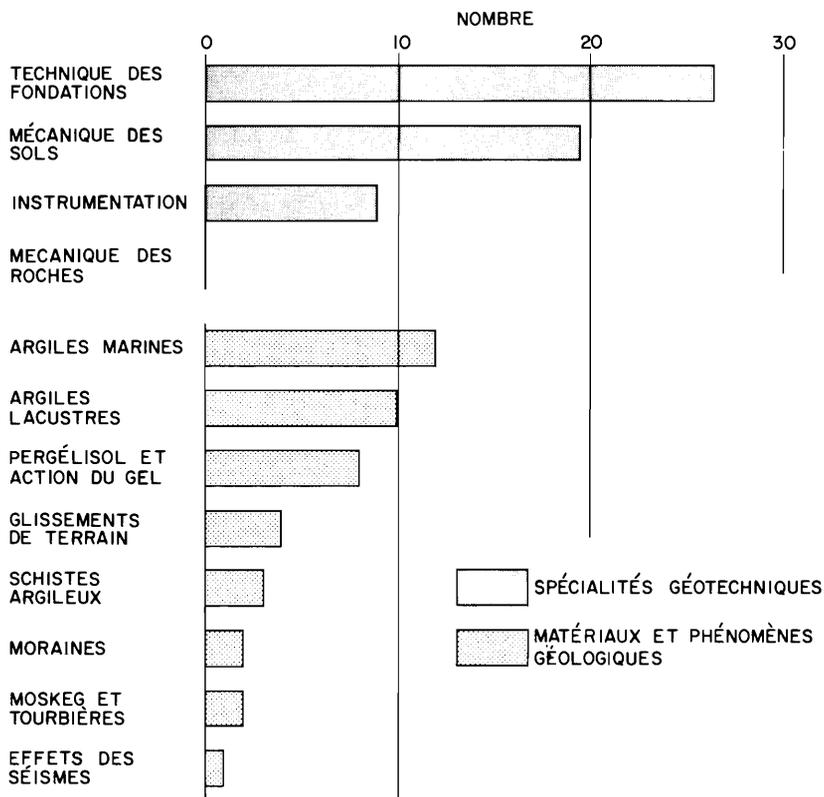
Le tableau V.3 résume d'autres informations sur des matières qui ont fait ré-

cemment l'objet de recherches géotechniques et qui figurent dans les rapports du Comité consultatif national pour la recherche en sciences géologiques.

La variété des problèmes géotechniques qui sont mentionnés dans la documentation récente ou qui font actuellement l'objet de recherches indique que la compétence des géotechniciens canadiens s'étend aux principaux domaines intéressant cette discipline. Cependant, les effectifs des diverses spécialités de la géotechnique sont d'importance inégale dans les trois secteurs. Par exemple, le nombre de spécialistes du pergélisol, des tourbes, de la géologie urbaine et des aspects géophysiques de la géotechnique ne représente qu'une faible fraction des effectifs

Les bibliographies des articles canadiens portant sur la mécanique des roches, préparées par D. F. Coates et publiées dans le bulletin de l'Institut canadien des mines et de la métallurgie, ont permis de dresser une liste de 167 articles publiés pendant les années 1964 à 1967 inclusivement sans compter 43 thèses et 83 rapports de la Direction des mines du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, parus au cours de la même période.

Figure V.7-Répartition des contributions faites à la Revue canadienne de géotechnique, selon les spécialités, les matériaux et les phénomènes géologiques, durant les années 1963 à 1969.



de géotechniciens étudiant la mécanique des sols et les techniques des fondations. Pour la plupart, ces spécialisations géotechniques n'appartiennent qu'au Canada et le recrutement indispensable en ces domaines particuliers ne peut se faire simplement en faisant appel à des spécialistes étrangers.

Par ailleurs, on a établi que les exigences dans les différents domaines de la géotechnique dépendent étroitement de l'activité des trois secteurs où travaillent les effectifs de géotechniciens. Par conséquent, des variations de la demande provoquées par exemple par l'accélération des travaux de construction dans les régions à tourbe et à pergélisol, ou un accroissement de l'industrialisation dans les zones d'argiles marines sensibles, pourraient rapidement dépasser les forces des effectifs de géotechniciens canadiens.

Information scientifique

Les progrès de tous les domaines d'activité scientifique et l'utilisation des résultats de la recherche dépendent essentiellement de l'efficacité de l'information scientifique. On peut représenter de façon simplifiée le réseau d'information dans un domaine scientifique quelconque par un tétraèdre dont trois sommets seraient occupés par les secteurs privé, universitaire et public du pays, et le quatrième par le secteur international. Autour de cette ossature, le réseau d'information se développe avec une complexité croissant à mesure de l'intervention des diverses disciplines scientifiques, des organismes exploitants, des différents niveaux d'administration publique et des diverses méthodes d'information. L'efficacité de la communication de l'information, tant théorique que pratique, dépend directement du dynamisme des organes de liaison entre les divers éléments du réseau. On peut rattacher nombre de facteurs qui influencent le dynamisme des échanges d'information au comportement de l'homme lui-même; aussi ces facteurs font-ils l'objet de recherches approfondies dans le domaine des sciences sociales. Il se trouve que l'efficacité des échan-

ges entre les hommes de sciences est fréquemment associée à leurs motivations et à leur détermination d'atteindre des objectifs communs sans que les nécessaires mais arbitraires limites des juridictions administratives et des disciplines scientifiques constituent une pierre d'achoppement. La mise en œuvre d'un réseau efficace de dissémination de l'information, qu'il s'agisse des publications, conférences, colloques ou séminaires, exige une aide financière et des effectifs suffisants, sans quoi les meilleures motivations et la plus grande détermination ne servent à rien.

Le progrès des différentes sphères de la géotechnique canadienne apparaît clairement comme le résultat de l'élan donné par les différents comités d'envergure nationale financés par les organismes fédéraux. Le Comité associé de la recherche géotechnique auprès du Conseil national de recherches a joué un rôle essentiel en stimulant et en coordonnant les efforts de recherche sur les caractéristiques physiques et technologiques du sol canadien et en établissant une liaison entre les organismes géotechniques canadiens et internationaux. Depuis sa fondation en 1945, ce comité associé et ses sous-comités de la mécanique des sols, du moskeg, du pergélisol et de la neige et de la glace ont organisé des conférences et des séminaires de recherche dans les différents domaines de la géotechnique. Les comptes rendus de ces conférences, publiés par le Conseil national de recherches sous la forme de mémoires techniques du comité associé, constituent une source précieuse d'informations géotechniques canadiennes, qui complète des données de publications géotechniques de la Division des recherches en bâtiment du Conseil national de recherches. Depuis 1962, la Division de géotechnique de l'Institut canadien des Ingénieurs a organisé les Conférences annuelles canadiennes de mécanique des sols. En outre, les sous-comités, de concert avec les groupes d'études locaux et les universités, ont mis sur pied des tournées de conférences remarquables dans le pays.

En 1963, le comité associé a fondé la *Revue canadienne de géotechnique*, qui compte actuellement plus de 1 000 abonnés au Canada et à l'étranger.

Le comité associé encourage les relations internationales dans le domaine de la géotechnique en fournissant le personnel de direction et de secrétariat à la section canadienne de la Société internationale de mécanique des sols et des travaux de fondations.

Le développement des échanges d'information dans le domaine de la mécanique des roches a été facilité par la création en 1963 du Comité consultatif canadien de la mécanique des roches, sous l'égide du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Les membres qui composent ce comité appartiennent à l'industrie minière, aux universités, à l'Association minière du Canada et à la Direction des mines du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Le comité stimule l'activité dans le domaine de la mécanique des roches, y favorise les échanges d'informations et la coordination des recherches grâce à l'octroi de subventions à la recherche, à la publication de bibliographies et à l'organisation de conférences.

Le Comité consultatif national pour la recherche en sciences géologiques et le Comité consultatif national pour la recherche géographique, sous les auspices du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, et le Conseil de recherches pour la défense, sous les auspices du Ministère de la Défense nationale, fournissent d'autres moyens d'échanges d'informations entre les spécialistes qui s'adonnent à la recherche en géotechnique et aspects connexes des sciences de la Terre.

Par conséquent, nous concluons que:

Conclusion V.5

Dans le domaine d'activité géotechnique canadienne, il existe des organismes efficaces qui facilitent les échanges d'informations et coordonnent les efforts de recherche géotechnique. Il apparaît indispensable de continuer à soutenir financièrement ces

comités, d'y avoir une représentation nationale, afin de maintenir l'efficacité de leur action dans le domaine des échanges et de la coordination des efforts de recherche.

Dans le domaine de la géotechnique, tout autant que les autres domaines des sciences de la Terre, plusieurs pays disposent de moyens humains et financiers dépassant largement ceux que le Canada peut consacrer à la recherche scientifique, et leurs travaux géotechniques s'étendent à plusieurs parties du globe. Par conséquent, il n'est pas surprenant que des publications telles que *Geotechnique* de l'Institut des ingénieurs civils de la Grande-Bretagne et le *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division* de l'*American Society of Civil Engineers* qui toutes deux contiennent des études de grande qualité, occupent une place essentielle parmi les sources auxquelles puisent les géotechniciens canadiens, notamment en mécanique des sols et technique des fondations. Les manuels de méthodes d'exploration et de méthodes de construction préparés par les différents organismes des États ou du secteur fédéral des États-Unis sont couramment utilisés par les bureaux d'études géotechniques. Ces publications étrangères ont largement aidé les géotechniciens canadiens en les faisant bénéficier des résultats essentiels des recherches menées à l'étranger. Quoique le recours aisé à des données géotechniques étrangères constitue un atout dont il faut tirer le meilleur parti, ceci ne réduit en rien la responsabilité de maintenir et d'accroître nos connaissances pour résoudre les problèmes géotechniques canadiens de façon économique et sûre, et de conserver un personnel spécialisé qui puisse répondre à nos besoins nationaux et nos obligations internationales.

À cause du rapport étroit entre la géotechnique et le génie, les données géotechniques canadiennes ont surtout été transmises par les organismes et les publications d'ingénieurs, outre le rôle mineur des sociétés géologiques canadiennes. Par contre, la Société géologique d'Amérique,

dont le siège se trouve à Boulder au Colorado, possède depuis 1947 une section de géologie appliquée très active; or, aucune section de géologie appliquée n'existe au sein de l'organisme canadien homologue, l'Association géologique du Canada. Cette lacune provient en grande partie du nombre relativement restreint de géologues canadiens qui se livrent à cette activité, soit environ 40, mais elle reflète également le fait que les géologues canadiens en général se préoccupent des aspects plus traditionnels des sciences de la Terre, et notamment de l'exploration minière et pétrolière. Néanmoins, les changements réalisés au sein de l'Institut Canadien des Ingénieurs de même que la croissance régulière de l'activité géotechnique au pays font prévoir la proche création d'une société géotechnique canadienne qui remplacera l'actuelle Division de géotechnique de l'Institut Canadien des Ingénieurs.

Outre les besoins permanents d'échanges au sein et entre les différentes professions et organismes géotechniques, nous estimons que:

Conclusion V.6

Les sociétés savantes et les associations professionnelles s'intéressant au domaine de la géotechnique devraient s'efforcer de mieux renseigner les autorités gouvernementales et d'éduquer le grand public sur la rentabilité des travaux de géotechnique dès les premières esquisses des travaux de construction, afin d'éviter une mauvaise utilisation du sol, des dépenses inutiles et des risques d'accidents

V.8 La géotechnique dans l'avenir

Introduction

Les progrès et les réalisations de la géotechnique dans l'avenir sont inextricablement liés aux modes prévus de développement des richesses naturelles et à l'expansion du secteur de la construction en fonction des besoins croissants de la population et de l'industrialisation. Il n'est pas possible de prévoir les endroits précis des futures exploitations minières ni les

caractéristiques des fondations qui seront nécessaires à la future technologie industrielle. Toutefois, les tendances générales du développement économique du Canada ainsi que les lacunes et les déficiences actuelles de notre activité géotechnique fournissent des éléments d'information suffisants pour établir une prospective des besoins.

Domaines de recherche

Nous n'avons pas cherché à dresser une liste exhaustive des sujets de recherches géotechniques, quoique beaucoup des données fournies par la documentation et les mémoires qui nous ont été présentés ont été utilisées. Le tableau V.4 présente succinctement les plus importants domaines où s'exerceront les activités géotechniques embrassant l'exploitation des ressources, les transports et l'aménagement urbain et régional. Nous avons souligné les domaines prioritaires pour le développement économique du pays. Le tableau V.4 montre que les sujets qui concernent un domaine particulier, par exemple les transports, peuvent s'appliquer à d'autres, comme l'exploitation des ressources et l'aménagement urbain et régional. Aussi, a-t-on rangé dans chaque colonne les sujets de recherche en fonction de leur degré de pertinence avec un domaine particulier, et on a tracé des flèches pour indiquer les rapports avec d'autres domaines.

Exécution des travaux géotechniques

Pour réaliser les objectifs géotechniques tels que ceux qui sont esquissés dans le tableau V.4, qui visent le développement économique du pays, il faudra satisfaire aux conditions suivantes:

1. Les secteurs public, industriel et universitaire doivent reconnaître que ces travaux sont nécessaires et s'accorder pour établir un ordre dans les priorités.
2. Notre pays doit disposer d'un groupe suffisant de géotechniciens compétents pour entreprendre les tâches nécessaires.
3. Les organismes publics et les firmes industrielles doivent fournir une aide financière adéquate.

4. La collaboration et les échanges d'information sur le plan national et international doivent être ininterrompus afin d'éviter la répétition inutile d'efforts de recherches et pour assurer la meilleure utilisation des résultats obtenus.

À notre avis, les organismes publics de tous les paliers de gouvernement se doivent de collaborer étroitement et de participer activement à la réalisation des travaux géotechniques, sans quoi l'expansion régionale du pays serait sérieusement compromise.

La réalisation des programmes géotechniques présentés au tableau V.4 exigera l'utilisation maximale de tous les effectifs de l'industrie, des universités et du secteur public. Comme la majorité des géotechniciens se trouvent dans l'industrie, les organismes publics devront utiliser au mieux les effectifs de ce secteur, tout en utilisant les moyens de recherches des universités et en faisant appel à leur propre personnel pour exécuter les programmes géotechniques financés par l'État.

La demande future de personnel géotechnique qualifié proviendra surtout des secteurs public et privé, compte tenu des nécessités du développement du pays. Ainsi, il faudra mettre en œuvre dans les grandes universités un programme permanent de formation de géotechniciens, avec accent sur l'aspect pluridisciplinaire de la géotechnique, afin de subvenir aux besoins nationaux et de former le personnel requis.

La recherche géotechnique dans les universités doit naturellement s'intégrer au programme de formation professionnelle. Bien qu'en majeure partie la recherche géotechnique soit de nature appliquée, et qu'elle conservera probablement ce caractère, il faut répartir judicieusement les subventions à la recherche entre les différents domaines de la géotechnique et entre la recherche appliquée et fondamentale. Nous estimons qu'un rapport de 5 à 1 entre la recherche appliquée et la recherche fondamentale est raisonnable.

Au Canada, les dépenses de recherche

scientifique et développement (R & D) en géotechnique représentent actuellement 0.04 pour cent du chiffre d'affaires du secteur de la construction auquel les activités géotechniques s'appliquent. Si l'on établit une comparaison entre ce chiffre et les 2 pour cent du Produit national brut qu'on envisage pour les dépenses de R & D (objectif qui selon le Conseil des sciences¹ sera dépassé dans les prochains grands programmes canadiens de R & D), les dépenses de R & D pour la géotechnique apparaissent dérisoirement faibles.

Si l'on veut que les dépenses de R & D en géotechnique atteignent les 2 pour cent du chiffre d'affaires de la construction, il faut immédiatement multiplier leur financement par cinquante, en prévoyant des augmentations annuelles ultérieures de cinq ou six pour cent pour maintenir la proportion prévue. Cette énorme augmentation n'est naturellement pas possible du point de vue économique et il ne s'agit pas de la souhaiter; néanmoins, ce calcul indique combien le niveau des dépenses actuelles de R & D en géotechnique est loin de refléter l'importance du secteur de la construction dans l'économie canadienne.

Nous pensons que les dépenses de R & D doivent être en proportion de l'ampleur des dépenses en construction; c'est ainsi que l'analyse qui suit permet de fixer un objectif réaliste aux dépenses géotechniques pour l'année 1985.

Nous estimons qu'en 1985 le chiffre d'affaires total de la construction atteindra au moins 25 milliards de dollars. Or, la géotechnique concerne au moins 60 pour cent des travaux de construction; nous pouvons donc fixer à 15 milliards de dollars la valeur brute des travaux de construction prévus en 1985, où la géotechnique jouera un rôle important. D'autre part, les frais de travaux de génie comprenant des dépenses directes en géotechnique atteignent en moyenne 5 pour cent de la valeur totale des travaux de cons-

¹Conseil des sciences du Canada. *Vers une politique nationale des sciences au Canada*. Rapport n° 4, Ottawa, Imprimeur de la Reine, 1968.

Tableau V.4—Les grandes priorités géotechniques

Spécialités géotechniques	Sujets d'études géotechniques		
	Exploitation des ressources	Transports	Urbanisme et aménagement urbain et régional
La sécurité du public et la sécurité dans la construction	<p>—Rédaction de guides et de manuels des bonnes pratiques pour les travaux d'excavation ou de creusage de galeries en sol meuble ou dans le roc, afin d'éviter les pertes humaines et de réduire les dégâts matériels dus à l'affaissement des terrains.</p> <p>—Mise au point d'instruments annonçant les glissements de terrain et les éboulements, de même que l'accumulation des contraintes de rupture dans les parois rocheuses des galeries souterraines.</p>	→	→
Les effets des séismes et la dynamique des sols	←	←	<p>—Mise au point sur le plan national de méthodes permettant de prévoir les dégâts causés par les séismes au point de vue de leur occurrence géographique et de la nature des terrains, avec la collaboration de sismologues, d'ingénieurs spécialistes des sols et d'ingénieurs civils.</p> <p>—Études plus nombreuses de l'interaction du sol et des ouvrages soumis à des charges dynamiques.</p> <p>—Détermination des caractéristiques dynamiques des sols qui déterminent la stabilité des talus et les modifications thixotropes des argiles.</p>
Ressources En eau	<p>—Étude suivie sur l'accumulation et le déplacement des eaux souterraines dans les conditions naturelles de même qu'en concomitance avec des réservoirs d'eaux de surface.</p> <p>—Étude suivie de l'influence des rivières, des réservoirs, des lacs et des phénomènes d'écoulement des eaux souterraines sur la stabilité des rivages et des talus.</p>	←	→
	<p>—Étude sur le déplacement des agents de pollution qui proviennent des travaux miniers et pétroliers et s'écoulent en surface ou sous terre, et mise au point de techniques de dépollution.</p>	←	<p>—Étude des effets hydrodynamiques et géochimiques des décharges d'eaux résiduaires en surface ou dans le sol.</p>

Le pergélisol et les facteurs climatiques	- Mise au point d'appareils et de méthodes de reconnaissance rapide des terrains à pergélisol.	→	→
	- Intensification de la cartographie et des évaluations des terrains à pergélisol.	→	→
		←	- Mise au point technique de meilleurs pipelines, conduites d'égout et autres installations à la surface du pergélisol ou en profondeur.
		←	- Intensification des études d'amélioration des techniques de construction et des matériaux en vue de diminuer l'action du gel sur les sols d'assise et les remblais et de faciliter le tassement des sols par temps froid.
	←	- Intensification des études sur l'origine des lentilles de glace dans les terrains poreux.	→
		- Mise au point de meilleures méthodes de prévision de la profondeur du gel à partir de l'humidité atmosphérique et des différents types de sols.	
Moskeg (fondrières à sphaignes)		←	- Étude soutenue de l'adaptation des véhicules à la circulation tous-terrains dans les zones à moskeg ou à sol mou.
	- Études suivies des caractéristiques physiques des fondrières et des possibilités d'utilisation des terrains tourbiers.	→	

Tableau V.4—Les grandes priorités géotechniques

Études des terrains et des matériaux meubles	-Amélioration des techniques d'analyse des terrains par télémesures.	→	→	
	-Amélioration des techniques de sondage, d'échantillonnage et de sautage.	→	→	
	-Amélioration des techniques de mesures géophysiques au sol et dans les sondages pour l'étude des formations meubles et rocheuses, et pour des fins d'hydrogéologie.	→	→	
	-Étude soutenue des caractéristiques de stabilité des talus naturels ou des coupes en fonction de la nature des terres et des moraines.			
	-Étude soutenue des rapports entre la stratigraphie et les caractéristiques mécaniques des dépôts du Quaternaire.	-Étude des propriétés physiques et mécaniques du ballast et des matériaux d'hérison des routes.		-Intensification des efforts de cartographie géologique des zones urbaines et de croissance démographique et présentation des résultats sous une forme ouvrant l'éventail des utilisations possibles des terrains.
		-Études des caractéristiques antidérapantes des revêtements de chaussée.		-Accélération de l'élaboration des systèmes d'information pour le stockage et la recherche documentaire.
		-Efforts suivis pour localiser et évaluer les ressources en matériaux granulaires et pour en contrôler l'exploitation.	←	→
	-Mise au point de méthodes économiques de restauration paysagiste des terrains ravagés par les exploitations minières à ciel ouvert et les décapages houillers.			
	-Étude suivie des caractéristiques de résistance et de déformation des sols et des roches de nature critique.	-Développement de moyens efficaces et économiques de lutte contre l'érosion des talus.		→
		-Mise au point de méthodes de valorisation des matériaux meubles pour la construction	←	→

truction. Ainsi, la valeur des travaux de génie impliquant directement la géotechnique serait de 750 millions de dollars.

Si nous fixons à deux pour cent la proportion des dépenses de R & D, le montant des frais de R & D en géotechnique devrait être de 15 millions de dollars en 1985, soit environ quatre fois le total des dépenses actuelles.

Nous fondant sur cette analyse, nous estimons que:

Conclusion V.7.

En 1985, le montant des dépenses de recherche scientifique et développement en géotechnique devrait atteindre 2 pour cent du total des frais de génie des travaux de construction que la géotechnique concerne. Cet objectif devrait être de l'ordre de 15 millions de dollars, soit environ quatre fois le montant actuel des frais de R & D en géotechnique.

On estime que pour atteindre ce but il faudra accroître annuellement de 10 pour cent les montants actuels de ces dépenses de R & D, sans compter les pourcentages d'augmentation nécessaires pour compenser la dépréciation monétaire et la complexité croissante de la recherche scientifique. Toutefois, une telle augmentation se compare très bien au taux de croissance annuel de 10 pour cent du secteur de la construction et aux taux correspondant du Produit national brut, qui s'établit aux environs de 8 pour cent.

On ne peut toutefois pas s'attendre à ce que toutes les augmentations de subventions à la recherche soient à la charge du gouvernement fédéral, qui les accorderait par le canal du Conseil national de recherches, du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources ou du Conseil de recherches pour la Défense.

Étant donné que dans le secteur de la construction les bureaux d'étude constituent les principaux utilisateurs directs des résultats de la R & D en géotechnique, nous estimons que:

Conclusion V.8

On doit encourager la recherche scien-

tifique et le développement en géotechnique dans le secteur de la construction et les bureaux d'étude en octroyant des avantages fiscaux. Ces mesures doivent être suffisamment souples pour favoriser un groupement des efforts de R & D entre le secteur de la construction, les bureaux d'étude, les utilisateurs ou les propriétaires, les universités et les organismes de recherche.

Nous pensons que les travaux futurs de recherche et développement en géotechnique devront mettre l'accent sur les aspects de la géotechnique qui touchent l'exploitation des richesses naturelles, les transports, l'aménagement urbain et régional, notamment dans le Nord canadien. Ces aspects sont les suivants:

Exploitation des ressources

- Études sur la stabilité des talus
- Méthodes économiques de restauration paysagiste

- Caractéristiques de résistance et de déformation des matériaux meubles et des massifs rocheux

- Manuels des bonnes pratiques pour l'excavation des matériaux meubles et des massifs rocheux

- Méthodes rapides de reconnaissance du pergélisol

- Emmagasinement de déplacement des eaux souterraines.

Transports

- Inventaire des ressources en matériaux granulaires

- Valorisation des matériaux meubles pour la construction

- Amélioration des techniques de construction dans les zones à pergélisol

- Réduction optimale de l'action du gel sous les revêtements des routes

- Adaptation des véhicules tous-terrains à la circulation sur les sols peu résistants et dans les tourbières.

Urbanisme et aménagement urbain et régional

- Cartographie géologique et études connexes des zones urbaines

- Élaboration de systèmes d'informatique de stockage et de recherche des données géoscientifiques et géotechniques

-Éducation du public sur l'importance économique des données géotechniques et des méthodes de lutte contre les catastrophes naturelles

-Mise au point sur le plan national de méthodes d'évaluation des dangers sismiques.

-Effets hydrodynamiques et géochimiques de la décharge d'eaux résiduaires en surface ou sous terre.

Bien que tous les aspects de la géotechnique soient importants dans ces domaines, il faut mentionner plus particulièrement la géologie urbaine, la géologie de l'ingénieur, la mécanique des roches, l'étude des tourbes et du pergélisol.

Actuellement la mécanique des sols constitue le secteur primordial de la géotechnique tant pour les effectifs que les subventions accordées à la recherche technologique. Bien que l'on s'attende à voir la mécanique des sols continuer à occuper la première place en géotechnique en raison de ses applications étendues et diversifiées aux autres domaines géotechniques, nous concluons néanmoins que:

Conclusion V.9

Le corps enseignant des départements universitaires de génie civil, géologie et géographie doit être de plus en plus conscient des avantages de la recherche scientifique en géologie urbaine, géologie de l'ingénieur, mécanique des roches, hydrogéologie, étude des tourbes et du pergélisol, car ces domaines se rattachent intimement au développement du pays.

Comme les organismes fédéraux accordent leurs subventions à la recherche géoscientifique aux chercheurs qualifiés qui en font la demande, l'on peut penser raisonnablement que l'augmentation du montant total des subventions à la recherche en géotechnique suivra les demandes de fonds pour les nouveaux travaux de recherches universitaires. Aussi pensons-nous que les universitaires spécialisés en géotechnique ont une responsabilité à assumer et un rôle important à jouer; ils doivent orienter leurs recherches suivant les aspects de la géotechni-

que où les besoins se font particulièrement sentir.

À notre avis, la géotechnique reçoit une part équitable de la somme des subventions à la recherche géoscientifique octroyées aux universités par les organismes fédéraux. Cependant, nous estimons que:

Conclusion V.10

L'aide à la recherche géotechnique dans les universités, accordée par les organismes fédéraux, se trouve à un niveau minimal, et son accroissement annuel provenant de l'augmentation des crédits des organismes subventionnaires ne permet que de maintenir une activité minimale. En plus de continuer à financer les programmes universitaires actuels, les organismes subventionnaires fédéraux devraient accroître leur aide pour le lancement de nouveaux programmes de recherche en géologie urbaine, géologie de l'ingénieur, mécanique des roches, hydrogéologie, étude des tourbes et du pergélisol.

Bien que les organismes fédéraux jouent un rôle important en encourageant la recherche universitaire, il demeure que leur principale responsabilité est de mettre en œuvre le programme gouvernemental de développement économique des provinces et du pays, à l'avantage de la population toute entière. Nous estimons que:

Conclusion V.11

Les nouveaux programmes géotechniques qui relèvent des différentes directions des organismes fédéraux et provinciaux devraient viser à développer particulièrement les connaissances dans les domaines de la géologie urbaine, la géologie de l'ingénieur, la mécanique des roches, l'hydrogéologie, l'étude des tourbes et du pergélisol, afin de favoriser le développement économique du pays, d'approfondir les connaissances et d'accroître les effectifs de géotechniciens canadiens dans ces domaines.

Pour que le futur développement économique et scientifique du pays bénéficie

au maximum des activités géotechniques, il faut que les trois secteurs qui jouent un rôle actif en géotechnique, savoir l'industrie, les universités et le secteur public, conjuguent leurs efforts pour atteindre les objectifs communs à tous les aspects de la géotechnique, soit la sécurité et l'économie des travaux de génie pratiqués dans nos divers types de terrains. Chaque secteur a un rôle spécifique à jouer, qu'il s'agisse d'un service de grande qualité que doivent fournir sur une base d'honoraires les cabinets d'études techniques pour le compte des secteurs public et privé, de l'enseignement et de la recherche scientifique auxquels se livrent traditionnellement les universités, ou de la diffusion des données de base dans le cas des organismes publics. Même si des chevauchements inévitables recourent parfois l'activité de ces différents secteurs, il faut éviter la répétition intentionnelle des mêmes efforts et il importe que chaque secteur se consacre entièrement à la réalisation des objectifs qui lui sont propres.

Chapitre VI

Les richesses renouvelables et l'aménagement rationnel du territoire

«Nous dénudons et épuisons le sol au lieu de l'utiliser de manière à accroître ses possibilités d'emploi. Nous sapons ainsi lentement la prospérité que nous devrions, en toute justice, transmettre à nos enfants lorsqu'ils auront l'âge d'homme.»

le président Théodore Roosevelt

VI.1 Considérations générales

Les diverses facettes de la présente étude développent à de nombreuses reprises le thème de la contribution des sciences de la Terre à la croissance économique, au progrès matériel et à l'expansion régionale. Nous pouvons, du point de vue économique, compter sur la contribution soutenue des sciences de la Terre à la prospérité nationale, sans toutefois oublier que nos ressources en terrains sont limitées. La concurrence pour l'utilisation des terrains s'accroît sans cesse. Qu'il s'agisse d'extraction de minéraux, d'agriculture, de foresterie, d'aménagements hydro-électriques, de développement industriel, d'urbanisme, d'utilisation récréative ou de protection de la nature, il est indispensable d'utiliser les richesses naturelles d'une manière judicieuse et de prendre les mesures appropriées pour protéger la qualité du milieu environnant. Le présent chapitre exposera, sous cet angle, comment les sciences de la Terre peuvent aider à l'exploitation judicieuse des richesses renouvelables et à l'aménagement rationnel du territoire, grâce notamment aux applications de la pédologie aux sols cultivés et forestiers, et de celles de l'hydrogéologie aux eaux souterraines. Il exposera en détail l'utilisation polyvalente des terrains et mettra aussi en évidence le rôle important joué par la biogéochimie dans les domaines de la nutrition et du bien-être. Bien que sommaire, le présent chapitre constitue une partie importante du rapport; il complète, en effet, le panorama général des sciences de la Terre au service du pays.

Le Conseil des sciences du Canada a déjà parrainé des études spéciales portant sur les importants domaines des *Ressources en eau*,¹ de l'*Agriculture*,² et de la *Foresterie*.³ Dans ces domaines, tout comme dans l'utilisation rationnelle des terrains, qui connaît de rapides progrès, les sciences de la Terre jouent un rôle important. En raison de ces diverses études, notre examen s'est limité à tracer les grandes lignes de la contribution des sciences de la Terre à ces secteurs, plutôt qu'à en faire une étude approfondie. Nous nous sommes également efforcés de montrer l'interdépendance existant entre les sciences de la Terre et ces autres disciplines, et de mettre en lumière les relations étroites entre l'aménagement rationnel du territoire, l'exploitation judicieuse des richesses renouvelables et la géotechnique.

VI.2 Introduction

L'inquiétude du public et des milieux politiques d'Amérique du Nord face à la pollution de l'air et de l'eau, à la profanation des régions à l'état naturel, à l'extension tentaculaire des villes et aux autres facteurs contribuant à dégrader le milieu environnant, est symptomatique. Elle montre la nécessité impérieuse d'augmenter dans une très large mesure l'attention que nous portons à l'aménagement de notre milieu environnant et à l'exploitation rationnelle de nos richesses. Les Canadiens ont à faire face à un double problème. Ils doivent, d'une part, orienter rationnellement la croissance accélérée des centres urbains et, d'autre part, aménager et administrer leur territoire de façon à conserver pour les générations futures de grandes étendues laissées à l'état naturel et non troublées par l'activité humaine. Une action concertée pour résoudre ces problèmes sera, certes, limitée par des facteurs sociaux, économi-

¹J.P. Bruce et D.E.L. Maasland, «La recherche dans le domaine de l'eau au Canada», Secrétariat des Sciences, Étude spéciale n° 5, Ottawa 1968.

²B.N. Smallman et collaborateurs, «Les sciences agricoles au Canada», Conseil des sciences, sous presse.

³J.H.G. Smith et G. Lessard, «La recherche forestière au Canada», Conseil des sciences, sous presse.

ques et juridiques. Elle devra néanmoins reposer sur des informations géoscientifiques objectives et précises relatives aux terrains.¹

VI.3 Rapports entre les sciences de la Terre, l'aménagement du territoire et les richesses renouvelables

Malgré les progrès de la technologie, les restrictions imposées par la nature des terrains limitent dans une large mesure l'activité humaine. C'est sur le sol que l'homme bâtit ses villes, qu'il trace des routes, élève des digues; il y enfouit les pipelines, en obtient des récoltes et s'y procure du bois d'œuvre; il y obtient l'eau nécessaire à la vie et à l'industrie; il y rejette enfin les rebuts provenant de ses activités multiples. La complexité des utilisations du terrain s'accroît continuellement, de même que la concurrence pour s'en procurer; elles le seront davantage demain. Il faut en conséquence accroître les programmes d'aménagement rationnel du territoire pour toutes les options possibles.

La connaissance de la nature et du comportement des terrains est indispensable à leur aménagement rationnel et à l'exploitation judicieuse des richesses naturelles. Elle se fonde sur les données géoscientifiques concernant le relief et les formes du terrain, les affleurements ou la présence près de la surface de la roche de fond, les matériaux meubles, les sols au sens pédologique, ainsi que les eaux superficielles ou souterraines. Mains aspects de la géologie, de la géographie physique, de la pédologie et de la mécanique des sols contribuent à cette connaissance.

VI.4 Agriculture

Les terres cultivées ou cultivables ne représentent qu'environ 12 p. 100 de la superficie du Canada. Les exploitations agricoles occupent au moins un tiers de la superficie de plusieurs provinces; elles se partagent au total quelque 270 000 milles

carrés des terrains les plus riches du pays. Le sol de ces régions agricoles constitue l'une de nos plus importantes richesses naturelles. Il est d'importance cardinale de bénéficier d'une exploitation judicieuse de cette richesse, afin de conserver ou d'augmenter la superficie des terres arables.

Pédologie appliquée et pédologie fondamentale

La nécessité d'apprécier la valeur des terres et sols² arables et de comprendre leur comportement a conduit à faire de la pédologie appliquée un domaine scientifique séparé, articulé aux sciences agricoles, mais aussi étroitement lié aux sciences de la Terre. Le glossaire des termes pédologiques, publié en 1967 par la Société canadienne de pédologie, définit la pédologie appliquée comme «traitant des sols en tant que richesse naturelle superficielle, et englobant l'étude de la formation, la classification et la cartographie des sols, ainsi que l'étude des propriétés physiques, chimiques et biologiques, et de la fertilité des sols proprement dits, de même que l'étude de ces facteurs en fonction de leur utilisation pour l'obtention de récoltes». La pédologie fondamentale est l'étude des sols dans leur milieu naturel; elle embrasse les aspects pédologiques qui concernent la description, la genèse, la classification et la cartographie des sols.

La formation des sols dérive en premier lieu de l'accumulation de leurs constituants grâce aux facteurs géologiques et en second lieu, de la différenciation des matériaux meubles et de l'élaboration du profil pédologique sous l'action des fac-

¹Dans le présent contexte, le terme «terrains» englobe les éléments physiques de la surface de la lithosphère, savoir le relief, les formes du terrain, les roches, les matériaux meubles, les sols au sens pédologique et les cours d'eau.

²Le terme «sol» est utilisé ici pour désigner le support naturel et nourricier des plantes terrestres. On pourrait, plus précisément, le décrire comme «l'ensemble des éléments naturels se trouvant sur la surface terrestre et permettant la croissance des plantes». (A. Leahey, *The soils of Canada from a pedological point of view*, dans *Soils of Canada*, Société royale du Canada, Pub. n° 3, 1961, p. 147).

teurs d'intempérisme. Dans les sols minéraux, la différenciation des horizons résulte de l'action de l'intempérisme sur les divers minéraux des roches-mères, de l'accumulation et de l'incorporation des matières organiques, de la transformation, du transport et de l'élimination de matériaux, et pour terminer, de la formation progressive d'un profil. La végétation, le climat et la durée jouent un rôle capital dans ce processus; cependant, le sol dépend aussi de nombreuses caractéristiques géologiques ou autres des roches-mères, entre autres la granulométrie, la constitution chimique des minéraux, la teneur en sels et leur nature, la perméabilité et l'égouttement, les formes du terrain et la topographie.

Les pédologues acquièrent généralement leur formation universitaire dans les départements de pédologie appliquée d'une faculté d'agriculture; cependant, leurs études comprennent le plus souvent des cours de géosciences fondamentales. Les recherches pédologiques se répartissent en trois catégories: a) levés pédologiques, comprenant classification et genèse, et permettant de dresser un inventaire par le canal de rapports et de cartes pédologiques, b) propriétés chimiques, physiques, minéralogiques et microbiologiques des sols, et c) fertilité des sols et autres aspects de l'exploitation rationnelle des sols.

Activité actuelle du Canada en pédologie appliquée

Les recherches pédologiques et études des terrains représentent de cinq à dix pour cent de l'activité scientifique dans le domaine agricole du Canada. Les recherches pédologiques et hydrologiques occupent huit pour cent du temps consacré à la recherche par les agronomes canadiens;¹ le nombre des membres² de la Société canadienne de pédologie, soit trois cents, représente approximativement dix pour cent du nombre des agronomes canadiens. Dans le domaine pédologique comme dans les autres branches de la recherche agricole au Canada, presque tous les scientifiques travaillent dans des orga-

nismes fédéraux ou provinciaux, ou dans les universités (l'industrie emploie moins de sept pour cent des agronomes³).

Le relevé et les recherches pédologiques connexes sont exécutés en collaboration par les ministères fédéral et provinciaux de l'Agriculture et par les départements pédologiques des universités; le Comité national du relevé pédologique assure la coordination de la classification et la normalisation de la nomenclature. Les sommaires⁴ fournis par l'Institut fédéral de recherches pédologiques montrent que le programme conjoint de relevé pédologique (groupes fédéraux, provinciaux et universitaires) coûte actuellement un peu plus de 2 millions de dollars par an, et emploie quelque 86 spécialistes à temps plein. Sur les 52 spécialistes de l'Institut fédéral de recherches pédologiques, 38 travaillent directement à l'exécution de la carte pédologique et à la classification; le reste est occupé à des recherches sur les propriétés des sols qui portent sur leur genèse, leur classification l'utilisation des terrains. Le groupe fédéral de 38 spécialistes en pédologie comprend six chimistes, trois minéralogistes, deux physiciens, un géologue, un géographe et un biologiste.

Le programme canadien de relevé pédologique a été institué en 1921; 270 millions d'acres ont, à ce jour, été l'objet de simples reconnaissances (voir figure VII.4); le stade de l'exploration a été atteint pour 120 millions d'acres alors que 6 millions d'acres ont fait l'objet d'études détaillées. Les relevés de reconnaissance permettent d'établir un inventaire de base de nos richesses en sols et ainsi de planifier l'utilisation des terrains; on peut, grâce aux relevés d'exploration, estimer les possibilités agricoles d'une région et

¹Étude sur les sciences agricoles au Canada. *op. cit.*

²Ce nombre comprend plusieurs collaborateurs qui ne sont pas des agronomes.

³Étude sur les sciences agricoles au Canada.

⁴W.E. Ehrlich et P.C. Stobbe, *Brief on pedology* (voir l'annexe 3 du présent rapport); autres communications entre P.C. Stobbe et le président du Groupe d'études des sciences de la Terre.

déterminer la nature des sols qu'on y rencontre; les relevés détaillés fournissent les données nécessaires à l'utilisation intensive des terrains pour l'urbanisme, la culture intensive, l'irrigation, etc.

Les cartes et rapports pédologiques établis depuis 1962 constituent une importante source de données pour l'Inventaire des terres du Canada et l'ARDA. Soulignons à ce propos que tous les terrains ayant fait l'objet du relevé pédologique, soit plus de 60 millions d'acres, ont reçu une cote conformément au système de classification ARDA du potentiel agraire des sols.

Relation de la pédologie avec d'autres domaines géoscientifiques

Toutes les investigations pédologiques se rattachent plus ou moins directement aux sciences de la Terre, qu'il s'agisse des propriétés fondamentales des sols, de leur genèse, de leur classification ou tout simplement des levés. La nature du relief et les formes du terrain relatives à la lithologie présentent une importance particulière; il en est de même de la répartition, de la stratigraphie et de l'origine des dépôts meubles, de l'origine des formes du terrain, ainsi que de l'histoire du Quaternaire récent. Les pédologues utilisent ce genre d'informations comme base documentaire de leurs travaux, surtout sous forme de cartes compilées; en leur absence, ils doivent nécessairement établir leurs propres conclusions concernant la géologie et la géomorphologie.

Dans certains cas, les organismes géologiques de l'État, de même que quelques géologues à titre personnel, se sont employés à fournir des données géologiques et morphogéniques fondamentales pour les levés pédologiques. Il s'agissait là cependant de cas isolés ou de programmes temporaires. Plusieurs de ces contributions sont nées de contacts personnels entre scientifiques. Il y aurait lieu d'organiser officiellement des programmes permanents de travaux géologiques et géomorphologiques en vue de levés pédologiques, afin de mieux planifier et coordonner les activités en ce domaine.

Utilisation des données pédologiques

La pédologie continue à remplir son rôle traditionnel qui est de fournir à l'agriculture des informations indispensables sur la fertilité des terres et leur exploitation rationnelle. On observe, par ailleurs, que les données et les cartes pédologiques font de plus en plus l'objet d'une demande, non seulement en agronomie, mais aussi dans les domaines de l'évaluation des sols forestiers (voir plus loin) et de l'utilisation polyvalente des terrains. Les priorités des relevés pédologiques ne sont plus dorénavant fondées sur les seuls besoins de l'agriculture; il faut tenir compte des besoins de la foresterie dans les régions sauvages et des données détaillées sur l'aménagement des terrains là où l'extension urbaine et les autres emplois intensifs des terrains viennent en concurrence avec leur utilisation agricole.

Les cartes et les rapports pédologiques contiennent des données valables pour de nombreux domaines géoscientifiques. C'est ainsi que les cartes pédologiques sont utiles en génie des ponts et chaussées et à d'autres travaux de construction; elles servent également à la préparation de cartes montrant la géologie et la morphogénie des matériaux de surface. Les données pédologiques permettent de déterminer la nature, la succession stratigraphique et la transformation des matériaux meubles, l'évolution du paysage, et la série des changements biologiques et physiques intervenus dans le milieu ambiant au cours du passé récent. Les connaissances obtenues de la chimie, la physique, la minéralogie et la génétique des sols, et les études de leurs comportement sous l'intempérisme, peuvent être de grande utilité en prospection minière, qu'il s'agisse de méthodes géochimiques ou géophysiques.

Tenant compte de ces applications variées de la pédologie à un large éventail de domaines scientifiques, nous estimons que:

Conclusion VI.1

Le domaine de la pédologie canadienne devrait être élargi, tant en ce qui concerne

la recherche que l'enseignement universitaire. En plus de son rôle traditionnel vis-à-vis de l'agriculture, la pédologie devrait servir la foresterie, l'hydrogéologie, la mécanique des sols, la prospection minière et l'aménagement rationnel du territoire.

VI.5 Sols forestiers

Près de la moitié de la superficie du Canada est boisée et environ le quart (approximativement 960 000 milles²) renferme des forêts potentiellement productrices. Quelque 312 000 milles carrés de sols forestiers sont actuellement attribués; environ 30 p. 100 appartiennent à des propriétaires privés et le reste consiste en terres de la Couronne cédées à bail, sous licence, etc.¹

Classification des terrains

L'intérêt qu'on accorde en foresterie aux terres et aux sols diffère quelque peu de celui que leur accorde l'agriculture, puisque la foresterie s'intéresse avant tout à la végétation naturelle. L'objectif d'une classification des terrains en foresterie consiste donc à déterminer quelles sont les régions écologiquement favorables à la croissance des arbres. Cette voie est illustrée par le système de classification de Hills.² Dans ce système, «la classification est fondée sur les caractéristiques apparentes de la végétation et des conditions ambiantes (c'est-à-dire les formes du terrain³ et le climat), et qui déterminent la répartition et la croissance des plantes cultivées». On retrouve les mêmes traits distinctifs dans la classification australienne des travaux de reconnaissance basés sur la photographie aérienne, dont les éléments fondamentaux sont des unités pédomorphologiques ou zones possédant les mêmes formes de terrain, les mêmes sols et la même végétation.⁴ Dans le contexte canadien, on pourrait donner l'exemple suivant d'une unité pédomorphologique: «une plaine morainique ondulée, constituée d'une mince couche de till sur un fond en granite, caractérisée par des sols podzoliques et un couvert fo-

restier de bouleaux jaunes et de sapins baumiers».

Les critères de classification des terrains forestiers peuvent être exprimés en fonction des paramètres qui favorisent ou limitent la croissance des arbres; ce sont, par exemple, la composition du sol, sa fertilité, la limitation par la roche de fond ou par une couche impénétrable de la profondeur d'enracinement, le manque ou l'excès d'humidité du sol ou des matériaux sous-jacents, la concentration d'éléments toxiques ou de sels solubles, la nature pierreuse du sol, la pente du terrain, les risques d'érosion ou d'inondation, les précipitations atmosphériques, la température ambiante et le degré d'exposition du sol. L'étude de ces paramètres fait appel aux domaines de la pédologie, de la géomorphologie, de la géologie de la roche de fond et des couches superficielles, de même que de certains aspects pertinents de la climatologie. Tout comme pour la méthode australienne de cartographie, les relevés sont effectués au mieux par des équipes de spécialistes, recueillant toute la gamme de données mentionnées ci-dessus.

On doit, dans une large mesure, faire l'évaluation et la classification des terrains forestiers en tenant compte des possibilités diverses d'utilisation des terres, particulièrement dans les domaines tels que l'agriculture, la protection de la faune, les activités récréatives et la conservation des eaux de ruissellement. Les relevés des régions forestières visent ainsi des objectifs multiples et fournissent des données globales sur les diverses utilisations des terres.

¹Données extraites de l'Annuaire du Canada, 1968.

²G.A. Hills, «*The ecological basis for land use planning*», Ministère ontarien des Terres et Forêts, Res. Rept. n° 46, 1961.

³Dans le contexte de la foresterie, l'expression «forme de terrain» comprend non seulement les caractéristiques topographiques du terrain auxquelles s'intéresse le spécialiste de la géomorphologie, mais aussi la roche de fond et les sols sous-jacents.

⁴C.S. Christian et G.S. Stewart «*General Report on survey of Katherine-Darwin region, 1946*» CSIRO Aust. Land Res., Ser. n° 1, 1953.

Travaux actuels de classification des terrains forestiers

La foresterie ne saurait se limiter à l'exploitation des produits forestiers; depuis quelques années, on commence à comprendre au Canada qu'il s'agit également de l'utilisation rationnelle des terrains en cause. L'exploitation commerciale des forêts engendre naturellement des problèmes de terrains, de sols, de drainage, etc. Consciente que ces problèmes entrent automatiquement dans le cadre naturel de son activité, l'industrie forestière s'en préoccupe en général. Ce sont surtout les organismes forestiers fédéraux et provinciaux, les facultés de foresterie et certaines des grandes sociétés d'exploitation forestière qui évaluent et utilisent les données sur les terrains et se servent d'un système de classification des sols en vue d'estimer les richesses forestières. *La promulgation récente de dégrèvements fiscaux en Colombie-Britannique pour encourager les travaux d'inventaire des terrains forestiers montre qu'on s'intéresse de plus en plus à l'utilisation rationnelle du territoire.*

Quelques organismes forestiers provinciaux ne font qu'un usage restreint des données scientifiques, alors que d'autres s'efforcent depuis des années de faire une évaluation scientifique des terrains. C'est ainsi que le Service forestier de la Colombie-Britannique utilise un système de classification bien conçu, basé sur les relations réciproques entre couverture forestière et sol. L'Ontario, de son côté, a réalisé un travail d'avant-garde en élaborant une classification polyvalente des sols basée sur la sylviculture, l'écologie et les formes du terrain.

Au cours de la dernière décennie, l'Inventaire des terres du Canada exécuté par l'ARDA a favorisé le groupement des énergies canadiennes pour la réalisation d'un programme conjoint fédéral-provincial d'évaluation des aptitudes sylvoles des terrains. Il en est également résulté l'évaluation des terrains pour l'agriculture, la protection de la faune, et les activités récréatives. Cet inventaire se limite aux régions colonisées du Canada, soit approximativement 800 000 milles², dont

un dixième environ est favorable à la culture. On a utilisé une méthode de classification selon les caractéristiques physiques des terrains et on a classé tous les sols minéraux et organiques en sept classes, suivant leurs aptitudes à produire du bois d'œuvre.¹

Les forestiers ont indiqué le besoin de données nécessaires à l'aménagement des terrains dans les régions vierges du Canada, au delà des limites des régions couvertes par l'Inventaire des terres du Canada. En conséquence, avec la collaboration d'organismes forestiers fédéraux et provinciaux, le Comité national des forêts a patronné l'élaboration et l'essai d'un système de classification biophysique des terrains. Tenant compte des possibilités multiples d'utilisation des régions vierges, ce système permet de classer les terrains selon les besoins de la foresterie, de l'agriculture, des activités récréatives, de la préservation de la faune, du bilan hydrologique et d'autres utilisations. Ce système se propose de différencier et de classer rapidement les aires qui présentent un intérêt écologique en utilisant surtout la photographie aérienne à l'échelle de la reconnaissance. Comme la classification australienne, ce système divise le terrain en unités pédomorphologiques pour cartographie au 1/125 000e. On a proposé d'utiliser cette classification à l'échelle régionale, mais seul un programme pilote a été réalisé jusqu'à présent.

Contribution des sciences de la Terre à la classification des terrains forestiers

La classification, l'inventaire et l'évaluation des terrains forestiers, ainsi que l'élaboration de plans plus détaillés d'exploitation rationnelle, dépendent largement des contributions géoscientifiques de la géologie, de la géographie physique et de la pédologie. Parmi les données géologiques et morphogéniques particulièrement pertinentes, on peut citer la structure de

¹R.J. McCormack «Land Capability Classification for Forestry», Inventaire des terres du Canada, Rapport n° 4, 1967.

la roche de fond, la répartition, l'épaisseur, la succession stratigraphique et l'origine des dépôts meubles, la nature et l'origine des formes du terrain, et la chronologie du Quaternaire récent, y compris la détermination palynologique des manteaux forestiers successifs.

Dans la mesure où les informations géoscientifiques sont disponibles, les forestiers qui exécutent des recherches sur les terrains les utilisent. Si les données requises ne sont pas disponibles, ils n'ont d'autre ressource que de travailler sans documentation suffisante, ou de faire exécuter les recherches nécessaires par les spécialistes dont ils peuvent disposer. Une équipe réunissant des spécialistes de diverses disciplines pour exécuter un relevé forestier fait d'excellent travail et fournit les informations nécessaires aux forestiers. Même si l'on dispose de données pédologiques et morphogéniques, il peut être avantageux d'inclure des spécialistes de ces autres disciplines dans les équipes qui effectuent l'étude des terrains forestiers.

Les données pédologiques nécessaires à une classification des terrains boisés sont actuellement fournies par une douzaine de pédologues employés par le Service canadien de foresterie; dans plusieurs provinces, on coordonne les travaux de relevés pédologiques et les programmes de classification des terrains boisés. Dans le cadre du programme ARDA, la Colombie-Britannique a réalisé une amalgamation très fructueuse des services de classification des terrains boisés et des relevés pédologiques.

Huit spécialistes en géomorphologie, au service d'organismes fédéraux et provinciaux, fournissent les données géologiques et morphogéniques nécessaires aux relevés forestiers. Dans le nord-ouest de l'Ontario, les travaux effectués par des scientifiques du Ministère ontarien des Terres et Forêts sont particulièrement dignes d'être mentionnés à ce sujet. Ils ont non seulement satisfait aux besoins des forestiers, mais aussi contribué d'une manière notable à l'acquisition de connaissances sur la géologie glaciaire de la ré-

gion. Il convient également de noter qu'un géomorphologue travaille à temps plein à un programme de classification des terrains forestiers exécuté au nord de Québec par le Service canadien de foresterie. Un faible nombre de géologues et de géomorphologues d'autres organismes participent directement aux travaux, de même que des spécialistes d'autres organismes qui exécutent des relevés des matériaux superficiels et des formes du terrain pour utilisation en foresterie. La Commission géologique du Canada effectue la presque totalité de ces travaux cartographiques. Pendant les cinq dernières années, cet organisme a mis en route dix programmes de travaux pour répondre à des demandes d'organismes forestiers fédéraux ou provinciaux.

Malgré les contributions substantielles des sciences de la Terre, il est clair qu'on pourrait utiliser beaucoup plus de données géoscientifiques en foresterie. Les travaux de cartographie géologique à cette fin sont sporadiques. Il faudra préparer avec soin les levés des terrains pour qu'ils puissent servir aux travaux de foresterie¹, notamment en ce qui concerne les matériaux superficiels, les formes du terrain et les genres de sols.

On se doit d'améliorer les communications entre géoscientifiques et forestiers et de resserrer les liens au niveau de l'exécution des tâches, et ce, au bénéfice des deux parties. Au niveau de la planification forestière, il importe de recueillir suffisamment de données géoscientifiques et de définir les études prioritaires qui doivent être menées à propos des terrains destinés à la foresterie ou à d'autres fins.

L'inventaire des terrains forestiers et l'aménagement polyvalent du territoire exigent une somme considérable de données géoscientifiques; d'autre part on prévoit un accroissement substantiel de ces besoins dans un avenir proche. Nous estimons en conséquence que:

¹Communication personnelle de P.J.B. Duffy, coordonnateur de l'Inventaire des terrains forestiers, Ministère des Pêches et Forêts.

Conclusion VI.2

Lors du choix des priorités pour les relevés pédologiques et les relevés géologiques des formations superficielles, il faudra accorder une importance accrue aux terrains forestiers et en particulier à l'inventaire de ces terrains.

VI.6 Ressources en eau

Le Secrétariat des Sciences¹ a déjà publié un rapport exhaustif sur la recherche scientifique dans le domaine de l'eau et sur l'exploitation rationnelle des ressources en eau. Aussi nous bornerons-nous dans la présente étude à examiner les relations de ce domaine essentiel et pourtant si vulnérable des richesses hydriques, avec la recherche hydrologique d'une part et la recherche géoscientifique de l'autre.

L'eau constitue un élément essentiel de presque toutes les activités humaines, de même qu'un facteur géologique important. Contrairement aux autres ressources qui n'intéressent qu'un étroit secteur de la science, la recherche sur les richesses hydriques exige la mise en œuvre de nombreuses connaissances et la collaboration de scientifiques de disciplines très diverses. Dans le présent contexte, nous considérons les recherches en géologie et géographie physique qui permettent de connaître et d'exploiter rationnellement les ressources en eau comme des recherches dans le domaine de l'eau. C'est pourquoi la recherche dans ce domaine est décrite plutôt en fonction de ses objectifs que des disciplines auxquelles elle fait appel. Aussi est-il tant soit peu difficile de distinguer cette recherche de la recherche géoscientifique proprement dite. Dans la partie qui suit, on se limitera aux études de la géosphère qui ont trait au domaine de l'eau et qui comprennent les recherches sur les minéraux, les roches, les terrains meubles, les formes du terrain, et l'étude des processus connexes.

Relations avec les sciences de la Terre

Au cours du cycle hydrologique, l'eau se

répartit entre l'atmosphère, la surface terrestre, et les formations géologiques superficielles. Liquide dans la plupart des cas, l'eau peut modifier par intempérissement, lixiviation, transport et dépôt les matériaux et les formes terrestres. Les caractéristiques des matériaux de surface sont fréquemment fonction de leur contact antérieur ou actuel avec l'eau en phase liquide. Dans les régions arctiques et subarctiques du Canada, la glace dans le sol constitue localement jusqu'à soixante-quinze pour cent des matériaux superficiels. Les propriétés de ces matériaux glaciaires sont peu connues.

Pour le géologue, l'utilisation des sciences de la Terre dans le domaine des ressources en eau a eu comme point de départ la recherche des eaux souterraines et les études des approvisionnements en eaux potables. Il existe toutefois d'autres liens importants, dont:

1. la géomorphologie et la géologie superficielle des bassins hydrographiques;
2. les réseaux d'écoulement des eaux souterraines et le bilan hydrologique des bassins-versants;
3. la neige et la glace, particulièrement la glace enfouie dans le sol;
4. les relations entre les ressources en eau et l'agriculture ainsi que la foresterie;
5. l'évolution géologique et la nature du milieu ambiant, notions permettant de prévoir les effets des modifications biologiques et physiques des masses d'eau, découlant de l'activité humaine.

Le tableau VI.1 expose d'une manière plus précise les contributions de la recherche géoscientifique à diverses catégories de ressources en eau.²

Les sciences de la Terre, en particulier la géologie de la roche de fond, la géologie superficielle, l'histoire géologique récente, la géomorphologie, la pédologie, l'hydrogéologie, et l'étude des facteurs modelant la topographie, contribuent toutes à la recherche hydroéconomique au Canada. Nous proposons en conséquence ce qui suit:

¹Étude spéciale n° 5. *op. cit.*

²Le système de codage et de catégories utilisé dans ce tableau correspond à celui de l'Étude spéciale n° 5. *op. cit.*

Conclusion VI.3

On devrait fonder l'exploitation rationnelle des ressources en eau sur une bonne connaissance des terrains en plus des données hydrologiques proprement dites, ce qui exige un apport important des sciences de la Terre.

Hydrogéologie

Au cours de la dernière décennie, l'hydrogéologie a pris une ampleur considérable dans la recherche des eaux souterraines et l'étude de leurs déplacements dans le sol. Ainsi l'hydrogéologie constitue le trait d'union entre les sciences de la Terre et l'exploitation des ressources en eaux potables. Ayant déjà signalé au

Tableau VI.1—Contribution des sciences de la Terre aux études sur les ressources en eau

Codes	Spécialités	Contributions ou participation des sciences de la Terre
Cycle hydrologique		
201	Cycle général de l'eau	—Géomorphologie fluviale considérée comme un élément de l'analyse des bassins-versants. —Données de base sur les matériaux rocheux ou meubles, les sols, les formes du terrain et sur l'évolution géologique, contribuant à la connaissance du comportement de l'eau dans un bassin hydrographique.
203	Neige et glace (Hydrocryologie)	—Dans les régions où ils sont présents, le pergélisol et les sols glaciaires sont des éléments formateurs de matériaux superficiels et des caractéristiques morphogéniques.
205	Cours d'eau	—Les données géologiques et morphogéniques constituent un aspect essentiel des études des bassins-versants et des prévisions des crues et des sécheresses, et de leur durée.
206	Eaux souterraines	—«Aucun phénomène touchant les eaux souterraines ne peut s'expliquer sans une connaissance approfondie de la géologie».
207	Eaux d'imprégnation des sols superficiels	—Connaissance de l'humidité du sol et des apports d'eau nécessaires en foresterie et en agriculture. —Les déplacements de l'eau dans les sols et son infiltration lient les précipitations, le ruissellement et les eaux souterraines.
210	Érosion et sédimentation	—Érosion des sols, formation des talus et des vallées, formation des rives fluviales, érosion et sédimentation le long des rivages lacustres, sédimentation dans les lacs. —Les données géoscientifiques servant à étayer les études mentionnées ci-dessus.
211	Phénomènes chimiques	—Dissolution d'éléments solides et précipitation ultérieure.
212	Questions estuariennes	—Dans les régions deltaïques, la sédimentation, la morphogénèse et l'hydrologie sont étroitement interdépendantes.
Exploitation rationnelle et régularisation des masses d'eau		
401	Régularisation des eaux de ruissellement	—Le drainage des eaux excédentaires et la conservation des ressources limitées exigent tous deux la connaissance d'éléments géoscientifiques de base.
402	Exploitation rationnelle des eaux souterraines	—Voir eaux souterraines.
403	Répercussion de l'activité humaine sur les eaux	—De nombreux bouleversements des terrains influent en dernier ressort sur le comportement de l'eau et sur les quantités disponibles.
Protection et amélioration de la qualité des eaux		
502	Origine et évolution de la pollution	—De nombreux polluants pénètrent les cours d'eau après un séjour sur le sol. Exemples: engrais, sel pour le déglacement des routes, déchets organiques agricoles, effluents des fosses septiques, ordures ménagères. —Les matériaux constituant les rives et le lit du cours d'eau influent sur la dispersion des polluants dans les masses liquides.
503	Conséquences de la pollution	—La connaissance de l'évolution du milieu ambiant et la régularisation des masses liquides aident à prévoir les répercussions de changements provoqués par l'homme.
505	Destination finale des résidus	—L'élimination rationnelle des déchets ne peut être menée à bien sans une connaissance satisfaisante des matériaux meubles et des eaux souterraines.

• Meyboom, P., *Background report on hydrogeology*, voir l'annexe 4 du présent rapport.

chapitre V les contributions de l'hydrogéologie à la géotechnique, nous voulons décrire brièvement dans cette section le rôle que joue la zone aquifère à la fois comme lieu d'approvisionnement en eaux potables et lieu d'évacuation des eaux résiduaires. Nous considérons les rapports entre les sciences de la Terre, l'hydrogéologie et les autres sciences hydrologiques, ainsi que l'utilisation des sciences de la Terre pour l'accroissement des ressources en eau.

Approvisionnement en eau par les couches aquifères¹

On estime que sur les 21 millions d'habitants du Canada (1969), plus de 5 millions s'approvisionnent en eau à des sources individuelles. Les deux millions de personnes qui composent la population agricole, et qui sont réparties entre 480 000 fermes, dépendent dans une proportion de 75 p. 100 des eaux souterraines. On croit en outre que 50 p. 100 de la population rurale non agricole ne disposent d'aucune autre source d'eau. On estime, de plus, que 75 p. 100 de l'eau utilisée par le bétail provient de la même source. Le pompage de l'eau souterraine fournit environ 20 p. 100 de l'approvisionnement en eau des municipalités et des régions rurales. On estimait que la valeur de cet approvisionnement atteignait environ 80 millions de dollars en 1967.

L'exploitation des eaux souterraines est activement menée dans les régions rurales pour l'approvisionnement des fermes, des villages et des petites agglomérations urbaines. Cependant, dans plusieurs des centres urbains canadiens de première grandeur, la nappe phréatique alimente également l'industrie. C'est ainsi que le grand Winnipeg tire des puits environ 17 p. 100 de son approvisionnement en eau, une forte augmentation de la demande s'y étant produite au cours des dernières années, principalement à cause de l'installation de climatiseurs.²

En se basant sur l'utilisation des eaux souterraines aux États-Unis, on peut

prévoir les tendances futures de leur emploi au Canada. Aux États-Unis, les réseaux municipaux d'adduction d'eau desservaient 136 millions de personnes en 1960. *Un tiers de la quantité fournie provenait d'eaux souterraines.* On peut comparer cette proportion à celle qui prévaut pour l'approvisionnement en eau des municipalités canadiennes, soit un dixième. Il est donc clair que le Canada n'utilise pas autant les eaux souterraines que les États-Unis. La province d'Ontario se situe largement en-dessous de la moyenne américaine, bien qu'avec un taux de 15 p. 100 elle se classe très au-dessus de la moyenne nationale. On peut facilement prévoir que l'augmentation de la population, de l'urbanisation et de l'industrialisation au cours de la prochaine décennie provoquera une intensification de la recherche des nappes phréatiques utilisables dans les régions urbaines du Canada. *Des recherches de grande envergure, avec des moyens techniques modernes et la mise en œuvre de réseaux de pompage judicieusement établis, permettront facilement d'accroître les réserves phréatiques dans la plupart des régions habitées.* Les ingénieurs hydrologues et les administrateurs ont de nombreuses conceptions incorrectes sur la présence et le déplacement des eaux souterraines. Aussi faut-il résolument intégrer les ressources en eaux souterraines dans le réseau général d'adduction d'eau des régions urbaines et les considérer à leur pleine valeur dans les avant-projets d'aménagement du territoire.

Il faut aussi déplorer l'augmentation régulière de la pollution des réserves phréatiques canadiennes par les eaux résiduaires de surface, ou voisines de la surface. On ne peut parer à cette situation qu'en étudiant les couches aquifères dans le cadre général de la technologie

¹ Une importante partie de cette information est extraite de l'ouvrage de P. Meyboom «*Hydrogeology: A Decennial Appraisal and Forecast*», paru dans *The Earth Sciences in Canada*, Société Royale du Canada, publ. spéc. n° 11, p. 203-221, 1968.

² F. W. Rinder. *Geohydrology of the Metropolitan Winnipeg Area as Related to Groundwater Supply and Construction*. Revue can. de Géotech. (sous presse)

et de l'exploitation rationnelle du milieu ambiant.

Injection des eaux résiduaires dans le sol

Les pressions pour l'assainissement des lacs et des fleuves augmentent constamment, aux États-Unis particulièrement. On intensifie en même temps les études sur l'évacuation des eaux résiduaires dans les zones profondes. La localisation de ces zones d'évacuation, permettant d'éviter la pollution des nappes d'eau potable et de bouleverser l'écologie de surface par une modification du régime des eaux souterraines, est essentiellement un problème d'hydrogéologie.

La plupart des zones industrielles du Canada reposent sur un sol dans lequel la répartition des eaux souterraines permettrait l'élimination des eaux résiduaires. *Ce serait commettre une grave erreur d'aménagement du milieu ambiant que de négliger les possibilités ainsi offertes, ou d'injecter les eaux résiduaires dans des zones contre-indiquées.* Nous ne pouvons nous reposer entièrement sur l'importation de technologie étrangère pour résoudre nos problèmes hydrogéologiques en ce domaine. C'est en effet la structure géologique locale qui détermine la répartition des eaux souterraines. On a déjà étudié la possibilité d'injecter les eaux résiduaires dans les zones profondes en Ontario, mais ailleurs au Canada les administrations provinciales ou municipales n'y ont accordé que peu ou pas d'attention. Il faut que les contributions des sciences de la Terre à l'aménagement du milieu ambiant soient mieux appréciées au cours de la prochaine décennie, sinon peu de progrès seront faits.

L'hydrogéologie et l'aménagement du milieu ambiant

La résolution des problèmes d'exploitation des eaux souterraines, d'injection des eaux résiduaires dans les zones profondes et de pollution des eaux souterraines, exige la contribution des disciplines diverses. Ce sont l'hydrogéologie, la géotechnique, les génies hydraulique, sanitaire, hydroéconomique, les sciences économiques

et d'autres disciplines qui doivent toutes agir dans un cadre scientifique et administratif commun. Ce cadre n'existe à peu près pas actuellement. La compétence combinée des cabinets d'ingénieurs-conseils travaillant dans les secteurs publics s'améliore rapidement, mais elle est encore insuffisante pour répondre aux besoins de la prochaine décennie. Le manque de personnel qualifié dans nombre des disciplines essentielles constitue un des principaux facteurs ralentissant l'élaboration du cadre indispensable. Cette pénurie a retardé les progrès de l'hydrogéologie au Canada au cours de la dernière décennie et la situation ne se modifiera pas à moins d'une expansion de la formation universitaire en ce domaine. Comme nous l'exposerons plus loin, il semble que ce sont surtout les sciences de la Terre qui devront assurer cette expansion.

Formation en hydrogéologie

Au cours des dernières années, les hydrogéologues ont eu tendance à se considérer plutôt hydrologues que géologues, bien que la presque totalité d'entre eux eussent reçu leur formation du 1^{er} cycle en géologie ou en génie géologique.¹ Dans la plupart des cas, les contributions des hydrogéologues aux problèmes d'hydrologie et d'hydroéconomie ont concerné des domaines où il était nécessaire de posséder une connaissance approfondie du cadre géologique et des processus géochimiques ainsi qu'une connaissance générale d'autres secteurs de l'hydrologie. Il est bon de noter qu'il existe d'autres spécialistes en hydrologie qui contribuent à l'étude des eaux souterraines sans se considérer eux-mêmes comme hydrogéologues. Ce sont, par exemple, les ingénieurs hydrauliciens, sanitaires et agronomes et les physiciens des sols. Ces scientifiques accordent une attention particulière à la physique des écoulements à travers les milieux poreux, étudiés en laboratoire ou à l'aide de modèles mathématiques.

Les universités canadiennes n'offrent actuellement des programmes en hydro-

¹ Meyboom, P., 1968. *op. cit.*

logie qu'aux 2^e et 3^e cycles. Nous considérons que cette pratique est satisfaisante. Un programme supérieur très complet en hydrologie exige une formation antérieure en de nombreuses spécialités, mais il n'est ni réalisable, ni souhaitable, de donner à chaque hydrologue une formation extrêmement étendue dans toutes les spécialités de l'hydrogéologie. Il appartient donc à chaque spécialité (savoir: hydrogéologie, hydraulique, génies sanitaire et agricole, physique des sols, hydrométéorologie, etc.) de créer, tant en recherche qu'au niveau de l'enseignement supérieur, une zone d'intérêt ou de compétence spécialisée. Les départements de géologie ou de sciences de la Terre dans nos universités devraient donc favoriser les progrès de l'hydrogéologie et encourager l'interaction indispensable entre l'hydrogéologie et les autres constituants du domaine interdisciplinaire de l'hydrogéologie. Nous estimons en conséquence que:

Conclusion VI.4

Les universités canadiennes devraient favoriser les programmes d'enseignement supérieur donnant une formation géoscientifique spécialisée dans les domaines propres à l'hydrogéologie et dispensant des connaissances étendues sur les sciences hydrologiques, l'aménagement du milieu ambiant et l'exploitation rationnelle des ressources en eau.

Conclusion VI.5

L'utilisation croissante des couches aquifères pour l'approvisionnement en eau, et du sous-sol pour l'évacuation des rejets liquides ou semi-liquides, exige que l'on applique efficacement les concepts et les techniques de l'hydrogéologie; on doit aussi assurer la coordination administrative des activités relatives à l'aménagement du milieu ambiant et à l'exploitation rationnelle des ressources en eau. Chaque palier de gouvernement doit être convaincu de la nécessité d'une telle action coordonnée.

Prospection des couches aquifères

On obtient généralement l'eau potable au Canada à quelques centaines de pieds tout au plus de la surface. C'est donc dire que les informations géologiques et hydrologiques sur ces couches aquifères sont nécessaires pour trouver l'eau au meilleur compte possible. On devra consulter, par exemple, les catalogues des organismes publics renfermant des données sur les puits; de même, les rapports des firmes d'ingénieurs-conseils sont une source de documentation sur les approvisionnements en eau des municipalités et des usines. Les informations sur les matériaux de surface sont aussi très utiles et on aura avantage à consulter les cartes topographiques et pédologiques, ainsi que les photos aériennes.

Grâce à ces données fondamentales, l'hydrogéologue peut localiser les nappes aquifères et en estimer l'étendue, l'épaisseur et la profondeur. Il peut aussi estimer l'ordre de grandeur de la perméabilité probable des terrains, et identifier les endroits d'affluence et de décharge des eaux souterraines. Pour ce faire il devra par exemple étudier les affleurements, faire un relevé des puits, inspecter les endroits d'affluence des ruissellements et les sources, échantillonner les eaux de surface et les eaux de puits pour en connaître la composition chimique, mener des essais probatoires de pompage des divers horizons stratigraphiques et établir la capacité de production des nappes aquifères. Ce faisant, il pourra se servir de méthodes géophysiques et en particulier des diagraphies.

La recherche des eaux souterraines au Canada est devenue une entreprise complexe au cours des dernières années, tant en ce qui concerne la variété des techniques utilisées sur le terrain que l'analyse poussée des données recueillies. Ainsi, les études des types de végétation au voisinage de couches aquifères peu profondes peuvent servir à l'identification des zones d'affluence et des sources cachées. L'étude des fluctuations du niveau naturel des nappes d'eau et l'analyse des divers facteurs chimiques influençant les infiltra-

tions et les égottements permettent d'identifier les réseaux hydrographiques, que ce soit à l'échelle locale ou régionale. En connaissant ces réseaux, on peut prédire les variations, selon la profondeur, de la qualité des eaux et, surtout, délimiter les zones qui offrent les meilleures possibilités d'approvisionnement en eau de bonne qualité.

En ces dernières années, la prospection géophysique est devenue un outil important pour la recherche des eaux souterraines. Les mesures de résistivité se sont révélées d'une grande utilité pour trouver et délimiter les dépôts alluvionnaires de sable et de gravier à faible profondeur; on s'en est également servi pour repérer les intrusions d'eau salée dans les couches aquifères du littoral des provinces maritimes. La réfraction sismique a été utilisée avec un certain succès pour délimiter les vallées préglaciaires enfouies, comme celles que l'on trouve dans l'ouest canadien, quoique en général cette méthode ne soit efficace qu'en présence d'un bon contraste des vitesses de propagation dans les formations étudiées. Cependant, là où les coûts de forage sont relativement faibles, il est plus rapide et plus économique d'obtenir ces données à partir de sondages plutôt qu'à l'aide de la prospection sismique. Des vallées enfouies ont pu également être délimitées à l'aide de relevés gravimétriques.

Les levés électriques par polarisation provoquée et les levés électromagnétiques aériens par INPUT peuvent faciliter la prospection des eaux souterraines. Ainsi, la polarisation provoquée permet de résoudre certaines des ambiguïtés que comporte l'interprétation des levés de résistivité des terrains. D'autre part, on s'est servi de la méthode INPUT pour détecter des couches aquifères dans les graviers sableux au Manitoba et dans l'Alberta méridional, à des profondeurs plus ou moins grandes. L'utilisation de ces deux méthodes en hydrogéologie est encore au stade expérimental.

La diagraphie géophysique des puits et des sondages devient de plus en plus en usage en prospection des eaux souterrai-

nes. En fait, les techniques sont maintenant perfectionnées à un point tel que les organismes publics effectuent couramment des diagraphies dans la majorité de leurs sondages d'essais ou de leurs puits. Les mesures les plus fréquentes sont celles de la polarisation spontanée et de la résistivité ponctuelle. Certains organismes provinciaux veillent d'ailleurs à ce que des diagraphies électriques soient obtenues de tous les puits d'eau.

Il reste beaucoup à faire dans le domaine de la diagraphie. Les travaux de mise au point concernent notamment la photographie des formations recoupées, le relevé de la température des couches, divers types de diagraphies radiométriques, ainsi que des diagraphies de résistivité avec sondes normales et latérales. Avec ces nouvelles méthodes, on espère un jour pouvoir préciser les écoulements le long des diaclases et des joints, mesurer de façon plus précise la porosité et la perméabilité des terrains, et prédire la qualité des eaux souterraines.

Parmi toutes les techniques de télédétection, le balayage à l'infra-rouge semble être la méthode la plus prometteuse pour la recherche des eaux souterraines. On l'a utilisée avec un certain succès pour déceler des sources au fond de rivières et de lacs, et ainsi localiser les points de sortie des eaux souterraines. Les autres techniques de télédétection par satellite n'offrent actuellement aucune possibilité d'application à l'hydrogéologie.

Le perfectionnement des méthodes de prospection des eaux souterraines au Canada repose en grande partie sur la mise au point de meilleures méthodes instrumentales, et le traitement automatique de multiples données par ordinateur. En ce qui concerne les nouvelles méthodes instrumentales, la mise au point de l'holographie acoustique semble particulièrement prometteuse. En théorie, l'holographie acoustique devrait permettre de délimiter en trois dimensions les formations reconnues par sondages, ainsi que les couches aquifères. Cette application n'est toutefois qu'au stade expérimental.

VI.7 Aménagement du territoire

L'application des connaissances géoscientifiques à l'exploitation rationnelle des richesses naturelles est beaucoup plus compliquée en fait que ne le laisseraient penser les lignes qui précèdent, à cause des interactions et des conflits rattachés aux différents genres d'exploitation des ressources du même terrain, et aussi parce que partout il faut réduire tout bouleversement désastreux du milieu ambiant. Dans les régions rurales ou vierges, il peut par exemple se révéler nécessaire de répartir l'utilisation des terrains entre l'agriculture, la foresterie, les activités récréatives, la préservation de la faune, les transports, les centrales hydro-électriques et l'extraction des minerais. Aux limites de nos régions urbaines, dont l'expansion est rapide, l'utilisation agricole des terrains entre en compétition avec les besoins d'une nombreuse population, tels que carrières de matériaux de remblai ou d'agrégats, emplacements de dépôts d'ordures, adduction d'eau pour les besoins domestiques et commerciaux, voies de transport, fondations des bâtiments, terrains de jeu et espaces libres, sans compter les répercussions de la pollution des eaux.

On fait un appel de plus en plus fréquent aux organismes de planification, soit ministères dont les responsabilités sont à l'échelle du pays, soit commissions municipales d'urbanisme, pour établir les normes d'utilisation des terrains, tenant compte des facteurs tels que ceux mentionnés ci-dessus, de même que des considérations économiques et sociales. Il est cependant urgent que les géoscientifiques fournissent des données pertinentes pour faciliter l'aménagement du territoire et du milieu ambiant. Les plans seront ainsi tracés en profitant des facteurs géoscientifiques favorables, ou en tenant compte des facteurs défavorables.

Les études géoscientifiques effectuées au Canada en vue de rassembler les données d'une planification de l'emploi polyvalent des terrains sont malheureusement trop peu nombreuses. L'Inventaire des terres du Canada, exécuté par l'ARDA,

constitue une remarquable exception. Il est rare en effet qu'un rapport géologique ou géoscientifique puisse exposer ses objectifs dans des termes semblables à ceux qui suivent: ' «La présente étude a été entreprise à la demande de la Commission régionale d'urbanisme du comté McHenry. Son but était de rassembler des données géologiques nécessaires à l'aménagement du territoire. Le Service de la conservation des sols du Ministère de l'Agriculture des États-Unis a aussi participé à cette étude. Grâce à des cartes pédologiques détaillées du comté, établies en collaboration avec la Station agronomique de l'Université de l'Illinois, ce Service a fourni des propositions d'emploi des terrains et des évaluations de petits bassins hydrographique».

Pour satisfaire les besoins urgents de données géoscientifiques nécessaires à l'aménagement polyvalent des terrains, en particulier dans les agglomérations urbaines et leurs alentours, mais aussi dans les régions rurales et vierges, nous estimons que:

Conclusion VI.6

Les organismes canadiens de cartographie géologique, en particulier ceux des provinces, devraient multiplier les travaux géologiques nécessaires à l'aménagement du territoire et à l'utilisation rationnelle des terres. Ces travaux devraient porter tant sur la roche de fond que sur les matériaux meubles et les traits physiographiques du terrain.

Les terrains du Nord canadien

Bien que les territoires du Nord canadien se trouvent encore à un stade préliminaire de développement économique, il importe de façon cruciale de bien planifier au plus tôt l'utilisation des terrains et de prévoir les problèmes du milieu ambiant dans les vastes zones à pergélisol et à moskeg. Il s'agit avant tout d'acquérir des données précises sur le comportement des

Hackett, J. E. et M. R. McComas. *Geology for Planning in McHenry County*, Illinois, Ill. State Geol. Surv., Circ. 438, 31 p., 1969.

matériaux meubles, de la surface du sol et de la végétation dans des conditions diverses. On ne peut guère résoudre ces problèmes d'aménagement sans une augmentation très substantielle des activités géoscientifiques concernant le pergélisol et les sols gelés. *Le nombre actuel des spécialistes canadiens en ce domaine est totalement insuffisant pour répondre aux besoins du pays.*

Nous proposons en conséquence que:

Conclusion VI.7

En vue d'accélérer la formation de spécialistes canadiens des terrains du Nord et des phénomènes du pergélisol, et d'étendre rapidement nos connaissances sur ces sujets, il conviendrait d'accroître les subventions de recherches universitaires, afin d'encourager les géoscientifiques et ingénieurs à se spécialiser dans les domaines indiqués. Suite à une recommandation présentée dans le Chapitre III, l'une de nos priorités nationales devrait être d'aménager au plus tôt un centre d'études spécialisées sur les terrains du Nord.

Importance d'un inventaire

Parmi les recherches diverses sur les ressources renouvelables ou autres que les géoscientifiques peuvent entreprendre, celles qui traitent de l'inventaire, de la classification et de l'évaluation des terrains sont particulièrement utiles à l'exploitation rationnelle des richesses naturelles, à l'aménagement du milieu ambiant et à l'aménagement du territoire.

Comme il ressort des chapitres précédents, les formes d'inventaire des terres et les systèmes de classification varient grandement. Ils s'échelonnent entre de simples graphiques objectifs de paramètres singuliers, les classifications dites «naturelles» des paysages, et les évaluations des possibilités des terrains, fondées sur des inventaires. Un inventaire satisfaisant des terres nécessite beaucoup plus que le simple rassemblement des données. Si l'inventaire ne repose pas sur la connaissance de l'interdépendance des éléments physiographiques, les travaux

cartographiques résultants n'auront guère de valeur pratique ou scientifique. La connaissance de la genèse, de l'évolution et de la dynamique des terres sont absolument nécessaires pour étayer l'inventaire des terrains et le système de classification utilisé, surtout lorsqu'il s'agit d'utiliser ces données comme point de départ d'extrapolations et de prospectives.¹

Quelques programmes d'évaluation complète des terrains (tels que le programme australien et le modèle biophysique) s'appuient sur un grand nombre de spécialités scientifiques. La plupart des relevés visent cependant un aspect particulier de l'utilisation des terrains. Leur succès dépend donc du rassemblement d'autres données d'inventaire. Il serait par exemple désirable, lorsqu'on exécute un relevé de terrains boisés, de disposer non seulement des cartes topographiques qui en constituent la trame indispensable, mais aussi de cartes géologiques de la roche de fond, des dépôts superficiels, de la géomorphologie ou des sols. Le rendement scientifique et l'efficacité administrative d'un inventaire des terres dépend, dans ces conditions, de l'ordre dans lequel sont exécutées les recherches qui le composent. Les investigations dont les résultats ont une vaste application doivent logiquement précéder celles dont la portée est spécialisée. Il arrive malheureusement trop souvent qu'on entreprenne des inventaires spécialisés en vue de répondre à des besoins scientifiques, tout en négligeant d'exécuter les relevés fondamentaux dont l'application est beaucoup plus large. En conséquence, nous proposons que:

Conclusion VI.8

Les organismes publics concernés, tant provinciaux que fédéraux, devraient accorder la priorité aux inventaires généraux des terrains et aux recherches sur le même sujet, de même façon qu'on fixe l'ordre de priorité des travaux de cartographie topographique.

¹Ruxton, B. P., *Order and disorder in land*, dans «*Land evaluation*», MacMillan of Australia, p. 29, 1968.

Importance des matériaux meubles

L'aménagement du territoire repose largement sur l'étude des matériaux meubles qui recouvrent plus de 90 p. 100 de la roche de fond au Canada. Ces matériaux sont à l'origine des sols arables et des sols forestiers, accumulent les eaux souterraines, servent d'emplacement favorable à l'implantation des villes et des routes, constituent des sources de matériaux de remblayage, d'agrégats et autres. On les utilise également pour l'évacuation des ordures¹ et des eaux résiduaires. C'est pourquoi la connaissance scientifique de ces matériaux et des caractéristiques physiographiques qu'ils occasionnent est indispensable pour l'exploitation rationnelle des ressources renouvelables de l'agriculture, de la foresterie, des parcs récréatifs et des nappes phréatiques: tel qu'on l'indique au chapitre V, cette connaissance est nécessaire aux travaux géotechniques concernant les voies de communications, la construction et l'urbanisme. Les matériaux meubles assument en outre une importance croissante dans l'industrie minière, non seulement parce qu'ils fournissent de nombreux produits minéraux indispensables mais aussi parce que leur étude géochimique donne d'importantes indications sur les gîtes minéraux sous-jacents à la moraine de fond.

La connaissance de ces matériaux meubles omniprésents est de grande importance. Ils ont cependant reçu beaucoup moins d'attention que les sols (au sens pédologique) qui en sont dérivés ou que la roche de fond. C'est ainsi que le relevé cartographique des formations superficielles et des formes du terrain qui leur sont associées est beaucoup moins avancé que celui de la roche de fond. Il existe de vastes régions du pays pour lesquelles on ne dispose d'aucune carte des matériaux superficiels (voir fig. VII.3).

C'est pourquoi il est nécessaire de concentrer les efforts afin que les connaissances sur les matériaux meubles et les formes correspondantes du terrain puissent répondre aux besoins actuels et futurs du pays (voir la conclusion V.3).

Importance de la dynamique des terrains

En plus des données sur les rocs, les matériaux meubles et les sols, il importe de connaître les processus dynamiques et les relations de stabilité qui gouvernent ces matériaux dans leur milieu naturel. Ces données sont en effet indispensables à la prévision des phénomènes géologiques, naturels ou provoqués par l'homme, tels que glissements de terrains, inondations, érosion, affaissements, évolution cyclique des polluants, dégel ou gel du sol.

Le niveau actuel d'activité dans le domaine de la dynamique des terrains est faible au Canada. La géologie, la géographie, la géotechnique, le génie hydraulique, la pédologie et la recherche hydroéconomique n'apportent que des contributions fragmentaires. L'aménagement du territoire et le maintien de la qualité du milieu ambiant doivent reposer sur une masse beaucoup plus considérable de données géoscientifiques et sur une meilleure harmonisation des connaissances sur la dynamique des matériaux superficiels. Nous estimons donc que:

Conclusion VI.9

On devrait accorder plus d'importance à l'étude de la dynamique des terrains et des dangers d'origine géologique, grâce à la combinaison des concepts fondamentaux de la sédimentologie, de l'hydrologie, de la géomorphologie et de la mécanique des sols et des roches.

VI.8 Communication et utilisation des données géoscientifiques sur les terrains

Il ressort des paragraphes précédents qu'il est urgent d'utiliser plus largement et plus efficacement les données géoscientifiques sur les matériaux rocheux, les

¹On peut noter, par exemple, qu'environ dix millions de tonnes par an de déchets solides (non compris les décombres ou les débris susceptibles de flotter) sont déversés dans l'océan Atlantique par la ville de New York. Cela représente la plus grande source ponctuelle de sédiments déversés dans l'océan Atlantique. (cf. Bulletin du Conseil de l'enseignement des sciences géologiques, 1^{er} janvier 1970-Washington, D.C.).

matériaux meubles, les formes du terrain et les sols. Cependant, pour ce faire, il va falloir sensibiliser les planificateurs et informer le public de la grande utilité des données géoscientifiques dans l'aménagement régional. La citation suivante est riche de signification à ce propos: «le succès de la prospection pour les richesses minérales gazeuses, liquides ou solides est fondé sur une compréhension mutuelle et des rapports satisfaisants entre les géologues miniers ou pétroliers et la direction de leur firme. Chacun connaît parfaitement l'objectif visé et tous communiquent entre eux le plus possible. Si l'on veut atteindre le même résultat pour l'aménagement du milieu ambiant, il faut s'informer des problèmes que doivent résoudre le planificateur et l'administrateur, afin de leur présenter les données géologiques sous une forme assimilable. On fait des efforts en ce sens en bien des endroits du pays. Cependant, beaucoup trop de géologues dialoguent entre eux plutôt qu'avec le public, alors que celui-ci est le premier intéressé à la protection du milieu ambiant.»¹

Il est nécessaire d'améliorer les communications et la coordination entre les différents organismes publics, les groupes de chercheurs, et les différentes disciplines impliqués dans le rassemblement et la diffusion des données scientifiques relatives aux terrains. Les mêmes améliorations s'imposent lors de l'application de ces connaissances à l'exploitation rationnelle des ressources renouvelables, à l'aménagement régional et à l'urbanisme, au développement économique du Nord canadien, à la préservation du milieu ambiant et aux aspects techniques de la construction et des communications. En vue de satisfaire ce besoin, nous estimons que:

Conclusions VI.10

Le Conseil canadien des ministres des ressources devrait créer un Comité géoscientifique spécial de l'information sur les terrains et le charger de recommander les mesures et les mécanismes nécessaires pour établir et maintenir les communications

voulues entre utilisateurs et créateurs de l'information géoscientifique sur les terrains, et en particulier entre les divers organismes fédéraux et provinciaux intéressés.

VI.9 Biogéochimie, santé et bien-être²

Traditionnellement et historiquement, les sciences de la Terre ont servi à l'exploration du monde minéral. Grâce aux progrès stimulants de la biogéochimie au cours de ces dernières années, elles sont maintenant reliées aux sciences de la vie et au monde vivant. La biogéochimie est la science des relations chimiques existant entre les minéraux et les organismes vivants. À cause des contributions qu'elle pourrait apporter à la résolution des problèmes de nutrition, à l'épidémiologie, à l'identification des polluants naturels et industriels et à l'assainissement du milieu ambiant, cette science offre des perspectives très prometteuses.

La biogéochimie est une science relativement jeune; elle est même si jeune que certains milieux refusent de la reconnaître comme une discipline indépendante. Dans de nombreuses universités canadiennes elle ne reçoit qu'un apport faible, voire nul, de la géologie, de la chimie, de l'hydrologie, de la biologie ou de la médecine, bien que ces domaines pourraient y contribuer de façon très significative. À l'instar de plusieurs disciplines scientifiques, la biogéochimie a été créée pour la prospection minérale. On avait en effet remarqué la concentration anormale de certains oligo-éléments dans des végétaux établis au-dessus de certains gîtes métallifères ou poussant dans leur voisinage.

Champ d'action de la biogéochimie

Mentionnons quelques-uns des problèmes relevant de la biogéochimie telle qu'on la conçoit aujourd'hui:

Frye, J. C. *Geological information for managing the environment*, Illinois State Geol. Surv., Environmental Geology Notes n° 18, p. 12, 1967.

²Extrait principalement de *Background Paper on Biogeochemistry* par H. V. Warren et R. E. Delavault (voir annexe 4 du présent rapport).

1. teneur insuffisante en oligo-éléments des aliments et des boissons;

2. présence naturelle ou provoquée de substances toxiques dans le sol;

3. chimie des roches et des sols, en fonction de leurs capacités à sustenter la vie organique;

4. formation des combustibles fossiles;

5. richesse biologique des cours d'eau, des lacs et des océans et leur dégradation par la pollution.

Tous ces problèmes intéressent de vastes secteurs de la recherche scientifique et ne peuvent être traités avec compétence dans le cadre d'une discipline unique.

Les progrès en ces domaines seront essentiellement l'œuvre d'équipes de chercheurs, désireux et capables de collaborer et de communiquer entre eux, de manière à couvrir un domaine relativement vaste des connaissances humaines.

Importance de la recherche et du développement biogéochimiques

La recherche et le développement scientifiques dans ce domaine se trouvent actuellement à un stade élémentaire, car les problèmes biogéochimiques n'ont été effectivement abordés que depuis deux décennies. La recherche biogéochimique pourrait procurer de grands avantages, dépassant de loin ceux que peuvent apporter les techniques géobotaniques à la prospection scientifique. Les problèmes en cause appartiennent à presque tous les aspects de l'écologie humaine, et certains concernent des éléments indispensables aux règnes végétal et animal. Dans un monde menacé de plus en plus par la pollution, la recherche et le développement biogéochimiques ont beaucoup à offrir à l'humanité.

Les exemples qui suivent illustrent l'importance de la recherche biogéochimique:

1. Une équipe de médecins a trouvé que de nombreux décès survenant dans un village japonais étaient causés par l'ingestion de produits de la mer contenant des quantités anormales de mercure issues des déchets d'une usine de fibres synthétiques, récemment installée.

2. Au Japon également, plusieurs décès causés par une maladie osseuse ont été, par la suite, reliés à un excès de cadmium dans certaines sortes de riz. On avait pompé, dans des rizières, de l'eau qui avait été en contact avec d'anciens résidus miniers.

3. Par contre, certaines collectivités ont été accoutumées, au cours du temps, à ingérer des quantités excessives d'oligo-éléments. Les personnes qui quittent ces collectivités doivent compléter leur nouveau régime alimentaire par un supplément d'oligo-éléments. Certains habitants des Alpes, par exemple, ne peuvent voyager sans inconvénients s'ils n'absorbent pas un supplément d'arsenic.

4. On connaît des régions où sévissent une anémie et un goître endémiques. Ces troubles sont essentiellement causés par des déficiences en fer et en iode dans le régime alimentaire.

5. Warren et d'autres¹ ont remarqué des corrélations extrêmement intéressantes entre des teneurs excessives de plomb et de zinc et la sclérose en plaques, sans toutefois fournir de preuve statistique rigoureuse. C'est au cours de ces études que l'importance de la biogéochimie pour la détection de la pollution est apparue. Celui qui mange des pommes de terre se préoccupe évidemment peu de savoir si le plomb contenu dans ces tubercules provient du plomb se trouvant naturellement dans le sol, ou du gaz d'échappement d'automobiles, ou de la suie de combustion du charbon. C'est la détermination des niveaux de pollution intolérables et celle des concentrations normales d'oligo-éléments dans les sols, les plantes et les animaux, qui posent à la biogéochimie les problèmes les plus difficiles et les plus intéressants actuellement.

6. La biogéochimie est utile pour mesurer les retombées radioactives.

L'intérêt croissant que portent les agronomes à la biogéochimie s'explique en partie du fait de la gravité des problèmes

Warren, H. V., R. E. Delavault et C. H. Cross. *Quelques facteurs géologiques de géographie médicale* (en espagnol). Sociedad mexicana de geografía y estadística. Vol. VI, p. 47-53, 1966.

engendrés par la pollution. Les hommes politiques deviennent de plus en plus sensibilisés aux problèmes de la pollution. Ils se rendent compte qu'on ne peut plus tolérer que les eaux résiduaires et les déchets soient déversés directement dans les rivières et les fleuves. Ils considèrent, non sans logique, qu'une partie importante des déchets de nos villes tirent leur origine minérale ou végétale de la croûte terrestre. Pourquoi, dans ces conditions, ne pas restituer ces déchets au sol d'où ils ont été extraits? On propose, en conséquence, qu'après extraction de la plupart des matières solides, on émiette ces déchets, qu'on les stérilise et qu'on les transforme en granules, genre vermiculite, et qu'enfin on les répande sur les terres afin d'en restaurer les éléments nutritifs à leur concentration originelle.

Le fait qu'un domaine interdisciplinaire aussi important que la biogéochimie n'appartienne en propre ni à la géologie, ni à la chimie, ni aux sciences médicales est une source de préoccupation. La recherche biogéochimique à caractère pluridisciplinaire devrait bénéficier d'un soutien financier suffisant. Ainsi serait-il possible d'explorer complètement au profit de tout le pays, les applications théoriques et pratiques de la biogéochimie dans les études portant sur la symbiose, le métabolisme et la pollution.

Chapitre VII

Les levés géoscientifiques dans le pays

«Il est d'importance primordiale de connaître tous les éléments d'une situation donnée avant d'agir, et...découvrir ces éléments est un travail de tous les instants qui exige une éternelle vigilance».

Bernard M. Baruch

VII.1 Vue d'ensemble

La cartographie systématique et l'interprétation des caractéristiques du terrain (topographiques, hydrographiques, géologiques, géophysiques, géochimiques) sont des activités essentielles des sciences de la Terre. Les cartes ainsi obtenues sont des outils indispensables pour le développement économique et social d'une nation. Certaines cartes représentent des données scientifiques recueillies systématiquement, aussi leur exécution est-elle un exercice de collecte de données. D'autres, et en particulier les cartes géologiques, représentent avant tout une interprétation de données; leur exécution est donc considérée comme un travail de recherche. Une carte géologique est, par la force des choses, présentée sous deux dimensions (représentation planimétrique); toutefois, elle doit représenter des données en trois dimensions et en permettre l'interprétation. Les données sur le sous-sol font l'objet de révisions continuelles devant tenir compte des données plus récentes et d'idées nouvelles.

Les techniques de collecte des données géoscientifiques se sont beaucoup améliorées au cours des dernières décennies, à commencer par la photographie aérienne, puis par la mise au point de nouveaux instruments de géophysique très sensibles et l'emploi toujours plus fréquent de l'hélicoptère et autres appareils de transport du matériel. L'utilisation des satellites, ainsi que l'emploi des ordinateurs pour le traitement des données s'avèreront de plus en plus nécessaires pour rassembler et analyser un très grand nombre de données. Nous assistons à une

énorme prolifération des possibilités de présentation des données géoscientifiques sous de nouvelles formes. Il existe toutefois bien des paramètres géologiques que l'on ne peut pas encore découvrir par les levés instrumentaux et qui exigent plusieurs années d'étude, même lorsqu'il s'agit d'une seule région représentée.

Nous n'avons pas de solution simple au problème de la détermination de la masse de données géoscientifiques requises, de l'allure à laquelle il faudrait les recueillir et de la précision vers laquelle nous devons aspirer. L'urgence et la qualité varient selon les lieux et le temps. *Toutefois, nous estimons que la masse de nos connaissances géoscientifiques est inférieure à celle de pays de dimensions comparables (URSS et É.-U.) et que, de façon générale, il y aurait lieu de hâter l'accumulation des données de base régionales et d'en établir des résumés.* Notre étude a révélé que les personnes qui utilisent ce genre de données au Canada estiment que nous devrions en posséder bien plus (voir annexe n° 6) et que *nous devrions accélérer le rythme de leur collecte, qui est trop lent pour un pays si vaste.* Il va non seulement falloir consacrer plus d'argent à ce travail, afin d'accélérer l'accumulation des données et compenser le coût toujours croissant de leur publication, mais il va aussi falloir améliorer les normes suivies actuellement pour la collecte et la présentation des données et mieux coordonner l'activité des divers groupes actifs dans ce domaine.

Dans le présent chapitre, nous résumons le travail qui s'est fait jusqu'à présent à l'échelle nationale pour l'établissement des cartes topographiques, géologiques, géophysiques et pédologiques. Nous estimons qu'il faudrait:

1. achever les levés topographiques au 1/50 000^e avant 1975;
2. achever les levés géologiques au 1/250 000^e du socle rocheux canadien avant 1980;
3. achever les levés géologiques au 1/50 000^e du socle rocheux dans les régions offrant des possibilités de développement économique ainsi que dans les

zones de croissance urbaine et les endroits où l'on construira des grands ouvrages;

4. achever le relevé des données géologiques sur les formations superficielles, y compris les sols, de tout le Canada, pour les cartes au 1/250 000^e;

5. achever le relevé des données géologiques sur les formations superficielles des zones urbaines, pour les cartes au 1/50 000^e, afin de répondre aux besoins des spécialistes chargés de la planification régionale, des ingénieurs des fondations et des fournisseurs de matériaux de construction;

6. achever le levé aéromagnétique à l'échelle nationale, suivant les normes en cours;

7. achever le relevé systématique préliminaire des données gravimétriques pour tout le Canada;

8. formuler un programme de levés sismiques systématiques des bassins sédimentaires, tenant compte du volume important de données accumulées par les sociétés privées;

9. étendre les levés géologiques systématiques du plateau continental;

10. formuler des programmes de révisions systématiques des cartes, tenant compte des changements des caractéristiques des zones urbaines, du volume croissant des données accumulées par l'industrie et des nouveaux concepts sur lesquels se fondent les sciences de la Terre.

VII.2 Levés topographiques

Les cartes topographiques servent de base à toutes les autres cartes géoscientifiques. De plus, elles répondent aux besoins généraux des secteurs publics en ce qu'on peut y indiquer des renseignements d'ordre administratif et juridique, comme les limites des propriétés et des municipalités. Elles sont indispensables aux travaux de la défense, à tous les modes de transport, à la planification et à l'expansion régionale, ainsi que pour bien des formes de loisirs en plein air.

L'exécution des canevas altimétriques et planimétriques à l'échelle nationale et

la compilation des cartes topographiques nationales sont deux tâches de la compétence de la Direction des levés et de la cartographie du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. La concentration de tels services au sein de cette Direction assure l'uniformité des normes utilisées et une élaboration économique. Plusieurs organismes fédéraux se fient entièrement à cette Direction pour satisfaire leurs besoins cartographiques; pourtant, avant 1966, le Ministère de la Défense nationale produisait un nombre considérable de cartes selon le Système de référence cartographique national. Les organismes publics provinciaux se servent largement des cartes dressées aux 1/50 000^e et 1/250 000^e à des fins de planification et de gestion des ressources. Plusieurs provinces effectuent des levés aériens et compilent des cartes à plus petites échelles (1/10 000^e par exemple).

La couverture cartographique du pays est représenté à la figure VII.1 et est présentée sous forme détaillée au tableau VII.1. La compilation des cartes au 1/250 000^e est maintenant achevée. Il existe des cartes au 1/50 000^e pour 37 p. 100 du territoire canadien (soit 52 p. 100 de la superficie des provinces). À des fins de comparaison, on montre au tableau VII.2 l'étendue relative des levés topographiques dans divers pays.

Au rythme actuel de réalisation des travaux, soit environ 2 p. 100 par année, la série de cartes au 1/50 000^e ne sera complète qu'en l'an 2000. Cependant, les nouvelles constructions entreprises chaque année font que les cartes des zones habitées sont désuètes en moins de dix ans, de sorte que la compilation des cartes doit s'accompagner d'un programme de révision. Lors d'une conférence fédérale-provinciale des utilisateurs de cartes qui eut lieu en 1966, on a fait remarquer que les services de cartographie dont on dispose actuellement sont loin d'être suffisants pour répondre à la demande actuelle, ou à celle qui devrait se faire sentir dans un proche avenir. Si on ne parvient pas à répondre à cette demande, la crise que l'on traverse actuellement ne

peut que s'aggraver à cause des retards que cette situation imposera au développement économique du pays.¹ Plus tard, un rapport du Comité consultatif national des travaux géodésiques et de cartographie, a présenté des estimations selon lesquelles il faudrait consacrer au levé topographique national une somme supplémentaire de quatre millions de dollars par an pour répondre à la demande de services de cartographie (nouvelles cartes et révisions) prévue par de nombreux utilisateurs de cartes. Nous concluons donc que:

Conclusion VII.1

Le rythme de réalisation des cartes au 1/50 000^e devrait s'accélérer de façon que l'on achève avant 1975 les cartes de toutes les provinces et des zones choisies des Territoires du Nord-Ouest et du Yukon. Les délais d'élaboration et les conditions du financement conjoint du levé topographique complet des zones urbaines, au 1/25 000^e, devrait être fixés après consultation entre le gouvernement fédéral et les gouvernements provinciaux.

VII.3 Levés hydrographiques

Les cartes bathymétriques du plateau continental canadien sont indispensables non seulement à la navigation commerciale et à la défense, mais aussi aux recherches, à la gestion et à l'exploitation des ressources, ainsi qu'aux recherches fondamentales sur l'origine et l'évolution des océans.

Le Service hydrographique du Canada, du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, est l'organisme chargé d'exécuter les levés hydrographiques nationaux. La superficie du plateau continental canadien est de 1 452 000 milles carrés, soit l'équivalent d'environ 42 p. 100 de la superficie terrestre du pays. Dix P. 100 seulement de cette superficie ont jusqu'ici fait l'objet de levés. Les principaux levés envisagés entre 1969 et 1974 portent sur les régions de haute priorité, comprenant le golfe du Saint-Laurent,

dont le levé est incomplet, la zone du plateau continental qui s'étend au large des côtes de Terre-Neuve et au sud du Labrador, le détroit du Vicomte-Melville et les eaux qui s'étendent entre les îles Banks et Herschel, dans l'Arctique, ainsi que certaines zones du plateau continental de la côte du Pacifique. Cela fait, nous disposerons en 1974 de données précises sur 20 p. 100 du plateau continental canadien. Il est nécessaire que ce travail se poursuive au même rythme.

VII.4 Levés géologiques

Les cartes géologiques, comme les cartes topographiques, ont de nombreux usages. On y reporte l'emplacement des richesses minérales du pays; c'est à partir de ces cartes qu'on établit les programmes nationaux d'exploitation et de conservation des ressources minérales et énergétiques. Elles constituent de plus des instruments indispensables à la recherche de nouveaux gisements miniers. En construction immobilière et routière, elles indiquent l'emplacement des sources de matériaux, les zones de construction idéales et les voies de communication possibles. Agronomes, forestiers, urbanistes, spécialistes de la conservation et aménagistes utilisent tous des cartes géologiques. À la différence des cartes topographiques et hydrographiques, la carte géologique complète donne une interprétation des conditions en profondeur et de l'évolution chronologique. En se fondant sur les caractéristiques des matériaux de surface, les géologues projettent les structures du sous-sol et font des recommandations sur les meilleurs emplacements pour les sondages d'exploration. Après avoir établi l'âge des échantillons de surface, par l'observation des fossiles, la datation isotopique ou la succession des strates, les géologues reconstituent l'histoire et l'évolution de la Terre et peuvent déterminer l'emplacement et l'époque de la constitution des formations d'importance économique

¹Conférence des utilisateurs de cartes, 1966, organisée par le Comité consultatif national des travaux géodésiques et de cartographie.

Tableau VII.1—Pourcentage du territoire canadien pour lequel il existait en 1968 des cartes topographiques, géologiques, géophysiques et pédologiques

Provinces	Cartes topographiques		Cartes géologiques du socle rocheux			Cartes géologiques des formations superficielles			Cartes pédologiques préliminaires et exploration	Cartes aéro-magnétiques 1/63 360 ^e	Cartes gravimétriques		
	1/250 000 ^e	1/50 000 ^e	1/63 360 ^e	1/250 000 ^e	1/500 000 ^e	1/125 000 ^e ou moins	1/250 000 ^e	1/500 000 ^e et 1/1 000 000 ^e			détailées (b)	régionales (c)	préliminaires (d)
Colombie-Britannique	100	71	5	84	90	8.5	17	minime	21	15	minime	18	36
Alberta	100	64	7	82	95	3	34	—	100	28	minime	92	100
Saskatchewan	100	43	6½	37	100	2	35	—	67	64	minime	100	100
Manitoba	100	38	7½	63	99	—	11½	25	26	85	minime	100	100
Ontario (nord du 46 ^e) (sud du 46 ^e)	{ 100	{ 39	{ 11	{ 68½	{ 94	1	—	71	{ 24	{ 98	{ minime	{ 70	{ 100
Québec	100	52	22	44½	91	4	—	29	5	30	minime	72	86
Île du Prince-Édouard	100	100	20	100	100	100	—	—	100	100	0	100	100
Nouvelle-Écosse	100	100	43	100	100	81	—	—	100	100	10	60	100
Nouveau-Brunswick	100	100	49	100	100	12	27	—	59	100	20%	100	100
Île de Terre-Neuve	100	1	23	88½	100	—	24	—	11	70	minime	100	100
Labrador	100	52	0	53½	91	—	13	7	—	5	—	75	75
Territoires du Nord-Ouest													
Franklin	100	1				—	—	79		20	—	60	60
MacKenzie	100	17	{ ½	{ 27	{ 91	—	—	65	{ < 1	30	—	80	90
Keewatin	100	1				—	—	100		25	—	—	80
Yukon	100	42	2	65	90	—	11½	23	—	45	—	3	8
Canada (continental)	100	37	7	48	92	3	8	39	19	41	—	64%	78%

^a Cheminements aériens espacés d'un demi-mille, à 1000 pieds d'altitude.

^b Stations espacées de moins de 2 km.

^c Stations espacées de 15 km ou moins.

^d Stations espacées de 30 km ou plus.

Figure VII.1—Répartition des cartes topographiques au 1/50 000^e qui couvrent 37 p. 100 de la superficie du Canada. On dispose de cartes au 1/250 000^e pour tout le pays.

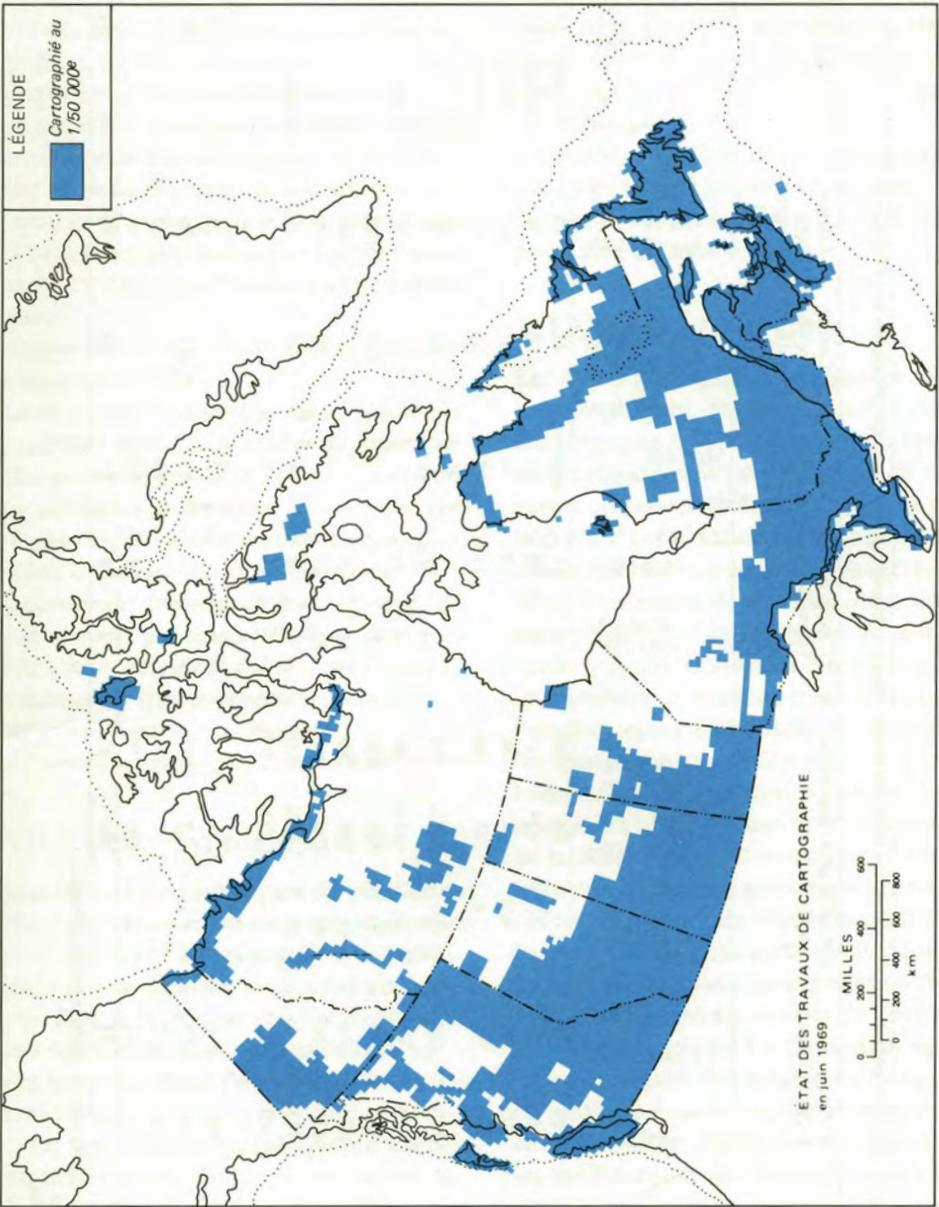


Tableau VII.2—Superficies pour lesquelles on dispose de cartes topographiques au 1/63 360^e, dans divers pays et régions, 1967*

	%		%
URSS	100	Cuba	100
Royaume-Uni	100	Inde	90
France	100	Espagne	95
Japon	100	Pakistan	75
Italie	100	États-Unis	74
Grèce	100	Finlande	60
Suisse	100	Suède	50
Norvège	100	Amérique Centrale	50
Thaïlande	100	Canada	20
Danemark	100	Afrique	20
Allemagne de l'Ouest	100	Mexique	10
Bénélux	100	Amérique du Sud	10
Portugal	100	Australie	10
Chine (Taïwan)	100		

* Extrait du procès-verbal des témoignages présentés par la Commission géologique des É.-U. à un sous-comité du Comité des finances, Budget du Secrétariat de l'Intérieur et organismes associés des É.-U. pour l'exercice 1968 (1967).

particulière. *Il s'ensuit qu'une carte géologique est souvent le produit de recherches géoscientifiques et contient des données beaucoup plus nombreuses que celles que l'on pourrait recueillir par une simple observation de la surface du sol.*

La plupart des pays ont jugé souhaitable de maintenir un service géologique national afin de rassembler, trier et publier la masse des connaissances sur la géologie du patrimoine national. Au Canada, ce travail fut d'abord confié à la Commission géologique du Canada; depuis la Confédération, l'activité dans ce domaine a pris de l'ampleur et elle occupe de nos jours plusieurs organismes provinciaux. Les efforts se sont faits sentir sur trois fronts: a) la géologie du socle rocheux, intéressant principalement l'industrie minière; b) les matériaux de surface (terrains meubles couvrant la roche de fond), d'un intérêt particulier pour la construction, les transports, l'aménagement du territoire et l'urbanisme; c) les inventaires pédologiques, intéressant surtout l'agriculture et la foresterie.

Les besoins en personnel, les données recueillies et les utilisateurs des données sont différents pour chacun de ces trois genres de levés; aussi nous a-t-il fallu les traiter séparément dans le présent chapitre.

Cartes géologiques du socle rocheux

Les cartes géologiques du socle sont éta-

blies par des géologues au service de l'industrie privée, du secteur public et des universités. C'est l'industrie qui consacre le plus d'argent à la collecte des données géologiques, mais, comme les données recueillies sont propriété privée, bien peu sont publiées. Les géologues des universités collaborent aux relevés nationaux en travaillant sur le terrain pour des organismes publics et en compilant cartes et diagrammes pour des thèses et des revues scientifiques. Les organismes publics sont les principaux éditeurs de cartes géologiques systématiques, qui sont en grande partie le résultat des travaux de leurs géologues de cadres.

La figure VII.2 illustre la superficie du territoire canadien pour laquelle il existe des cartes géologiques de la roche de fond, compilées par des organismes fédéraux et provinciaux. *Ces cartes représentent au-delà de 125 années de travail*¹. Il n'existe présentement aucune carte pour 8 p. 100 de la superficie des terres (on s'attend que tout le territoire soit représenté d'ici 1975), tandis que 7 p. 100 seulement du territoire canadien sont représentés sur des cartes à l'échelle du 1/63 360^e (tableau VII.1). On a à peine commencé les levés géologiques systémati-

¹ Les dépenses totales de la Commission géologique du Canada, entre 1852 et 1969, se sont élevées à 100 millions de dollars, soit moins du tiers de ce qu'a coûté l'expédition d'Apollo XII.

ques du socle du plateau continental, dont la superficie équivaut à 42 p. 100 de celle de la terre ferme.

L'analyse qualitative des récents levés de reconnaissance de la géologie des Territoires du Nord-Ouest, à l'échelle du 1/506 880^e, a révélé que, tout en donnant une orientation générale aux travaux de reconnaissance, ils ne rapportent que deux affleurements du socle rocheux par 100 milles carrés. Comme les gisements de minerais se mesurent en centaines de pieds plutôt qu'en milles (lorsqu'ils affleurent, tout au moins), on ne peut que reconnaître l'imprécision des levés géologiques au demi-millionième.

Il existe des cartes au 1/253 440^e pour 49 pour 100 de la superficie du Canada. Dans les Territoires du Nord-Ouest, ces cartes rapportent environ 30 affleurements du socle rocheux par 100 milles carrés. L'existence de cartes aéromagnétiques permet d'extrapoler les données avec beaucoup plus d'assurance dans les régions couvertes de moskeg ou de morts-terrains; de plus, ces cartes mettent en relief l'inexactitude des cartes qui furent tracées avant la guerre en se fondant principalement sur des observations faites en canot le long des voies navigables. Dans la Cordillère et dans certaines provinces, le relief plus accentué et le plus grand nombre d'affleurements permettent généralement de tracer de meilleures cartes à cette échelle. *Au rythme où le travail progresse actuellement, on estime que les levés géologiques au 1/250 000^e pour tout le territoire du Canada, ne seront pas terminés avant l'an 2000.*

On dispose de cartes géologiques au 1/63 360^e pour 7 pour 100 du pays.¹ Sur ces cartes figurent les données utiles à la prospection minière, à la mise en valeur des ressources, ainsi qu'à la réalisation des projets de génie et d'urbanisme. La demande pour ces cartes augmente à mesure que les ressources en minéraux et en terres arables prennent plus d'importance. Toutefois, le travail ne progresse qu'à un rythme lent, aussi est-il impossible de prévoir quand nous disposerons de cartes à cette échelle pour tout le Canada. Rien

que dans les provinces, le rythme du progrès des travaux n'est pas assez rapide pour qu'il soit possible de mettre à jour les cartes actuelles, en tenant compte de l'expansion urbaine et économique, des révisions apportées aux cartes topographiques de base, des données géophysiques et des renseignements sur le sous-sol recueillis récemment par l'industrie privée, et des nouvelles interprétations.

Le tableau VII.3 donne un résumé des progrès accomplis actuellement dans la compilation systématique des cartes géologiques du socle par tous les organismes publics. Étant donné l'importance des levés géologiques pour le développement du pays et le rythme trop lent des travaux de cartographie, nous devons conclure que:

Conclusion VII.2

Le rythme actuel de compilation des cartes géologiques du Canada au 1/250 000^e devrait être accéléré de façon que tout le territoire canadien soit représenté selon des normes uniformes d'information et de précision d'ici 1980. L'ordre de succession et le rythme d'exécution des levés au 1/250 000^e et des levés supplémentaires au 1/63 360^e dans les zones à fort potentiel économique des Territoires du Nord-Ouest et du Yukon devraient être fixés conjointement par le Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien et le Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources; les levés devraient être effectués par la Commission géologique du Canada. De même, des accords de collaboration avec les organismes provinciaux devraient viser l'élaboration de plans décennaux pour la cartographie systématique de la géologie des provinces.

Il y a de quoi s'alarmer au sujet des grandes variations dans la quantité de détails et dans la précision des données qui figurent sur les cartes géologiques à une même échelle. Certaines indiquent la présence d'affleurement, d'autres ne le font pas; certaines donnent de nombreux

¹Par comparaison, l'Inde possède des cartes à cette échelle pour 61 pour 100 de son territoire.

Figure VII.2—Étendue de la cartographie géologique du Canada. Il existe des cartes géologiques du socle rocheux au 1/63 360^e pour 7 pour 100 territoire canadien, des cartes au 1/253 440^e pour 48 pour 100 et des cartes au 1/506 880^e pour 92 pour 100. On n'a pour ainsi dire pas réalisé de cartographie systématique du plateau continental.

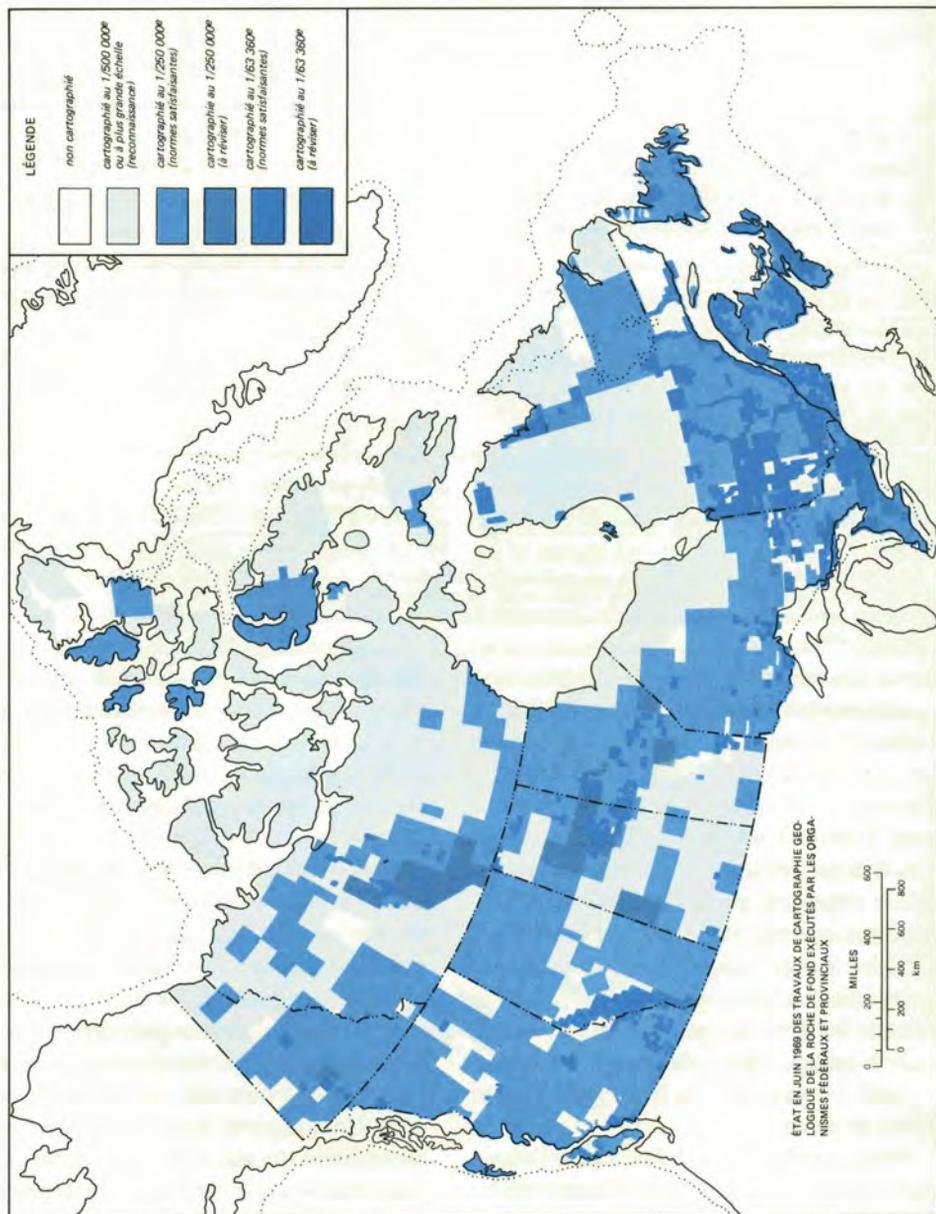


Tableau VII.3—Progrès accomplis actuellement par les organismes publics chargés de la compilation des cartes géologiques de la roche de fond, année 1968*

Organismes	Progrès accomplis (nombre de cartes par année)				Superficie cartographiée chaque année (en milles carrés)
	1/31 680 ^c	1/63 360 ^c	1/250 000 ^c	1/500 000 ^c	
Min. des Mines et des Richesses pétrolières de la C.-B.	minime	0	0	x ^b	—
Conseil des recherches de l'Alberta	—	0	0	0	—
Min. des Richesses minérales de la Saskatchewan	—	5	0	x	1 925
Min. des Mines et des Richesses naturelles du Manitoba	—	10	0	x	3 850
Min. des Mines de l'Ontario	16	2	1	0	9 730
Min. des Richesses naturelles du Québec	—	15	4	—	27 265
Min. des Richesses naturelles du Nouveau-Brunswick	0.2 ^a	0	x	x	40
Min. des Mines de la Nouvelle-Écosse	0	0	x	x	—
Min. de l'Industrie et des Richesses naturelles de l'Île du Prince-Édouard	0	0	x	x	—
Min. des Mines, de l'Agriculture et des Richesses naturelles de Terre-Neuve	minime	0	0	0	—
Commission géologique du Canada	minime	14	13	4	186 324
Totaux	16	46	18	4	229 134

* Le présent tableau est fondé sur les renseignements fournis par les organismes concernés. Il montre le rythme de progrès du travail de ces organismes, non le rythme idéal.

^b x = on a terminé les travaux de cartographie à cette échelle.

^c au 1/15 840^e.

renseignements sur le relief, d'autres non; certaines sont à l'échelle décimale (ex. 1/50 000^e, d'autres à l'échelle anglaise (ex. 1 mille au pouce, soit au 1/63 360^e). On a recours à des symboles différents pour exprimer une même caractéristique. Ces différences résultent de la multiplicité des organismes qui s'occupent de la compilation des cartes géologiques, ce qui n'est pas le cas pour les cartes topographiques et géophysiques. De plus, comme les données géologiques sont matière à interprétation, les cartes reflètent souvent les préjugés de ceux qui effectuent les levés.

Il faut également s'inquiéter de l'augmentation continue du coût de l'édition des cartes géologiques. Les organismes provinciaux et fédéraux sont aux prises avec le difficile problème de publier les cartes rapidement et à bon compte, sans que les normes en souffrent. Nous croyons donc que:

férence nationale qui réunirait des représentants de tous les organismes fédéraux et provinciaux qui dressent des cartes géoscientifiques, ainsi que des représentants des industries qui utilisent ces cartes, afin de:

a) faire le point des connaissances actuelles et évaluer le rythme auquel progresse la compilation des cartes géoscientifiques indispensables au développement économique du pays;

b) réviser les normes qui régissent actuellement le relevé des données, leur compilation (légendes, etc.) et leur publication;

c) déterminer les besoins fédéraux et provinciaux futurs de données géologiques, géophysiques, géochimiques, topographiques et les échelles des cartes;

d) élaborer un programme détaillé de collaboration fédérale-provinciale en vue de l'achèvement et de la publication d'une série nationale de cartes au 1/250 000^e et au 1/50 000^e, ainsi qu'à plus grande échelle, au besoin; énoncer un programme de financement fondé sur le principe du partage des frais.

Conclusion VII.3

Le Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources devrait convoquer une con-

Cartographie des formations superficielles

L'établissement de cartes des formations de surface non consolidées¹ et des détails du relief, ainsi que leur interprétation, constituent ce que l'on appelle généralement la «géologie du Quaternaire», ainsi nommée parce que l'origine et l'histoire de ces dépôts ne remontent qu'à un ou deux millions d'années (ère quaternaire). Plus de 90 p. 100 de la superficie du Canada est recouverte de formations non consolidées provenant directement ou indirectement de la glaciation. Bien des éléments topographiques, y compris des lacs, cours d'eau et découpage de littoral, sont de formation glaciaire. *Vue sous un angle pratique, l'étude des matériaux de surface a une importance particulière pour l'agriculture, l'exploitation forestière, les ressources en eau, la lutte contre la pollution et l'élimination des eaux résiduaires, le génie civil (fondations et construction), l'urbanisme et l'aménagement rural, la mise en valeur des régions septentrionales, l'aménagement du territoire à des fins récréatives, la recherche de matériaux de construction et la prospection.*

La figure VII.3 et le tableau VII.1 montrent la superficie du territoire canadien pour laquelle il existe des cartes de la géologie du Quaternaire dressées par des organismes fédéraux et provinciaux. Ces cartes sont établies à des échelles fort variées et diffèrent entre elles quant au genre et au volume de détails qui y sont inscrits; aussi les a-t-on classées en trois grandes catégories:

a) Les cartes à l'échelle du 500 000^e et du millionième, fondées sur les levés de reconnaissance topographique de l'Arctique, du nord de l'Ontario, du Manitoba et du Nouveau-Québec, ainsi que sur les levés exécutés par le Ministère des Terres et Forêts de l'Ontario et la Commission géologique du Canada dans les régions méridionales; ces derniers donnent l'emplacement des formations géologiques observées au cours de reconnaissances.

b) Cartes du 250 000^e, fondées sur des levés de reconnaissance des formations superficielles et de la topographie. Elles sont divisées en deux classes: «Échelle

1/250 000^e - Sud» et «Échelle 1/250 000^e - Nord», selon le volume de détails qu'il est possible de relever, compte tenu de l'accessibilité et de l'importance potentielle des zones pour l'agriculture, l'exploitation forestière, la production de l'énergie et la prospection.

c) Cartes à l'échelle du 125 000^e et moins, comprenant surtout des cartes au 1/63 360^e et au 1/125 000^e. Les cartes à l'échelle du 1/63 360^e n'existent en principe que pour les zones fortement peuplées et ne sont conçues qu'en fonction des problèmes du milieu, de la géologie des zones urbaines, de l'utilisation des formations géologiques et des risques qu'elles présentent.

On ne possède aucune carte, à quelque échelle que ce soit, pour 42 p. 100 du pays. Trente géologues au service d'organismes fédéraux et provinciaux, dont plus de la moitié travaillent pour la Commission géologique du Canada, sont chargés de dresser ce genre de cartes. *Au rythme où le travail avance actuellement, compte tenu de toute la production à toutes les échelles, les cartes dressées chaque année représentent 100 000 milles carrés, soit 3 p. 100 de la superficie du territoire.*

Levés pédologiques

Les levés pédologiques permettent de dresser un inventaire des sols² du Canada et sont nécessaires à l'expansion agricole et à l'utilisation rationnelle du territoire.

Le levé pédologique du Canada est une entreprise conjointe du Ministère fédéral de l'Agriculture, des organismes provinciaux (sauf ceux de l'Île du P.-É.) et de six universités. Dans toutes les provinces (sauf en Colombie-Britannique), les services Fédéraux et provinciaux occupent des locaux communs dans une université (ou un collège, comme en

¹ Les levés pédologiques dont il sera question dans la prochaine partie du présent chapitre ne portent que sur le mince horizon supérieur de matériaux non consolidés que l'on considère d'ordinaire comme le fonds naturel où les plantes puisent leur nourriture.

² On entend ici par sols «le milieu où se développent les racines des plantes». Données fournies dans un mémoire sur la pédologie présenté au Groupe d'études par le Ministère canadien de l'Agriculture.

Figure VII.3.—Répartition des cartes géologiques des formations superficielles au Canada. Il n'existe de telles cartes au 1/125 000^e ou à plus grande échelle que pour moins de 3 p. 100 de la superficie du pays. Les cartes à l'échelle du 500 000^e ou du millionième n'existent que pour 39 p. 100 du territoire national. Il n'existe pas de cartes des formations non consolidées pour 42 p. 100 du pays.

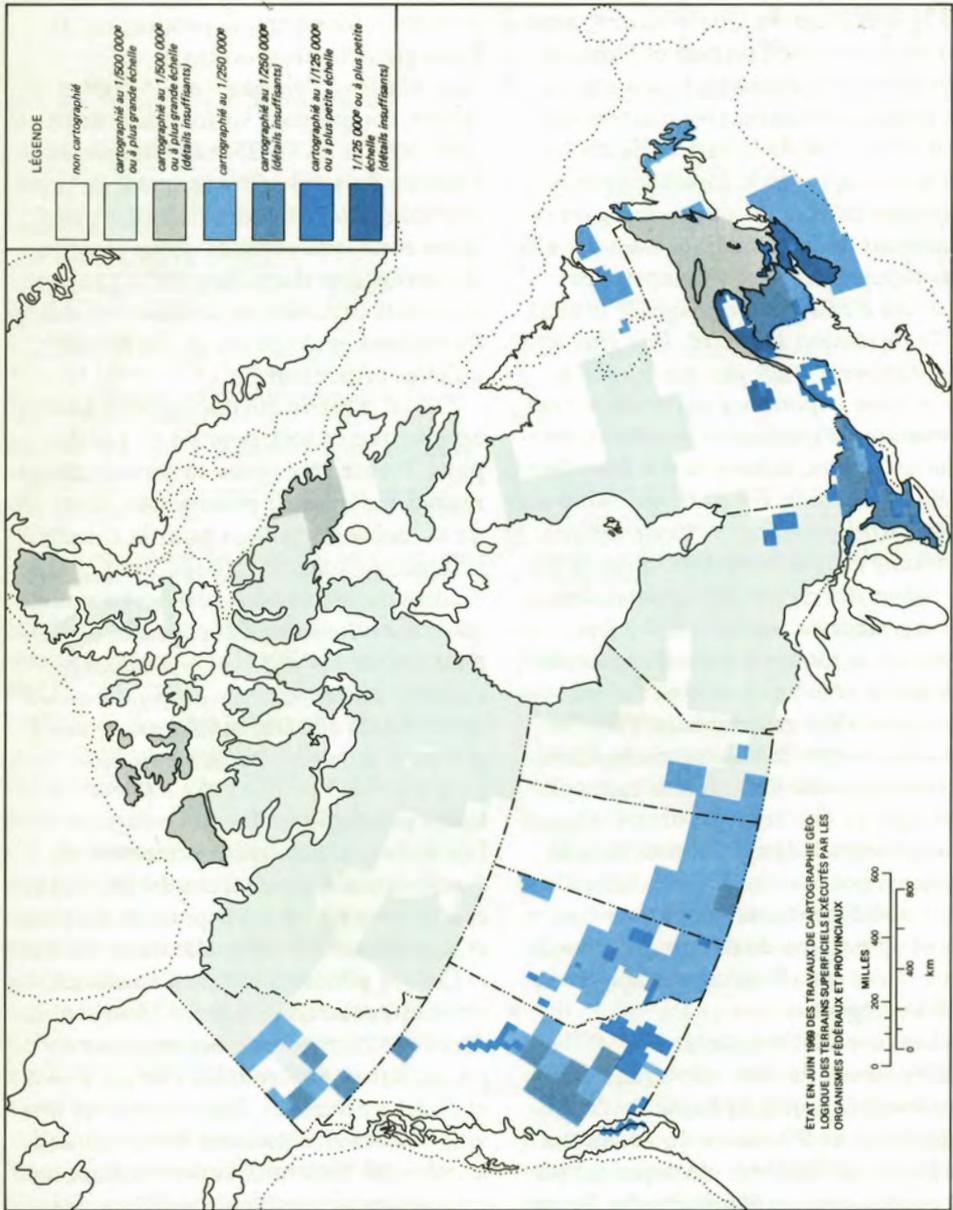
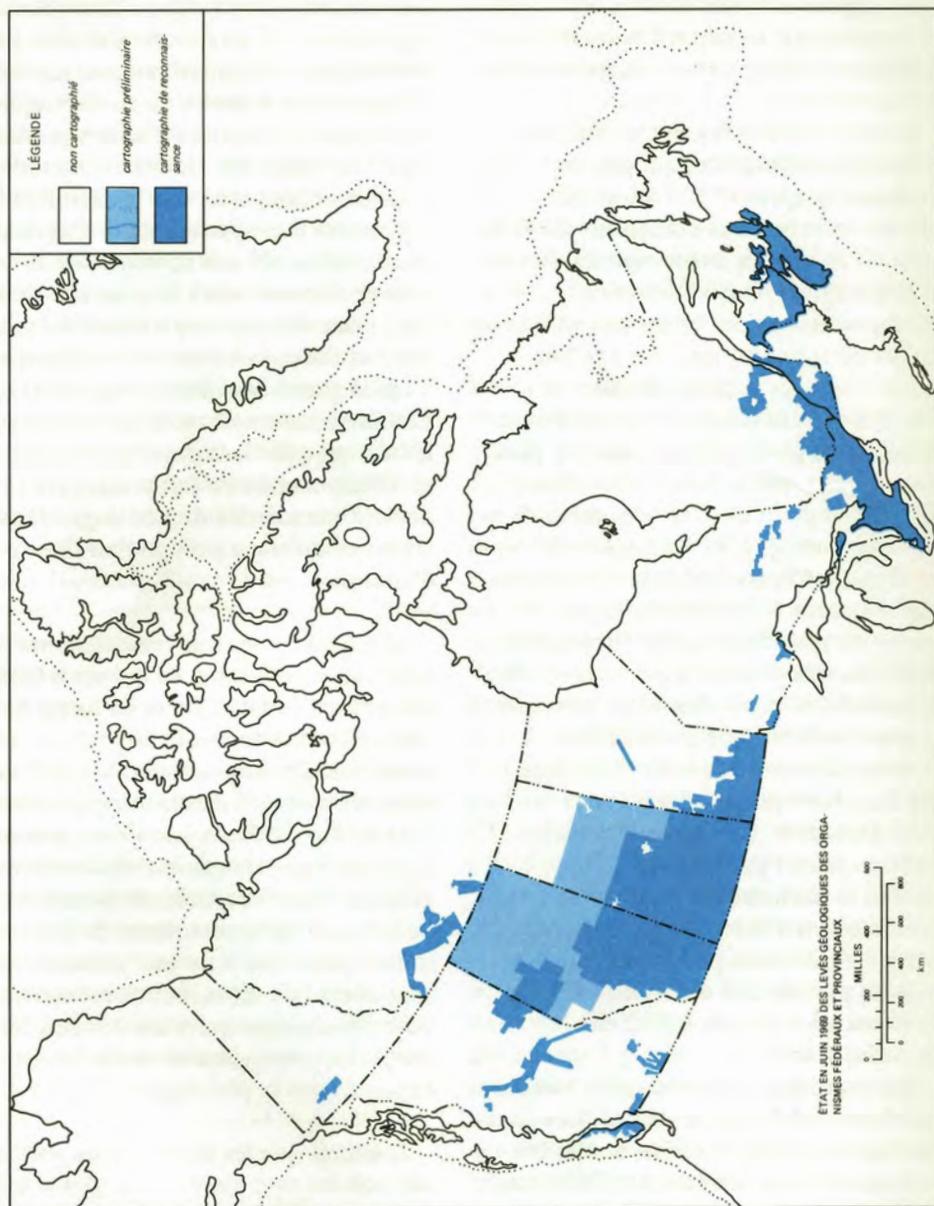


Figure VII.4—Répartition de la cartographie des sols au Canada. Des levés pédologiques de reconnaissance ou d'exploration ont été exécutés pour environ 94 p. 100 des terres arables et améliorées signalées lors du recensement de 1961.



Nouvelle-Écosse). En Alberta et en Saskatchewan, on a établi officiellement un institut pédologique comprenant des représentants des comités fédéraux et provinciaux. Le secteur fédéral acquitte 50 à 60 p. 100 des dépenses de ces instituts.

C'est en 1921 qu'on entreprit le levé pédologique canadien, qui prit de l'expansion après 1935. Des levés généraux de reconnaissance ont été faits pour 94 p. 100 des zones cultivées du pays (fig. VII.4); les observations ont été reportées sur des cartes ou ont fait l'objet de rapports, mais il va falloir refaire les levés dans un certain nombre de zones. Ces levés permettent d'établir un inventaire des sols; de plus, c'est sur eux que se fondent les décisions en matière d'utilisation des terrains, ainsi que les études détaillées entreprises à l'échelle locale. Certaines régions parmi les moins exploitées et les moins peuplées ont fait l'objet d'inventaires très généraux qui en révèlent les possibilités agricoles. Dans presque tout le nord du Canada, toutefois, les connaissances acquises se fondent sur des observations effectuées çà et là. Des levés d'un genre ou l'autre ont été réalisés pour environ 19 p. 100 de tout le territoire du Canada (voir tableau VII.1). On a commencé à dresser une carte pédologique discernant plus de 340 différentes combinaisons de sols, à l'échelle du 1/5 000 000^e.

Les renseignements recueillis au cours des levés pédologiques sont utilisés comme base de la classification de l'utilisation des terrains adoptée par l'Inventaire des terres du Canada du Ministère de l'Expansion économique régionale. Cet organisme dresse systématiquement des cartes en couleurs au 1/250 000^e où est indiquée la valeur des terres pour l'agriculture, l'exploitation forestière, les loisirs et la préservation de la faune. Ces cartes, représentant une superficie d'environ un million de milles carrés, sont éditées dans le cadre du programme de l'ARDA.

Nécessité d'une coordination plus étroite des services de cartographie des sols et de la géologie du Quaternaire.

Les scientifiques ne s'accordent pas sur la signification du mot «sol». Certains s'en servent pour désigner l'horizon superficiel de matériaux meubles où se développent les racines des plantes, d'autres pour désigner la masse des matériaux meubles. C'est ce dernier sens que lui donnent les ingénieurs. Les spécialistes de l'agriculture ont fait appel aux principes de la science des sols, selon la première définition, pour effectuer les levés pédologiques et en utiliser pratiquement les données, au plus grand bénéfice de l'agriculture. Les Canadiens ne se sont intéressés que lentement à toute la couche de matériaux meubles, comme l'a fait remarquer la Société canadienne de pédologie dans le mémoire qu'elle a présenté au Groupe d'études:

«La science des sols reste toujours axée sur l'agriculture, ce qui est à la fois une source de faiblesse et de force. Sa force provient de la valeur pratique des connaissances acquises. Sa faiblesse découle du manque d'autres applications hors de l'agriculture. Les divers domaines de la géologie, du génie civil, de l'océanographie, de la foresterie, de la protection de la faune, de l'urbanisme, de la dépollution, pour n'en citer que quelques-uns, sont autant de domaines de recherches ou de disciplines qui n'ont pas su tirer profit des connaissances et des principes exploités par la pédologie.»

L'intérêt que les scientifiques portent aux sols est tout aussi divers que le sens qu'ils donnent au mot lui-même. L'agronome s'intéresse aux terres arables, tandis que le géologue du Quaternaire s'occupe de l'emplacement, du transport et de la mise en valeur de tous les matériaux meubles. Il y a aussi divergence d'intérêt entre les départements universitaires d'agriculture, de géographie et de géologie (ces derniers s'intéressant à la géologie du Quaternaire). En fait, les spécialistes des sols et des matériaux meubles ne

sont guère objectifs dans leur façon d'évaluer les mérites et les limitations du travail des autres.

Nous sommes fermement convaincus que l'urbanisation rapide, les problèmes d'élimination des déchets et de dépollution, l'utilisation rationnelle des terrains, la gestion des ressources en eau et les besoins en matériaux de construction obligent à réviser l'étude des matériaux meubles, de reporter l'accent des sciences agricoles vers les sciences du milieu, qui s'intéressent à toute l'épaisseur des matériaux meubles et répondent beaucoup mieux aux besoins d'une société urbaine. Le gouvernement fédéral ne peut à lui seul effectuer cette réorientation; toutefois, si l'on tient compte de l'apport fédéral en argent et en personnel, il semble préférable que les premières mesures de coordination des efforts soient prises à ce niveau. Nous concluons donc que:

Conclusion VII.4

Le gouvernement du Canada devrait charger un groupe de travail d'étudier la répartition des fonds et des effectifs qu'il consacre à l'inventaire national des formations meubles superficielles et d'élaborer un plan permettant de regrouper, de coordonner et d'accroître l'activité de ses organismes dans le domaine pédologique, afin de satisfaire aux besoins toujours plus grands en matière d'urbanisation, d'exploitation des eaux souterraines, de génie civil et de construction, d'élimination des eaux résiduaires et de dépollution, sans négliger les besoins de l'agriculture.

VII.5 Levés géophysiques

Le perfectionnement d'instruments et de techniques géophysiques permettant de mesurer quantitativement certaines propriétés des roches a fortement influencé la cartographie et le développement économique du Canada. Vient en premier lieu l'invention du magnétomètre aéroporté, fréquemment utilisé de nos jours, suivie de la mise au point de techniques de levés électromagnétiques et radiomé-

triques. La rapidité des levés aériens, lorsqu'on les compare aux levés terrestres, et le petit nombre de spécialistes nécessaires à ce travail, constituent de grands avantages pour l'exploration du vaste territoire canadien. Les techniques de levés aériens ne permettent de mesurer qu'un nombre restreint des paramètres géologiques requis pour chaque affleurement rocheux, mais elles ont l'avantage de pénétrer les marécages et les morts-terrains et de fournir une analyse tridimensionnelle de la roche de fond. On ne saurait donc surestimer leur valeur.

Levés aéromagnétiques

Depuis vingt ans, la Commission géologique du Canada utilise le magnétomètre aéroporté dans le cadre de son programme de cartographie systématique du pays. On a lancé en 1962 un programme fédéral-provincial de levés aéromagnétiques. Tout dernièrement, la Commission géologique et l'Institut océanographique Bedford ont commencé des levés navimagnétiques de la marge du littoral atlantique. L'étendue actuelle étudiée à l'aide de magnétomètres à résonance nucléaire de haute précision est indiquée à la figure VII.5. Les levés sont généralement effectués d'une altitude de 1 000 pieds, en suivant des cheminements espacés d'un demi-mille; les données sont ensuite reportées sur des cartes au 1/63 360^e. À l'heure actuelle, 41 p. 100 de la superficie du Canada ont fait l'objet de levés; les zones qui restent à étudier sont situées principalement dans les régions septentrionales ou montagneuses. *D'après le calendrier des travaux, les levés devraient être achevés vers 1975 à l'exclusion des bassins sédimentaires de l'Ouest.* Ces bassins ont été survolés par les spécialistes des sociétés pétrolières, qui ont entrepris d'effectuer de nouveaux levés à l'aide de magnétomètres encore plus sensibles.

Levés gravimétriques

Les données gravimétriques permettent de déterminer la forme de la Terre et la nature de la croûte terrestre. Le perfectionnement du gravimètre est dû à l'in-

industrie pétrolière, mais c'est la Direction des observatoires fédéraux du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources qui a effectué le plus grand nombre de levés gravimétriques. L'Institut océanographique Bedford, du même Ministère, a récemment effectué des levés du plateau continental atlantique à l'aide d'un gravimètre embarqué. L'activité des universités et des organismes provinciaux dans ce domaine est faible et irrégulière.

La Division de la gravimétrie de la Direction des observatoires fédéraux s'est fixé comme objectif de compiler systématiquement des cartes gravimétriques de tout le territoire canadien, grâce à des observations effectuées tous les 15 km ou moins. Les données ainsi relevées figurent sur des cartes au 1/500 000^e. La figure VII.6 indique la superficie du territoire couverte jusqu'à ce jour; le tableau VII.1 résume ces mêmes renseignements par province. On dispose actuellement de données relevées tous les 15 km pour environ 64 p. 100 de la superficie du Canada. Au rythme actuel, 7 000 stations gravimétriques régionales sont effectuées chaque année. On estime que cela suffit pour répondre aux besoins du pays. En 1975 on aura achevé la compilation des cartes régionales des territoires situés à l'Est des Rocheuses, mais il faudra au moins dix années supplémentaires pour achever les cartes des régions montagneuses de l'Ouest canadien.

VII.6 Satellites d'inventaire et de prospection

Les satellites d'inventaire et de prospection que doivent lancer les États-Unis vont permettre de recueillir des données géoscientifiques beaucoup plus complètes. Ces données trouveront leurs applications bien plus dans le domaine des richesses renouvelables (agriculture, forêts, eau, dépollution) que dans celui des richesses minérales. Toutefois, les techniques d'orthophotographie seront très précieuses pour l'identification des traits généraux de la surface de la Terre. La mise au point d'appareils de télédétection, aé-

roportés en haute altitude, offre de meilleures perspectives pour la prospection du sous-sol au cours du proche avenir. C'est un domaine où le Canada a fait un apport précieux sans qu'il lui en coûte beaucoup, et il pourra poursuivre cet effort. Entre temps, les avantages économiques procurés par l'utilisation des satellites géoscientifiques au-dessus du territoire canadien dépendront a) du coût de la participation canadienne aux programmes américains ou autres, et des frais d'obtention des données intéressant notre pays; b) de leur utilité dans le domaine des richesses renouvelables; c) de la rapidité d'accès à ce genre de données et à ces techniques. Nous en concluons que:

Conclusion VII.5

Il est indispensable que le Canada entretienne des relations avec les organismes américains chargés des programmes de lancement des satellites d'inventaire et de prospection, de façon à acquérir la technologie et les données sur les ressources qui peuvent servir au Canada. Le gouvernement fédéral devrait assurer la coordination nationale et internationale nécessaire et un financement suffisant des recherches, pour que le pays en tire le maximum d'avantages. Il faut que ces relations permettent une participation aussi complète que possible de l'industrie, des universités et des organismes provinciaux et leur accès aux données.

VII.7 Levés géoscientifiques du plateau continental

L'étude géoscientifique des marges continentales permettra plus tard l'exploitation des richesses littorales, procurant des avantages considérables aux régions côtières et à l'ensemble du pays en cas de succès. L'absence générale de données géologiques sur le plateau continental a retardé l'élaboration de programmes de prospection bien conçus et favorisé d'outrancières déclarations sur les ressources

Figure VII.5—Superficie du territoire canadien ayant fait l'objet de levés magnétométriques. Il existe des cartes aéro-magnétiques pour 41 p. 100 de la superficie du Canada

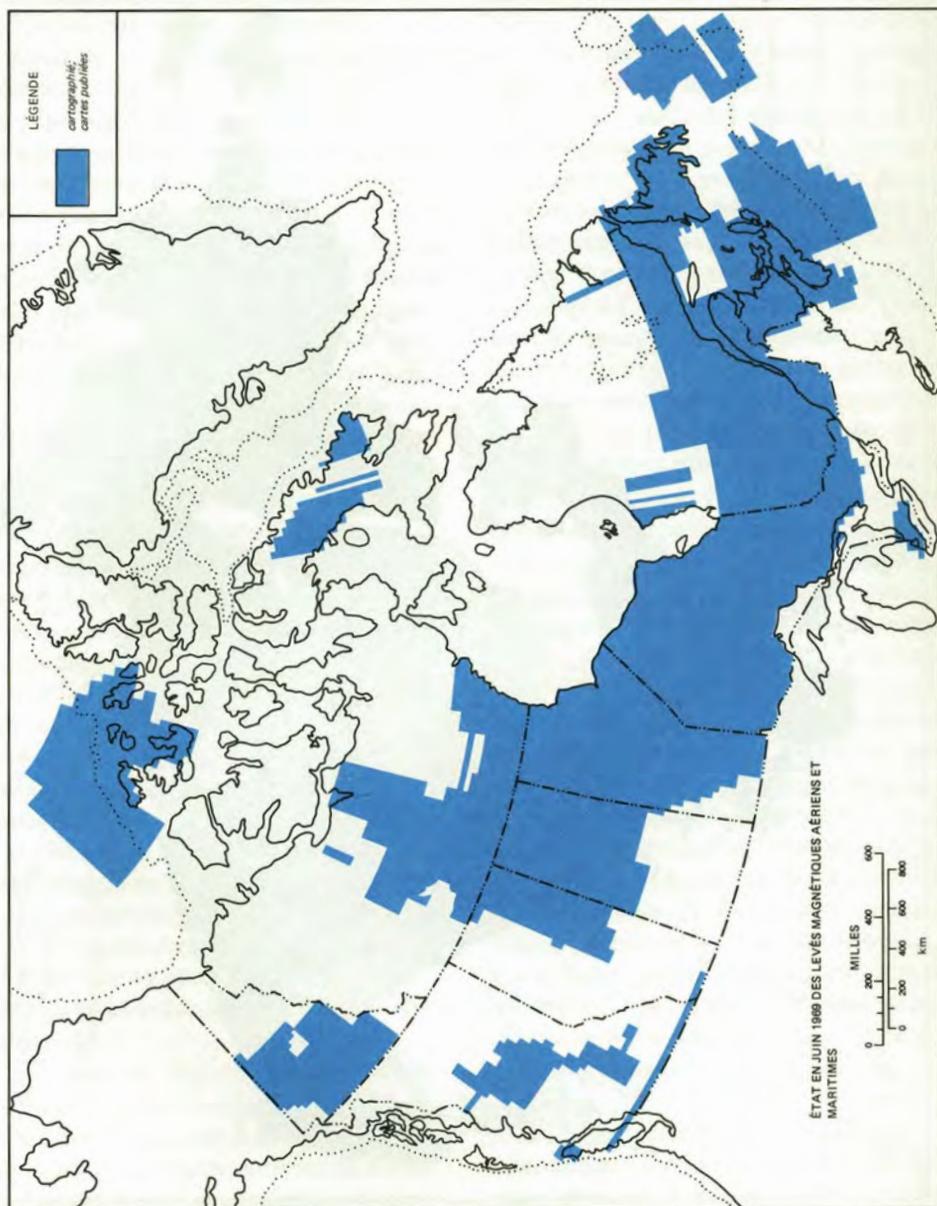
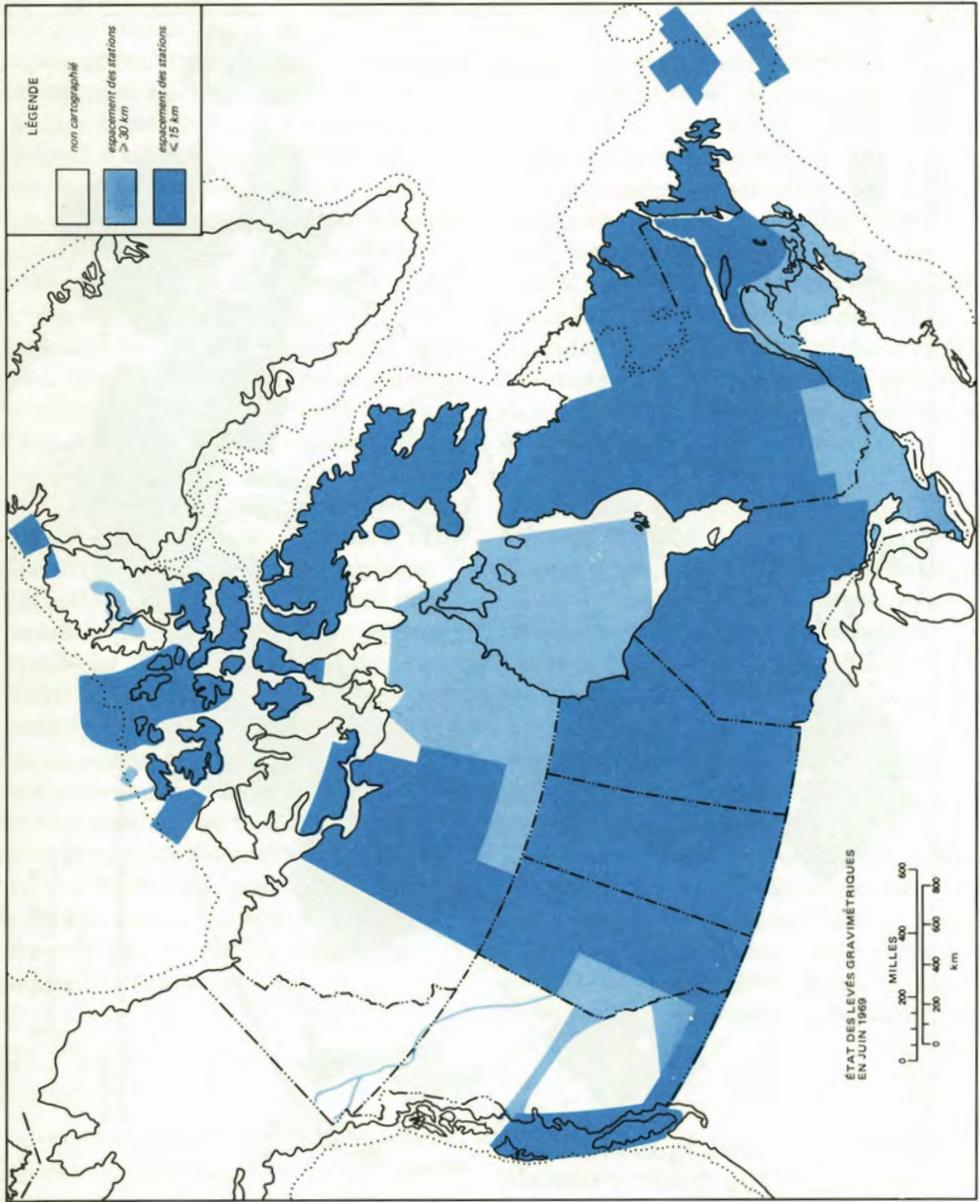


Figure VII.6—Progrès accompli dans l'établissement des cartes gravimétriques du Canada. On possède des renseignements gravimétriques (stations distantes de 15 km ou moins) pour 64 p. 100 de la superficie du Canada.



qu'il recèle. Cloud¹ parlant des socles submergés en général, a résumé la situation dans les termes suivants :

«L'envergure de la «corne d'abondance minérale» au fond de la mer est fortement exagérée. On ne pourra exploiter ces richesses que par des recherches acharnées entreprises par des gens à l'esprit imaginatif et inventif, par des expériences hardies, menées de main de maître, et par une mise en œuvre intelligente des techniques; les richesses ainsi découvertes proviendront surtout des marges continentales, de leurs élévations et du talus continental. Nul ne sait si ces ressources sont vastes ou limitées. Il y a de fortes chances pour qu'elles soient assez amples, mais si les conceptions actuelles sur la structure de la Terre et sur la composition et l'évolution du fond marin s'approchent tant soit peu de la réalité, il est peu probable que les richesses minérales du fond des mers puissent se comparer, tant en volume qu'en valeur, avec celles qui restent à extraire de la terre ferme».

Les richesses géologiques du plateau continental canadien peuvent être les suivantes :

a) des sables et graviers ainsi que de petits placers métallifères près des rivages et dans les zones de juridiction provinciale. L'exploitation de ces ressources sans une bonne planification préalable, pourrait causer des dégâts énormes au milieu côtier;

b) le pétrole, le gaz et le soufre dans les grands bassins sédimentaires. Selon D. W. Smith², les zones des marges littorales canadiennes susceptibles de contenir du pétrole ont une superficie totale d'environ 650 000 milles carrés, soit 40 p. 100 de la superficie du plateau continental. Toutefois «nous ne possédons pas assez de renseignements sur ces formations pour en estimer la valeur avec tant soit peu de précision . . . et, lorsque nous aurons mené à bonne fin un programme de prospection au cours des années 1970, au coût d'un milliard de dollars, nous serons peut-être en mesure d'évaluer les riches-

ses pétrolières sous-marines».

Il est impossible d'élaborer rapidement une politique nationale d'exploitation des richesses de la marge littorale. Une telle politique devrait se fonder sur des considérations géologiques (quelles sont les richesses possibles et quelle est l'importance des gisements), des considérations de milieu (quelles seront les répercussions sur le milieu de la mise en valeur des richesses), des considérations pratiques (techniques d'extraction, aides à la navigation, données climatiques, etc.) des considérations juridiques (compétence nationale ou internationale, provinciale ou fédérale, gouvernementale ou industrielle), et des considérations économiques (quelles seraient les répercussions de la découverte d'une importante nappe pétrolifère au large des côtes sur l'économie locale, nationale et internationale); toutes ces considérations exigent que l'on prenne le temps de les étudier et elles entraînent des dépenses énormes. Toutes ces activités aux aspects multiples ne peuvent se dérouler que lorsqu'on aura la certitude que ces richesses existent, et que leur exploitation est rentable. C'est en fonction de ces deux données primordiales que l'on pourra préciser l'envergure et l'orientation des principes directeurs et des programmes de mise en valeur de ces richesses. *Il faut donc s'inquiéter de l'absence de programme de collecte des données géoscientifiques fondamentales qui sont nécessaires pour l'élaboration des nombreuses directives et programmes d'action touchant la mise en valeur du plateau continental canadien.*

À l'heure actuelle, les travaux géoscientifiques sur les fonds marins constituent une masse informe de mesures prises par l'industrie, les organismes publics et les universités pour répondre aux besoins immédiats tels qu'ils les voient. Certains sont inspirés par le désir de décou-

¹«Resources and Man», Rapport du Comité des ressources pour l'homme. Académie nationale des sciences et Conseil national des recherches des États-Unis, publié par W. H. Freeman & Co., 1969.

²Smith, D. W. «The potential of Canada's offshore mineral resources», Bulletin de l'Institut canadien des mines et de la métallurgie, Vol. 62, n° 684, p. 507-509, 1969.

virer les richesses du plateau continental, d'autres par le désir de reconstituer l'évolution globale de la Terre, d'autres enfin par la disponibilité de fonds pour la recherche. Nul n'a tenté de coordonner l'effort total et on «laisse faire». Il n'était peut-être pas nécessaire d'avoir un plan général, il y a quelques années, lorsque l'exploration des marges littorales ne se développait que lentement et qu'elle constituait un prolongement des programmes côtiers. À mesure que les sociétés pétrolières et les organismes publics se tournent plus nombreux vers l'étude géoscientifique des mers épicontinentales, la nécessité de planifier les efforts se fait plus pressante. Nous estimons que le Comité consultatif national de la recherche sur les richesses minérales, que nous avons proposé de former, serait l'organisme idéal pour élaborer un programme national de compilation des cartes des plateaux continentaux canadiens et de leurs richesses minérales; il pourrait fixer des objectifs, surveiller les progrès accomplis et donner son avis sur les problèmes de coordination et l'ampleur des travaux à entreprendre. Le Sous-comité de la prospection de ce Comité consultatif pourrait élaborer un programme de cartographie des marges continentales et en prendre la direction; des sondages de reconnaissance pourraient clarifier leur géologie; le Sous-comité pourrait également établir des normes pour le rassemblement des données et pour les cheminement, et déterminer le rythme d'avancement des disciplines connexes (hydrographie, océanographie, échantillonnage et sondage des fonds marins, séismologie, magnétisme, gravimétrie, etc.). Il coordonnerait l'action des groupes des secteurs public et universitaire avec celle de l'industrie pour éviter les répétitions inutiles d'efforts et de dépenses, et il veillerait à l'achèvement du programme de reconnaissance et à l'évaluation rapide des découvertes. Le Sous-comité des recherches sur l'exploitation minérale auprès du Comité consultatif national fonctionnerait au ralenti durant les premières phases de reconnaissance, car son travail ne

commencerait vraiment qu'après découverte des richesses. Toutefois, il pourrait suivre de près les événements à l'échelle mondiale, particulièrement déceler les entreprises malavisées et attirer l'attention des groupes de scientifiques universitaires et industriels sur les principaux problèmes d'exploitation exigeant des efforts immédiats de recherche et de développement technique. Le Sous-comité des recherches sur la politique minérale auprès du Comité consultatif national pourrait jouer immédiatement un rôle consultatif au sujet de la réglementation, des questions politiques et économiques, et des problèmes d'environnement soulevés par la prospection pour les richesses minérales.

Nous concluons donc que:

Conclusion VII.6

Le Comité consultatif national de la recherche sur les richesses minérales que l'on se propose de former serait chargé d'élaborer un programme national de reconnaissance et d'exploitation, de veiller à sa mise en œuvre et de formuler les principes directeurs de la gestion des richesses minérales des plateaux continentaux canadiens».

Outre cette nécessité, bien d'autres domaines s'offrent aux recherches géoscientifiques. En voici quelques-uns:

1. élucidation des corrélations entre géologie côtière et géologie des fonds marins; conséquences économiques de ces rapports; la valeur scientifique de telles études pour élucider l'extension des fonds océaniques et la tectonique du globe;
2. études géophysiques et géologiques des zones de transition entre les masses continentales et les bassins océaniques;
3. études sédimentologiques des plateaux et des talus continentaux;
4. études de l'étendue de la glaciation quaternaire et conséquences de l'émerision continentale subséquente;
5. études géochronologiques et paléontologiques sur l'âge et l'évolution des marges continentales.

Il y a donc toutes raisons de croire que la mise en œuvre d'un programme systé-

matique de reconnaissance géologique et géophysique des plateaux continentaux canadiens servirait non seulement à l'élaboration des programmes et des principes directeurs de l'expansion économique, mais de plus constituerait un fondement solide aux travaux futurs de la recherche géoscientifique, tant fondamentale qu'appliquée.

Chapitre VIII

Aide technique aux pays en voie de développement

«Ma famille c'est le monde entier»

Gandhi.

VIII.1 Synopsis

Bien que l'aide extérieure découle fondamentalement d'une décision politique nuancée d'un certain nombre de considérations socio-économiques, les géoscientifiques canadiens ne devraient pas pour autant rester indifférents envers les pressants besoins des pays en voie de développement. En appliquant leurs connaissances à la mise en valeur des richesses naturelles, les spécialistes des sciences de la Terre peuvent améliorer énormément l'économie du Tiers-Monde et réduire l'écart entre ce dernier et les pays industrialisés.

Le présent chapitre esquisse certains des grands principes qui régissent l'aide technique canadienne aux pays en voie de développement, et précise dans quelle mesure les programmes géoscientifiques pourront s'appliquer dans le cadre de l'aide globale. On y indique la compétence particulière du Canada dans le domaine des richesses naturelles et on propose une série de principes devant guider l'élaboration de futurs programmes d'aide géoscientifique outre-mer.

La compétence canadienne s'applique, en premier lieu, à la mise en valeur des ressources minérales, qu'il s'agisse d'études générales de reconnaissance ou d'études scientifiques et économiques détaillées, ou encore de la participation à l'élaboration de lois minières et de mesures fiscales relatives à l'exploration et à l'exploitation de gisements. Les spécialistes canadiens peuvent aussi contribuer au développement agricole en menant des études sur la meilleure utilisation des sols et des terrains, sur la recherche et l'emploi judicieux des engrais minéraux, et sur la recherche d'approvisionnements d'eau suffisants. L'aide pourra aussi comprendre des études géotechniques s'appliquant à la construction de grands ouvrages du génie et autres travaux publics, ainsi qu'aux travaux d'irrigation.

En ce qui a trait aux sciences de la Terre, la quote-part du Canada aux programmes d'aide extérieure devrait faire partie d'un ensemble cohérent de mise en valeur des ressources naturelles, fondé sur un programme d'aide national soutenu, rationnel, suffisant et bien géré. Le personnel scientifique et technique devrait être suffisant, ce qui exigerait la collaboration des organismes de l'État, des universités, des entrepreneurs et de l'industrie. L'aide technique devrait être considérée comme un produit que le Canada s'efforce de mettre sur le marché, tant à son propre avantage qu'à celui des pays participants. Un bon service de relations extérieures permettrait au Canada de faire connaître quels genres d'aide souple et sur mesure il pourrait accorder sans retard.

Au nombre des autres mesures permettant d'améliorer l'efficacité des programmes géoscientifiques à l'étranger, on compte l'amélioration de la planification, la rationalisation des priorités parmi les projets d'assistance, l'analyse des programmes au cours de leur réalisation et leur évaluation après achèvement, l'enseignement et une formation donnés dans le pays assisté plutôt qu'au Canada, le renforcement des établissements homologues dans les pays recevant l'aide canadienne, la constitution d'équipes de géoscientifiques canadiens spécialisés dans les travaux à l'étranger, la publication des principaux résultats des programmes d'aide, ainsi que l'amélioration des liaisons entre l'Agence canadienne de développement international (ACDI) et la communauté géoscientifique canadienne.

On croit enfin que, dans le domaine des richesses naturelles, les programmes géoscientifiques d'aide à l'étranger devraient représenter au moins 5 p. 100 de l'aide canadienne directe et se chiffrer à un minimum de 30 millions de dollars en 1975, comparativement aux 5 millions de dollars de 1968.

VIII.2 Remarques générales sur la politique canadienne d'aide extérieure

En dépit de raisons diverses, plus ou moins apparentées à des réactions émotives, les principes de l'aide technique canadienne au Tiers-Monde sont d'ordre humanitaire, quoique mêlés de considérations politiques, sociales et économiques. Un des principaux objectifs de cette aide consiste à favoriser le développement économique des pays moins fortunés et à réduire l'écart économique entre le Tiers-Monde et les pays industrialisés.

La politique d'aide extérieure du Canada a été précisée en 1965 par le ministre des Affaires extérieures de l'époque, l'honorable Paul Martin¹, qui déclarait que *les ressources que nous allouons à l'aide extérieure doivent servir à un objectif primordial, c'est-à-dire à augmenter les ressources que les pays en voie de développement peuvent eux-mêmes mettre en œuvre pour leur expansion économique. À l'heure actuelle, le gouvernement a l'intention de «... suivre les plans et lignes de conduite que M. Martin a tracés et de s'enquérir de nouveaux moyens qui permettront au peuple canadien de diminuer l'écart économique.»*²

Dans la poursuite de ces objectifs, le gouvernement canadien a jugé, jusqu'à présent, que chacun de ses projets d'assistance tient compte des besoins exprimés.³ L'aide du Canada dépend évidemment des moyens dont il dispose pour fournir les services réclamés. L'aide canadienne se concentre de plus en plus dans les pays qui sont le plus susceptibles de bénéficier efficacement de notre assistance, et là où le Canada possède d'importants intérêts.⁴

Les organismes d'assistance ne semblent pas avoir une politique scientifique bien définie d'aide au Tiers-Monde. Ce sujet s'insère néanmoins dans les préoccupations de l'Agence canadienne de développement international (ACDI) et d'un certain nombre d'autres organismes, y compris les Nations Unies, l'OCDE, la Fondation Ford et la Banque mondiale. La politique géoscientifique n'y est men-

tionnée qu'en termes très généraux, bien qu'un rapport extrêmement important sur l'utilisation des géosciences dans les pays en voie de développement ait été publié en 1963 par les Nations Unies.⁵

Le besoin d'établir les politiques d'assistance technique et de préciser le potentiel scientifique dont on dispose a été clairement établi par le président de l'ACDI⁶: *«Nous avons besoin, pour tracer nos plans d'action, de connaître le mieux possible les priorités scientifiques canadiennes. Il nous faut savoir quels sont les moyens dont le Canada dispose ou disposera à l'avenir pour répondre aux besoins des pays en voie de développement et dans quelle mesure nous pourrions faire appel à ces moyens. Il importe également que les responsables de la politique scientifique canadienne et de la planification des activités scientifiques sachent combien nos programmes vont y faire appel. Comme ils vont se développer rapidement et constituer peut-être un trait permanent de notre vie nationale dans le proche avenir, il y a lieu d'en tenir compte pour l'établissement des politiques et priorités scientifiques nationales. Cela exige une collaboration beaucoup plus étroite entre notre Agence et la communauté scientifique canadienne.»*

Ceci dit, il est évident que l'étude des sciences de la Terre au Canada ne serait pas complète sans une évaluation du rôle qu'elles doivent jouer dans nos programmes d'aide à l'étranger. Les opinions exprimées dans ce chapitre s'appuient sur l'expérience et les vues de plusieurs centaines de géoscientifiques canadiens, dont

¹ L'hon. Paul Martin. *Principes et objectifs de l'aide extérieure*. Affaires extérieures, vol. XVII, n° 3, Ottawa, mars 1965.

² Agence canadienne de développement international. *Rapport annuel 1967-1968*.

³ Cette politique s'appuie sur le droit fondamental qu'ont les pays en voie de développement de préciser leurs propres besoins.

⁴ Strong, M. F., *Déclaration au Comité sénatorial des relations extérieures*, Ottawa, le 14 décembre 1967.

⁵ Nations Unies, *Sciences et technologie du développement*, vol. II - *Ressources naturelles*, Public. ONU n° 63.1.22, 243 pages, New York, 1963.

⁶ Sénat du Canada, *L'Agence canadienne de développement international*, mémoire soumis par M. M. F. Strong au Comité sénatorial de la politique scientifique: délibérations du Comité, fasc. 32, p. 4485-4588, Ottawa 1969.

un grand nombre ont travaillé dans les pays en voie de développement pour le compte de l'ACDI, d'organismes des Nations Unies, ou de sociétés minières ou pétrolières.

VIII.3 Structure générale des programmes canadiens d'aide internationale

Comme l'a indiqué M. Strong¹, le programme canadien d'assistance aux pays en voie de développement se compose de deux éléments principaux:

1. *Aide bilatérale*, comprenant une aide directe sous forme économique ou technique et une aide indirecte pour l'instruction et la formation des cadres scientifiques et techniques autochtones.

2. *Aide multilatérale*, par laquelle le Canada verse ses contributions à des organismes, pour la plupart membres de l'Organisation des Nations Unies, soit par exemple le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), la Banque mondiale, la Banque asiatique de développement, etc.

Ces programmes sont administrés par l'ACDI. Les *Crédits à l'exportation* gérés par une autre société de la Couronne, ne sont pas considérés comme faisant partie du programme d'aide, bien qu'ils soient englobés dans le bilan de l'aide globale.

L'Agence canadienne de développement international utilise les services d'un certain nombre de ministères fédéraux et d'organismes de la Couronne; c'est ainsi, par exemple, que des officiers de liaison ont été nommés dans certains ministères, tel celui de l'Énergie, des Mines et des Ressources. De plus, des ententes contractuelles sont conclues avec certains organismes en vue d'études spéciales, soit par exemple avec l'Association des Universités et des Collèges du Canada (AUCC). On sollicite aussi des conseils en matière d'assistance technique dans les milieux professionnels et universitaires. L'ACDI pourvoit enfin au Service universitaire canadien outre-mer (SUCO) et au Service administratif canadien outre-mer (SACO); ces deux organismes bé-

névoles emploient quelques scientifiques et techniciens spécialisés dans le domaine des sciences de la Terre. On trouvera dans le mémoire que M. Strong a présenté au Comité sénatorial de la politique scientifique d'autres détails sur l'organisation de l'ACDI.

VIII.4 Ampleur des programmes canadiens d'aide internationale

Fondamentalement, l'aide extérieure canadienne est accordée sous forme de subventions (qui sont réellement des dons) et de prêts, lesquels sont généralement remboursables en cinquante ans et sans intérêts. Cette aide implique le gouvernement, l'industrie et les organismes bénévoles. La participation du secteur industriel résulte de contrats d'organismes publics dont la plupart, dans le domaine des sciences de la Terre, impliquent des travaux d'ingénierie et des relevés des richesses naturelles, sans compter l'activité commerciale qui en découle.

Le tableau VIII.1 ci-dessous fait état des fonds affectés par le gouvernement canadien aux programmes d'aide extérieure entre 1965 et 1970. On prévoit que pour l'exercice 1969-1970 l'aide directe se chiffrera à 228 millions de dollars et s'étendra à 72 pays (fig. VIII.1), alors que le *Budget total de l'ACDI* atteindra 398 millions de dollars.

En 1968, la contribution de l'État s'est élevée à 175 millions de dollars, comparativement à 185 millions de dollars portés au budget (tableau VIII.1). Les programmes géoscientifiques englobés dans cette assistance officielle ont représenté une valeur de 6 millions de dollars (voir le tableau 5.1, en annexe 5), soit 3.5 p.100 de l'aide globale officielle.

Si le Canada donne suite aux recommandations de la Commission Pearson, qui favorise un taux d'augmentation annuel de 18.9 p. 100 de l'aide financière de l'État, le budget de l'ACDI dans le domaine des subventions et des prêts sans intérêts pourrait atteindre 590 millions

¹Op. cit.

Tableau VIII.1—Fonds affectés par le gouvernement canadien à tous les secteurs de l'aide aux pays en voie de développement, 1965-1970

	1965-66	1966-67	1967-68	1968-69	1969-70
	milliers de dollars				
Aide économique, technique, éducative et autre (Crédit 35, ACDI)	48 500	48 500	50 000	62 900	70 617
Programmes multilatéraux (FSNU & PNUD) (Crédit 15, Aff. ext. pour 1965-1969; crédit 35 ACDI)	7 325	9 500	10 751	10 750	13 500
Programmes multilatéraux (UNESCO) (Crédit 15, Aff. ext.)	746	757	966	1 035	1 136
Aide approuvée d'organismes canadiens	—	—	—	5 000	6 500
Prêts spéciaux aux pays en voie de développement et à des organismes officiels de développement (Crédit L35, ACDI)	50 000	50 000	90 000	106 000	137 000
Tous les secteurs d'assistance technique	106 571	108 757	151 716	185 685	228 753

Source: Prévisions budgétaires du gouvernement canadien.

de dollars en 1975, soit 0.7 p. 100 de notre produit national brut. On peut alors se demander quelle proportion de ce budget pourrait être affectée à la mise en valeur des ressources naturelles au cours des années à venir et, partant, aux programmes géoscientifiques. Si l'aide extérieure globale dans le domaine des sciences de la Terre atteint une proportion minimale de 5 p. 100 de l'assistance technique totale, comme nous le recommandons à l'article VIII.11 du présent chapitre, les programmes géoscientifiques d'aide à l'étranger devront vraisemblablement atteindre une valeur de 30 millions de dollars en 1975, soit presque cinq fois l'aide fournie durant l'année 1968-1969.

VIII.5 Le rôle de la science et de la technologie dans l'aide au Tiers-Monde

On ne saurait trop insister sur l'importance de la science et de la technologie dans les programmes d'aide au Tiers-Monde, notamment pour la mise en valeur des ressources naturelles. Toutefois, la science et la technologie ne sauraient être appliquées aveuglément aux seules difficultés techniques de ces pays; il importe de tenir compte également du milieu et d'apprécier dans une juste mesure les valeurs culturelles, les conditions sociales et les régimes politiques qu'on y rencontre. Il s'agit là d'une tâche fort difficile, d'au-

tant plus que les pays coopérants éprouvent souvent des difficultés à cerner leurs propres problèmes et à préciser leurs besoins, sans parler des mesures leur permettant de mieux s'aider eux-mêmes.

L'Agence canadienne de développement international s'est efforcée, à une échelle restreinte, d'étudier les besoins du Tiers-Monde et d'évaluer l'ampleur de l'aide spécialisée que notre pays pourrait fournir. Pour que l'ACDI soit autre chose qu'un simple intermédiaire chargé d'acheminer les demandes d'assistance, il faut tracer scientifiquement les grandes lignes d'une planification. Ce faisant, on devra tenir compte de la politique extérieure du Canada, des besoins et des aspirations des pays coopérants, et de la capacité du Canada de satisfaire ces besoins et ces aspirations: pour que notre aide soit vraiment efficace il faudra planifier sérieusement nos activités plutôt que de satisfaire les désirs de tous et de chacun.

À notre avis, il importe d'établir les priorités et de s'assurer de la continuité des programmes avant même d'autoriser toute nouvelle expansion des programmes canadiens d'aide à l'étranger. Dans le domaine des richesses naturelles, les décisions doivent nécessairement s'appuyer sur le choix de l'aide la mieux adaptée; de tels programmes requièrent une active collaboration des géoscientifiques et autres spécialistes canadiens.

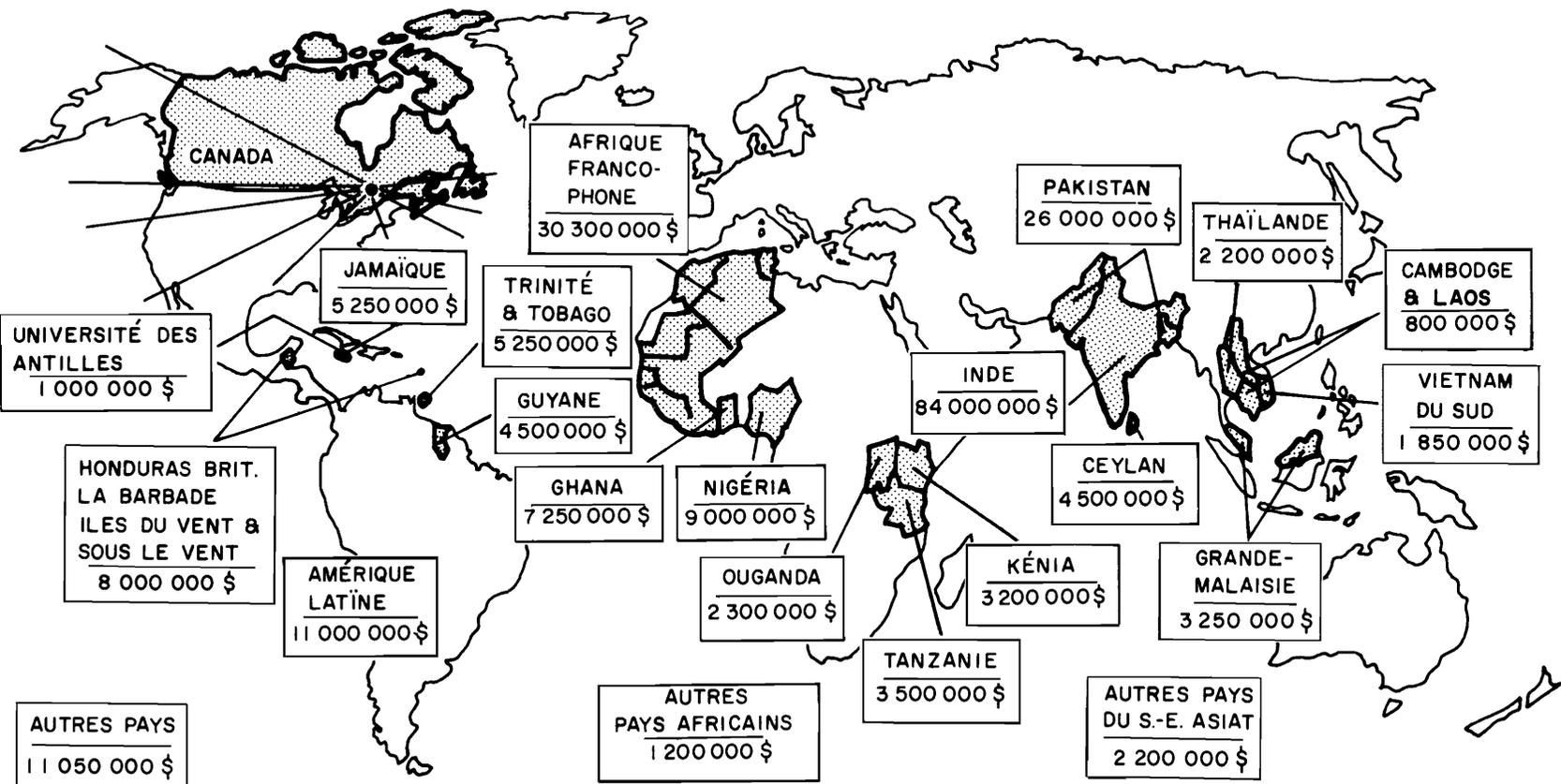


Figure VIII.1 - Carte du monde indiquant la répartition du budget canadien d'aide à l'étranger pour 1969-1970, soit 228 millions de dollars en aide directe à 72 pays.

Les études spéciales dans le genre de la présente ne doivent donc pas passer sous silence l'important apport de la science et de la technologie aux divers programmes d'aide à l'étranger.

Comme le disait M. Strong¹, l'ACDI n'entreprend pas de recherches scientifiques, comme telles, dans des secteurs touchant son activité. Cependant, le gouvernement canadien doit bientôt établir un Centre canadien de recherches sur le développement international.² Il est prévu que le Centre chercherait à amorcer, encourager, aider et diriger la recherche sur les problèmes des pays économiquement sous-développés, et à favoriser l'utilisation et d'adaptation des connaissances scientifiques, techniques et autres au progrès socio-économique de ces régions. Un intérêt tout spécial pourra ainsi être accordé à la mise au point de nouvelles techniques de prospection et d'évaluation de ressources minérales.

«Il est possible que le Centre serve également à des fins d'informatique, soit la compilation, la mémorisation, la recherche et la diffusion de données concernant les divers secteurs du développement . . . Le Centre est conçu de telle sorte qu'il puisse compléter les services offerts par l'ACDI et autres organismes d'aide bilatérale et multilatérale».³ Le Centre serait un organisme distinct, international par son activité, mais canadien par son parrainage.

VIII.6 Activité géoscientifique dans le cadre des programmes bilatéraux canadiens

Dans le présent rapport, nous n'étudions que les projets de l'ACDI fondés partiellement ou entièrement sur les sciences de la Terre. En 1968-1969, ces projets ont entraîné une dépense globale de 5 millions de dollars (tableau 5.1). Le Canada a dépensé, en outre, près d'un million de dollars pour des programmes géoscientifiques multilatéraux dirigés par divers organismes des Nations Unies. Sur un total de 6 millions de dollars, environ 10 p. 100 ont été affectés aux services con-

sultatifs, et 13 p. 100 à l'enseignement et à la formation technique et professionnelle. Le reste a été alloué à la collecte de données scientifiques, sous forme de diverses études sur le terrain et d'inventaires des richesses naturelles, et sous forme d'études géotechniques pour la mise en valeur des ressources hydro-électriques.

La nature et l'envergure des projets géoscientifiques dirigés par l'ACDI entre 1953 et 1969 sont indiquées sur les tableaux 8.1 à 8.4, annexe 8.

Coopération économique

Selon l'ACDI, la coopération économique accordée aux pays en voie de développement dans le domaine géoscientifique, sous forme de subventions ou de prêts à long terme, a englobé 33 projets pour un montant total de 35 millions de dollars entre 1953 et 1969 (tableau 8.1). Sur ce nombre, 10 projets d'une valeur totale de 10 millions de dollars ont été réalisés avant 1965. Le tableau 8.1 indique la majorité des programmes de mise en valeur des richesses naturelles; en raison cependant de l'absence de renseignements précis, il est impossible d'effectuer une ventilation du personnel, du matériel, des fonds, d'indiquer le genre d'activité scientifique précise, et de totaliser le nombre de personnes employées pour certains de ces programmes.

Le domaine de la coopération économique englobe un second groupe de programmes d'aménagements hydro-électriques et de travaux d'irrigation dont la réalisation exige du personnel et du matériel géotechniques. Dans ce cas, il est encore plus difficile de ventiler les frais

¹ACDI, *op. cit.*

²Lors de la seconde lecture du projet de loi créant ce Centre, l'honorable Mitchell Sharp annonça à la Chambre des Communes, le 12 janvier 1970, qu'il entrevoyait que ce Centre pourrait absorber jusqu'à 5 p. 100 du total des crédits affectés à l'aide extérieure. Si l'aide globale croît comme on le prévoit, et ainsi excède 500 millions de dollars en 1975, on peut donc penser que le budget de ce Centre se chiffrera à 25 millions de dollars par année dans quelque cinq ans.

³Peters, S. S. *Le Centre canadien de recherches sur le développement international*. Causerie donnée à Banff, Alberta, le 8 septembre 1969.

et le personnel en fonction du secteur géoscientifique pertinent, même si la réalisation de certains programmes cause des frais atteignant plusieurs millions de dollars. Le personnel géotechnique travaillant à la réalisation de ces projets comprend des géologues spécialisés en travaux publics, des ingénieurs spécialisés en mécanique des roches et en mécanique des sols, des géologues de chantier, des hydrogéologues, des géophysiciens et autres spécialistes de la géologie appliquée et des études du milieu ambiant.

Assistance technique

Cette catégorie de projets touche principalement le secteur de l'enseignement et la formation technique et professionnelle. Cette aide consiste à envoyer à l'étranger des conseillers techniques, des instructeurs et des professeurs, et à recevoir au Canada un certain nombre de stagiaires dans divers domaines de la science et de la technologie. Entre 1953 et 1969, 92 spécialistes des sciences de la Terre ont servi à l'étranger (tableau 8.2) à un coût total d'environ 2.7 millions de dollars, soit 20 000 dollars par année de spécialiste. Sur ce nombre, environ 27 spécialistes ont terminé leur travail avant 1965, ce qui a coûté environ 700 000 dollars au Bureau de l'aide extérieure. En juin 1969, dix-neuf géoscientifiques se trouvaient outre-mer à titre de conseillers.

En ce qui a trait à l'enseignement et à la formation dispensés au Canada, on comptait ici, au 30 septembre 1968, 144 stagiaires géoscientifiques et géotechniques qui représentaient une dépense annuelle d'environ 2 millions de dollars, soit 4 500 dollars par année de stagiaire (tableau 8.3). En 1968, on comptait 50 stagiaires dans le domaine des « mines et des levés » (ne couvrant qu'une partie des sciences de la Terre), comparativement à 894 stagiaires dans l'ensemble des autres domaines (tableau 8.4). Sur les 10 000 personnes provenant de pays en voie de développement et ayant reçu un enseignement ou une formation au Canada entre 1950 et 1967, seulement 5 p. 100 se sont spécialisés dans le domaine des

« mines et des levés ».¹

Les frais globaux d'assistance supportés par l'ACDI et l'organisme qui l'a précédé (le Bureau de l'aide extérieure) réalisés entre 1952 et 1969 pour des programmes géoscientifiques à l'étranger s'établissaient comme suit:

Le tableau ci-dessus indique très clairement que l'aide technique accordée par le Canada dans le domaine des sciences de la Terre était minime avant 1965. Bien que cette assistance ait sensiblement augmenté au cours des cinq dernières années, elle ne répond pas, selon nous, aux espoirs de la plupart des pays en voie de développement. *Elle est nettement insuffisante si l'on considère l'importance de la mise en valeur des richesses naturelles dans ces pays, et les moyens dont dispose le Canada pour fournir une aide de ce genre.*

Tableau VIII.2—Dépenses du Canada pour les programmes géoscientifiques d'aide bilatérale aux pays en voie de développement, de 1952 à 1969

	1952-1964	1965-1969	1952-1969
	milliers de dollars		
Conseillers	640	2 040	2 680
Stagiaires, 1968	—	1 958	1 958
Stagiaires, 1965-1967	—	1 350	1 350
Stagiaires, avant 1965	2 350	27 780	37 373
Totaux	12 583	33 128	45 711

Source: Agence canadienne de développement international.

VIII.7 Participation géoscientifique canadienne aux programmes d'aide multilatérale

Les organismes d'aide multilatérale, soit par exemple l'UNESCO et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), utilisent fréquemment les services de firmes canadiennes et emploient des géoscientifiques canadiens dans leurs programmes destinés aux pays en voie de développement. Par exemple, sur les 117 projets géoscientifiques réalisés dans le cadre du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et mis en œuvre en 1959-1969 par les organismes spécialisés, 44 ont utilisé du personnel et des services canadiens

¹ACDI, *op. cit.*

(tableau 9.1). La plupart de ces projets étaient destinés à l'essor minier, pétrolier ou géohydroéconomique. Comme l'indique le tableau 9.2, au moins 51 conseillers canadiens, à l'exclusion de fonctionnaires fédéraux, ont travaillé pour le compte du PNUD entre 1959 et 1969, occasionnant des frais atteignant 25 000 dollars par année de conseiller.

En 1967, on comptait 215 canadiens dans l'ensemble des programmes d'assistance dirigés par des organismes des Nations Unies¹, y compris 31 dans le domaine géoscientifique, notamment la cartographie géologique, l'exploration pour les richesses minérales et le forage.

Chaque année, les organismes multilatéraux assurent le séjour au Canada d'au moins une centaine de boursiers s'intéressant au domaine des sciences de la Terre et des techniques connexes.

La participation canadienne aux programmes multilatéraux reflète tout particulièrement le rôle joué par des sociétés canadiennes spécialisées en photogrammétrie, levés géophysiques aériens et au sol, et forage au diamant. Sur 32 projets d'exploration minérale du Fonds spécial des Nations Unies (FSNU) en cours de réalisation ou réalisés en 1968, 18 (56 p. 100) bénéficiaient d'une participation canadienne. Nombreux sont les programmes d'exploration minérale dans le Tiers-Monde qui sont dirigés entièrement ou en partie par des Canadiens, notamment en ce qui concerne la prospection géophysique minière; toutefois, la majeure partie de cette participation s'exerce dans le cadre d'organismes des Nations Unies plutôt que dans celui de l'ACDI.

VIII.8 Activité des organismes bénévoles canadiens à l'étranger dans le domaine des sciences de la Terre

L'activité déployée outre-mer dans ce domaine par des organismes bénévoles est faible, comparativement à celle des organismes fédéraux, car leurs efforts se portent vers d'autres secteurs. Le SUCO, le

SACO (voir Section VIII.3), l'Église-Unie du Canada et l'ordre des Pères blancs d'Afrique emploient quelques géologues et pédologues, deux hydrogéologues, quelques foreurs et un ingénieur des mines. Lorsque le SUCO fut fondé en 1961, il envoya 17 personnes outre-mer; en 1969, ce nombre fut porté à 1 100, mais il n'y avait que très peu de spécialistes des sciences de la Terre. Le SACO a été fondé pour recruter des spécialistes et hommes d'affaires canadiens expérimentés qui, pour de courtes périodes, offrent leurs services bénévoles aux pays en voie de développement; encore une fois, rares sont les géoscientifiques parmi ces spécialistes.

VIII.9 Activité géoscientifique à l'étranger de sociétés minières canadiennes

Bien que l'activité des sociétés minières canadiennes dans les pays en voie de développement ne fasse pas partie des programmes d'assistance technique et ne devrait pas être évaluée comme telle, il n'en demeure pas moins que ces entreprises contribuent énormément à la mise en valeur des ressources minérales. Comme l'indique l'annexe 10, plusieurs sociétés canadiennes procèdent actuellement à d'importants travaux d'exploration et de mise en valeur dans plusieurs pays du Tiers-Monde.

Les mises de fonds canadiennes dans le secteur minéral des pays en voie de développement ont probablement dépassé de loin 100 millions de dollars au cours des cinq dernières années, et on estime que plus de 100 spécialistes canadiens des sciences de la Terre sont présentement engagés dans de telles entreprises commerciales.

Dans l'économie d'un pays en voie de développement, la présence d'une exploitation minière revêt une importance considérable. Donnons comme exemples la *Falconbridge Nickel Mines Ltd.* en Ou-

¹Renseignement personnel. G. C. Riley. PNUD. New York.

ganda, au Nicaragua et en République Dominicaine, ou l'*Alcan Aluminum Ltd.* en Jamaïque, au Brésil et en Inde. Il faut souligner que la mise en valeur des ressources minérales représente la source la plus sûre de revenus complémentaires pour un grand nombre de pays en voie de développement. Il arrive souvent que ce revenu soit très important et représente la principale source de fonds destinés aux grands aménagements, à la sécurité sociale, à la santé et à l'enseignement. La vente des minéraux procure en outre des sommes importantes en devises ainsi que les fonds et l'infrastructure nécessaires à l'implantation des industries de transformation.

Par conséquent, bien que les entreprises commerciales ne fassent pas partie des programmes canadiens d'aide extérieure, à l'exception du cas de contrats accordés par le gouvernement, elles représentent néanmoins un élément important, digne de mention dans la présente étude. De fait, la situation est quelque peu semblable à celle qui prévaut au Canada où les organismes fédéraux et provinciaux fournissent les données de base et où, à un certain niveau de connaissances fondamentales, l'industrie se charge de la mise en valeur des ressources minérales; le gouvernement et l'industrie sont des partenaires dans cette entreprise: ils se doivent de tenir compte de leurs responsabilités et de leurs capacités mutuelles. Il existe cependant une différence marquante pour les pays en voie de développement; en effet, les gouvernements de ces pays n'ont ni les ressources financières et techniques, ni les moyens de planification permettant de rassembler la masse de données fondamentales nécessaires pour attirer de nouvelles industries; c'est pourquoi ce manque de moyens doit être compensé par une assistance technique.

Dans le domaine de l'aide extérieure, la planification et l'établissement des priorités en matière de mise en valeur des richesses naturelles doivent donc être étudiés pleinement en fonction du rôle que l'industrie peut jouer. Ce serait un

gaspillage, par exemple, de subventionner des projets qui feraient double emploi avec les travaux des sociétés minières dans les pays en voie de développement. Il est également inutile que le Canada consacre des efforts à l'étude du potentiel minéral de pays qui sont *soit* incapables d'exploiter eux-mêmes les gisements, *soit* peu disposés à permettre aux investisseurs étrangers de retirer des profits convenables de leurs mises de fonds.

Il ne fait à nos yeux aucun doute que l'implantation d'une industrie minérale viable dans plusieurs pays en voie de développement dépend largement de la qualité de l'aide que peut fournir l'entreprise privée (une société minière canadienne, par exemple) en matière d'exploration et d'exploitation minérale; le succès dépendra également de l'injection massive de capitaux étrangers et des possibilités d'exportation des produits minéraux. Il est évident que l'entreprise privée s'intéresse peu à investir des capitaux dans des pays favorisant le monopole ou la nationalisation, ou dans des régions en proie à l'agitation politique.

L'attitude générale des sociétés minières canadiennes envers les investissements à l'étranger a été récemment bien définie dans une communication¹ d'un géologue minier réputé au Canada, M. C. E. Michener. Selon cet expert, les sociétés canadiennes qui projettent des investissements à l'étranger fondent leur décision sur les facteurs suivants:

Facteurs politiques:

1. Encouragement à la libre entreprise
2. Risques d'agitation politique
3. Risques d'expropriation
4. Risque d'imposition trop lourde
5. Risque de taux de change artificiel
6. Restrictions au rapatriement des mises de fonds et des profits
7. Liberté d'action du personnel
8. Malversations des fonctionnaires et des employés.

¹Michener, C. E., *Political versus Geological Climate in Global Exploration*, communication présentée au congrès de l'Association canadienne des prospecteurs et des entrepreneurs miniers, tenue à Toronto le 10 mars 1969.

Facteurs géologiques et physiques:

1. Historique des découvertes minières et de la production minérale du pays
2. Potentiel géologique
3. Problèmes de transport
4. Dangers pour la santé
5. Abondance et coût de la main-d'œuvre
6. Abondance et coût des combustibles
7. Abondance et coût des approvisionnements
8. Droits miniers et régime foncier.

En évaluant ces facteurs en fonction des données et des connaissances recueillies sur les pays en cause, M. Michener a établi par exemple que l'Australie arrivait au premier rang avec 72 p. 100 de facteurs favorables, suivie du Canada avec 70 p. 100; par contre, la Guinée n'atteint que 9 p. 100 et le Nigéria 7 p. 100. Bien que d'autres experts puissent évaluer différemment chaque facteur et employer une méthode plus précise, à l'aide par exemple d'une analyse factorielle par ordinateur, il est probable que le classement d'ensemble des divers pays ne changerait pas notablement. Le grand éventail de valeurs obtenues grâce à cette méthode, soit par exemple de 72 à 7 p. 100, permet à l'entreprise privée de mieux choisir les pays où investir des capitaux. Il est extrêmement intéressant de noter que 90 p. 100 de la production minérale actuelle du monde libre (à l'exception du pétrole et du gaz naturel) provient des 24 pays qui se classent les premiers dans la liste de M. Michener.

Dans un régime de libre entreprise, la mise en valeur des richesses minérales dépend énormément de l'efficacité de la technologie et de la qualité de la gestion, ainsi que des débouchés commerciaux. On doit également assurer un bon équilibre entre les avantages que retire l'ensemble de la nation et ceux qui sont garantis aux investisseurs. Un gouvernement peut adopter des lois qui décourageront les investissements étrangers, retardant ainsi indéfiniment la mise en valeur des richesses minérales. Il peut, par contre, se montrer très généreux et offrir

des avantages immérités, mais il n'obtiendra pas alors sa quote-part des bénéfices résultant de l'exploitation de ses richesses minérales. Les pays en voie de développement doivent donc, en première instance, avoir des lois minières rationnelles et un régime fiscal convenable.

Bien que les conditions politiques, sociales, économiques et géographiques des pays du Tiers-Monde soient généralement très différentes de celles du Canada, nous croyons que ces pays auraient avantage à étudier sérieusement les mesures prises par l'État canadien, mesures qui ont établi un bon climat financier et permis une mise en valeur à grande échelle de nos richesses minérales. En offrant ces services consultatifs, le Canada devrait bien se renseigner sur les besoins et les aspirations des pays avec lesquels il entend collaborer. Il devrait également reconnaître que, dans certains pays, il serait peut-être préférable de ne pas adopter le système canadien. *Le genre de services et de stimulants financiers qu'un pays devrait offrir aux investisseurs étrangers ne peut être établi que par le gouvernement de ce pays; lorsqu'on le lui demande, le Canada devrait cependant offrir les conseils les plus judicieux.*

La majorité des exploitations minières sont de nature internationale, et l'exploitation d'un gisement donné ne peut être entreprise isolément. Une telle exploitation doit être fondée sur une planification rationnelle établie en fonction des besoins mondiaux et dans la mesure où le pays peut fournir le produit minéral à des prix concurrentiels.

Deux des plus importants éléments destinés à attirer les investissements de capitaux étrangers pour la mise en valeur des ressources minérales sont l'adoption des lois minières rationnelles et la rédaction d'un code minier précis. *Du point de vue capitaliste, les minéraux n'ont aucune valeur à moins qu'ils ne soient exploités avec profit.* «À cette fin, les lois minières devraient être conçues en fonction des impératifs des marchés mondiaux et des richesses minérales exploitables avec

profit.»¹ De nombreuses questions complexes entrent en jeu pour l'élaboration d'un code minier dont un certain nombre ont été exposées par Dewan.² Elles comprennent entre autres les inégalités régionales, l'éloignement des ports de mer, les exonérations fiscales dans le cas de certains minéraux, l'importance et le pourcentage de la participation nationale au financement et à la direction des opérations, etc. Grâce à l'aide canadienne, les pays en voie de développement pourraient établir des codes miniers pratiques afin de protéger leurs intérêts lors de leurs transactions avec les consortiums internationaux, tout en négociant avec ces puissantes sociétés des ententes ou des contrats équitables. Le Canada pourrait également offrir ses services aux pays dotés de lois et de règlements restrictifs, afin qu'ils assouplissent leur législation de manière à attirer les capitaux étrangers.

Après démarches préalables pour faire connaître de tels services, cette aide spécialisée nécessiterait à elle seule les services d'au moins trois conseillers spécialisés durant dix ans au moins. Ces conseillers devraient travailler en étroite collaboration avec les spécialistes de la Division des ressources minérales et autres groupes du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, ainsi qu'avec ceux des ministères des Mines provinciaux.

D'autre part, l'industrie minière du Canada peut offrir des services dans le domaine de l'exploration, de la mise en valeur, de l'exploitation et du traitement des minéraux (voir Chapitre IV). Si cette industrie travaille au profit du Canada, il n'y a donc aucune raison pour qu'elle ne travaille pas également avec efficacité au bénéfice des pays en voie de développement. Donc, tout en maintenant une stricte politique d'aide extérieure libre de toute attache, et en s'intéressant avant tout aux meilleurs intérêts des nations coopérantes, les responsables chargés de l'aide extérieure devraient faire valoir aux yeux de ces nations la compétence particulière des sociétés minières canadiennes.

Nous croyons donc que:

Conclusion VIII.1

Le gouvernement canadien devrait encourager financièrement des sociétés minières et pétrolières dans des mains canadiennes à entreprendre des programmes commerciaux d'exploration minérale dans les pays que le Canada accepte d'aider. Dans chaque cas, il faudrait que ces programmes d'exploration contribuent notablement à atteindre les objectifs d'assistance.

Cette conclusion se fonde sur notre conviction que les sociétés canadiennes peuvent jouer un rôle économique très important en faveur de pays en voie de développement. *Ces nations tireraient plus d'avantages de l'accroissement d'activité des sociétés résultant de l'adoption de mesures fiscales favorables, que de plusieurs programmes canadiens d'aide technique directe.* À cet égard, on doit souligner que les États-Unis offrent ce genre de stimulant aux sociétés américaines établies à l'étranger. À l'encontre de la recommandation de la Commission Carter sur la fiscalité, qui préconise le genre de stimulant adopté par les États-Unis, nous recommandons que cette mesure ne soit offerte qu'aux sociétés en des mains canadiennes travaillant dans les pays pouvant bénéficier de l'aide du Canada. Nous laissons aux autorités compétentes le soin de décider si le coût de ce programme «d'aide indirecte» doit être ou non à la charge de l'ACDI.

VIII.10 Capacité du Canada en matière d'aide géoscientifique à l'étranger

Dans le domaine des richesses naturelles, le Canada possède une compétence géoscientifique considérable qui, convenablement canalisée et utilisée, pourrait être extrêmement précieuse pour les pays

¹Harrison, J. M., *Les ressources minérales et le développement économique*, discours prononcé à Nairobi en 1969.

²Dewan, H. R., *Les lois minières*, étude A/176 présentée à la Conférence des Nations Unies sur la science et la technologie pour le développement, Genève, 1963.

en voie de développement. Cette compétence s'étend aux domaines suivants:

1. Photographie aérienne et photogrammétrie.
2. Arpentage et cartographie.
3. Relevés des richesses naturelles par des organismes d'État.
4. Élaboration de lois et de règlements miniers.
5. Techniques d'exploration minérale.
6. Techniques de forage.

Dans le domaine des sciences de la Terre proprement dites, le Canada possède également une compétence particulière dans l'application des *sciences des sols* à l'agriculture, ainsi que des capacités assez limitées d'aide extérieure, en *hydrogéologie* et en *géologie de l'ingénieur*.

Ce sont les entreprises privées qui, dans le domaine de la photographie aérienne, des levés géophysiques aériens et au sol et du forage au diamant, disposent du plus grand nombre de spécialistes. Les capacités techniques des *sociétés en mains canadiennes* dans ces domaines se reconnaissent facilement à la qualité de leurs travaux effectués tant au Canada qu'à l'étranger, et au grand nombre de contrats que les organismes des Nations Unies leurs ont accordés. En raison de cette compétence et de la nécessité de favoriser le progrès technique et la rentabilité de ces sociétés, *nous préconisons fortement que les contrats de l'ACDI dans le domaine de la photographie aérienne, des levés géophysiques aériens et au sol et du forage au diamant soient accordés de préférence à des firmes spécialisées, majoritairement en mains canadiennes*. Cette stipulation d'intérêt prépondérant est une des normes de la politique d'aide des États-Unis; c'est pourquoi nous conseillons que l'ACDI recopie simplement une page du guide de l'USAID, adopte une politique analogue à celle des États-Unis et fasse connaître cette ligne de conduite.

Dans certains pays, soit par exemple en France, en Allemagne et dans tous les États socialistes, il existe des organismes gouvernementaux ou des organismes privés où l'État a une influence prédominante (comme la Compagnie générale de

Géophysique en France, et la Prakla Seismos en Allemagne) qui, au nom de leurs gouvernements respectifs, s'occupent des programmes d'aide à l'étranger. En outre, ces entreprises effectuent, avec plus ou moins de succès, des travaux sous contrat pour le compte de sociétés minières privées en se chargeant de leurs programmes d'exploration minière dans divers pays. Le Canada offrirait à ses entreprises un soutien analogue si l'ACDI limitait l'adjudication de ses contrats dans les domaines susmentionnés aux firmes *en mains canadiennes* plutôt qu'aux sociétés simplement *établies au Canada*. Nous croyons que l'adoption d'une politique de ce genre dans ces trois disciplines ne nuirait nullement aux intérêts des pays coopérants. Elle permettrait, au contraire, d'augmenter l'ampleur de l'aide technique canadienne à l'étranger, notamment dans le cadre du programme d'assistance géoscientifique recommandé dans la Section 11 du présent chapitre.

Le Canada est hautement spécialisé dans le domaine de l'arpentage et des techniques cartographiques modernes. Les arpenteurs canadiens sont bien connus pour leur endurance et leur habileté à travailler avec rapidité et précision, même dans des conditions climatiques pénibles et en terrain accidenté. À cet égard, nous recommandons que l'ACDI fasse plus fréquemment appel aux entrepreneurs canadiens pour former les autochtones dans leur propre pays. Grâce à une planification convenable, cette formation à pied d'œuvre en arpentage pourrait bien faire partie de la «méthode totale» recommandée dans la Section VIII.12.

Il n'existe probablement aucun pays dans le monde libre qui ne possède autant d'expérience que le Canada en ce qui concerne les levés de richesses naturelles faits par des organismes publics. Cette expérience est principalement concentrée à la Direction des levés et de la cartographie du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, à la Commission géologique du Canada, à la Direction des observatoires fédéraux, à l'Institut de recherche sur les sols du Mi-

nistère fédéral de l'Agriculture, aux ministères provinciaux des Mines, et dans certains Conseils de recherche provinciaux. En faisant appel à ces compétences, le Canada pourrait offrir aux pays en voie de développement une aide précieuse pour la mise en valeur de leurs richesses naturelles et le renforcement de leurs organismes nationaux.

Le Canada s'est acquis une solide réputation dans le monde entier par ses succès en exploration minérale, grâce notamment à la géophysique minière et à la géologie économique. S'il était possible d'offrir des carrières intéressantes et des missions d'une à trois années à l'étranger, et de connaître les besoins de l'ACDI convenablement et longtemps à l'avance, nous croyons qu'un nombre suffisant de géoscientifiques canadiens compétents pourraient être recrutés pour les programmes à l'étranger, soit peut-être de 200 à 300 par année à partir de 1975. En ce qui a trait à l'exploration géochimique, il est à remarquer que bon nombre de pays en voie de développement sont situés dans des régions à climat tropical ou subtropical, où la décomposition chimique des minéraux est active. La prospection géochimique dans ces pays est particulièrement prometteuse, et l'expérience canadienne dans ce domaine devrait être mise à meilleure contribution. Ces travaux géochimiques nous permettraient non seulement d'aider les pays en voie de développement, mais aussi d'acquérir plus d'expérience et de nouvelles connaissances dont pourrait bénéficier le Canada.

En raison de la nécessité du développement agricole de ces pays, l'assistance technique et la formation sur place dans le domaine de la science des sols et de l'utilisation des terres devraient demeurer un des éléments importants de l'aide canadienne. Dans le domaine de la pédologie, le Canada est loin d'offrir une aide extérieure suffisante et cet important secteur devrait faire l'objet d'une haute priorité.

Les travaux d'hydrogéologie revêtent également une grande importance aux

yeux des nations défavorisées; cependant, le Canada ne peut offrir qu'une aide extrêmement limitée dans ce domaine en raison de ses propres besoins toujours plus impérieux et d'un manque de spécialistes chevronnés. Étant donné l'importance de cette discipline, tant au Canada qu'à l'étranger, nous croyons que des mesures sérieuses doivent être prises, afin d'augmenter le nombre de spécialistes canadiens en la matière.

Grâce à la géotechnique, le Canada pourrait offrir une aide précieuse pour l'étude des fondations, le choix des lieux d'implantation de nouveaux édifices, la construction de routes, les travaux de terrassement et d'irrigation, etc. Dans le cas de nombreux pays en voie de développement situés dans des zones sismiques critiques, notre pays pourrait en outre fournir les services de spécialistes en sismologie théorique et pratique, tout autant qu'un matériel géophysique.

Le Canada possède évidemment un potentiel beaucoup plus varié dans le domaine des sciences de la Terre, mais nous croyons cependant que les secteurs ci-dessus représentent, pour l'assistance technique à l'étranger, les disciplines les plus importantes ayant trait à la mise en valeur des richesses naturelles. En résumé, nous concluons donc:

Conclusion VIII.2

La mise en valeur des richesses naturelles, assortie d'un programme de formation professionnelle et technique outre-mer, devrait occuper une place de choix dans les programmes canadiens d'aide extérieure. Afin d'assurer une réserve convenable de spécialistes pour de tels travaux à l'étranger, l'ACDI devrait préciser ses besoins en matière d'effectifs géoscientifiques pour une période de cinq années. Cela permettrait la formation et le recrutement rationnels de Canadiens dans le cadre des programmes d'aide bilatérale et multilatérale, financés par le Canada.

VIII.11 Proposition d'une formule d'aide géoscientifique canadienne à l'étranger

Dans le cadre de l'aide extérieure, nous proposons ci-dessous une formule d'activité géoscientifique fondée sur les principes suivants:

1. Le gouvernement canadien ainsi que les pays coopérants se doivent de reconnaître l'importance de la mise en valeur des richesses naturelles et la nécessité de l'activité géoscientifique pour cette mise en valeur.

2. Le gouvernement canadien se doit d'adopter la recommandation de la Commission Pearson qui propose de verser en aide à l'étranger, dès 1975, l'équivalent de 0.7 p. 100 du produit national brut, soit 589 millions de dollars en aide officielle sous forme de subventions et de prêts sans intérêt.

La formule proposée est donc la suivante:

1. Le minimum de fonds pour les programmes géoscientifiques d'aide à l'étranger ne devrait pas être inférieur à 5 p. 100 du total de l'aide officielle.

2. Le budget de ces programmes devrait donc être porté à 30 millions de dollars en 1975, comparativement aux 6 millions de 1968.

3. La majorité, sinon l'ensemble de ces programmes, devrait être planifiée et mise en œuvre sur une base triennale, commençant le plus tôt possible.

4. Les programmes pourraient être amorcés dans 20 pays, tout au plus, et être équitablement répartis entre l'Amérique du Sud, l'Amérique centrale, l'Afrique anglophone, l'Afrique francophone et l'Asie.

5. Il serait souhaitable que les programmes destinés à l'Amérique du Sud soient offerts sous forme d'aide bilatérale directe.

6. Bien que nous n'ayons pas l'intention de préconiser une formule unique de mise en valeur des ressources (car les besoins et les priorités varient selon les pays), chaque programme devrait être planifié, mis au point et appliqué d'une

façon rationnelle (voir Section 12).

7. Nous croyons que le budget modèle présenté au tableau VIII.3 est assez représentatif des principaux champs d'action et de l'ampleur de l'aide que le Canada devrait offrir dans le domaine des sciences de la Terre, bien que la nature et l'importance de cette assistance doivent varier selon les pays.

8. Selon ce calcul, les programmes géoscientifiques canadiens exigeraient (sans compter les entrepreneurs) environ 260 personnes dès 1975, soit 200 spécialistes (environ 3 p. 100 de la main-d'œuvre géoscientifique canadienne) et 60 techniciens (tableau VIII.3).

9. On devrait rassembler des cadres de géoscientifiques spécialisés en aide outremere dès que possible, afin de former l'ossature de ce programme d'aide accrue.

10. Les principes fondamentaux présentés dans la section suivante sont formulés à titre de directives, en vue de la future planification et mise en œuvre des programmes de valorisation des richesses naturelles.

Bien qu'elle soit un peu idéaliste et simplifiée, cette formule offre néanmoins un cadre valable pour la future aide géoscientifique à l'étranger. Elle nous semble comparable avec l'aide géoscientifique accordée par les États-Unis, la Grande-Bretagne et la France par exemple (voir l'Annexe 11), et fonction de la capacité canadienne d'accomplir un effort de cette importance.

Sitôt la présente formule acceptée par les dirigeants de l'ACDI, on devrait la faire valoir aux yeux des pays bénéficiaires éventuels. En premier lieu, il serait bon de faire connaître à ces pays les politiques, les principes et les notions sur lesquelles l'aide canadienne est fondée, et de les renseigner sur nos compétences pour la mise en valeur des richesses naturelles. En étant au courant des besoins essentiels, des priorités et des conditions locales de ces pays, il devrait être possible d'établir avec eux un dialogue utile permettant d'établir des programmes d'aide continue, conçus spécifiquement en vue

Tableau VIII.3—Budget modèle d'aide géoscientifique à l'étranger en 1975

Principaux domaines	Un pays	20 pays
	milliers de \$	millions de \$
1. Arpentages fondamentaux, photographie	225	4.5
2. Levés géophysiques aériens	100	2.0
3. Levés géologiques de reconnaissance	200	4.0
4. Levés géophysiques au sol	75	1.5
5. Levés géochimiques d'exploration	35	0.7
6. Études des sols et inventaires des terres	125	2.5
7. Inventaires des ressources en eau et forages d'essai	125	2.5
8. Études géotechniques	75	1.5
9. Études des ressources minérales et études de rentabilité	100	2.0
10. Création d'organismes gouvernementaux homologues,		
Main d'œuvre (cadres canadiens)	50	1.0
Matériel et approvisionnements	50	1.0
11. Création de départements universitaires homologues		
Traitements et bourses	100	2.0
Matériel et approvisionnements	25	0.5
12. Frais de publication (dessin inclus)	110	2.2
13. Frais généraux d'administration	140	2.8
Totaux	1 535	30.7

Tableau VIII.4—Besoins en main-d'œuvre pour l'aide géoscientifique à 20 pays (sans compter les entrepreneurs)

60 Géologues (y compris les géologues miniers et pétroliers)	
15 Géophysiciens	
10 Géochimistes	
10 Ingénieurs des mines et spécialistes de l'économie des minéraux	
2 Jurisconsultes	
3 Comptables	
10 Hydrogéologues et hydrologues	
10 Ingénieurs géologues et spécialistes des sols	
20 Pédologues	
20 Cartographes et arpenteurs	20 Mécaniciens
20 Professeurs de sciences des sols	20 Techniciens géologues
20 Professeurs des sciences de la Terre	20 Préposés aux instruments
200 Spécialistes	60 Techniciens

miques, tout en étant adaptés aux conditions locales. Nous sommes pleinement conscients que chaque programme doit être conçu en fonction du pays donné, et nous reconnaissons également que le pays bénéficiaire possède une voix prépondérante en la matière. Nous croyons, cependant, que le Canada devrait faire tout ce qui est en son pouvoir pour intéresser ces pays aux meilleurs programmes qu'il peut offrir, et pour les convaincre de l'importance d'une formule complète de mise en va-

leur continue des ressources (voir la section suivante).

En se fondant sur cette formule, nous proposons:

Conclusion VIII.3

L'aide géoscientifique canadienne aux pays en voie de développement devrait être accrue et se chiffrer à 30 millions de dollars dès 1975, finançant l'œuvre de 200 scientifiques et de 60 techniciens par an (à l'exception de la main-d'œuvre des entrepreneurs).

VIII.12 Principes fondamentaux déterminant le rôle futur des sciences de la Terre au sein des programmes canadiens d'aide à l'étranger

En considérant les buts importants de notre étude, nous avons posé dans tous nos questionnaires la question fondamentale suivante: «*Quelle serait l'activité géoscientifique canadienne la plus utile aux pays en voie de développement?*» En plus d'avoir recueilli et étudié 310 réponses à cette question et d'en avoir discuté lors de nos nombreuses réunions dans tout le pays, nous avons bénéficié des conseils judicieux de 23 géoscientifiques canadiens spécialistes de l'aide à l'étranger, dont un certain nombre sont encore outre-mer. On doit remarquer que bon nombre d'industriels qui ont répondu à notre sondage ont acquis une expérience pratique considérable dans les pays en voie de développement. Nos correspondants ont non seulement précisé la nature des connaissances canadiennes disponibles, mais ils ont également traité en profondeur de plusieurs sujets connexes, s'étendant des principes mêmes de l'aide extérieure à l'enseignement donné au Canada aux stagiaires des pays en voie de développement. Nous présentons ici l'essentiel de ces opinions, afin d'inciter la communauté géoscientifique canadienne à améliorer les politiques d'aide à l'étranger, à déterminer un meilleur ordre de priorité, et à poursuivre plus efficacement l'élaboration des programmes. Nous ne cherchons pas évidemment à «attirer toute l'eau au moulin» de la mise en valeur des richesses minérales exclusivement, ou des sciences de la Terre en général, mais plutôt à indiquer comment ces diverses activités peuvent contribuer à l'expansion économique des pays défavorisés.

Nécessité d'une «aide souple et orientée»

Comme l'a déclaré le président de l'ACDI, l'attitude sympathique du Canada devant les demandes des pays en voie de développement n'est pas à sens unique, elle est fondée sur un véritable dialogue avec

le pays bénéficiaire, et «dans ce dialogue nous devons exprimer nos conceptions et notre évaluation du genre de ressources que nous pourrions mettre à sa disposition. De son côté, le pays bénéficiaire devra bien connaître ses propres problèmes, ses propres besoins et, il va de soi, le milieu culturel, physique et social où l'aide se développera.»¹

Dans le domaine de la science et de la technologie, notamment pour la mise en valeur des richesses naturelles, nous sommes d'avis que le Canada devrait dès le départ exercer une certaine influence qui, à toutes fins pratiques, mènerait à une aide «souple et orientée». À la suite de cette initiative, le Canada pourrait faire connaître le genre de demande à laquelle il lui serait facile de répondre. Cette technique est nécessaire, car en matière d'exploitation rationnelle des richesses naturelles, plus particulièrement des ressources minérales, peu de pays défavorisés peuvent préciser leurs besoins essentiels, car ils n'ont qu'une vague idée du développement commercial ou de ce qu'il peut impliquer. Dans le secteur du développement minier, peu de pays en voie de développement possèdent, par exemple, un code minier utilisable et pratique.

En dépit de sa population relativement peu nombreuse et de ses ressources financières modestes, le Canada est parfaitement en mesure d'offrir son aide technique au Tiers-Monde pour y favoriser l'exploitation rationnelle des richesses naturelles. En élargissant la notion «d'aide orientée», nous croyons que le Canada devrait se mettre en frais et *offrir*, dans des secteurs où sa compétence s'affirme, une aide technique aux pays qu'il juge capables de bénéficier pleinement de ses services. On ne devrait faire ces offres qu'après une évaluation sérieuse des besoins nationaux, menée conjointement avec le pays coopérant, une étude des programmes des autres organismes d'assistance et une bonne évaluation de la capacité du Canada de fournir les catégories de main-d'œuvre spécialisée nécessaires pour un programme complet, plei-

¹Sénat du Canada, *op. cit.*

nement coordonné, rationnel et orienté vers d'importants objectifs économiques et sociaux.

Nous croyons vraiment nécessaire d'établir les normes fondamentales des projets de mise en valeur de richesses naturelles que le Canada devrait offrir, dans le cadre de sa politique d'aide extérieure, soit par exemple les normes proposées dans les sections 10 et 11 du présent chapitre. *Ces critères établis, le Canada devrait promouvoir activement les meilleurs programmes de mise en valeur des richesses naturelles qu'il peut offrir. Suivant la politique «d'aide orientée et souple», l'assistance canadienne devrait être concentrée dans les pays susceptibles d'en tirer le meilleur parti.*

Nécessité d'une formule complète de mise en valeur des richesses naturelles

Bon nombre de pays en voie de développement se sont rendu compte de l'importance, tout au moins en principe, d'une mise en valeur ordonnée et systématique. Il existe, cependant, un désaccord marqué quant à cet ordre et à la nature des priorités. Par exemple, on a souvent accordé trop d'importance à l'industrialisation; ce qu'on a appelé la «révolution verte» en agriculture a considérablement réduit le besoin d'une aide alimentaire majeure dans plusieurs pays. Dans son récent rapport, la Commission de développement international Pearson souligne que les pays en voie de développement augmentent difficilement leurs gains de devises et ont de graves difficultés pour effectuer les remboursements et financer d'autres engagements en devises. Le rapport signale également que les devises constituent une ressource essentielle en matière de développement planifié.

Nous devons reconnaître qu'une application non planifiée de la science et de la technologie peut entraîner de nombreux et sérieux déséquilibres dans la société. Nous devons aussi nous rendre compte que si l'aide technique est fonction de la politique étrangère, elle est en conséquence sujette à des modifications. Il n'en reste pas moins que certains princi-

pes de mise en valeur des richesses naturelles doivent être observés, si l'on veut que l'aide soit des plus efficaces du point de vue économique et social. Les principes suivants méritent une attention particulière:

1. *Les projets d'assistance technique doivent être conçus dans le cadre d'un effort concerté.* Cela nécessite pleine compréhension et collaboration entre le pays donneur et le pays bénéficiaire, ainsi qu'une bonne coordination avec les autres organismes d'assistance.

2. *L'assistance technique doit être fondée sur une formule globale de mise en valeur des richesses naturelles,* suivant laquelle les programmes seront poursuivis dans le but d'atteindre d'importants objectifs socio-économiques. Cette formule exige une participation durable et un effort soutenu, basés sur une sérieuse évaluation et planification préliminaires, suivis d'une évaluation périodique des projets. *Dans le domaine de la mise en valeur des ressources minérales notamment, cette façon de procéder exige que l'aide canadienne soit maintenue jusqu'à ce que le pays bénéficiaire soit en mesure d'assumer la responsabilité d'une entreprise donnée, avec ou sans la participation de l'industrie canadienne.* Il en résulte que le Canada ne devrait pas entreprendre d'étude préliminaire des ressources dans un pays, quand les possibilités de poursuite des programmes sont peu encourageantes. Si on repère, par exemple, des anomalies géophysiques lors d'un levé aérien, on devrait y donner suite par des relevés au sol, afin de déterminer l'importance de ces phénomènes et permettre ainsi au pays en cause de bénéficier pleinement de l'aide canadienne.

3. *L'assistance technique canadienne ne devrait pas s'éparpiller dans un trop grand nombre de pays.* Dans le domaine des richesses naturelles, l'aide canadienne devrait peut-être se limiter au tiers des pays qui bénéficient actuellement de cette aide (figure VIII.1). On pourrait ainsi offrir de meilleurs services et une aide plus soutenue aux pays choisis.

4. *L'assistance canadienne pour la mise*

en valeur de richesses naturelles devrait se fonder sur une série de programmes étagés et continus, et non dépendre de budgets annuels. Il est d'autant plus nécessaire que l'ACDI adopte une telle politique de programmes soutenus qu'on ne pourrait guère autrement recruter en nombre suffisant le personnel géoscientifique. La réalisation des programmes (de 1 à 5 ans) devrait être poursuivie en fonction du rendement obtenu.

Cela nous amène à la conclusion suivante:

Conclusion VIII.4

Dans le domaine des richesses naturelles, l'aide technique canadienne aux pays en voie de développement devrait faire partie d'un effort concerté, fondé sur une formule globale de mise en valeur des ressources naturelles et sur un ordre de priorité bien établi. Les programmes individuels devraient être soutenus et étagés. Leur rendement devrait être évalué pendant et après l'exécution des travaux.

Nécessité d'établir des priorités pour la mise en valeur des richesses naturelles

Nous sommes conscients que de nombreux pays en voie de développement se trouvent actuellement à diverses étapes d'expansion; comme nous l'avons indiqué antérieurement, on ne saurait appliquer à tous ces pays la même politique de développement. Nous croyons cependant que l'ordre général de développement suivant peut s'appliquer à la majorité de ces pays:

1. *Inventaire fondamental des richesses naturelles.* «Un plan judicieux de développement ne saurait être conçu sans une étude aussi systématique et complète que possible, de toutes les ressources actuelles et potentielles du pays».¹ Ce principe est à l'origine d'une planification rationnelle et représente la première phase de l'aide technique. Dans ce domaine particulier, le Canada peut grandement aider les pays en voie de développement, car il y est passé maître, d'autant plus que l'ex-

ploitation des richesses naturelles contribue énormément à l'économie canadienne.

La première étape consiste à établir un canevas précis et à obtenir de bonnes photographies aériennes de la région à l'étude. Ces éléments seront très utiles aux études de terrain en géologie, géophysique, agriculture, foresterie, utilisation des terres et autres sujets, ainsi que pour la planification des réseaux de transport et l'aménagement urbain. Dans certains pays, toutes les photographies aériennes sont considérées comme documents confidentiels par les autorités militaires, et il est impossible d'en obtenir des reproductions à des fins techniques ou scientifiques; cette difficulté doit être aplanie avant d'accorder l'aide canadienne.

La seconde étape du plan général consiste à entreprendre des levés sur le terrain et à dresser les divers fonds de cartes. Dans le domaine minier et pétrolier, on entreprendra d'abord des levés aéromagnétiques et des travaux d'exploration géologique. Tous les levés aériens pourraient être parfaitement bien exécutés par des entreprises entre des mains canadiennes.

Dans le domaine des ressources renouvelables, les études initiales devraient également consister en inventaires fondamentaux permettant de connaître la nature et la répartition des sols, les réseaux hydrographiques, les débits saisonniers des cours d'eau, la profondeur de la nappe phréatique, etc.

Ces travaux géoscientifiques exigent des équipes choisies de géologues, de géophysiciens, de géochimistes, d'hydrogéologues, de pédologues, d'ingénieurs des sols, de spécialistes en agriculture, de géodésiens et de cartographes, chacune de ces équipes devant être dotée d'un personnel suffisant de soutien technique.

Nous croyons que la formation des autochtones devrait être amorcée dès le début de chaque projet, de manière à les initier pleinement aux méthodes canadiennes et à les préparer à poursuivre eux-mêmes

¹Nations Unies. *op. cit.*

l'application de ces méthodes au profit de leur pays.

2. *Établissement d'un plan directeur.* La phase suivante consiste à analyser les résultats des inventaires fondamentaux à la lumière des besoins et des priorités du pays, tout en tenant compte de l'ampleur de l'aide continue que le Canada est en mesure de fournir. Cette démarche fait partie intégrante de la « formule globale » déjà préconisée, et comprend une évaluation complète des richesses naturelles et des caractéristiques économiques du pays en cause.

Avant d'adopter un plan de développement détaillé pour une région donnée, on doit se demander si le pays concerné pourra ensuite progresser par lui-même. Il faut que l'aide accordée favorise la formation d'ouvriers, de cadres et de techniciens afin que le pays puisse continuer son développement.

L'élaboration de lois minières mieux adaptées et la rédaction d'un code minier précis occupent une place de premier choix dans le cadre de cette planification d'ensemble, comme le souligne la section VIII.9. Il est en effet inutile de procéder à de coûteux levés et autres travaux géoscientifiques si, en fin de compte, les lois minières ou fiscales ne favorisent pas les investissements étrangers ou si, *par contre*, les pays bénéficiaires ne sont pas en mesure de trouver eux-mêmes les fonds nécessaires ou d'assumer l'efficacité de la gestion technique des travaux.

Cette planification d'ensemble exige également que le pays bénéficiaire possède un service national des mines et des ressources naturelles, y compris une commission géologique et un certain nombre de spécialistes en économie minérale. « L'importance d'un tel service est mise en évidence par un règlement du Fonds spécial des Nations Unies, qui stipule qu'aucun projet d'exploration minérale ne sera accepté à moins que le pays intéressé ne possède un organisme géologique ou minier capable de poursuivre les travaux entrepris avec l'aide des Nations Unies ». ¹ *Le Canada devrait donc s'efforcer de développer dans tout pays bénéficiant de son*

aide les services homologues des siens. La plupart des pays en voie de développement possèdent leur propre commission géologique ou ministère des Mines, et les spécialistes de l'aide à l'étranger doivent coordonner leurs travaux avec ceux de ces organismes.

3. *Développement agricole.* Dans de nombreux pays du Tiers-Monde, le développement agricole représente la priorité par excellence: le principal objectif de l'aide à l'étranger consiste à permettre à ces pays de se suffire à eux-mêmes sur le plan alimentaire. Depuis la création de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et d'autres organismes analogues, les pédologues canadiens sont en grande demande dans les pays en voie de développement. Ces spécialistes ont rendu de grands services, notamment dans les études d'irrigation des terres et dans les études de l'utilisation intensive des sols.

L'apport des Sciences de la Terre au développement agricole englobe l'identification et la cartographie des sols, la recherche pédologique servant de base à la réforme agraire, la classification des terres en vue d'une meilleure répartition de la population, l'irrigation permettant d'améliorer la fertilité des sols, la recherche et l'exploitation des ressources locales en engrais minéraux, etc.

À cet égard, il semble que l'aide la plus précieuse que pourrait fournir le Canada serait de prêter des pédologues à ces pays, afin de former sur place les étudiants autochtones et les entraîner à discerner et à résoudre leurs propres problèmes pédologiques.

4. *Mise en valeur des ressources en eau.* L'eau est souvent un produit rare dans les pays en voie de développement. Il s'agit d'un élément indispensable au développement agricole et à la vie sous toutes ses formes. L'apport géoscientifique consiste principalement à localiser des réserves d'eau souterraine suffisantes, grâce à des études géologiques, géochimiques et géobotaniques, à des levés géophysi-

¹Nations Unies, *op. cit.*

ques, à des sondages d'exploration, à des essais de pompage et à des diagraphies géophysiques. Le repérage de nappes aquifères exige les services d'hydrogéologues rompus aux plus récentes techniques de prospection. Il s'agit là d'une des applications les plus importantes et les moins coûteuses de la science et de la technologie au service du Tiers-Monde. Les eaux souterraines sont généralement de meilleure qualité que les eaux de surface, tant du point de vue chimique que bactériologique; étant à l'abri de l'évaporation et des intempéries, elles fournissent, de plus, des approvisionnements continus. La recherche des eaux souterraines doit s'appuyer sur la pratique géoscientifique, afin d'éviter les gaspillages de temps, d'énergie et d'argent occasionnés par le forage de puits inutilisés.

Les eaux superficielles doivent aussi être prises en considération, car elles représentent une ressource facilement captable pour l'industrie et l'irrigation. Le relevé des ressources hydriques immédiatement disponibles ayant déjà été l'objet de l'inventaire fondamental précédemment décrit, il importe à ce stade-ci de compléter ces données par des études systématiques en météorologie et en hydrogéologie. Il faut mesurer, par exemple, le volume saisonnier des précipitations dans un bassin-versant donné, les pertes dues à l'évapotranspiration, les sources de pollution, la qualité de l'eau (composition chimique, crudité relative, teneur en bactéries), les variations de débit, etc. On doit également effectuer des études sur le drainage et sur le potentiel hydroélectrique des cours d'eau. Du point de vue de la santé, on doit se rappeler que les maladies causées par l'eau sont au nombre des principales causes de mortalité et de débilite dans de nombreuses régions du globe; l'étude biogéochimique de ces maladies devrait être l'une des principales préoccupations des pays désirant aider le Tiers-Monde. Plusieurs aspects de la mise en valeur des ressources en eau n'ont pu être mentionnés dans le présent mémoire, en raison de son format restreint; le lec-

teur trouvera donc profit à consulter des rapports spécialisés sur le sujet, soit par exemple la publication des Nations Unies sur les ressources naturelles¹ et l'Étude du Secrétariat des sciences sur les ressources en eau.²

Il faut se rappeler qu'à moins d'être exploités, les minerais et les combustibles minéraux n'ont aucune valeur. Il semble que certains pays en voie de développement aient décidé de se réserver la majeure partie de leurs ressources minières; étant donné que ces pays ne peuvent que difficilement absorber les frais élevés de la mise en valeur et concurrencer les prix sur le marché mondial, leur production n'a pas atteint le niveau qu'un assouplissement de leurs lois minières aurait pu permettre; c'est ainsi qu'ils sont laissés à eux-mêmes avec d'abondantes ressources minérales relativement latentes sur un marché pratiquement monopolisé. Bien qu'il soit évident que l'utilisation des ressources minérales est le privilège *exclusif* des gouvernements concernés, nous doutons du bien-fondé de certaines attitudes nationalistes qui privent ces pays des avantages économiques découlant de l'exploitation des substances minérales. Étant donné l'évolution rapide de la science et de la technologie, la fluctuation de l'offre, de la demande, et des prix, ainsi que la multiplication des substituts des métaux, il est bien possible qu'un projet d'entreprise minière offrant aujourd'hui une certaine rentabilité ne soit plus économiquement viable dans une vingtaine d'années. *On devrait donc encourager les nations défavorisées à exploiter leurs ressources minérales, afin d'augmenter leurs rentrées en devises, de promouvoir leur développement économique et d'en retirer les fonds nécessaires à leurs programmes de formation et d'assistance sociale.*

5. *Mise en valeur de l'énergie et développement des communications.* L'infrastructure économique nécessaire au développement industriel repose essentielle-

¹Nations Unies, *op. cit.*

²Bruce, J. P., et D. E. L., Maasland, *La recherche dans le domaine de l'eau au Canada*, Étude spéciale n° 5, 190 pages, Ottawa, juillet 1968.

ment sur l'énergie, qu'elle soit hydro-électrique, thermique ou nucléaire. Le développement des communications, notamment du réseau routier, est également une priorité. L'activité géoscientifique reliée à ce genre de développement se concentre surtout dans le domaine géotechnique (voir chapitre V), où les pays en voie de développement disposent de peu de moyens; plus particulièrement par l'entremise d'ingénieurs-conseils, le Canada pourrait offrir une aide précieuse dans ce secteur, notamment en matière de développement rural et urbain.

6. *Développement d'une industrie minière.* Il ressort des chapitres II et IV du présent rapport que le développement des ressources minérales peut être extrêmement profitable. Pour les pays en voie de développement, l'avantage le plus considérable d'un tel développement réside dans le fort montant de devises étrangères que procure l'exportation des substances minérales. La Commission Pearson a clairement laissé entendre que les pays défavorisés doivent augmenter leurs recettes en devises. Fait à remarquer, elle a également souligné la nécessité pour ces pays «de ne pas entraver les investissements étrangers et d'assurer la stabilité et la simplification des formalités administratives affectant les entreprises étrangères».

Avant d'amorcer des programmes de mise en valeur des ressources minérales, on devrait procéder à une étude économique des possibilités de production, de traitement et de mise sur le marché, en fonction de la conjoncture internationale de l'offre et de la demande. Une analyse de ce genre permettrait d'établir si le projet envisagé est viable et sa mise en valeur opportune.

En résumé, le Canada peut offrir une aide précieuse aux pays en voie de développement pour la mise en valeur de leurs richesses naturelles. Les Canadiens ont bonne réputation à l'étranger, tant du point de vue scientifique, que technique et social; ils n'ont aucune visée territoriale; ils n'ont pas fait preuve jusqu'ici d'impérialisme ni d'endoctrinement politique;

ils sont tolérants et compréhensifs, et favorisent le bilinguisme et le biculturalisme. Ce sont là des qualités importantes, qui doivent être mises en relief dans nos relations avec le Tiers-Monde.

En guise de conclusion, soulignons qu'un programme rationnel de développement des richesses naturelles devrait se dérouler dans l'ordre suivant: inventaire fondamental, établissement d'un plan directeur, développement de l'agriculture, des ressources en eau, de l'énergie et des communications, et de l'industrie minière. Toutes ces activités impliquent d'importants travaux géoscientifiques.

Nécessité d'une politique de publication

À notre avis, les principaux résultats scientifiques et techniques des programmes d'aide canadiens, ainsi que ceux obtenus grâce à la participation canadienne aux programmes d'aide des Nations Unies, devraient être diffusés dans toute la mesure du possible, afin d'en retirer tous les avantages scientifiques et économiques. Nous croyons aussi que le coût de publication de ces données devrait être englobé dans le budget d'assistance.

Lorsque leur publication détaillée n'est pas justifiée, les données fondamentales devraient être classées dans des dossiers non confidentiels, tant au Canada que dans le pays coopérant. Les nouveaux renseignements devraient être périodiquement portés à l'attention des géoscientifiques canadiens à l'aide d'avis de publication semblables à ceux que distribue la Commission géologique du Canada, ainsi que par des avis publiés dans les revues canadiennes spécialisées. Cette façon de procéder sera d'autant plus utile que les spécialistes seront bien informés et en mesure d'apprécier la portée scientifique des résultats. En vue de quoi, nous proposons que:

Conclusion VIII.5

L'Agence canadienne de développement international devrait élaborer une politique encourageant la publication des principales conclusions scientifiques des programmes d'aide canadiens, de préférence dans les re-

vues spécialisées du pays bénéficiaire, avec mention spéciale de l'aide canadienne; ces données devraient être également publiées au Canada, où elles seraient classées à l'ACDI et à la Direction des services d'outre-mer du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (voir la conclusion VIII.7). Les frais de publication devraient être compris dans le budget d'assistance.

Nécessité d'améliorer les communications touchant les programmes d'aide canadiens

Afin qu'ils puissent répondre efficacement et pleinement aux demandes de conseils ou de participation, les géoscientifiques canadiens doivent être bien tenus au courant des programmes d'assistance technique à l'étranger. Nous avons remarqué qu'à l'exception des entrepreneurs et de quelques douzaines de particuliers, les géoscientifiques canadiens ignorent à peu près tout des projets antérieurs, actuels ou futurs de l'ACDI auxquels ils pourraient s'intéresser.

L'ignorance est quasi-totale en ce qui concerne les politiques fondamentales de l'ACDI touchant la mise en valeur des richesses naturelles et l'activité scientifique qui s'y rattache.

Nous croyons qu'il serait extrêmement utile que l'ACDI publie régulièrement de brefs articles sur les besoins en main-d'œuvre géoscientifique pour les projets actuels et futurs à l'étranger, ainsi que des rapports sur les travaux actuels et projetés dans le cadre de l'aide géoscientifique. Ces articles pourraient être publiés périodiquement dans les bulletins de nouvelles des sociétés savantes canadiennes et dans les revues spécialisées dans le domaine minier et pétrolier, soit par exemple le *CIM Bulletin* ou le *Canadian Petroleum Bulletin*.

Afin de sensibiliser les Géoscientifiques canadiens au sujet de l'aide à l'étranger, il serait souhaitable l'organiser de temps en temps un colloque sur l'aide au Tiers-Monde, sous les auspices de sociétés savantes canadiennes et avec l'entière collaboration de l'ACDI. On peut citer, à cet

égard, la Conférence de 1967 sur la prospection géophysique, tenue à Niagara Falls, qui attira un grand nombre de délégués des pays en voie de développement.

La nécessité d'améliorer les échanges d'information s'applique également aux rapports techniques entre l'ACDI et le Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, et certains autres ministères fédéraux. L'Agence canadienne de développement international doit efficacement promouvoir l'activité géoscientifique canadienne outre-mer; pour ce faire, elle doit agir sur les conseils permanents de l'autorité nationale en sciences de la Terre, en l'occurrence le Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources; elle doit agir en pleine collaboration avec cet organisme et échanger avec lui toutes les informations requises et ce, à tous les paliers de l'élaboration des politiques, en passant par la planification et l'exécution, jusqu'à la conclusion des travaux. À l'heure actuelle, il semble que l'ACDI établisse et applique elle-même les politiques et les principes, ne sollicitant que de manière irrégulière l'aide et les conseils spéciaux de ce Ministère.

En vue de répondre aux besoins permanents en matière d'aide et de liaison géoscientifiques et aux exigences sans cesse renouvelées dans le domaine de l'élaboration et de la modification des principes, des politiques et des initiatives, nous proposons que l'ACDI s'adjoigne un conseiller géoscientifique; ce spécialiste serait détaché par les soins du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources à un niveau suffisamment élevé pour bénéficier de l'appui d'un comité de hauts fonctionnaires de ce ministère et d'autres organismes. Ce conseiller devrait être parfaitement au courant de la nature et de l'utilité des sciences de la Terre, tant du point de vue des politiques et des objectifs que de celui des travaux. Un organe administratif a été institué afin d'améliorer les activités de liaison et de participation; ses spécialistes contribuent aux travaux des diverses directions du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Res-

sources. Par ailleurs, un poste de coordonnateur de l'aide a été créé à la Direction des ressources minérales de ce Ministère. Cependant, il nous semble que la tâche actuelle du coordonnateur ne consiste guère qu'à établir des liaisons et à assurer le fonctionnement des mécanismes. Nous estimons donc que:

Conclusion VIII.6

L'ACDI devrait collaborer plus étroitement avec d'autres organismes publics pour l'établissement des politiques, la définition des objectifs, la planification et la surveillance de l'exécution des programmes d'aide géoscientifique à l'intention des pays étrangers. Le poste actuel de coordonnateur de l'aide géoscientifique à l'étranger devrait être élevé au rang des hauts fonctionnaires, et rattaché à l'ACDI au niveau du Comité de développement international.

Nous jugeons que ce coordonnateur devrait s'occuper non seulement des activités géoscientifiques proprement dites, mais aussi des autres activités étroitement apparentées, soit par exemple les levés d'arpentage et la cartographie, les lois minières, le forage, les études économiques concernant la mise en valeur des minéraux, l'exploitation minière, la minéralurgie, et ainsi de suite.

Nécessité des cadres géoscientifiques pour les travaux à l'étranger

Quoique les services d'entrepreneurs et de conseillers techniques pour de courts stages outre-mer soient toujours nécessaires, nous recommandons fortement au gouvernement fédéral d'établir une Direction de services géoscientifiques outre-mer et de former un petit groupe de cadres spécialisés à cette fin. *Comme l'indiquent les paragraphes suivants, le travail à l'étranger n'est pas pour les amateurs ni pour les spécialistes qui ne peuvent pas s'adapter rapidement à de nouvelles conditions.* La Commission de développement international Pearson a clairement reconnu la nécessité de créer un service national d'experts qui pourraient faire carrière outre-mer. Connaissant l'excellent tra-

vail accompli par les cadres géoscientifiques américains et anglais à l'étranger, nous sommes convaincus depuis longtemps que le Canada devrait s'assurer les services d'un personnel analogue pour ses missions outre-mer. Ces cadres pourraient participer à la planification centrale et assurer la supervision des travaux géoscientifiques à l'étranger, qu'ils soient entrepris par des cadres, sous contrat et sous la surveillance des cadres, par des universitaires ou autres personnes. Nous estimons donc que:

Conclusion VIII.7

Le Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources devrait établir une Direction géoscientifique d'outre-mer, dotée d'un personnel permanent de cadres possédant la compétence géoscientifique et technique, l'aptitude, les qualités personnelles et l'intérêt pour leur tâche, exigés par les travaux à l'étranger. L'activité de cette Direction devrait être financée par l'Agence canadienne de développement international.

Si l'aide canadienne dans le domaine de la mise en valeur des richesses naturelles augmente dans la proportion que nous préconisons, il est indispensable d'organiser ces cadres au lieu d'embaucher du personnel à l'improviste. Ces spécialistes formeraient le noyau de l'activité géoscientifique outre-mer, sans toutefois remplacer tous les autres experts généralement chargés de ce genre de travaux.

Nécessité d'établir un registre du personnel géoscientifique spécialisé dans les travaux à l'étranger

Il existe actuellement une liste succincte de spécialistes dans les dossiers du bureau de recrutement de la Division des conseillers techniques de l'ACDI. Quelques sondages ont été entrepris, afin d'établir une liste des personnes intéressées, mais celle-ci n'a jamais été complétée ou tenue à jour. En raison des exigences prévues dans le domaine de la main-d'œuvre, nous recommandons que la «*Direction géoscientifique d'outre-mer*» du Ministère de l'Énergie, des Mines et des

Ressources établies et tiennent à jour, à l'aide d'un ordinateur, un dossier central du personnel géoscientifique spécialisé dans les travaux à l'étranger.

Nécessité d'évaluer les projets

Les projets devraient être revus au cours de leur exécution et évalués après leur achèvement afin d'estimer la portée économique et sociale de l'aide canadienne et d'évaluer la réussite technique des programmes financés par l'ACDI. C'est en effet le seul moyen d'améliorer les programmes. Les projets devraient être gérés d'une manière ferme mais non pas inflexible, et les dates précises d'achèvement des travaux devraient être stipulées et respectées. Chaque projet devrait comporter un aspect de formation, clairement stipulé dans les ententes avec les pays bénéficiaires de l'assistance. Les projets pratiques devraient être classés séparément des «programmes d'enseignement et de formation».

Nécessité de procéder à des recherches fondamentales sur la méthodologie de la mise en valeur des richesses naturelles

Sans sous-estimer les analyses de l'ACDI au sujet de ses propres programmes d'assistance technique, nous croyons qu'une des recherches les plus efficaces sur l'aide à l'étranger dans le domaine des richesses naturelles consiste à analyser mathématiquement, à l'aide d'un ordinateur, les nombreuses variables touchant la mise en valeur et l'optimisation des mécanismes d'assistance. Si on procède sérieusement à l'évaluation des projets, de multiples renseignements deviendront rapidement disponibles et on pourra dès lors élaborer des modèles mathématiques d'aide technique continue et étagée et analyser ces modèles, afin d'assurer le rendement maximum des programmes canadiens.

Nécessité d'aptitudes et qualités personnelles

Il est indubitable que le succès de l'aide, même la plus technique, dépend souvent des relations humaines. On ne saurait trop insister sur la nécessité de bien com-

prendre les nations défavorisées et leur motivation. Certaines personnes peuvent assimiler rapidement une culture étrangère, tandis que d'autres en sont incapables. Certains sont capables de maîtriser en peu de temps une langue étrangère, l'espagnol par exemple; d'autres refusent carrément de parler une autre langue que l'anglais.

Les qualités personnelles et les dispositions d'esprit—notamment la diplomatie, la patience, la perspicacité, le désir et l'aptitude à s'adapter à un nouveau milieu social et culturel—sont tous aussi importantes que la compétence technique, sinon davantage, pour assurer le succès d'un projet d'aide technique.

Bon nombre de conseillers techniques chargés d'entreprendre la réalisation ou de surveiller l'exécution d'un projet donné procèdent comme s'ils travaillaient encore dans leur propre milieu. Le spécialiste qui travaille dans un pays en voie de développement doit s'adapter psychologiquement, politiquement et professionnellement à ce milieu particulier. La préparation à son travail devrait inclure certains bons principes et une compréhension des objectifs recherchés, étant entendu qu'il doit achever sa mission d'une manière satisfaisante et le plus rapidement possible, sans chercher à faire durer inutilement les travaux.

Nécessité de définir les disponibilités pour les missions à l'étranger

Le Canada peut fort bien posséder le *potentiel* scientifique et technique nécessaire pour certaines tâches à l'étranger, mais en raison d'exigences et de priorités nationales il n'a peut-être cependant pas les moyens d'envoyer ses spécialistes outremer. Nous «importons» par exemple à l'heure actuelle plus de géologues et d'ingénieurs des mines que nous n'en formons au Canada.

Dans le domaine géoscientifique, nous connaissons bien la capacité canadienne; toutefois, les disponibilités pour les missions à l'étranger nous sont à peu près inconnues. Il nous est impossible de traiter de ces disponibilités, car nous ne connais-

sons pas la nature des besoins de l'ACDI en ce qui a trait au nombre et aux genres de spécialistes, à la durée des missions, aux pays où ces services sont requis, aux projets envisagés, à la participation anticipée des secteurs public, industriel et universitaire, etc. C'est la raison pour laquelle nous avons conclu, dans la section VIII.10, que l'ACDI devrait préciser ses exigences en matière de main-d'œuvre géoscientifique pour une période de cinq années, permettant ainsi une formation et un recrutement rationnels d'un personnel canadien pour ces programmes.

VIII.13 Enseignement et formation dans le domaine des sciences de la Terre et les techniques connexes

La majorité des projets d'aide technique impliquent une transmission de connaissances et de techniques. *L'enseignement et la formation constituent donc un élément essentiel de tout projet de développement.* La formation joue un rôle important dans les programmes d'aide canadiens, ce qui est d'ailleurs souhaitable. Nous croyons cependant que la nature et la répartition des programmes actuels de formation devraient être changées afin de rendre cette formation beaucoup plus efficace. Lorsque nous parlons de *Formation* dans les paragraphes suivants, nous incluons également *l'enseignement* qui se rattache à cette formation dans le domaine des richesses naturelles; nous ne commenterons cependant pas les programmes généraux d'enseignement, car cela dépasse nettement le cadre de nos attributions.

La formation se classe dans trois catégories principales, selon qu'elle est donnée: a) au Canada, b) dans les établissements du pays bénéficiaire de l'aide, et c) à pied d'œuvre, dans le cadre des projets d'assistance technique.

Au Canada

Les universités, l'État et l'industrie du Canada peuvent procurer une excellente formation à des stagiaires dans la majori-

té des disciplines géoscientifiques et des techniques connexes intéressant le domaine des richesses naturelles. En réalité, peu de pays industrialisés peuvent offrir aux stagiaires étrangers une meilleure formation géoscientifique axée sur les richesses naturelles.

Toutefois, le problème consiste à préciser dans quelle mesure la formation doit être donnée au Canada. Au nombre des principaux avantages d'une formation donnée au Canada, on compte: la qualité de l'enseignement et des installations de recherche, les services d'un personnel hautement qualifié, les possibilités de formation au sein d'organismes publics et dans l'industrie, un champ illimité de travaux sur le terrain et d'excellentes occasions de formation pratique, l'utilisation de techniques d'avant-garde, l'étude du mécanisme d'une société hautement industrialisée, une mise en valeur des richesses naturelles et une expansion économique régionale très poussées, etc. Une des principales caractéristiques de la formation au Canada est que le stagiaire peut observer sur place qu'une entreprise privée florissante est synonyme d'efficacité dans le travail et qu'il n'y a pas de honte à *travailler*, à *se salir les mains*, à *œuvrer* parfois le soir ou la nuit, etc.

En dépit de ces avantages, la commauté géoscientifique canadienne est unanime à déplorer qu'*un nombre beaucoup trop élevé de stagiaires de pays en voie de développement reçoivent un enseignement et une formation au Canada, comparative-ment à ce que le Canada offre dans leurs pays d'origine.*

Au 30 septembre 1968, on trouvait au Canada 144 stagiaires en sciences de la Terre dans le seul cadre de l'aide gouvernementale directe (tableau 8.3), sans compter au moins 100 boursiers subventionnés par les organismes des Nations Unies, et plus de 100 étudiants inscrits à des études supérieures, venus du Tiers-Monde à leurs propres frais et fréquentant les départements de sciences de la Terre des universités canadiennes. Par contre, le nombre d'années de conseiller géoscientifique consacrées à l'ensemble

des programmes d'aide formatrice et technique outre-mer n'atteint qu'environ 14 par an; il est probable que pas plus de sept conseillers s'occupaient exclusivement de l'enseignement et de la formation. Comme les conseillers coûtent 20 000 dollars par an et les stagiaires 4 500 dollars, nous calculons qu'environ 90 p. 100 des programmes d'enseignement et de formation de l'ACDI se déroulent au Canada, alors que *ce devrait être l'inverse*. On doit compter, en outre, le nombre relativement élevé de diplômés en études géoscientifiques supérieures qui ne sont pas aidés par l'ACDI, mais qui sont tout de même à la charge du contribuable canadien en occupant des postes d'adjoints à la recherche ou autres fonctions.

Notre étude nous a permis d'établir qu'environ 44 p. 100 de tous les étudiants inscrits aux études supérieures en géologie, en géophysique, en géochimie et en géographie physique dans nos universités ne sont ni des citoyens canadiens ni des immigrants. Ce pourcentage coïncide avec la proportion des étudiants étrangers inscrits aux études supérieures dans les facultés de sciences et de génie canadiennes en 1968.¹ Si, dans le domaine des sciences de la Terre, nous supposons que les étudiants étrangers inscrits aux études supérieures se répartissent géographiquement de la même manière que leurs homologues dans les autres domaines des sciences et du génie, soit 42 p. 100 en provenance des États-Unis et d'Europe, 40 p. 100 d'Asie, 3 p. 100 d'Afrique et 15 p. 100 de divers autres pays, nous pouvons supposer que 26. p. 100 de tous les étudiants inscrits aux cycles supérieurs dans les départements de sciences de la Terre de nos universités canadiennes viennent de pays en voie de développement. Les frais entraînés par l'entretien de ces étudiants s'élèvent à un total d'environ 2 500 000 dollars par année. À notre avis, il serait préférable d'investir une bonne partie de cette somme dans les pays en voie de développement. En effet, il est probable que la recherche y sera surtout axée sur les problèmes nationaux, alors qu'au Canada elle peut paraître ésotérique sans

s'appliquer aucunement aux problèmes technologiques urgents qui se posent à ces pays.

La raison principale de cette abondance relative d'étudiants étrangers semble être attribuable au fait que les départements de sciences de la Terre de nos universités sont trop peu fréquentés par les étudiants canadiens. Cette importation massive a été également encouragée par la politique du Conseil national de recherches qui, jusqu'en juillet 1969, permettait à un chargé de recherche de solliciter et de recevoir des fonds pouvant être utilisés partiellement ou totalement pour l'emploi d'étudiants diplômés étrangers. Cependant, depuis le 1^{er} avril 1970, tout étudiant diplômé qui reçoit pour la première fois une subvention du Conseil national de recherches doit être un citoyen canadien ou un immigré. Il s'agit là cependant d'une mesure peu restrictive, étant donné qu'un immigré n'est pas obligé de renoncer à sa nationalité et que «l'exode des cerveaux» des pays en voie de développement peut encore se poursuivre dans le cadre de ce programme.

En toute justice à l'égard de ces étudiants, on doit reconnaître que bon nombre d'entre eux n'éprouvent aucun désir de retourner dans leur pays en raison du manque de travail au niveau de leur compétence et de leur formation complémentaire acquise au Canada. Il est possible que ce genre de problème ne puisse être entièrement résolu, mais nous croyons sincèrement que, trop souvent, la formation donnée à ces étudiants au Canada, notamment dans les universités, est insuffisamment orientée vers les besoins des pays en voie de développement. Par exemple, lorsqu'un pays a besoin de géologues au niveau intermédiaire, la formation reçue au Canada devrait répondre directement à cette exigence et non être calquée sur celle de nos candidats au doctorat. *La formation de stagiaires au Canada devrait donc être uniquement et*

¹ Conseil national de recherches, *Prévisions des ressources en effectifs et en fonds nécessaires à la recherche pour la période 1968-1972*, Comité de prévision du CNRC, L. P. Bonneau, président, 104 pages, Ottawa, février 1969.

directement donnée en fonction des besoins prioritaires des pays en voie de développement.

On a maintes fois attiré notre attention sur le fait que *la formation donnée au Canada en vertu du Plan de Colombo n'est généralement pas satisfaisante*, car les stagiaires recommandés par leurs organismes respectifs montrent peu d'intérêt ou d'aptitude aux études. Plusieurs sociétés minières et pétrolières ont d'ailleurs cessé leur participation à ce programme en raison de l'attitude de ces stagiaires. *C'est pourquoi nous croyons que la participation canadienne au Plan de Colombo devrait se restreindre uniquement à l'envoi de spécialistes dans les pays en voie de développement, en vue de créer et d'améliorer des organisations jumelées.* S'il est nécessaire d'accueillir des stagiaires au Canada, ils devraient être choisis avec soin; si l'on remarque à plusieurs reprises que les stagiaires d'un pays donné montrent peu de goût ou d'aptitude à recevoir une certaine formation, leur pays d'origine devrait en être informé et, au besoin, l'entente devrait être résiliée.

La formation de stagiaires au Canada devrait tendre exclusivement à l'épanouissement d'organisations homologues dans les pays en voie de développement, et vers rien d'autre. Cette formation toucherait les employés actuels et éventuels des organismes publics, des universités et de l'industrie. Nous proposons, en outre, que cette formation soit offerte surtout aux personnes qui doivent entretenir des relations nombreuses et suivies avec leurs compatriotes, aux étudiants particulièrement doués qui montrent un vif intérêt envers la recherche appliquée et une certaine aptitude dans ce domaine. Enfin, le Canada devrait également offrir une formation accélérée et une expérience pratique aux instructeurs techniques dans le genre des cours offerts par l'École des mines de Haileybury. *Dans tous les cas, les étudiants et les stagiaires étrangers devraient s'engager à retourner dans leur pays d'origine.*

En ce qui a trait à la formation universitaire au Canada, nous recommandons que

certains départements des sciences de la Terre parrainent un département homologue dans un pays en voie de développement où l'aide canadienne est concentrée et où les autochtones sont désireux de recevoir des spécialistes canadiens pour une période minimale de trois années. Notons, par exemple, que le département de génie géologique de l'École Polytechnique de Montréal, qui est hautement spécialisé en exploration minérale et en géologie des travaux publics, et dont plusieurs professeurs parlent l'espagnol, le français et l'anglais, pourrait fort bien parrainer un département de Géologie d'Amérique centrale ou d'Amérique du Sud ayant une vocation analogue. Comme autre exemple, le département de Géologie de l'Université de l'Alberta, spécialisé dans la géologie du pétrole, pourrait parrainer un département d'une université du Moyen-Orient, où les besoins de formation en matière d'exploration pétrolière se font sentir. Ce programme d'adoption possède les avantages suivants:

1. Meilleures possibilités d'échange de professeurs et d'étudiants en vue de l'épanouissement des écoles d'enseignement supérieur dans les pays défavorisés;

2. Plus grande attention apportée au milieu global du pays bénéficiaire et à ses besoins prioritaires, en raison d'une meilleure conception des valeurs culturelles et sociales particulièrement importantes pour le pays;

3. Encouragement à fournir une aide soutenue;

4. Meilleures occasions offertes aux universitaires canadiens de se spécialiser dans la mise en valeur des ressources d'un pays donné, et d'appliquer leurs connaissances à cette mise en valeur grâce à la recherche orientée et à la formation des ressortissants;

5. Amélioration de l'enseignement dans les pays en voie de développement et développement de qualités humaines chez les spécialistes et les étudiants canadiens;

6. Meilleure sélection des candidats aptes à poursuivre leurs études et leur formation au Canada.

Si l'ACDI adoptait ces principes et acceptait de subventionner des programmes de ce genre, elle pourrait soumettre directement la question aux directeurs des départements de sciences de la Terre des universités canadiennes, le plus tôt possible, et leur fournir également les lignes de conduite nécessaires. Ces directeurs pourraient ensuite présenter leurs projets détaillés à l'ACDI qui, les ayant acceptés, pourrait les soumettre aux intéressés dans les pays en voie de développement. Le mécanisme détaillé de ce programme devrait être conçu par l'ACDI, et les directeurs de département devraient se soumettre aux règlements de cet organisme, y compris la présentation de rapports concernant la révision et l'évaluation des projets.

Toute l'aide financière fournie, directement ou indirectement, par le gouvernement canadien aux étudiants et aux boursiers en recherche post-doctorales, originaires de pays en voie de développement devrait relever de l'Agence canadienne de développement international. Bien que la Commission Macdonald¹ recommande (p. 223) «que l'aide accordée par le gouvernement fédéral aux étudiants étrangers qui poursuivent leurs études supérieures au Canada fasse partie des attributions de l'Agence canadienne de développement international», nous appuyons cette recommandation *uniquement* dans la mesure où elle s'adresse aux étudiants des pays en voie de développement. Les bourses post-doctorales du Conseil national de recherches destinées aux candidats de ces pays devraient être prises en charge par l'ACDI. Dans tous les cas, le choix des étudiants et boursiers devrait être fait par les universités canadiennes, qui consulteraient directement les autorités compétentes des pays en cause. *En outre, l'ACDI ne devrait défrayer ces stagiaires que dans la mesure où leur formation au Canada contribuerait directement à consolider des établissements homologues dans les pays en voie de développement.*

¹Conseil des sciences du Canada, *Le gouvernement fédéral et l'aide à la recherche dans les universités canadiennes*, J. B. Macdonald en collaboration, Étude spéciale n° 7.

Formation donnée dans les pays en voie de développement

Comme on l'a souligné précédemment, l'effort principal en matière d'enseignement et de formation devrait être fourni dans le pays même des futurs spécialistes. Si les installations d'enseignement et les laboratoires y laissent à désirer, l'aide canadienne devrait être orientée en ce sens.

On doit également prendre les mesures qui s'imposent pour y assurer la formation des techniciens. À l'aide d'expériences pratiques, on doit démontrer aux autochtones qu'on ne peut assurer le succès de la mise en valeur des ressources naturelles qu'à l'aide d'un travail d'équipe efficace, d'une aide technique suffisante et d'un grand effort personnel.

Dans le but de recruter un nombre suffisant d'instructeurs compétents et sérieux, le Canada doit offrir des traitements généreux et faire un choix judicieux du personnel disponible. Ces instructeurs doivent être capables et *désireux* d'étudier et de parler la langue du pays, quelle qu'elle soit, de s'adapter aux conditions locales, et de travailler avec les étudiants, afin de leur inculquer de bonnes méthodes de travail sur le terrain. Si ces instructeurs œuvrent au sein d'une université, on doit faire en sorte que le corps enseignant en place n'éprouve pas un complexe d'infériorité au contact du personnel étranger, tant au point de vue du prestige que du salaire. L'aide à l'étranger doit tenir compte des coutumes locales, mais doit être cependant menée avec fermeté afin d'éviter tout gaspillage de temps et d'énergie de la part des instructeurs et des conseillers.

S'il devenait difficile d'assurer la formation des autochtones dans leur propre pays, le Canada devrait encourager leur formation par l'entremise des organismes régionaux subventionnés par les Nations Unies. Dans le domaine des sciences de la Terre, ces organismes comprennent:

1. Aux Philippines: *L'Institut de Géologie appliquée* (rattaché à l'Université);
2. En Iran: *l'Institut de la Commission géologique* (phase 1 approuvée en décembre 1960; phase 2 approuvée en janvier

1968 et encore en cours);

3. En Inde: l'*Institut d'Exploration pétrolière* à Dera Dun (phase 1 approuvée en 1961; phase 2 approuvée en 1966 et encore en cours);

4. En Arabie Saoudite: *Centre de géologie appliquée* à Djeddah (approuvé en juin 1969);

5. En Bolivie: *Centre d'Étude pétrolières* à Santa Cruz (approuvé en juin 1965).

On devrait sérieusement étudier la possibilité de créer un Institut d'exploration minière dans un des pays d'Amérique du Sud; cet établissement permettrait d'offrir, en espagnol ou en portugais, une formation dans le domaine des techniques d'exploration touchant plus particulièrement les minéraux métalliques et non métalliques. En raison de sa compétence dans le domaine de l'exploration minière, le Canada pourrait fort bien prendre l'initiative de la fondation d'un tel institut.

Formation à pied d'œuvre

Cette formation pratique devrait représenter un des principaux objectifs de tout projet d'aide à l'étranger, car le but de l'assistance technique devrait consister à aider les pays en voie de développement au point qu'ils puissent prendre en main la mise en valeur de leurs richesses naturelles. La formation sur place est particulièrement importante au stade de la mise en valeur et de l'exploitation des ressources minérales, alors qu'il est possible d'apprendre aux gens du pays un métier dans lequel ils feront carrière. Cette formation est également importante au stade des levés fondamentaux, surtout lorsque ces inventaires font partie d'un programme d'ensemble bien planifié en vue d'atteindre d'importants objectifs économiques. Le personnel de l'aide à l'étranger devrait être donc averti, dans le cadre de ses attributions, que la formation du personnel étranger fait essentiellement partie de son travail. En réalité, l'évaluation d'un projet devrait non seulement englober le rendement technique, mais aussi la qualité de la formation donnée.

Une des meilleures mesures d'aide que

le Canada pourrait offrir consisterait à déléguer des spécialistes de divers domaines géoscientifiques auprès des ministères ou autres organismes publics dans les pays en voie de développement, afin d'offrir une formation à pied d'œuvre au cours de l'exécution des travaux, par exemple dans le domaine de la voirie, de l'irrigation, de l'exploration minière, des levés géologiques, des études pédologiques, de la planification rurale et urbaine et ainsi de suite.

En matière d'enseignement et de formation, nous proposons que:

Conclusion VIII.8

Les principes fondamentaux régissant les programmes canadiens d'enseignement et de formation géoscientifiques à l'étranger devraient s'énoncer comme suit: a) tous les programmes de formation devraient être orientés vers les besoins les plus pressants de ces pays; b) les programmes de formation devraient être concentrés dans les pays bénéficiaires ou dans les Instituts géoscientifiques régionaux subventionnés par les Nations Unies, plutôt qu'au Canada; c) la formation dispensée au Canada devrait être spécialement et exclusivement orientée vers la consolidation des établissements homologues dans les pays en voie de développement; d) la formation au Canada devrait être réservée aux étudiants réellement doués, aux personnes qui doivent entretenir des rapports nombreux avec leurs compatriotes, et aux instructeurs techniques.

Conclusion VIII.9

L'ACDI devrait immédiatement mettre au point un programme de «jumelage» de quelques départements de sciences de la Terre d'universités canadiennes avec leurs homologues des pays en voie de développement, et fournir également une aide financière pour tous les étudiants et boursiers en recherches post-doctorales de ces pays. Le choix proprement dit de ces étudiants et de ces boursiers devrait être fait surtout par les universités en cause.

Appendice

Remerciements

Il n'aurait pas été possible d'effectuer une étude d'une telle étendue et d'une telle complexité sans l'aide d'un grand nombre de géoscientifiques du Canada. Le Groupe d'études est particulièrement heureux de s'être acquis l'excellente collaboration de tous les secteurs, ce qui témoigne du grand intérêt suscité par cette enquête et montre combien les géoscientifiques canadiens sont désireux de contribuer à l'établissement de la politique scientifique du Canada.

Nous ne pouvons dresser ici la liste des centaines de scientifiques, d'ingénieurs et d'administrateurs qui ont répondu à nos questionnaires, nous ont apporté des données essentielles et des idées précieuses, et nous ont accordé des entretiens fructueux au cours de cette enquête. Les auteurs expriment particulièrement leur gratitude aux nombreux organismes qui ont apporté leur entière collaboration à cette entreprise en répondant aux différentes demandes de renseignements particuliers et généraux, aux personnes qui ont consacré un temps précieux à préparer et à soumettre les 27 mémoires que nous avons reçus (voir annexe n° 3), et aux auteurs des 53 exposés documentaires spéciaux qui ont été rédigés pour le compte du Groupe d'études. Nous remercions également les 2 560 personnes qui ont revu ces documents ainsi que les 1 509 qui ont assisté à nos réunions dans tout le Canada.

Bien que toute la communauté géoscientifique canadienne ait contribué d'une façon ou d'une autre à l'élaboration de ce rapport, le Groupe d'études se déclare responsable des opinions qu'il exprime et des conclusions qu'il présente, de même que des lacunes et des inexactitudes qui pourraient se trouver dans cet ouvrage.

Nous avons été particulièrement aidés dans notre tâche par deux experts, le D^r George C. Riley et le D^r John G. Fyles,

qui ont rédigé pour nous des rapports spéciaux.

Le personnel du Conseil des sciences du Canada nous a soutenu sans relâche. Nous remercions particulièrement le Capitaine A. F. Pickard, adjoint d'administration, qui a secondé très efficacement le Groupe d'études dans toutes ses activités, ainsi que Mmes L. Merner et V. Virard qui ont accompli les fonctions de secrétaires et ont passé de longues heures à dactylographier les versions successives du rapport.

Le Groupe d'études des sciences de la Terre

Le Comité des sciences de la Terre
du Conseil des sciences du Canada

MM. W. H. Gauvin (*Président*), B.Ing.,
M.Ing., D.Ing., Ph.D.
Ingénieur chimiste, directeur du Centre
de recherches Noranda, Pointe-Claire.
(Membre du Conseil des sciences du Ca-
nada)

R. E. Folinsbee, B.Sc., M.Sc., Ph.D.
Géologue, chef du département de géolo-
gie,
Université de l'Alberta, Edmonton

R. Geren, B.Sc., M.Sc.
Géologue-conseil, Oromocto

H. C. Gunning, B.Sc.A., M.Sc., Ph.D.
ingénieur géologue-conseil, Vancouver

J. M. Harrison, B.Sc., M.Sc., Ph.D.
Géologue, Sous-ministre adjoint (sciences
de la Terre), Ministère de l'Énergie, des
Mines et des Ressources, Ottawa. (Mem-
bre du Conseil des sciences du Canada)

R. F. Legget, S.M., B.Ing., M.Ing.,
D.Sc.G., D.Sc.
Ingénieur géologue, ancien directeur de
la Division des recherches en bâtiment,
Conseil national de recherches du Cana-
da, Ottawa

D. H. MacDonald, M.R.P., D.I.C., Ph.D.
Ingénieur civil, directeur de *H. G. Acres
Limited*, Niagara Falls

G. C. Monture, S.M., B.Sc.A., M.Sc.,
Ph.D.
Géologue et économiste des minéraux,
expert-conseil,
Resources Engineering of Canada Ltd.,
Ottawa

J. T. Wilson, B.A., M.A., Ph.D.
Professeur de géophysique et principal
du collège Erindale,
Université de Toronto, Toronto

H. F. Zurbrigg, B.Sc., M.Sc.,
Géologue, Vice-président (Exploration)
The International Nickel Company Ltd.,
Toronto

J. Mullin (*Secrétaire*). B.Sc.,
Conseiller scientifique, Conseil des scien-
ces du Canada, Ottawa

Le Groupe d'étude des sciences de
la Terre

MM. R. A. Blais (*Président*), B.Sc.A.,
M.Sc., Ph.D.,
Ingénieur géologue,
Professeur de géologie appliquée,
École Polytechnique de Montréal

J. E. Blanchard, B.Sc., M.Sc., Ph.D.,
Géophysicien, président de la Fondation
de recherches de la nouvelle-Écosse,
Halifax

J. T. Cawley, B.Sc.A.,
Ingénieur des Mines, Sous-ministre,
Ministère des Richesses minérales de la
Saskatchewan, Régina

D. R. Derry, B.A., M.A., Ph.D.,
Géologue-conseil, Toronto

Y. O. Fortier, B.Sc., M.Sc., Ph.D.,
Géologue,
Directeur de la Commission géologique
du Canada, Ottawa

G. G. L. Henderson, B.Sc., M.A., Ph.D.,
Géologue, Vice-président (Exploration),
Chevron Standard Ltd., Calgary

J. R. Mackay, B.A., M.A., Ph.D.,
Professeur de géographie physique,
Université de la Colombie-Britannique,
Vancouver.

J. S. Scott, B.Sc.A., Ph.D.,
Géologue-conseil, *H. G. Acres Ltd.*, Nia-
gara Falls (au service de la Commission
géologique du Canada depuis juin 1969)

H. O. Seigel, B.A., M.A., Ph.D.,
Géophysicien-conseil, président de *Scin-
trex Ltd.*, Toronto

C. H. Smith (*coordonnateur du pro-
gramme*), S.Sc., M.Sc., M.S., Ph.D.,
Géologue, chef de la division de la géolo-
gie corticale, Commission géologique du
Canada, Ottawa

R. B. Toombs, B.A., B.S.A., M.Sc.,
Géologue et économiste des minéraux,
conseiller en pétrole et gaz,
Secteur de l'énergie, Ministère de l'Éner-
gie, des Mines et des Ressources,
Ottawa

H. D. B. Wilson, B.Sc., M.Sc., Ph.D.
Géologue, chef du département des
sciences de la Terre, Université du Mani-
toba, Winnipeg

Organismes et personnes ayant présenté des mémoires

Organismes	Sujet ou titre
Société des géologues pétroliers de l'Alberta	Géologie du pétrole
Comité associé de la recherche géotechnique du Conseil national de recherches, et Division de géotechnique de l'Institut canadien des ingénieurs	Mémoire sur les sciences géotechniques
Ministère de l'Agriculture du Canada	Pédologie
Association canadienne des géographes	Recommandations pour le développement futur de la géomorphologie au Canada
Institut canadien des mines et de la métallurgie, comité général de l'éducation	Opinions sur la recherche en sciences de la Terre au Canada
Institut canadien des mines et de la métallurgie, section de la géologie	Recherche en sciences de la Terre au Canada
Société canadienne de prospection géophysique	La prospection géophysique
Société canadienne de science des sols	La science des sols
Société canadienne de diagraphie	La diagraphie des puits et des sondages
Association géologique du Canada	L'enseignement des sciences de la Terre dans les écoles secondaires du Canada
Département de génie géologique, École polytechnique	Avis sur l'avenir de la recherche géoscientifique au Canada
<i>Imperial Oil Limited</i> , service de la prospection	Les activités géoscientifiques d' <i>Imperial Oil</i>
Association minéralogique du Canada	La recherche géoscientifique au Canada
Société québécoise d'exploration minière (SOQUEM)	Proposition pour la création d'un institut de recherches appliquées en prospection scientifique
Université de Guelph	L'étude des sciences de la Terre à l'Université de Guelph

Personnes	Sujet ou titre
M. J.B. Bird	Le rôle de la géographie physique
Étudiants diplômés du département de géologie, Université de Toronto	Opinions sur la recherche
MM. P.F. Karrow	Les nouvelles orientations des sciences de la Terre
E. Miryneh, J. Terasmae, P.A. Peach, B.A. Liberty	La nature et la portée de la géologie du Quaternaire
E.W. Nuffield	La situation particulière des départements de géologie au sein de l'université
D.T. Ower	La recherche géophysique-méthodes et applications
J.E. Riddell	Proposition en vue de la création d'un institut national de recherches en prospection scientifique
G.K. Rutherford, R.H.M. van de Graff	La science des sols
H.O. Seigel	Proposition pour une fondation de recherches sur la prospection scientifique
D.E. Smylie	L'avenir de la géophysique théorique au Canada
G.F. West, D.W. Strangway, F.S. Grant	Besoin d'accroître les recherches sur les techniques de prospection scientifique

Liste des disciplines géoscientifiques

Sciences géologiques

1. *Géologie du charbon
2. *Géologie économique
3. *Géologie des fonds marins
4. Géologie générale
5. Géologie historique
6. *Géologie de l'ingénieur
 - *Moskeg
 - *Pergélisol
7. Géologie du milieu ambiant
8. Géologie minière
9. †Géologie du pétrole
10. *Géologie du Quaternaire
 - *Recherches sur le Quaternaire
11. *Géologie structurale
 - *Tectonique et géotectonique
12. †Géomorphologie
13. *Hydrogéologie
14. *Mécanique des roches
15. *Mécanique des sols
16. *Minéralogie et
 - *Cristallographie
17. Paléobotanique
18. *Paléontologie
19. *Palynologie
20. Pédologie
21. *Pétrologie
22. Photogéologie
23. *Sédimentologie
24. *Stratigraphie
25. *Volcanologie
26. Autres domaines

Géophysique

27. *Étude des courants géothermiques
28. *Étude des courants magnétotelluriques
29. *Géodésie
30. *Géomagnétisme
31. *Géophysique des fonds marins
32. *Gravimétrie
33. Instruments géophysiques
34. Propriétés physiques des roches et des minéraux
35. *Prospection géophysique
36. *Séismologie
37. *Tectonophysique
38. *Télétection
39. *Autres domaines (glaciologie)

Géochimie

40. *Biogéochimie
41. Géochimie des isotopes et
 - *Géochronologie
42. *Géochimie minérale
43. Géochimie physique
44. *Géochimie physique
45. *Biogéochimie
46. Autres domaines

Autres disciplines

47. *Applications des ordinateurs aux sciences de la Terre
48. Géographie physique¹
49. Géomathématiques
50. *Historique des sciences de la Terre

¹ La géographie physique est un domaine pluridisciplinaire qui comprend, entre autres, la géomorphologie, la géologie du Quaternaire et la glaciologie.

*Indique les disciplines qui ont fait l'objet d'une étude documentaire. La plupart de ces études ont été publiées par la Commission géologique du Canada sous l'égide du Comité consultatif national pour la recherche en sciences géologiques, sous le titre suivant: "*Background Papers on the Earth Sciences in Canada*", sous la direction de C. H. Smith. Comm. Géol. Can., Étude spéciale 69-56. Ottawa 1970.

† Mémoire présenté par l'Association canadienne des géologues pétroliers.

‡ Mémoire présenté par l'Association canadienne des géographes.

Description des activités des ministères et autres organismes du gouvernement fédéral dans le domaine géoscientifique

Le résumé suivant se fonde sur les résultats du questionnaire adressé par le Groupe d'étude aux organismes publics ainsi que sur les discussions menées avec les représentants des différents ministères.

Ministère de l'Agriculture du Canada

Les activités géoscientifiques du Ministère de l'Agriculture du Canada portent sur l'étude des sols, y compris leur répartition, leur composition minéralogique et leur modification sous l'intempérisme, ainsi que leurs propriétés chimiques et physiques. Les autres études, qui ont trait à la fertilité et la productivité des sols, relèvent de l'agriculture et de la biologie.

La *Commission canadienne de pédologie*, organisme national de coordination du *Comité de coordination des services agricoles canadiens (CCSAC)*¹ dirige le programme de l'*Inventaire des sols du Canada* qui est mené sous la direction conjointe de la Direction de la recherche du Ministère de l'Agriculture du Canada, des universités et des ministères de l'Agriculture des provinces. Dans chaque province, sauf en Colombie-Britannique, les services fédéraux et provinciaux travaillent de concert. Les activités de recherches sont concentrées à l'*Institut de recherches pédologiques* (occupant 135 personnes, et comprenant la Direction de la recherche à Ottawa), et dans les centres de pédologie situés à Saint-Jean de Terre-Neuve, Truro, (N.É.), Frédéricton (N.B.), Québec (Qué.), Guelph (Ont.), Winnipeg (Man.), Saskatoon (Sask.), Edmonton (Alb.) et Vancouver (C.-B.). Actuellement on compte 52 scientifiques qui travaillent en pédologie, dont 38 se livrent à des relevés des sols et à des études de corrélations connexes (sur le synchronisme de leur formation) alors que 14 s'occupent de recherches. Pour l'exer-

cice 1967-1968, les dépenses ont été de l'ordre d'un à deux millions de dollars, sans compter les frais généraux. Pendant cette période, on a publié 7 cartes et rapports sur des levés pédologiques, en plus de 30 études dans des revues scientifiques, et l'on a dressé 20 cartes d'interprétation pédologique.

Au moment de notre enquête, l'Administration du rétablissement agricole des Prairies (PFRA) relevait du Ministère de l'Agriculture, ce qui explique que dans nos tableaux les dépenses de cette Administration figurent au chapitre du Ministère fédéral de l'Agriculture. L'activité géotechnique interne du PFRA se chiffrait à 850 000 dollars par an; son personnel comprenait 17 ingénieurs civils, tous spécialistes de la mécanique des sols, dont un se livrait exclusivement à la recherche. PFRA relève maintenant du Ministère de l'Expansion économique régionale.

Agence canadienne de développement international (ACDI)

Le programme canadien d'aide aux pays en voie de développement est financé et dirigé par l'ACDI, société de la Couronne qui est responsable envers le secrétaire d'État aux Affaires extérieures. Le personnel de l'ACDI compte 405 agents et 10 fonctionnaires détachés, dont aucun ne se livre spécialement à des activités scientifiques. Toutefois, cet organisme utilise largement les compétences scientifiques et techniques canadiennes dans l'exécution de ses programmes; environ 23 pour cent du personnel qu'il envoie dans les pays en voie de développement, dans le cadre de ses programmes d'aide bilaté-

¹Le CCSAC est un organisme consultatif de coordination qui fait rapport au ministre de l'Agriculture par l'intermédiaire du sous-ministre. Il est présidé par le sous-ministre fédéral et ses membres comprennent les onze sous-ministres de l'Agriculture, les dix doyens et directeurs des facultés et des collèges d'Agriculture et de Médecine vétérinaire, le directeur de l'Institut de recherches agricoles de l'Ontario, le président du Conseil de recherches agricoles du Québec, un représentant du Conseil national de recherches et du Bureau fédéral de la statistique, ainsi que huit hauts fonctionnaires du Ministère fédéral de l'Agriculture.

Tableau 5.1—Classification des activités géoscientifiques de l'ACDI au cours de l'année 1968-1969^a
 (Les chiffres des dépenses ne sont qu'approximatifs, car les travaux mentionnés par l'ACDI s'étendent sur plusieurs années et peuvent comprendre plus d'un type d'activité)

Genres d'activités	Développement géoscientifique	Collecte des données scientifiques	Enseignement et formation	Coût total
En milliers de dollars				
1. Cartographie topographique et photogéologique d'ordre général	—	1 450	—	500(S) ^a 900(P) ^a
2. Levés et inventaires géologiques d'ordre général	250	350	—	200(S) 400(P)
3. Levés géophysiques d'ordre général	100	500	—	600(P)
4. Levés des terres pour divers usages	80	600	—	80(S) 600(P)
5. Levés et inventaires spéciaux des ressources minières	50	350	—	40(S) 360(P)
6. Levés et inventaires hydrogéologiques	50	440	—	240(S) 250(P)
7. Études géotechniques	—	150	—	150(P)
8. Enseignement et formation	—	—	760	760(S)
9. Programmes multilatéraux ^c	100	800	—	900(S)
Totaux	630	4 640	760	6 030^f

Source: Agence canadienne de développement international.

^a Ces activités ne comprennent pas de recherche.

^b Représente le coût des conseillers.

^c Subventions.

^d Prêts.

^e Représente la participation du Canada aux fonds de l'UNESCO, du PDUN, etc. calculé à raison de 7 pour cent du montant total.

^f Environ les deux tiers de cette assistance sont fournis sous forme de capitaux.

raux, ont une formation scientifique ou technique.¹

L'ACDI utilise les services des industries, des universités et des organismes publics pour l'exécution de ses programmes. Le Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources aide l'ACDI à identifier, mobiliser et coordonner les moyens dont dispose le Canada pour l'aide extérieure dans le domaine des sciences de la Terre, et il l'assiste pour placer des étudiants d'outre-mer dans les universités et l'industrie.

Au cours de l'exercice 1968-1969, alors que le montant total des dépenses consacrées à tous les domaines de l'assistance technique atteignait 185.7 millions de dollars, seulement 6 millions étaient consacrés aux programmes géoscientifiques (tableau 5.1). On estime à 900 000 dollars la participation canadienne aux programmes géoscientifiques sous l'égide des différents organismes des Nations Unies. Ces dépenses sont consacrées à des in-

ventaires fondamentaux et des levés de mise en valeur des richesses naturelles, et à des programmes de formation géoscientifique et géotechnique. Ces montants ne comprennent aucune dépense pour la recherche scientifique.

Conseil de recherches pour la Défense

Les activités géoscientifiques du Conseil de recherches pour la Défense (CRD) sont liées aux responsabilités qui lui incombent en vertu de la loi sur la Défense nationale, à savoir: assumer des fonctions de recherche pour la défense du Canada et pour la mise au point ou l'amélioration du matériel de défense sur l'ordre du ministre de la Défense nationale, et conseiller le ministre sur toutes les questions concernant la recherche et le développement dans les domaines scientifique, technique et autres, qui, à son avis,

¹ Mémoire de l'Agence canadienne de développement international. Compte rendu des débats du Comité pour la politique scientifique, n° 32, 1969.

Tableau 5.2—Fonds affectés à la recherche géoscientifique par le Conseil de recherches pour la Défense durant l'exercice 1968-1969

Domaines particuliers des sciences de la Terre	Dépenses totales	Travaux intra-muros ^a	Travaux extra-muros	
			Universités ^b	Industrie ^c
	En milliers de dollars		En milliers de dollars	
Séismologie	172	61	61	50
Magnétisme	354	266	18	70
Tectonophysique	6	—	6	—
Mécanique des sols	40	33	7	—
Mécanique des roches	14	—	14	—
Glaciologie	38	22	16	—
Géomorphologie	36	34	2	—
Géochimie	20	—	—	20
Études des cratères	91	91	—	—
Photogrammétrie	29	—	14	15
Totaux	800	497	138	155

^a Recherche appliquée, dont 20 pour cent sont exécutés dans les laboratoires universitaires.

^b Recherche fondamentale.

^c Recherche appliquée.

peuvent affecter la défense nationale.

Ces travaux géoscientifiques sont financés dans le cadre de trois programmes distincts: un programme de recherches intra-muros, un programme de subventions aux universités et un programme de subventions au secteur privé (voir tableau 5.2). Le montant des dépenses totales consacrées aux sciences de la Terre au cours de l'exercice 1968-1969, dans le cadre des trois programmes, s'est élevé à 800 000 dollars; 40 pour cent des dépenses représentent des travaux des universités et du secteur privé.

Le *programme intra-muros*, mené par une équipe de huit scientifiques, comporte des études sur le terrain et en laboratoire dans les domaines de la séismologie, du magnétisme, des études de cratères, de la mécanique des sols, de la glaciologie et de l'évaluation des terrains.

Dans le cadre du *programme de subventions aux universités*, des fonds sont versés aux chercheurs universitaires en vue: a) d'acquérir de nouvelles connaissances scientifiques qui puissent contribuer à résoudre les problèmes techniques de la défense nationale; b) de susciter et d'entretenir l'intérêt des scientifiques pour les sciences militaires; c) d'aider à recruter, pour les différents centres du CRD, de jeunes scientifiques d'avenir. Les demandes sont étudiées par 25 comités

consultatifs et par des groupes d'experts. Les demandes concernant les sciences de la Terre sont soumises au Comité consultatif de recherche géophysique, composé de 12 membres recrutés dans les universités et les organismes publics. Le comité alloue des subventions pour l'étude de la météorologie ainsi que pour celle de la géophysique et de la géologie dans le domaine de la géosphère. Au cours de l'exercice 1968-1969, le total des allocations à la recherche géophysique était de 290 000 dollars, dont 40 pour cent ont été affectés à des études de la géosphère. Environ la moitié des subventions allouées pour l'étude des sciences de la Terre concerne les domaines de la géologie et de la géotechnique (voir tableau 5.2).

Dans le cadre du *Programme de recherche industrielle pour la Défense*, sont allouées des subventions pour accroître le potentiel de recherche de l'industrie canadienne dans les technologies de la défense. L'aide financière est fournie sous la forme de subventions destinées à financer des travaux de recherches particuliers soumis par des sociétés enregistrées au Canada. Ordinairement, les frais de ces travaux sont assumés à part égale par la Couronne et par l'entreprise privée; les données scientifiques, les brevets et le matériel appartiennent à cette même entreprise. Dans le cadre de ce program-

me, 155 000 dollars ont été alloués en 1968-1969 pour des études géoscientifiques (voir tableau 5.2) sur un budget total d'environ 5 millions de dollars.

Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources

Le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources est l'organe géoscientifique du gouvernement fédéral. Le cadre réglementaire de ses recherches et de ses investigations géoscientifiques a été établi par la loi sur les ressources et les relevés techniques (1966) qui prévoit:

1. Le rassemblement et la publication de données sur l'industrie minière.
2. Une investigation détaillée des districts miniers.
3. Une étude complète et scientifique de la minéralogie et de la structure géologique du pays.
4. Des recherches et des investigations en chimie, mécanique et métallurgie, en vue d'assister l'industrie minière et métallurgique du Canada.
5. La gestion des observatoires d'astronomie.
6. La collecte et la préparation de spécimens de minerais, de roches et de minéraux en vue d'une meilleure connaissance de la géologie, de la minéralogie, des ressources et des industries minières et métallurgiques du Canada.
7. L'établissement et la publication de cartes pour illustrer les renseignements ci-dessus.
8. Les mesures, les observations et les relevés nécessaires à l'établissement de ces cartes.

La loi prévoyait également que les fonctions du ministère couvriraient l'énergie, l'eau et les autres ressources, et que le ministre serait chargé de coordonner, d'encourager et de recommander des programmes nationaux concernant l'énergie, les mines et les minerais, l'eau et les autres ressources.

Le ministère est divisé en quatre secteurs (voir figure 5.1), dont chacun est dirigé par un sous-ministre adjoint. La moitié des dépenses du ministère est affectée au secteur de l'eau et des res-

sources renouvelables. Les géoscientifiques sont employés partout dans le ministère, mais surtout dans le secteur des mines et géosciences. Les dépenses pour les travaux des sciences de la Terre, comparativement à l'ensemble du budget de chaque direction, sont représentées par la partie en foncé à la figure 5.1. Le montant des dépenses encourues est indiqué au tableau 5.4.

Commission géologique du Canada

La Commission géologique du Canada est la direction du ministère dont les activités concernent le plus directement les sciences de la Terre. Elle a été fondée en 1842 et son renom est étroitement lié à l'histoire et au développement économique du pays (voir les commentaires de l'industrie à l'annexe 6). Cet organisme fédéral est chargé de fournir un fondement géologique à la recherche et à l'évaluation du potentiel des ressources minières et pétrolières du Canada, de même qu'à l'aménagement régional et au développement économique du Nord Canadien par l'État et l'industrie, à l'utilisation des terrains et à l'urbanisme, aux problèmes de conservation des sols, d'aménagement des parcs récréatifs, des travaux du génie civil et du bâtiment, et de sécurité nationale.

Pour atteindre ses objectifs, la Commission géologique du Canada se livre aux activités suivantes:

1. Elle étudie, décrit et interprète la géologie (y compris la géophysique, la géochimie, la géomorphologie et la géographie physique) du Canada, plus les plates-formes continentales, afin de fournir un cadre géologique national et régional. Ce travail comporte la comparaison des connaissances géologiques des régions ou des provinces, au moyen d'études plus ou moins complètes, selon les modalités propres à chaque province;
2. Elle poursuit des recherches dans certains domaines spécialisés afin de:
 - a) Inventorier de façon systématique la géologie du pays et perfectionner les techniques des levés géoscientifiques;
 - b) Étudier les problèmes qui se ratta-

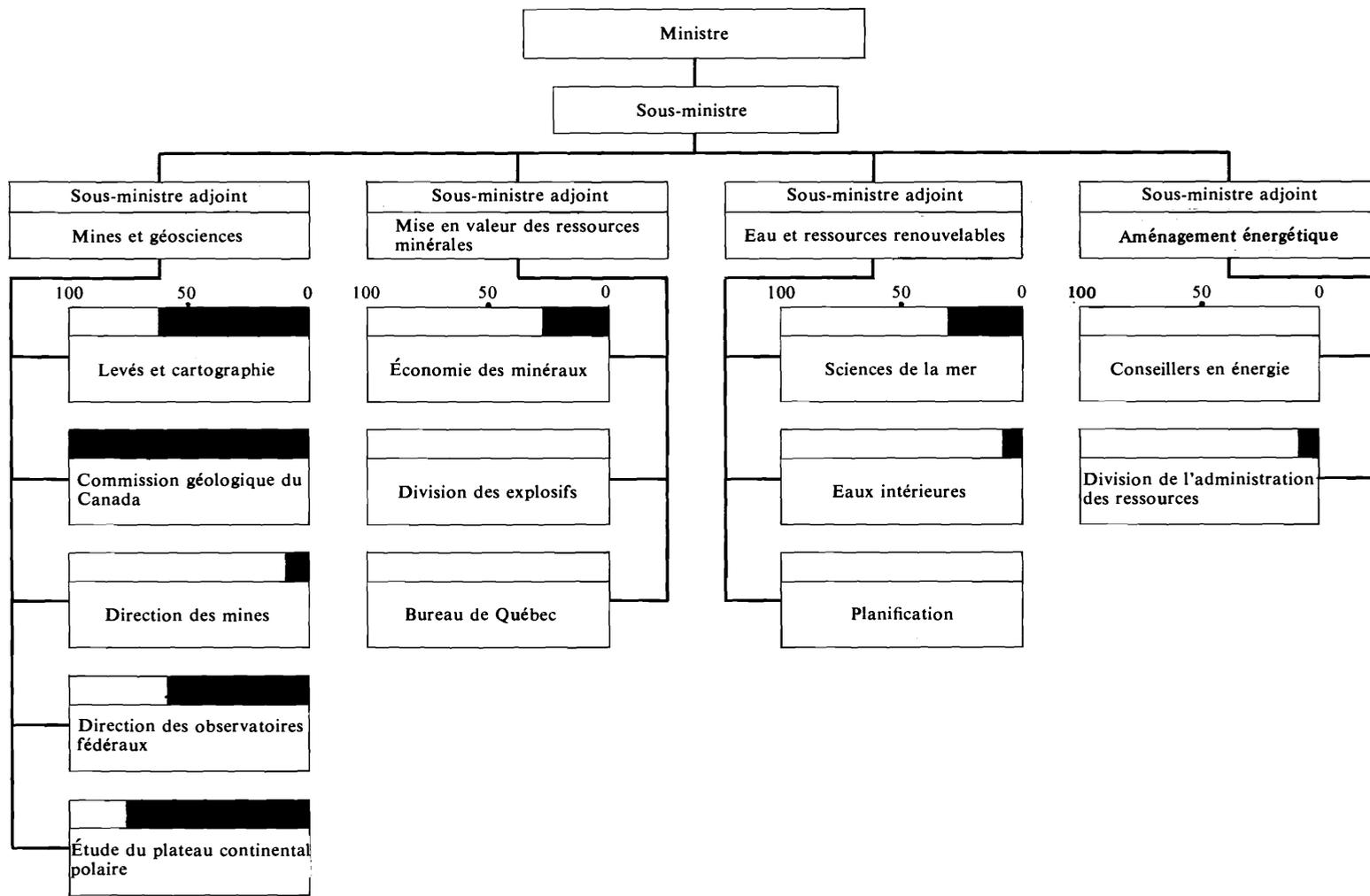


Figure 5.1 – Organigramme du Ministère de l'Énergie des Mines et des Ressources (la part du budget total qui a été allouée aux travaux géoscientifiques pendant l'exercice 1968-1969 est représentée en foncé).

chent à ses fonctions, notamment en ce qui concerne les propriétés, l'identification, la classification et l'origine des roches, des minerais, des fossiles, des structures géologiques et des formes du relief, augmentant ainsi l'efficacité de ses propres activités ainsi que celles des autres organismes publics et celles de l'industrie;

c) Constituer un cadre national de spécialistes, suppléant aux moyens de chaque province, dont la compétence est mise au service des différents organismes publics fédéraux et provinciaux, de l'industrie et du public;

3. Elle fournit des étalons de mesure, établit des normes de référence, examine les possibilités d'application des théories, met au point et à l'essai des instruments et des méthodes nouvelles, et effectue des travaux et des enquêtes pilotes pour améliorer les levés géologiques et favoriser les découvertes minières et pétrolières;

4. Elle diffuse les résultats de ses activités au moyen de ses rapports et de ses cartes, par des revues et des colloques à caractère scientifique, professionnel ou commercial, par des représentations officielles, et par sa participation aux activités des sociétés savantes nationales et internationales; elle possède des bibliothèques, des collections de carottes et autres échantillons de puits de pétrole, d'échantillons minéralogiques et paléontologiques à l'usage de son propre personnel, des autres organismes publics et de l'industrie; enfin elle fournit des renseignements géologiques au public, aux touristes, aux géologues amateurs et aux enseignants.

La Commission géologique compte cinq divisions (figure 5.2) dont quatre se situent à Ottawa et une à Calgary. Ces divisions se distinguent par leurs objectifs distincts, de la façon suivante:

1. *Division de la géologie corticale.* Elle doit étudier la géologie de formations de socle du bouclier précambrien, des Appalaches, des Basses-terres orientales, et de la Cordillère (le personnel qui étudie cette dernière région se trouve à Vancouver); à l'appui de ces travaux, entrepren-

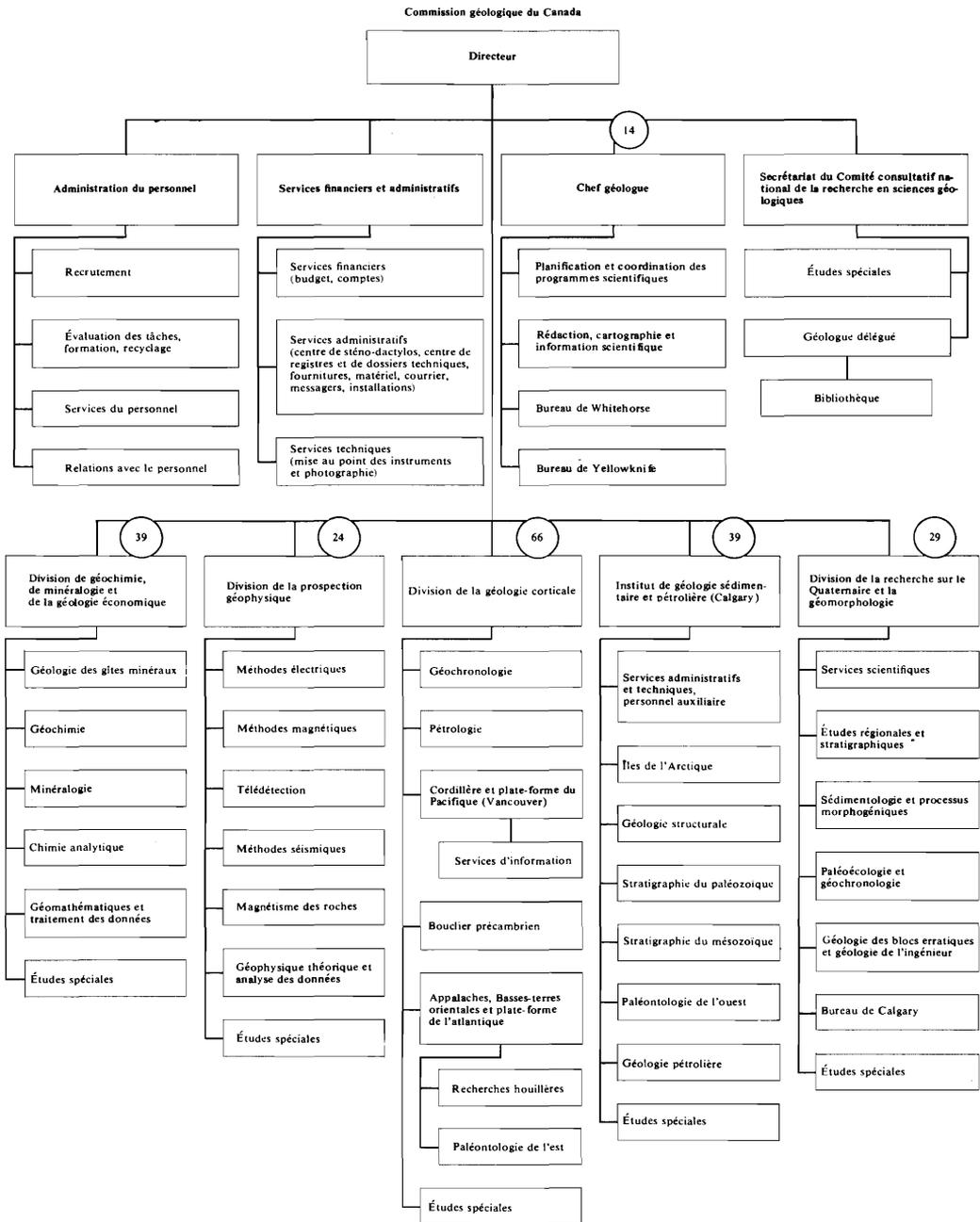
dre des recherches en paléontologie, pétrologie, géochronologie, pétrographie et stratigraphie du charbon; assurer le fonctionnement à Ottawa, pour l'Est du pays, d'une carothèque de sondages pétroliers, et fournir, à Vancouver, un service d'informations scientifiques.

2. *Institut de la géologie sédimentaire et pétrolière.* Il doit effectuer des recherches sur la géologie des bassins sédimentaires situés entre le Bouclier précambrien et l'auge des montagnes Rocheuses, ainsi que dans les îles de l'Arctique; entreprendre des investigations et des recherches en géologie du pétrole, en géochimie, en pétrologie sédimentaire, en minéralogie des argiles et en paléontologie; assurer le fonctionnement de bibliothèques, de carothèques d'échantillons de puits pétroliers, ainsi que pour l'usage des autres organismes publics.

3. *Division de la prospection géophysique.* Elle doit entreprendre des levés géophysiques pour parfaire l'étude géologique du Canada (y compris le programme fédéral-provincial de levés aéromagnétiques); entreprendre des recherches sur le paléomagnétisme et le magnétisme des roches; mettre au point instruments et méthodes de prospection, en mettant l'accent sur les procédés de télédétection et les méthodes aérogéophysiques; essayer sur le terrain des appareils nouvellement mis au point; effectuer des recherches relatives à l'analyse et à l'interprétation à l'ordinateur des données géophysiques; conseiller les organismes de l'État, le secteur privé et le public en matière de géophysique.

4. *Division de géochimie, de minéralogie et de la géologie économique.* Elle doit étudier systématiquement les degrés de concentration des éléments chimiques dont l'exploitation est rentable, les facteurs géologiques favorables à leur dépôt, et la nature des gisements où ces éléments se trouvent; étudier la provenance et la genèse des gîtes minéraux, la migration géochimique des éléments, l'identification et la classification des minéraux; mettre au point des méthodes de prospection géochimique et étendre l'ap-

Figure 5.2—Organigramme de la Commission géologique du Canada. Le nombre des spécialistes est indiqué par les chiffres encadrés.



plication des théories mathématiques et statistiques à l'étude des phénomènes géologiques et à l'évaluation minière.

5. *Division de la recherche sur le Quaternaire et la géomorphologie.* Elle doit étudier, décrire et expliquer systématiquement les dépôts meubles et les formes du relief du pays, en tenant compte de la stratigraphie, de la chronologie et de la paléontologie du Quaternaire; mettre au point et expérimenter de nouvelles méthodes de prospection axées sur la connaissance du drift glaciaire; établir une documentation sur les propriétés et le comportement des terrains, et les processus dynamiques affectant les sols et ayant de l'importance ou de l'intérêt pour les travaux de fondation et de construction.

La Direction de l'administration constitue une cinquième «division» dont la fonction est d'assurer la direction générale de la Commission et de fournir des services administratifs et techniques, ainsi que le personnel requis. Cette direction assume également les fonctions de secrétariat pour le Comité consultatif national sur la recherche en sciences géologiques, l'Institut des données géoscientifiques, et le Congrès géologique international. La Commission géologique représente le Canada au sein de l'Union internationale des sciences géologiques et du Bureau géologique de liaison du Conseil scientifique du Commonwealth. En outre, elle accorde des subventions pour encourager la recherche universitaire dans le domaine des sciences géologiques; ces sommes ont atteint le total de 263 000 dollars au cours de l'exercice 1968-1969 (voir tableau II.27).

La Commission géologique compte 211 spécialistes diplômés (163 géologues, 11 géophysiciens, 10 géographes, 7 géochimistes, 5 ingénieurs et 15 autres scientifiques). Sur ce total, 88 pour cent possèdent un diplôme supérieur, 66 pour cent ont atteint le niveau du doctorat et 49 pour cent ont acquis leur dernier diplôme à l'étranger (le chiffre correspondant est de 67 pour cent dans les départements de géologie des universités canadiennes). La répartition de ce personnel en fonction de

la structure de l'organigramme de la Commission est indiquée par la figure 5.2 et sa répartition selon les tâches spéciales qui lui sont assignées apparaît au tableau 5.3. Vingt-cinq pour cent de l'ensemble de ces spécialistes travaillent hors d'Ottawa, principalement à Calgary et à Vancouver. Le budget des activités intérieures de la Commission géologique, pour l'exercice 1968-1969, a été réparti entre les domaines de la recherche scientifique selon les proportions suivantes: recherche fondamentale, 11 pour cent; recherche appliquée, 40 pour cent; développement scientifique, 11 pour cent; collecte des données scientifiques, 18 pour cent; information scientifique, 20 pour cent.

La Commission géologique publie de nombreuses informations ayant trait aux sciences de la Terre. Au cours de l'exercice 1968-1969, son personnel a publié 92 mémoires, bulletins et études dans les périodiques de la Commission, et 100 articles dans des revues scientifiques. En outre, la Commission a publié quelque 700 cartes aéromagnétiques et 40 autres cartes géologiques.

Direction des levés et de la cartographie

La Direction des levés et de la cartographie cherche à satisfaire les besoins nationaux concernant les levés et les cartes, y compris les levés géodésiques, topographiques, planimétriques et juridiques. Elle est chargée de la préparation et de la publication des cartes topographiques nationales, de l'inventaire des photos aériennes de tout le pays, et de la publication d'un atlas du Canada. En collaboration avec les autres organismes fédéraux, la Direction s'occupe de la publication de cartes géologiques, géophysiques, géographiques et pédologiques. Les cartes de la Direction sont polyvalentes. Elles constituent la base de nombreux levés et compilations géoscientifiques. En outre, elles servent à satisfaire les besoins de l'administration publique, de la sécurité nationale, de la réglementation concernant les limites territoriales, des mesures économiques et sociales, de l'enseignement et des activités récréatives.

Le budget de la Direction pour l'exercice 1968-1969 a atteint la somme de 11.4 millions de dollars. Sur ce total, 6.8 millions de dollars (voir tableau 5.4) représentent les dépenses consacrées par le gouvernement fédéral aux sciences de la Terre; les autres dépenses, qui ne s'appliquent pas aux sciences de la Terre, répondent à des besoins dans les domaines juridique et aéronautique, ou concernent l'administration publique en général. La somme consacrée aux sciences de la Terre se répartit entre les différentes activités scientifiques comme suit: recherche fondamentale, moins de 1 pour cent; recherche appliquée, 1 pour cent; développement scientifique, 2 pour cent; collecte des données scientifiques, 28 pour cent. La direction emploie 873 personnes, dont 83 spécialistes diplômés; 85 pour cent de ceux-ci sont des diplômés du premier cycle.

La direction a pour principale tâche de rassembler les données scientifiques et de se consacrer à l'information; toutefois, elle fait quelques recherches dans les domaines de la photogrammétrie, de la géodésie et des procédés automatisés de cartographie. Elle publie surtout des cartes, soit 472 à diverses échelles durant l'exercice 1968-1969. Chaque année cet organisme alloue quelque 25 000 dollars de subventions aux universités canadiennes pour encourager la recherche dans le domaine de l'arpentage géodésique et de la photogrammétrie. La direction représente également le Canada au sein de l'Institut panaméricain de géographie et d'histoire, et fournit les services de secrétariat au Comité consultatif national du canevas planimétrique et de la cartographie.

Direction des observatoires fédéraux

La Direction des observatoires applique les principes de la physique à l'astronomie, à l'étude du soleil, des météores et de la géosphère. Ce dernier secteur comporte trois divisions:

La *Division de sismologie* rassemble et analyse les données sismiques et entreprend des recherches dans les domaines

de la sismicité et des catastrophes naturelles, de la détection et de l'identification des explosions nucléaires souterraines, et des propriétés et de la constitution physique de la croûte, du manteau et du noyau de la Terre. Elle est chargée de participer, au nom du pays, aux travaux effectués en collaboration sur le plan international quant à la détection des tremblements de terre et aux recherches connexes; par ailleurs, elle doit développer et maintenir l'infrastructure de base des stations sismologiques pour atteindre les buts précités. Cette Division fournit également des informations scientifiques dans les domaines de la sismicité, l'ingénierie anti-sismique, et sur les problèmes posés par l'interdiction des essais nucléaires. Ses recherches portent sur la création d'un réseau d'observatoires sismiques, le fonctionnement du réseau sismique de Yellowknife, les études sur la dynamique, la recherche sur la répartition et le mécanisme des ondes sismiques et des courants géothermiques, et les études sismiques de la croûte terrestre.

La *Division du géomagnétisme* est chargée de décrire le champ géomagnétique du Canada et des zones océaniques avoisinantes, en fonction du milieu et du temps. Cette tâche est accomplie grâce à un réseau de stations permanentes, un programme de levés magnétiques au sol et aéroportés, et l'étude du paléomagnétisme. Les résultats de ces études sont utilisés pour élaborer des cartes magnétiques qui servent à la navigation et à l'exploration géophysique, aux recherches sur les origines du champ magnétique terrestre, à l'étude de la conductivité électrique des roches des profondeurs de la terre, et à reconstituer l'histoire du champ magnétique terrestre à travers les temps géologiques. Les recherches de la division sont liées au fonctionnement des observatoires géomagnétiques, à la préparation des cartes géomagnétiques, ainsi qu'à l'étude du paléomagnétisme et des courants d'induction.

La *Division de la gravimétrie* a comme principale tâche de mesurer le champ de la gravité dans tout le Canada et d'ap-

Tableau 5.4—Total des fonds affectés à la recherche géoscientifique par le ministère fédéral de l'Énergie, des Mines et des Ressources durant l'exercice 1968-1969

Direction ^a ou service	Dépenses totales dans le domaine géoscientifique	Intra-muros					Extra-muros		
		Recherche fondamentale	Recherche appliquée	Développement scientifique	Collecte des données scientifiques	Information scientifique	Industries	Universités	
	En milliers de dollars	En milliers de dollars					En milliers de dollars		
<i>Secteur des Mines et géosciences</i>									
1. Commission géologique du Canada	11 686	1 092	4 035	1 140	1 777	2 072	1 307	263	
2. Direction des levés et de la cartographie	6 804	5	157	19	4 685	1 929	—	9	
3. Direction des observatoires	2 678	741	356	222	1 245	105	—	9	
4. Étude du plateau continental polaire	1 991	810	65	91	930	95	—	—	
5. Direction des mines	765	188	253	129	78	79	—	38	
Totaux partiels	23 924	2 836	4 866	1 601	8 715	4 280	1 307	319	
<i>Secteur de la Mise en valeur des minéraux</i>									
1. Direction des ressources minérales	228	—	65	—	69	89	—	5	
<i>Secteur de l'Eau^b</i>									
1. Direction des sciences de la mer	5 650	556	690	528	2 991	850	—	35 ^c	
2. Direction des eaux intérieures	977	12	373	72	416	64	—	40	
Totaux partiels	6 627	568	1 063	600	3 407	914	—	75	
<i>Secteur de l'Énergie</i>									
1. Division de l'administration des ressources	100	—	—	—	100	—	—	—	
Totaux pour le ministère	Montant	30 879	3 404	5 994	2 201	12 291	5 283	1 307^d	399^e
	%	100	11	19	7	40	17	4	1

^a Les frais d'administration du Ministère sont ventilés au prorata dans les dépenses des directions.

^b À l'exclusion des activités océanographiques et des études concernant l'eau.

^c Y compris l'évaluation des frais de navigation selon le temps de navigation recommandé par le Comité canadien d'océanographie.

^d Collecte des données.

^e Recherche fondamentale.

pliquer ces connaissances aux problèmes de géodésie et aux études des structures de la croûte et du manteau extérieur de la Terre. Ses recherches portent sur les mesures de la gravité régionale, l'établissement des stations primaires de contrôle, la mise au point des instruments, l'étude des marées terrestres et celle des cratères météoriques.

La Direction des observatoires fédéraux emploie 61 spécialistes diplômés qui étudient la géosphère: 68 pour cent d'entre eux ont des diplômes supérieurs et 26 pour cent ont obtenu leur dernier diplôme hors du Canada. Durant l'exercice 1968-1969, ces travaux géoscientifiques ont entraîné des déboursés de 2.7 millions de dollars (voir tableau 5.3). Cette somme était répartie comme suit: recherche fondamentale, 28 pour cent; recherche appliquée, 13 pour cent; développement scientifique, 8 pour cent; collecte des données, 47 pour cent; information scientifique, 4 pour cent. En moyenne, la Direction fait paraître chaque année 21 ouvrages, alors que les membres de son personnel publient 27 études dans des revues de l'extérieur. La Direction alloue également des subventions aux universités canadiennes pour encourager la recherche dans le domaine de l'astronomie et de la géophysique. Au cours de l'exercice 1968-1969, on a alloué 9 000 dollars à des universitaires pour payer des travaux conjoints sur le terrain portant sur la réfraction sismique dans la croûte terrestre.

Étude du plateau continental polaire

Dans le cadre de l'étude du plateau continental polaire (EPCP), on a entrepris des levés et des recherches dans la zone du plateau continental de l'Arctique canadien, les îles adjacentes et l'océan arctique, dans les domaines qui intéressent le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Le service travaille en collaboration étroite avec les autres Directions du ministère et fournit sur le terrain la coordination et l'aide spécialisée pour leurs études et leurs levés. Les principaux programmes entrepris avec la col-

laboration des autres Directions du ministère comprennent des levés aéromagnétiques, géodésiques, topographiques et hydrographiques, ainsi que des études de la géologie des fonds marins et du continent, des séismes, de la gravité, du magnétisme, des courants géothermiques, et de glaciologie.

Le service de l'EPCP emploie 14 personnes. Son budget annuel s'élève à 2 millions de dollars, dont 80 pour cent sont consacrés à des dépenses communes ou groupées, relatives à des travaux auxquels participent toujours plusieurs Directions ou qui relèvent de plusieurs disciplines. À certaines conditions, le service procure une aide matérielle aux équipes d'universitaires sur le terrain ainsi qu'un soutien logistique. Chaque année, six à douze équipes d'universitaires bénéficient de cette aide.

Direction des mines

Les activités géoscientifiques de la Direction des mines servent avant tout à développer la technologie des mines et de la métallurgie en vue d'utiliser et de préserver plus efficacement les ressources minérales du Canada. Les mines et la métallurgie n'entrent pas dans le cadre de la présente étude, quoique plusieurs divisions de la Direction des mines poursuivent des études géoscientifiques pour leurs fins propres, ces études représentant environ 10 pour cent des dépenses totales de la Direction.

La *Division des Sciences minérales* mène des recherches sur les propriétés et le comportement des minéraux et des matériaux, étudie les caractéristiques des associations minéralogiques dans les gisements miniers, et met au point des méthodes d'analyse des minerais, des minéraux et des métaux. Son personnel comprend 17 spécialistes diplômés ayant reçu une formation en chimie, en géologie ou en physique. Le *Centre de recherches minières*, grâce à ses laboratoires de la mécanique des roches à Ottawa et Elliott Lake, fait des recherches sur la stabilité des pentes et les mécanismes de fracturation des roches. La *Division de minéralur-*

gie effectuée des études minéralogiques visant à améliorer l'efficacité du traitement des minerais métalliques et non métalliques. Environ 40 spécialistes diplômés participent aux activités géoscientifiques de la Direction des mines: 13 sont des ingénieurs (surtout miniers), 11 des physiciens, 8 des chimistes et 8 des géologues; 62 pour cent d'entre eux possèdent des diplômes supérieurs. Les frais de ces activités pour l'exercice 1968-1969 se sont élevés à 765 000 dollars (voir tableau 5.3).

La Direction des mines assure également les fonctions de secrétariat pour le compte du Comité consultatif national des recherches sur les mines et la métallurgie. Au cours de l'année 1968-1969, la Direction a accordé aux universités des subventions d'aide à la recherche au montant de 100 000 dollars. Sur cette somme, 38 000 dollars ont été consacrés à la recherche sur les facteurs mécaniques agissant sur les roches.

Direction des ressources minérales

La Direction des ressources minérales rassemble et analyse les données sur les ressources non renouvelables et sur les industries extractives canadiennes. Étant donné le caractère international de l'industrie minérale, ses études s'étendent aux ressources non renouvelables et aux industries extractives de plusieurs autres pays, afin de fournir les éléments essentiels de la politique du Canada en matière de minéraux. Dans le cadre de cette politique, la Direction mène des recherches économiques et elle formule des programmes pour la meilleure utilisation des ressources minérales et le développement rationnel de l'industrie extractive. Son personnel comprend 38 spécialistes diplômés, dont 22 géologues et 13 ingénieurs miniers, qui travaillent principalement dans le domaine de l'économie des minéraux. Environ 25 pour cent de son budget annuel, soit 228 000 dollars (voir tableau 5.3), sont consacrés à des activités géoscientifiques.

La Direction des ressources minérales assiste le ministère en assurant la représentation du Canada au sein d'un certain

nombre de comités des Nations Unies et de l'OCDE. établit une liaison entre le Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources et l'Agence canadienne de développement international, et conseille le Ministère du Revenu national sur l'application de la loi de l'impôt sur le revenu et le Ministère de l'industrie et du Commerce sur l'application de l'IRDIA (programme de stimulation de la recherche et du développement scientifique).

Division de l'administration des ressources

La Division de l'administration des ressources, qui compte cinq spécialistes diplômés, est chargée d'administrer et de gérer les richesses du domaine de compétence fédérale au large des côtes est et ouest du Canada et de la zone entre la baie d'Hudson et le détroit d'Hudson. C'est elle qui accorde les concessions minières des terres fédérales des provinces (en vertu de La loi du rétablissement agricole des Prairies, de celle de l'établissement des soldats, etc.). Elle formule également des recommandations sur la politique à suivre en ce qui concerne les zones au large des côtes.

Il s'agit d'appliquer un certain nombre de lois et de règlements, y compris ceux qui ont trait au pétrole et au gaz naturel, aux mines, au développement minier sur les terres de l'État, etc. Cela demande des travaux géoscientifiques et comprend le rassemblement de données obtenues par l'industrie. Les renseignements géoscientifiques qui sont soumis demeurent confidentiels pendant des périodes pouvant aller jusqu'à deux ans, puis ils sont rendus publics à Ottawa, Calgary et Dartmouth. Il est difficile d'évaluer exactement le montant total des dépenses consacrées par cette Division au rassemblement des données géoscientifiques au cours de l'exercice 1968-1969; sans doute ont-elles été de l'ordre de 100 000 dollars. On projette actuellement de créer une branche de cette Division à Dartmouth pour traiter les informations et les échantillons en provenance des forages effectués au large des côtes, et on envisage d'y aménager une carothèque.

Direction des Sciences de la mer

La Direction des sciences de la mer effectue des études et des levés hydrographiques et océanographiques, afin de répondre aux besoins nationaux en matière de cartes nautiques et autres documents connexes sur les eaux côtières et intérieures du Canada, et afin de fournir des informations en océanographie. d'élaborer des atlas et autres publications. La Direction effectue des études sur les ressources de la mer dans la zone des plates-formes continentales et des océans voisins; elle effectue des travaux océanographiques sur les propriétés de l'eau, la pollution de la mer, les courants et les vagues; elle entreprend des recherches sur la théorie de la houle, sa propagation, sa répartition et les autres phénomènes marins connexes; enfin, elle conseille le gouvernement sur la position à prendre sur le plan international et les programmes à établir en ce qui concerne les océans.

Les principaux programmes géoscientifiques de la Direction comprennent des levés hydrographiques et des études ayant trait à la géophysique et la géologie des fonds marins. «La Direction des Sciences de la mer a pour tâche primordiale de fournir des informations sur les propriétés physiques (y compris celles d'ordre géophysique et géologique) du milieu marin offrant de l'intérêt pour le Canada.»¹

Les dépenses consacrées à ces activités constituent approximativement 39 pour cent du budget de la Direction. Au cours de l'exercice 1968-1969, la Direction a dépensé pour ses travaux géoscientifiques (qui ne comprennent qu'une partie des études hydrographiques) environ 5.7 millions de dollars (voir tableau 5.4). Cette somme se répartissait entre les postes suivants: recherche fondamentale, 10 pour cent; recherche appliquée, 12 pour cent; développement scientifique, 9 pour cent; collecte des données, 54 pour cent, et informations scientifiques, 15 pour cent. Les membres du personnel font surtout paraître leurs études dans des revues de l'extérieur (20 en 1968-1969), alors que les données géoscientifiques sont publiées

dans des rapports de croisière ou des rapports internes. On projette d'établir une série de cartes marines des ressources naturelles à l'échelle du 250 000^e, ou figureraient des données concernant la bathymétrie, le magnétisme et la gravité.

La Direction se répartit en trois branches, celles de l'Atlantique, du Centre et du Pacifique, sous la direction générale d'un bureau central qui détermine les besoins, distribue les ressources et fournit les services auxiliaires spécialisés. Chaque branche se livre activement à des études hydrographiques. À présent, c'est surtout sur la côte Est que l'on étudie la géologie et la géophysique des fonds marins, mais on projette d'étendre ces travaux à la côte ouest au cours des cinq prochaines années.

Le *Laboratoire océanographique de l'Atlantique* (LOA), situé à Dartmouth (N.-É.), apporte son aide aux sections de géologie des fonds marins et d'hydrographie, ainsi qu'au service de géophysique des fonds marins (qui fait partie de la section des recherches océanographiques); par ailleurs, il fournit les services de navigation pour la réalisation des divers programmes. Bien que pratiquement aucun des cadres du personnel hydrographique ne possède de diplôme officiel, dix d'entre eux sont considérés comme des spécialistes qualifiés. Ils sont chargés de la cartographie de toutes les eaux navigables de la région de l'Atlantique, ainsi que de la mise au point des instruments et des techniques s'y rapportant. La section de géologie des fonds marins comprend 14 spécialistes, dont 93 pour cent possèdent des diplômes supérieurs. Elle entreprend des études portant sur la géologie physique, la géochimie et la micropaléontologie dans la zone de la plate-forme et du talus continentaux dans certaines parties de l'océan arctique, et dans la zone de la Dorsale atlantique. La section de la géophysique des fonds marins s'occupe de faire des recherches sur les propriétés de la croûte sous-marine, afin de comprendre les mécanismes qui

¹ *Prévisions de programmes: année 1970-1971*. Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources.

ont engendré les marges continentales et les bassins océaniques. Ses sept spécialistes diplômés effectuent des études sur la gravité, le magnétisme et l'électromagnétisme dans les zones de la plate-forme continentale et de la Dorsale de l'Atlantique.

Direction des eaux intérieures

Les fonctions de cette Direction consistent à étudier et à décrire les ressources en eaux intérieures du Canada. Elle rassemble, ordonne et analyse les données scientifiques sur les eaux intérieures, effectue des recherches sur la qualité de l'eau et sur les méthodes utilisées pour lutter contre la pollution. Ses principaux programmes portent sur l'inventaire des ressources en eau du Canada, les recherches sur la circulation des eaux des lacs et le transport des sédiments, l'étude de la pollution, l'étude des facteurs intervenant dans la localisation et le comportement des eaux souterraines, de la glace dans le sol, des glaciers et des eaux de surface: la Direction met au point des méthodes, y compris des procédés technologiques, pour utiliser efficacement les ressources en eau et elle entreprend une recherche fondamentale sur les propriétés des eaux.

Les principaux travaux géoscientifiques de la Direction concernent les eaux souterraines, la glaciologie et la géologie lacustre et fluviale. Ces travaux absorbent six pour cent du budget de la Direction. Les dépenses de l'exercice 1968-1969 consacrées aux tâches géoscientifiques se sont élevées à 977 000 dollars, répartis comme suit: environ 1 pour cent pour la recherche fondamentale; 40 pour cent pour le développement scientifique; cent pour le développement scientifique. 44 pour cent pour la collecte des données; et 7 pour cent pour les informations scientifiques. Les membres du personnel publient principalement leurs travaux dans des revues de l'extérieur (18 au cours de l'année 1968-1969) et sous forme de rapports adressés au gouvernement (11 au cours de la même période).

La Direction est scindée en six divi-

sions, à savoir, celles de l'administration, de la qualité de l'eau, du génie, des Grands Lacs, des sciences hydrologiques, et des levés hydrologiques. Les travaux ayant trait aux sciences de la géosphère sont entrepris principalement au sein de la Direction des sciences hydrologiques (subdivision des eaux souterraines et de la glaciologie) et de la Division des Grands Lacs (section de la géologie fluviale et lacustre). La *subdivision des eaux souterraines* utilise les services de 18 spécialistes diplômés dont neuf possèdent des diplômes supérieurs. Ses travaux scientifiques portent sur les relations entre les eaux souterraines et le cycle hydrologique, et embrassent l'hydrologie des eaux souterraines, l'hydrogéologie. La *subdivision de la glaciologie* étudie la glace et son rôle dans le cycle hydrologique. Son personnel de 14 scientifiques se compose surtout de spécialistes de la géographie physique. La section de la géologie fluviale et lacustre, qui se trouve à Burlington (Ontario) au Centre canadien d'étude sur les eaux intérieures, effectue des travaux dans les domaines de la sédimentologie, de la géochimie organique et minérale, de la paléocéologie, et de la minéralogie des argiles, dans la mesure où ces sciences s'appliquent aux sédiments des Grands Lacs. Ce service a été créé en 1967 avec le concours de quelques membres de la Commission géologique et actuellement il emploie huit spécialistes diplômés.

La Direction des Eaux intérieures assiste également le Comité consultatif national de la recherche sur les ressources en eau, et par son intermédiaire, alloue des subventions aux universitaires qui effectuent des recherches dans le domaine de l'eau, soit 201 000 dollars pour l'exercice 1968-1969.

Direction de la planification

La Direction de la planification exerce une influence sur les travaux des sciences de la Terre en apportant son aide au Comité consultatif national de recherche géographique, en particulier en octroyant des subventions se chiffrant à 47 000 dol-

lars (au cours de l'année 1968-1969, 15 000 dollars ont été alloués à la recherche dans le domaine de la géographie physique). La Direction aide également le Comité consultatif national de la recherche sur les ressources en eau en lui allouant des subventions pour les travaux qu'il patronne (690 000 dollars pour l'exercice 1969-1970). Elle est également chargée de représenter le Canada au sein de l'Union géographique internationale.

Musée national des sciences naturelles

Il convient de signaler l'activité géoscientifique du Musée national des sciences naturelles qui se trouve à Ottawa. C'est Sir William Logan qui le premier a pensé à établir un musée national au Canada; bien qu'il s'agit d'aménager ce musée au sein de la Commission géologique, on retrouve dans la loi de 1890 sur la Commission géologique le premier énoncé des buts poursuivis:

«4b) assurer les services d'un Musée de géologie et d'histoire naturelle et rassembler, classer et disposer dans le musée en vue d'une présentation au public . . . les spécimens nécessaires pour donner une idée complète et exacte de la géologie, la minéralogie, . . . la faune et la flore du Canada.»

En 1950, le Musée n'a plus relevé de la Commission géologique du Canada et il a été pris en charge par le Ministère des Ressources et du Développement économique (qui a précédé l'actuel Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien). En 1964, il a commencé à relever du Secrétariat d'État, et en 1969, il a été intégré à la Corporation des musées nationaux du Canada, responsable devant le secrétaire d'État. La loi sur les musées nationaux du Canada (chapitre 21, 16 Élis. II, 21 décembre 1967) précise les tâches qui leur sont assignées, à savoir «présenter les choses de la Nature et les ouvrages de l'homme qui se rapportent spécialement au Canada, mais non exclusivement, afin de susciter de l'intérêt en ces domaines dans tout le pays et de diffuser les connaissances que l'on possè-

de.» Les musées sont chargés de «rassembler, classer, conserver et présenter au public les objets qui les concernent; d'entreprendre ou de subventionner des recherches appropriées; d'organiser des expositions itinérantes; de vendre des publications et des objets au public; de former des spécialistes en muséologie; d'assurer des liaisons avec les autres musées et les universités et de fournir des services techniques à d'autres organismes qui poursuivent des objectifs semblables.»

Le Musée national des sciences naturelles comprend deux divisions ayant trait aux sciences de la Terre; la Division de paléontologie et celle des sciences minérales. La Division de paléontologie s'occupe, avec l'aide de deux spécialistes, du seul domaine des vertébrés. Ses recherches actuelles portent sur la description des mammifères du Pléistocène du Yukon et celle des dinosaures du Crétacé de l'Alberta et de la Saskatchewan. La Division des sciences minérales ne comprend qu'un seul spécialiste, qui s'occupe de minéralogie. Les deux divisions sont chargées de recueillir les spécimens sur le terrain, de cataloguer et de présenter ces objets, et de diffuser de la documentation dans les écoles et au sein du public, tout en faisant circuler les spécimens des collections. En 1968, le budget de ces deux divisions s'est élevé à 138 830 dollars, soit 13 pour cent du budget total du Musée des sciences naturelles (voir tableau II.23). Au cours de l'année les deux divisions ont utilisé les services de quatre techniciens.

Ministère de l'Industrie et du Commerce

Le Ministère de l'Industrie et du Commerce est chargé de l'exécution de plusieurs programmes d'encouragement de la recherche et du développement scientifiques dans l'industrie, et de stimuler l'utilisation de la nouvelle technologie. Il s'agit notamment du Programme pour l'avancement de la technologie industrielle (PAIT) et de la loi stimulant la recherche et le développement scientifique (IR-DIA). Ces programmes ont pour objectif principal d'aider les industries manufac-

turières (ce qui est également le but des programmes semblables d'encouragement à l'industrie organisés par le CNRC et le CRD). La recherche et le développement tels qu'ils sont définis aux fins de ces programmes ne comprennent pas notamment les activités concernant « la prospection, l'exploration ou le forage miniers, pétroliers et gaziers, ni l'extraction des substances minérales. »

Au cours de l'exercice 1968-1969, 116 000 dollars ont été consacrés à l'élaboration d'instruments de géophysique dans le cadre du PAIT (voir tableau II.23). Les subventions accordées dans le cadre du programme de l'IRDIA sont fondées sur l'importance de la recherche et du développement au sein de la société concernée plutôt que sur les travaux particuliers de celle-ci. Les sociétés classées sous la rubrique « mines, puits, pétroliers et gaziers », selon les termes mêmes du BFS, ont reçu 745 000 dollars par le truchement de l'IRDIA au cours de l'exercice 1968-1969. Il n'est pas possible de préciser les travaux qui sont concernés, quoique en général ils ont trait à la production et à la bénéficiation, et à des recherches sur les instruments de géophysique.

Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canadien

L'administration du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest, des réserves indiennes dans les provinces, et la gestion des parcs nationaux et historiques constituent autant de domaines où s'exercent les activités géoscientifiques du Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien.

La *Division du pétrole et des minéraux*, qui compte 10 spécialistes diplômés, est chargée de veiller sur les ressources en pétrole, en gaz naturel et en minerais du Yukon et des territoires du Nord-Ouest, ainsi que sur celles des plates-formes continentales adjacentes (à l'exclusion de la baie d'Hudson, dont le Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources s'occupe) et celles des réserves indiennes. La Division doit également gérer les droits afférents à ces ressources. Les tâ-

ches administratives relatives à l'exploration et l'exploitation minière reposent sur douze lois et règlements, dont quatre (le Règlement sur les terrains pétrolifères et gazifères, le Règlement sur les mines du Canada, la Loi sur l'extraction du quartz dans le Yukon et la Loi sur l'exploitation des placers aurifères du Yukon) exigent des travaux statutaires et la soumission au gouvernement de renseignements géoscientifiques. Dans ce dernier cas, il peut s'agir de photos aériennes, de cartes et de rapports géologiques, de résultats de divers levés géophysiques et géochimiques, et de données sur les sondages. Les informations demeurent confidentielles pendant des périodes plus ou moins longues, généralement allant jusqu'à trois ans, puis elles sont communiquées aux services du Ministère à Ottawa, Calgary, Yellowknife et Whitehorse pour fins d'examen public. La Division est également chargée d'exécuter un programme d'aide aux prospecteurs et un autre concernant l'exploration minière, et de recueillir des données géologiques additionnelles. Les dépenses consacrées par le Ministère à l'exécution de ces programmes, au cours de l'exercice 1968-1969, se sont élevées à 5.3 millions de dollars (voir tableau II.23), incluant la participation de l'État à la prospection pétrolière confiée à la Panarctic, mais excluant les frais d'aménagement de routes.

Le *Groupe de recherches scientifiques sur le Nord* subventionne des recherches sur les problèmes nordiques. Il contribue ainsi à la réalisation d'un certain nombre d'études géoscientifiques. Ses subventions à l'Institut nord-américain de l'Arctique et à des instituts, comités et centres universitaires canadiens, se sont élevées à 250 000 dollars au cours de l'exercice 1968-1969.

Le *Comité consultatif de la mise en valeur du Nord canadien* est chargé de conseiller le gouvernement sur les programmes à établir en matière civile et militaire dans le nord du Canada, et d'assurer une coordination efficace de toutes les activités des organismes publics en ce domaine. Le Comité, qui est sous la présidence

du sous-ministre, se compose de hauts fonctionnaires (généralement des sous-ministres) de tous les ministères et organismes fédéraux qui participent à des activités concernant le Nord canadien. On assure ainsi la coordination entre les activités concernant la recherche, le développement des données géoscientifiques, d'une part, et les activités administratives du ministère, de l'autre.

Le Conseil national des recherches

La Loi sur le Conseil national des recherches assigne à cet organisme la vaste tâche d'entreprendre, d'aider et d'encourager la recherche scientifique et industrielle pour le plus grand bien du pays. Afin d'accomplir cette tâche, le Conseil assure le fonctionnement de ses propres laboratoires, surveille les progrès scientifiques grâce à ses comités consultatifs et associés, accorde des subventions de recherche et des bourses aux universités, soutient le Programme d'aide à la recherche dans l'industrie (IRAP), honore ses accords d'échanges sur le plan international et publie des revues scientifiques. Les activités du Conseil dans le domaine des sciences de la Terre se trouvent réparties entre ces différentes tâches.

Les activités géoscientifiques internes du Conseil sont exécutées principalement par le groupe géotechnique de la *Division des recherches en bâtiment* qui est chargée d'améliorer les avant-projets et les techniques de construction dépendant du comportement des sols, de la neige et de la glace ou du pergélisol. Le groupe comprend 15 spécialistes diplômés, la plupart ingénieurs civils. Les dépenses consacrées aux travaux sur la mécanique des sols et aux études sur la neige et la glace en 1968 se sont élevées à 512 000 dollars (voir tableau II.28). En outre, la section de recherches photogrammétriques de la *Division de physique appliquée* se consacre à la mise au point d'instruments et à l'élaboration de techniques photogrammétriques pouvant être utilisées dans les recherches sur la glaciologie et les avalanches.

Les *Comités associés* du CNRC jouent le

rôle d'agents de coordination en matière scientifique. Ils se composent d'experts venant des universités, de l'industrie et des services de l'État, qui sont choisis à cause de leur compétence et selon l'intérêt qu'ils témoignent pour la discipline en question. Ils revisent, coordonnent, et, s'il y a lieu, amorcent de nouvelles recherches. Sur les 42 comités, ceux dont les activités sont liées le plus étroitement aux sciences de la Terre sont les suivants:

a) Le Comité associé de géodésie et de géophysique auquel se rattachent des sous-comités de géodésie, de gravimétrie, de séismologie, de magnétisme, d'aéronomie, d'études sur les isotopes, de prospection géophysique et de volcanologie. Cet organisme constitue également le Comité national de l'Union internationale de géodésie et de géophysique, et il publie le *Bulletin canadien de géophysique*.

b) Le Comité associé de la recherche géotechnique, et ses sous-comités du moskeg, du pergélisol, de la neige et de la glace, et de mécanique des sols. Ce comité agit également pour le compte de la section canadienne de la Société internationale de géotechnique et des techniques de fondations.

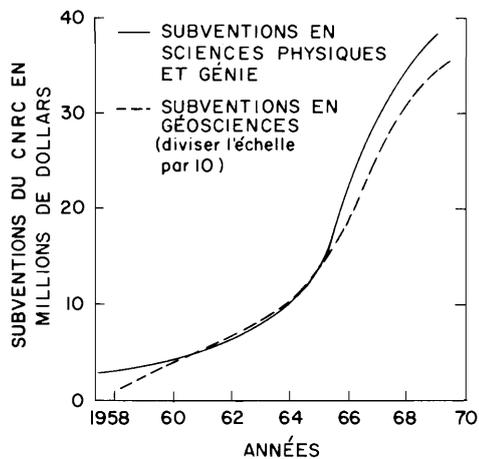
c) Le Comité associé des météorites.

d) Le Comité associé des recherches sur le Quaternaire.

e) Le Comité canadien d'océanographie, dont les membres appartiennent à des organismes qui apportent leur aide matérielle ou participent au programme océanographique national, y compris la géologie et la géophysique des fonds marins. Le comité coordonne les activités de tous les organismes de l'État, et il formule des recommandations sur les engagements internationaux du pays dans le domaine de l'océanographie.

Sur le plan international, le rôle du CNRC dans le domaine des sciences de la Terre n'est pas seulement d'adhérer aux organismes internationaux, tels que les unions internationales de cristallographie, de géodésie et de géophysique, et le Comité scientifique de recherche océanographique (SCOR), mais il vise également à maintenir des programmes d'échanges

Figure 5.3—Graphique montrant l'importance respective des subventions de l'État accordées aux universités dans le domaine des sciences de la Terre ainsi que dans les domaines des sciences naturelles et du génie, durant les années 1958 à 1969



scientifiques avec les gouvernements de l'URSS, de la France, du Brésil et de la Tchécoslovaquie. De 1960 à 1968, onze géoscientifiques canadiens ont visité l'URSS dans le cadre d'un accord conclu avec l'Académie des sciences soviétique.

Parmi ses neuf revues scientifiques, le Conseil national de recherches publie la *Revue canadienne des sciences de la Terre* et la *Revue canadienne de géotechnique*.

Le *Programme d'aide à la recherche dans l'industrie* (IRAP) est spécialement conçu pour constituer un certain nombre d'équipes de chercheurs compétents au sein des sociétés dans les domaines autres que ceux de la Défense nationale. Au cours de l'exercice 1968-1969, on a alloué, dans le cadre de ce programme, 77 000 dollars à la mise au point d'instruments de géophysique.

Le *Programme de subventions et de bourses universitaires* du CNRC vise autant à encourager la formation des chercheurs qu'à faciliter l'acquisition de nouvelles connaissances. Des comités permanents sont chargés d'allouer des subventions concertées de développement, des bourses d'études et de recherches, et des subventions annuelles. Le comité de sélection en science de la Terre se compose d'universitaires représentant diverses disciplines, qui déterminent le montant des subventions individuelles au mérite des candidats. En 1968, ces subventions atteignaient 3.1 millions de dollars (voir tableau II.27 et figure 5.3).

Ministère des Travaux publics

Le Ministère des Travaux publics est chargé de gérer et de diriger les travaux publics, ce qui inclut la construction et l'entretien d'édifices publics, de quais, de jetées, de routes et de ponts, les travaux de dragage, et ceux visant à protéger les voies navigables. Grâce à ses laboratoires d'essais, le Ministère peut faire face, avec toute la compétence voulue, aux problèmes géoscientifiques qui se posent à lui, de même qu'aux autres organismes de l'État qui se préoccupent des questions de construction.

Les études sur les fondations, la dési-

gnation de critères applicables aux études des fondations des ouvrages, et le choix des matériaux de construction en pierre sont des domaines où les sciences de la Terre interviennent.

Le personnel scientifique du Ministère compte huit ingénieurs civils spécialisés dans la mécanique des sols et des roches ainsi que dans les techniques de fondations. Leurs travaux de recherches comprennent notamment l'étude des mécanismes de résistance et de réaction des argiles ultra-sensibles aux pressions engendrées par des simulateurs de séismes, et la préparation des devis relatifs au battage des pieux dans le socle rocheux. Les résultats de ces recherches, ainsi que ceux des investigations faites sur le terrain, y compris les sondages expérimentaux, ne font généralement l'objet que de rapports internes. Au cours de l'exercice 1968-1969, les dépenses totales consacrées aux activités géotechniques de ce Ministère se sont élevées à 300 000 dollars, dont 41 000 dollars pour la recherche et le développement géotechniques.

Remarques de l'industrie minière et pétrolière au sujet des questions énoncées par le Groupe d'études

Plus de 120 sociétés minières et pétrolières ont participé à cette enquête en remplissant le questionnaire qui leur fut envoyé. Il s'agit là d'une contribution importante, car la plupart des réponses étaient soignées et détaillées. Si l'on considère que ces sociétés constituent plus des deux tiers de l'industrie extractive et effectuent environ 70 p. 100 des travaux d'exploration au Canada, on peut dire que les réponses obtenues représentent bien les vues de l'industrie minière sur les travaux actuels et sur l'avenir des sciences de la Terre au pays; on ne peut toutefois préciser jusqu'à quel point ces réponses représentaient des opinions personnelles plutôt que les vues de la haute direction des sociétés. Quoiqu'il en soit, nous faisons ci-dessous le sommaire des réponses aux diverses questions posées par le Groupe d'études.

1. Utilisation des publications scientifiques

Question: Dans quelle mesure utilisez-vous les publications des organismes du gouvernement fédéral qui ont trait aux sciences de la Terre? Veuillez donner franchement vos opinions sur leur qualité et leur utilité en citant, quand vous le pourrez, des organismes particuliers.

*Réponses (104):*¹ En général, l'on apprécie beaucoup les publications géoscientifiques du gouvernement fédéral et l'on souhaite que les services offerts se développent. Parmi les 104 réponses, 83 sociétés ont mentionné spécialement les publications ou les cartes géologiques de la Commission géologique du Canada; 50 ont indiqué que les rapports étaient utilisés fréquemment, étaient de grande qualité ou d'une valeur inestimable; 31 ne mentionnaient que leur utilisation; 11 ont critiqué les lenteurs de la publication. Les autres organismes qui ont fait l'objet de commentaires moins nombreux (entre

2 et 5 commentaires) mais favorables, comprenaient les directions suivantes du ministère de l'Énergie, des Mines et Ressources: Mines, Ressources minérales, Observatoires, Levés et cartographie, et Sciences de la mer. Le Bureau fédéral de la statistique et le ministère de l'Agriculture du Canada reçurent également quelques commentaires favorables. Quarante-six experts-conseils en géologie et géophysique ont exprimé leur satisfaction à propos des ces services.

Question: Dans quelle mesure utilisez-vous les publications des organismes des gouvernements provinciaux ayant trait aux sciences de la Terre? Veuillez donner franchement vos opinions sur leur qualité et leur utilité en citant, quand vous le pourrez, des organismes particuliers.

Réponses (91): Le nombre de commentaires a varié selon les provinces, ce qui reflétait la grande concentration des sociétés dans l'Ontario, le Québec, la Saskatchewan, l'Alberta et la Colombie-Britannique. Comme dans les réponses précédentes concernant les organismes fédéraux, on apprécie généralement l'utilité des cartes et des rapports géoscientifiques des organismes provinciaux. Chez les sociétés minières, les cartes et les rapports du ministère des Mines de l'Ontario sont très prisées et les publications similaires du Québec, de la Saskatchewan, de la Colombie-Britannique et du Manitoba sont appréciées. Les sociétés pétrolières ont loué très fréquemment le ministère des Ressources minérales de la Saskatchewan pour la qualité de ses publications; ces sociétés ont souligné l'importance des inventaires pétroliers dans toutes les provinces et ont loué les services du Conseil de recherches de l'Alberta ainsi que ceux du Conseil de préservation des ressources pétrolières et gazières de l'Alberta. On a exprimé quelques opinions sur le manque d'uniformité dans l'établissement des échelles des cartes et des systèmes de classification entre les organismes provinciaux et fédéraux.

¹ Les nombres cités entre parenthèses sont ceux des réponses données à une question particulière.

Question: Dans quelle mesure utilisez-vous les revues scientifiques canadiennes? Veuillez donner franchement vos opinions sur leur qualité et leur utilité en citant, quand vous le pourrez, des publications et des organismes particuliers.

Réponses (114): Dans l'ensemble, les réponses ont été favorables, mais quelques réserves fondamentales ont été émises à diverses reprises. Celles-ci portaient sur le fait que ces revues et bulletins sont trop «académiques» et «verbeux» et ne s'attachent pas assez aux détails pratiques d'ordre «économique» ou «technique»; la douzaine des réponses défavorables aux publications canadiennes soulignaient cette «carence». Cependant, de nombreuses sociétés ont déclaré qu'elles étaient abonnées à «toutes» les revues et qu'elles utilisaient régulièrement de deux à sept périodiques. Cette utilisation se fait soit «seulement pour des raisons d'intérêt», soit uniquement «pour des besoins de référence», ou encore parce que les revues présentent des idées modernes «extrêmement précieuses».

Douze publications ont été mentionnées en particulier. Parmi les publications utilisées à la fois par les sociétés minières et pétrolières, le *Bulletin de l'Institut canadien des mines et de la métallurgie* et la *Revue canadienne des sciences de la Terre* sont les plus prisés; ils ont fait l'objet de 36 commentaires favorables chacun. Vingt-neuf sociétés pétrolières ont loué le *Bulletin canadien de la géologie du pétrole* de la Société des géologues pétroliers de l'Alberta. Les sociétés minières ont cité *La Revue canadienne des mines* (19) et *les Mines au Canada* (10) comme étant les publications les plus utiles parmi celles qui leur sont spécialement adressées. Les autres périodiques ont eu cinq partisans ou moins.

2. Autres formes d'aide

Question: Veuillez préciser et commenter l'aide des organismes du gouvernement fédéral que vous trouvez la plus utile pour accomplir vos activités dans le domaine des sciences de la Terre.

Réponses (92): Ici nous avons obtenu

des indications intéressantes sur l'importance des contacts de l'industrie avec le personnel des organismes fédéraux. Sur les 92 réponses, 44 ont mentionné spécialement des contacts fréquents ou réguliers avec les fonctionnaires de la Commission géologique, et six autres des recours occasionnels à ce service. Le reste des réponses a fait allusion à l'avantage de pouvoir consulter les dossiers, les bibliothèques et autre documentation dans les organismes fédéraux. Les séminaires et les colloques organisés par le gouvernement sont également appréciés. Dans l'ensemble la qualité de l'aide apparaît comme satisfaisante.

D'autres directions du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources ont fait l'objet de commentaires favorables: celle des sciences de la mer, en particulier, pour les services rendus par l'Institut d'océanographie Bedford (7); celle des observatoires (4); et celle des levés et de la cartographie dont relève la Bibliothèque nationale des photos aériennes (4). Dans neuf réponses, on a considéré que le ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien était une bonne source de renseignements. Trois sociétés ont fait état de consultations avec le personnel du Conseil national de recherches.

Question: Veuillez préciser et commenter l'aide des organismes provinciaux que vous trouvez la plus utile pour accomplir vos travaux géoscientifiques.

Réponses (82): On a cité 34 fois des consultations qui ont eu lieu avec le personnel des organismes provinciaux, mais dans près d'un tiers des cas il s'agissait de contacts «occasionnels». Les réponses ont également cité comme sources de renseignements les carothèques, les bibliothèques et les dossiers mis à la disposition du public. Les différents conseils de recherches des provinces ont reçu des commentaires favorables de 10 sociétés; on a souligné l'importance du rôle qu'ils peuvent jouer en tant que consultants. Dix sociétés ont signalé qu'elles avaient eu des consultations avec des géologues résidant dans leur province; sauf deux

d'entre elles, ces sociétés exercent leur activité dans l'Ontario et le Québec. Dix autres sociétés de l'Ouest ont estimé que les entrepôts d'échantillons de sondages et services connexes de la Saskatchewan, de l'Alberta et de la Colombie-Britannique constituaient des sources d'information précieuses.

De façon générale, le nombre de réponses reçues a reflété le volume d'activité industrielle dans chaque province, se situant entre 11 pour la Colombie-Britannique et 14 pour la Saskatchewan et l'Alberta, et entre ces deux nombres pour l'Ontario et le Québec. Selon une Société, la Saskatchewan possède un «programme géoscientifique mieux orienté et organisé que n'importe lequel dans l'Ouest du Canada». Cette affirmation explique la plus grande faveur dont jouit cette province. Les différents organismes des provinces maritimes n'ont été signalés que dans six réponses.

Question: Veuillez préciser et commenter l'aide des universités canadiennes que vous trouvez la plus utile pour accomplir vos travaux géoscientifiques.

Réponses (87): Dans la majorité des cas, la recherche universitaire est apparue très importante; 22 réponses ont fait allusion à cette recherche en termes généraux ou en mentionnant des études particulières, et 22 autres ont souligné l'utilité des thèses des diplômés. Cependant, un grand nombre de sociétés se sont plaintes que «l'accent ne soit pas mis sur la recherche appliquée dont pourrait bénéficier l'industrie minière». On estime que cette lacune et le manque de services nécessaires pour analyser les thèses «limitent la portée des résultats pour l'industrie». On a aussi déploré le fait que la géologie des gîtes minéraux et la géologie du pétrole soient négligées dans les universités canadiennes.

Au dire de 21 sociétés, l'industrie devrait profiter beaucoup plus des bibliothèques, des laboratoires et de l'assistance technique des universités. Dans 21 autres réponses, on a mentionné favorablement des consultations qui ont eu lieu

avec des professeurs d'université sur des problèmes géoscientifiques particuliers. On s'est référé 14 fois à l'utilité des séminaires, des colloques et des conférences organisés par les universités pour maintenir le personnel de l'industrie au courant des réalisations actuelles.

3. La recherche géoscientifique dans l'industrie

Question: Estimez-vous qu'il faut développer la recherche géoscientifique dans l'industrie? Si oui, estimez-vous que l'on doit encourager la recherche dans l'industrie par des avantages fiscaux ou par d'autres moyens?

Réponses (95): 75 sociétés estiment qu'il faut développer dans l'industrie la *recherche géoscientifique*. Quatre pensent que cette sorte de recherche se développera naturellement au sein d'une économie stable; encore faudra-t-il que le gouvernement assure la croissance économique. Le fait que de nombreuses sociétés sont des filiales d'entreprises étrangères, pose un problème, car dans ce cas les travaux de recherches sont plutôt concentrés hors du pays. Une société a remarqué que «l'industrie doit être amenée à considérer la nécessité» de développer la recherche, et que peut-être les facteurs de la concurrence faciliteront cette évolution. Dix réponses ont nié que l'industrie devrait se livrer à la recherche et huit sont en faveur du statu quo.

Parmi les sociétés qui sont en faveur du développement de la recherche, plusieurs pensent que la solution rêvée réside dans la collaboration entre les secteurs intéressés. Cela remédierait aux répétitions de travaux qui ont lieu actuellement et avantagerait les petites sociétés qui n'ont pas les moyens de disposer d'installations ni de personnel de recherche. Onze sociétés estiment que la publication des résultats d'une telle collaboration serait bénéfique à toute l'industrie. Quatre réponses ont suggéré la création d'un institut de recherches national qui serait placé sous une direction commune (celle de l'industrie, de l'État et des universités). Trois autres réponses ont proposé une so-

lution de rechange sous la forme de programmes conjoints dans les universités et les organismes gouvernementaux de recherches.

De nombreuses sociétés (59) se sont montrées en faveur des mesures fiscales encourageant la recherche dans l'industrie. La majorité d'entre elles souhaitent que les mesures actuelles soient renforcées; plusieurs ont déclaré que les stimulants en cause devraient s'élever à 150 ou 200 pour cent des frais de recherches. On estime qu'il faut élargir considérablement la définition actuelle des activités de recherches, afin que les stimulants puissent couvrir tout le domaine de la recherche géoscientifique. Les définitions de la recherche et du développement s'appliquant au programme de l'IRDIA ont été jugées insuffisantes.

4. Formes de collaboration entre l'industrie, l'université et l'État.

Question: Quel genre d'aide ou de collaboration de la part des organismes publics et des universités serait le plus utile à l'industrie au cours des cinq prochaines années?

Réponses (93): La majorité des sociétés qui ont répondu à cette question ont cité des champs d'activité qui en fait devraient figurer dans la réponse de la question suivante. Dans 56 réponses on a signalé la nécessité de rassembler un plus grand nombre de données de base et de développer davantage la recherche ayant trait aux sciences de la Terre; 50 ont souligné le besoin très urgent d'améliorer le traitement des données et la diffusion des informations; la nécessité de mettre au point de meilleurs instruments et techniques a été signalée à 14 reprises. La formation des géoscientifiques dans les universités a été critiquée dans 16 réponses (voir question n° 6 ci-dessous).

Dans 20 réponses, on a souligné que l'industrie devrait avoir un plus libre accès aux laboratoires et aux moyens techniques actuels de l'État et des universités. Plusieurs sociétés ont proposé que l'utilisation de ces facilités et de cet équipement se fasse de façon indépendante,

moyennant des redevances ou le versement des frais de location. Onze réponses ont fait allusion à des services d'analyse de différents genres, notamment ceux qui concernent les roches et les minéraux.

Quatorze sociétés ont souhaité une plus grande collaboration de la part des universités, surtout en ce qui concerne les cours de recyclage, les séminaires, les colloques et les conférences; ces activités devraient être plus nombreuses, plus à propos et moins onéreuses. On a suggéré la nomination d'agents de liaison au sein du personnel universitaire, afin que l'industrie soit tenue au courant des nouvelles réalisations.

Quatorze sociétés ont demandé une meilleure coordination des travaux des trois secteurs. Une société a mentionné la nécessité de mettre sur pied un organisme commun de recherches; deux ont souligné l'urgence de créer un genre de centre national de recherches pour les sciences de la Terre. En ce qui touche aux responsabilités du gouvernement, on a enregistré un plaidoyer en faveur de la normalisation des règlements miniers provinciaux dans tout le pays.

Quatre sociétés ont déclaré n'être nullement intéressées par les travaux faits en collaboration avec l'État ou les universités, à cause des facteurs qui les empêchent d'investir dans des travaux dont les résultats seraient publiés, et ainsi livrés à leur concurrents.

5. Activités géoscientifiques devant être entreprises

Question: Indiquez, selon les diverses disciplines et autres catégories, les genres d'activités géoscientifiques qui doivent être entreprises au Canada pour augmenter l'efficacité de la prospection minière et pétrolière.

Réponses (86, sans compter au moins 56 opinions exprimées dans des réponses aux questions précédentes): Si l'on considère les disciplines dans leur ensemble, on constate que la géophysique a été citée en particulier dans 41 réponses, la géologie dans 39, et la géochimie dans 33. Toutefois, la plupart des sociétés

ont placé leurs réponses sous des rubriques qui correspondaient aux postes de la recherche scientifique qui sont définis au début de ce rapport. Les références à des disciplines particulières sont généralement faites occasionnellement dans le cours de la répartition des dites activités, et on les a fait figurer sous les rubriques suivantes.

Le domaine géoscientifique qui a le moins intéressé les sociétés est la recherche fondamentale, mentionnée seulement 43 fois. À cet égard, les principaux programmes préconisés ont été: l'étude générale de l'Arctique et des zones du Nord du Canada (14); les origines et la genèse des gîtes minéraux (7). Certaines réponses impliquent que les responsabilités dans le domaine de la recherche devraient être justement réparties ainsi: la recherche fondamentale devrait être exécutée dans les universités et les organismes de l'État, et la recherche appliquée devrait être confiée à l'industrie. D'une façon générale, on se plaint que la recherche fondamentale actuelle n'est pas suffisamment orientée vers les domaines qui intéressent l'industrie.

La *Recherche appliquée* a été mentionnée un peu plus souvent que la recherche fondamentale, mais elle n'a retenu l'attention que de 51 sociétés. On a souligné que l'on devait tenir compte de l'industrie dans ce domaine, car les besoins particuliers de celle-ci doivent guider le choix des problèmes à étudier. Cependant, les petites sociétés (c'est-à-dire la majorité) ont objecté qu'elles n'ont pas les moyens de se livrer à des recherches importantes. Par ailleurs, elles ont souligné les carences des recherches dans les domaines suivants: pétrole (7), prospection minière (3), essais destinés à la découverte de nouvelles utilisations économiques des minerais (3), l'incidence économique des découvertes minérales (5), et problèmes du milieu (4); ces sociétés estiment que les organismes publics et les universités doivent se charger de la plupart de ces recherches.

Plusieurs sociétés estiment que la recherche, en particulier celle des universi-

tés, laisse à désirer. On y met trop l'accent sur la recherche théorique. Selon une réponse, les subventions aux universitaires devraient être accordées pour des fins plus pratiques. Selon une autre, les universités devraient collaborer davantage avec l'industrie et même posséder «un service de consultation dans le domaine géoscientifique».

Soixante-neuf réponses ont souligné la nécessité de pousser les travaux qui s'appliquent à *la mise au point* de nouvelles méthodes (36) et de nouveaux instruments (20) dans le domaine géoscientifique. Les applications de la géophysique et la mise au point de méthodes dans cette science semblent nécessaires aux yeux de vingt sociétés qui en confient délibérément la responsabilité à l'État. Pour une dizaine de sociétés, l'élaboration de nouvelles méthodes et de meilleurs instruments d'exploration géophysique constitue un objectif d'importance primordiale.

Le *rassemblement des données scientifiques* constitue le second impératif pour les sociétés (92) qui ont répondu. Trente-trois déplorent que la couverture cartographique soit insuffisante ou incomplète, et 17 font spécialement allusion à la cartographie géologique; dans un cas, on recommande la normalisation des échelles pour toutes les cartes publiées. Vingt-huit sociétés réclament de la part de l'État un plus grand nombre de types divers de levés aériens géologiques et géophysiques. On a également jugé insuffisant le nombre d'études géologiques et géophysiques, tant régionales que locales (dans 10 cas), et celui des levés géochimiques régionaux (dans 8 cas). Les levés géochimiques des eaux de ruissellement, des sédiments de cours d'eau, des assises rocheuses et des carottes de forage apparaissent à plusieurs comme un champ d'activités que pourraient exploiter utilement les organismes de l'État. Il y a unanimité parmi ces sociétés en ce qui concerne l'insuffisance des données géoscientifiques actuellement disponibles et la nécessité d'augmenter le taux de collecte de ces données. La NASA a été citée en exemple dans le domaine de l'utilisation perfec-

tionnée des levés aériens actuellement requis.

Il semble que le problème le plus épineux qui se pose à l'industrie soit, de loin, celui du traitement de l'information scientifique, qui a fait l'objet de 100 doléances différentes. À 52 reprises, on a fait allusion aux vastes quantités de données géoscientifiques actuelles, qui, sans parler des accumulations futures, constituent le problème le plus important. Selon 10 réponses, la première mesure à prendre est de centraliser toutes les sources de données dont on dispose; 11 sociétés estiment que l'on doit compléter cette démarche par une compilation et un catalogage complets des données et de leurs sources pour faciliter les recherches et les opérations de diffusion. Dans 8 cas, on a souligné la nécessité de normaliser les classifications et les codes appliqués aux sciences de la Terre, mesure qui est nécessaire dans tout processus de centralisation. L'utilisation des ordinateurs a été considérée à 20 reprises comme la solution la plus évidente à ces problèmes. On s'est plaint 13 fois du retard apporté à la publication des nouvelles données, la plupart de ces doléances concernaient spécialement les organismes de l'État. Plusieurs sociétés estiment qu'il est nécessaire d'améliorer l'accès aux services des bibliothèques des universités et de l'État. Dans trois cas, l'on réclame un plus grand nombre de services d'analyse documentaire et de traduction.

6. Universités canadiennes et besoins en effectifs de l'industrie

Question: Les universités canadiennes répondent-elles aux besoins de l'industrie quant à la nature et au degré de spécialisation, à la qualité et au nombre des diplômés des sciences de la Terre?

Réponses (86): Les universités ont fait l'objet d'au moins trois fois autant de doléances que n'importe quel autre secteur; seulement 16 des sociétés ont indiqué qu'elles étaient complètement satisfaites à cet égard. Si 15 sociétés estiment que le nombre d'étudiants diplômés des universités canadiennes dans les discipli-

nes des sciences de la Terre est «suffisant» ou «approprié», 25 autres se sont plaintes de la pénurie en ce domaine. Dans onze des cas, on signale que cette pénurie concerne les ingénieurs et les géologues miniers en particulier.

Les plaintes ont porté le plus sur la qualité et la spécialisation des étudiants; 16 sociétés n'ont eu rien à redire à cet égard. Les doléances (35) ont porté surtout sur l'insuffisance de la formation «pratique» des étudiants. Dans 10 réponses, on a déploré l'orientation exclusivement théorique des études et on a insisté sur l'importance de traiter les aspects économiques des activités géoscientifiques; le manque d'expérience des étudiants dans les travaux sur le terrain a fait l'objet de 10 autres plaintes. Dans 6 autres réponses, on a déploré leur manque de compétence dans les sciences de base et les mathématiques, dans les techniques d'arpentage élémentaire, et on a insisté pour que les étudiants apprennent à rédiger des rapports concis et bien conçus.

Douze sociétés ont déploré que les bacheliers soient déjà trop étroitement spécialisés. La tendance croissante qui se manifeste actuellement en faveur des études du troisième cycle et des recherches théoriques de laboratoire pose un problème grave aux yeux de 21 sociétés. En général, on s'est plaint que les universités restent à l'écart des besoins pratiques de l'industrie ou même ne s'en soucient pas. Une réponse a résumé plusieurs doléances en disant que l'industrie se trouverait dans l'embarras sans l'afflux régulier de géoscientifiques en provenance de l'étranger.

7. Répartition des activités géoscientifiques dans les secteurs de l'industrie, de l'université et de l'État.

Question: A votre avis, quels changements seraient souhaitables dans la répartition actuelle des activités géoscientifiques dans l'industrie, les organismes de l'État et les universités?

Réponses (58): On n'a conseillé aucun changement majeur dans la répartition

actuelle des activités géoscientifiques, mais on a souligné la nécessité d'améliorer la coordination et les échanges d'information entre les trois secteurs. Trente-six sociétés estiment qu'il incombe au gouvernement de se charger de la coordination.

La recherche a été présentée comme une activité importante dans les trois secteurs; les universités estiment que la recherche fondamentale a la priorité sur la recherche appliquée, alors que l'industrie est de l'avis opposé. On considère que la recherche dans les organismes de l'État représente un «mélange» intermédiaire.

Onze sociétés ont fait remarquer que les universités devaient d'abord se préoccuper de former des scientifiques avant de se livrer à la recherche. Les organismes du gouvernement devraient mettre l'accent sur le rassemblement des données scientifiques, les levés cartographiques aériens, les études régionales, la compilation et la diffusion des informations scientifiques.

8. Aide aux pays en voie de développement

Question: Dans quel domaine le Canada peut-il le mieux apporter sa compétence géoscientifique aux pays en voie de développement? Si vous le pouvez, précisez le domaine de compétence et les pays intéressés.

Réponses (70): La majorité des sociétés (56) estiment que le Canada devrait envoyer dans les pays en voie de développement des géoscientifiques et des techniciens canadiens compétents pour conseiller, organiser et exécuter des travaux. Dans 35 réponses, on a mentionné l'aide à la prospection scientifique en général; 10 sociétés prétendent que c'est au Canada que cette science est la plus avancée et que, par conséquent, notre pays devrait faire partager son expérience. Dans 16 cas, on a proposé diverses techniques de levés aériens; dans 10, on a insisté sur la cartographie; et dans 7, on a mentionné l'application des techniques canadiennes de forage au diamant. Selon 13 réponses, l'évaluation et la mise en va-

leur des ressources qui ont été découvertes pourraient être mieux faites avec l'aide d'experts canadiens prêts à ces pays.

On a souligné la compétence du Canada dans le domaine des mines (3 réponses) et l'économie de la mise en valeur des minerais (2 réponses). Six sociétés ont indiqué que les pays en voie de développement pourraient bénéficier de l'aide de géoscientifiques canadiens pour organiser leurs services ministériels et leur législation minière.

Treize sociétés ont souligné l'importance de l'aide extérieure dans le domaine de l'enseignement. À cet égard, on a insisté sur les activités pratiques de prospection plutôt que sur la recherche théorique. Dans sept réponses, on a exprimé nettement l'opinion que l'enseignement devrait être donné par un personnel canadien prêté au pays étranger; il s'agit de remédier à la situation actuelle des étudiants étrangers qui sont envoyés au Canada pour recevoir un enseignement et qui refusent de retourner dans leur propre pays. Trois sociétés seulement estiment que l'enseignement donné au Canada aux stagiaires étrangers est efficace et elles limitent leur approbation à l'expérience spécialisée acquise au travail.

On a enregistré cinq réponses négatives à cette importante question et elles s'appuyaient sur la devise «le Canada en premier».

Sommaire des dossiers techniques de l'Imperial Oil Limitée, fournissant un exemple du traitement informatique des données sur les puits de pétrole canadiens

Catégories	Importance et contenu	Utilisations
Données générales relatives aux puits	56 000 puits. Tous forés. Nom du puits, emplacement du puits, date de la fin des travaux de forage, profondeurs, tubage, champ pétrolière, réservoir et zone. Situation (en état de production, abandonné, etc., rapports techniques).	Statistiques obtenues à l'imprimante, repérage automatique des traits uniques d'identification dans les divers ensembles. (Catégorie déterminante)
Évaluation des sections	30 000 des 60 000 puits—tous ont fait l'objet d'essais. Résultats des essais sur place. Identification des sections et mesure des quantités de liquides ou de gaz obtenus dans les formations, y compris les variations de densité, les impuretés, mais non les mesures de pression.	Données servant à repérer les puits dont les essais ont donné des résultats encourageants, avec élimination des puits qui ne répondent pas à certains critères.
Sections carottées	25 000 des 60 000 puits. Tous les puits carottés. Données sur les sections carottées, le nombre de pieds récupérés, le genre de carottes, et le genre de boue de forage.	Données qui permettent de repérer facilement tous les puits partiellement carottés. L'imprimante peut éliminer tous les puits non désirés.
Indicateurs des formations	55 000 puits. Tous les puits ayant fait l'objet de diagraphies et de journaux géologiques—le géologue se sert de ces données pour déterminer les profondeurs des formations.	Données utilisées conjointement avec celles d'autres catégories (évaluation des sections et sections carottées) afin de sélectionner les puits qui ont fait l'objet de prélèvements de carottes ou d'essais dans des formations déterminées. Pour fins d'évaluation des terrains à l'aide de cartes de contours des structures et des cartes d'isopaques.

Production	20 000 puits de production ou d'injection qui ont été, ou sont en état de production. Production mensuelle de 1962 à 1968 de tous les puits de l'Alberta et de la plupart de ceux de Colombie-Britannique. Statistiques de la production et des quantités injectées de pétrole, de gaz naturel et d'eau.	Établissement des listes des producteurs par réservoir ou zone. Calculs des rapports pétrole/gaz. Graphiques de la production journalière, mensuelle et cumulative de chaque puits. Calculs de la production par réservoir. Études sur les réservoirs pour évaluer la production avant et après les reconditionnements, ou afin de justifier devant l'État les estimés de production.
Analyses des gaz (fluides gazeux et hydrocarbures)	9 500 analyses portant probablement sur 7 000 puits. Toutes les analyses qui ont été effectuées par des laboratoires industriels. Pourcentage volumétrique des constituants analysés tels que méthane, éthane, propane, butane, pentane, hydrogène, oxygène, hélium, gaz carbonique.	Données permettant aux scientifiques de guider l'implantation de nouveaux puits grâce à la connaissance des variations dans la composition des fluides obtenus des puits existants et à l'aide des indicateurs des formations pour déterminer la composition probable des gaz dans diverses formations.
Analyses de l'eau	23 000 analyses portant probablement sur 17 000 puits. Toutes les analyses ont été effectuées par des laboratoires industriels. Nombre de milligrammes par litre d'éléments constituant tels que le chlore, l'hydroxyde, le calcium, le magnésium, le sodium, les carbonates, les sulfates, les sulphures, les ions rares, le fer. Mesures de la densité, de la résistivité et du pH.	Données géochimiques servant principalement à trouver des lieux propices aux découvertes pétrolières. Emploi avec l'aide des indicateurs des formations pour estimer la quantité probable d'éléments gazeux dans les formations.
Analyses des gaz dans les débris de forage	350 puits, soit tous les puits pour lesquels la société a effectué une analyse chromatographique des débris de forage. Éléments constitutants: méthane, éthane, propane et butanes.	Conversion numérique et mise en plan des éléments constitutants, à l'intention des géologues pétroliers.

Analyses chromatiques des roches-mères	Environ 150 puits, soit tous les puits pour lesquels le laboratoire 10L a effectué des analyses chromatographiques des roches-mères. Éléments constituants: C ₁ à C ₇ inclusivement, plus 24 isomères.	Données numériques servant à l'analyse du potentiel pétrolier de nouvelles régions.
Lithologie	Environ 1 000 puits dans les Territoires du N.-O. en Alberta, en Nouvelle-Écosse et en Colombie-Britannique. Projet pilote de descriptions lithologiques numériques des formations.	Étude des caractéristiques des formations dans les régions et les secteurs les plus prometteurs.
Analyse des carottes	Environ 5 000 puits dans 40 secteurs ou champs pétroliers dans le bassin de l'Ouest. Données rapportant la profondeur des échantillons, le taux de récupération des carottes, leur porosité, leur perméabilité, et les indices de K maximum, de K ₉₀ et de K vertical.	Étude des caractéristiques des réservoirs à l'aide des listes et des graphiques fournis par l'imprimante. Utilisation avec l'expression numérique des indicateurs des formations et des diagraphies pour fins de corrélations géologiques.
Conversion numérique des diagraphies d'essai aux tiges	Environ 1 000 puits dans la Saskatchewan. Étude expérimentale. Pressions et temps obtenus par calcul numérique des diagraphies d'essai aux tiges.	Étude des caractéristiques des réservoirs à partir des variations de pression. D'autres travaux sont nécessaires pour mettre au point cette méthode.

Annexe n° 8

Tableau 8.1—Activités partiellement ou entièrement géoscientifiques ou géotechniques de l'Agence canadienne de développement international dans le cadre de l'aide financière aux pays en voie de développement' période 1953-1969

Zone-Pays	Genre d'activités	Montant en dollars canadiens	Date
<i>Antilles</i>			
Antigua	Étude des eaux souterraines	250 000 (S) ²	1967
Guyanne	1) Levés topographiques et aériens	800 000 (P) ³	1968+
	2) Levés topographiques et aériens	1 800 000 (P)	1966-68
Îles sous le vent et du vent	Étude des eaux souterraines et forage de puits d'eau	200 000 (S)	1969 ?
Jamaïque	Mise en valeur de ressources en eau (hydrogéologie et génie civil)	1 000 000+(L)	1968+
La Barbade	Travaux de cartographie aérienne	50 000 (S)	1969+
Montserrat	Étude des eaux souterraines et forage de puits	75 000 (S)	1968+
Sainte-Lucie	Mise en valeur des eaux souterraines	350 000 (S)	1965+
Saint-Vincent	Mise en valeur des eaux souterraines	75 000 (S)	1968+
<i>Afrique anglophone</i>			
Ghana	Irrigation et mise en valeur des terres	500 000 (P)	1968+
Kéni	1) Travaux de cartographie aérienne	500 000 (P)	1968+
	2) Utilisation des terres et mise en valeur des richesses naturelles	1 000 000 (P ?)	1968+
	3) Matériel de prospection minière	60 000 (S ?)	1964 ?
Nigéria	1) Travaux de cartographie dans la région de l'Ouest	1 850 000 (S)	1961-64
	2) Cartographie et levés aériens	1 580 000 (S)	1965-68
Total partiel à reporter		10 090 000	
Report		10 090 000	
Ouganda	Équipement géologique	50 000 (S)	1962-63
Tanzanie	1) Travaux de cartographie aérienne	1 000 000 (P)	1968+
	2) Travaux de cartographie aérienne	1 346 000 (S)	1964-1967
<i>Afrique francophone</i>			
Algérie	Mise en valeur des richesses naturelles	?	1969 ?
Cameroun	Levé géophysique aérien	1 500 000 (P ?)	1968+
Côte d'Ivoire	Levés préliminaires	200 000 (P ?)	1969 ?
Niger	Levé géophysique aérien	1 000 000 (P)	En voie de négociation

Tableau 8.1—Activités partiellement ou entièrement géoscientifiques ou géotechniques de l'Agence canadienne de développement international dans le cadre de l'aide financière aux pays en voie de développement¹ période 1953-1969

<i>Asie</i>			
Birmanie	Matériel de photogrammétrie (Service des levés)	37 011 (S)	1955-1957
Ceylan	Inventaire des richesses naturelles	2 492 000 (?)	1955-1957
Grande-Malaisie	1) Étude des richesses naturelles et de l'utilisation des terres	1 300 000 (S)	1966-1969+
	2) Avant-projet d'implantation d'une usine hydro-électrique sur le fleuve Perak	900 000 (S)	1965-1968
	3) Levés aéromagnétique	201 000 (S)	1956-1958
Inde	1) Levé géologique et matériel	9 000 000 (P)	1968+
	2) Matériel de prospection pétrolière	1 200 000 (S)	1967+
	3) Levé géologique	100 000 (?)	1964-1965
	4) Levé aéromagnétique	207 200 (?)	1955-1956
Total partiel à reporter		30 623 211	
Report		30 623 211	
Zone du Mékong	Levés au sol, travaux de photographie aérienne et de cartographie topographique	1 300 000 (?)	1958-1962
Pakistan Occidental	Levés géologiques, topographiques, pédologiques, études de l'utilisation des terres	3 353 708 (?)	1951-1961
33 Programmes		Total:	35 276 919 dollars canadiens

¹ *Source*: dossiers de l'ACDI.

² Subvention.

³ Prêt.

Tableau 8.2—Les conseillers géoscientifiques canadiens dans les domaines de la technique et de l'enseignement—période 1953-1969

Catégories de conseillers	Durée de chaque programme	Nombre de conseillers
Conseillers:		
a) Levés aériens	1 à 2 mois	3
b) Géologie	1 à 2 mois	4
c) Géologie des terrains aurifères	2 mois	1
d) Exploitations aurifères	1 an	1
e) Législation minière	1 an	1
f) Mines, pétrole et gaz	1 an	1
Photographie aérienne	8 ans	1
Interprétation des photos aériennes (études des sols)	2 mois	1
Cartographie	2 ans	2
Forage	1 de 2 mois; 3 de 18 à 30 mois	4
Technologie:		
a) Mines	3 de 2 mois; 1 de 1 mois; 1 de 2 ans	5
b) Topographie	1 an	1
Géochimie	2 ans et demi	1
Géologie:		
a) à caractère général	7 de 1 à 4 mois; 12 de 1 à 4 ans; 5 de 4 à 6 ans	24
b) à caractère économique	42 mois	1
c) des eaux souterraines	2 mois	2
Géophysique	1 de 3 mois; un autre de 8 mois	2
Utilisation des terres	2 ans	1
Établissement des cartes	3 ans	1
Photogrammétrie	1 an	1
Photographie	2 ans	1
Professeurs:		
a) Géologie	1 de 1 an; 3 de 2 ans	4
b) Géographie	2 ans	2
c) Mines	1 an	1
Science des sols	1 de 1 mois; les autres de 2 mois	2
Levés:		
a) Topographie	3 de 1 mois; 11 de 1 à 3 mois	14
b) Instructeurs	2 mois	2
c) Levés pédologiques	1 de 2 mois; 7 de 18 à 42 mois	8
Total avant 1965	32 années de conseiller à 20 000 \$—	640 000 \$ 27
de 1953 à 1969	134 années de conseiller à 20 000 \$—	2 680 000 \$ 92

• Données extraites des dossiers de l'ACDI.

Tableau 8.3—Stages géoscientifiques organisés au Canada par l'ACDI à la date du 30 septembre 1968¹

Nature de l'étude	Durée du stage	Nombre de stagiaires
Arpentage	12 de 1 à 2 ans; 27 de 3 à 5 ans	39
Forages	3 mois	1
Génie minier	4 de 2 ans; 7 de 3 à 5 ans; 2 de 7 à 8 ans	13
Géodésie	1 et 2 ans	2
Géographie	6 de 1 à 2 ans; 20 de 3 à 5 ans	24
Géologie générale	11 de 1 à 2 ans; 20 de 3 à 5 ans	31
Géophysique	18 mois	2
Mécanique des sols	2, 3 et 4 ans	3
Mines	3 de 3 mois et 2 semaines; 1 de 1 an	4
Pédologie	5 de 2 ans; 8 de 3 à 5 ans	13
Pétrole	3 ans	2
Photogrammétrie	2 et 3 ans	2
Spectroscopie	5 ans	1
Technologie minière	3 de 2 ans; 3 de 3 à 5 ans	6
Utilisation des terres	6 mois	1
Total	435 années de stagiaires à 4 500 \$ par an = 1 957 500 \$ (On estime qu'entre 1965 et 1967 le Canada a accueilli 290 stagiaires d'outre-mer dans le domaine des sciences de la Terre)	144

¹ Données de la Division des stages de l'ACDI.

Tableau 8.4—Nombre de personnes formées au Canada en 1968 grâce au service de coopération technique, selon leurs organismes d'origine¹

	Mines et levés	Tous les autres domaines ²
Plan de Colombo	6	308
Programme du Commonwealth pour l'aide aux Antilles	10	135
Programme spécial du Commonwealth pour l'aide à l'Afrique	13	129
Autres pays et territoires	—	13
Plan canadien des bourses d'études et des bourses de recherche du Commonwealth	2	96
États africains francophones	7	149
Plan de l'Amérique latine	2	8
ATNU	7	29
UNESCO	3	9
Autres organismes	—	18
Total	50	894

¹ Données de l'ACDI.

² Les autres domaines comprennent: la santé et l'hygiène, le bien-être social, l'enseignement, l'agriculture, la foresterie, la pêche, l'énergie et les services publics, les industries de fabrication, le génie civil et le technique de construction, l'administration et la planification.

Tableau 9.1—Liste des programmes géoscientifiques du Programme de développement international des Nations Unies pour lesquels travaille un personnel canadien*. Période 1959-1969

Pays bénéficiaire	Programme n°	Nature du programme	Personnel canadien	Date	Dépenses en \$ É.-U.
Afganistan	AFG 4	Investigations sur les eaux souterraines	Hydrogéologue (2 ans)	Jan. 1963-déc. 1968	1 389 700
Argentine	ARG 12	Étude des ressources minières dans la Cordillère des Andes	Chef géologue (20 mois); photogéologue (3 ans); sous-chef (3 ans); 4 foreurs (18 mois); 2 boursiers en géologie économique (1 an); technicien labo. (1 an); levé géophysique par McPhar (8 mois, 43 211\$)	Jan. 1963-déc. 1966	1 166 900
Argentine	ARG 23	Étude des venues minéralisées au sein des porphyres	Levé géophysique (101 157 \$); 2 foreurs (15 mois)	Juin 1966-juin 1968	1 158 400
Birmanie	BIR 1	Étude de l'exploitation minière et de l'extraction du plomb et zinc	Ingénieur minier (15 mois); foreur (18 mois)	Mai 1961-mai 1964	590 400
Bolivie	BOL 6	Inventaire fondamental du potentiel minier	Chef géologue pour les travaux sur le terrain (1 an)	Mai 1961-déc. 1966	922 000
Bolivie	BOL 10	Centre d'étude du pétrole	Chargé de programme (2 ans)	Juin 1965-juin 1968	819 900
Brésil	BRE 6	Relevé des dépôts de sel gemme	Expert en forage (13 mois); experts en géologie et foreurs (5 mois)	Jan 1962-mars 1967	102 547
Burundi	BDI 5	Relevé des richesses minérales	? ? ?	Mai 1965 ? ? ?	138 500
Chili	CHI 16	Relevé des richesses minérales	Géologue (1 an); levé géophysique (4 mois); levés par photographie aérienne (14 257 \$)	Jan. 1963-août 1966	507 100
Chili	CHI 28	Recherches détaillées sur des minerais dans des régions des provinces d'Atacama et de Coquimbo	Chargé de programme (2 ans)	Juin 1966-déc. 1968	1 161 000
Chypre	CHY 2	Étude des eaux souterraines et des ressources minières	Foreurs (3 ans)	Mai 1962-mai 1967	1 340 000
Congo-Brazzaville	CONB 6	Prospection minière dans le Sud-Ouest	Foreurs (2 ans)	Jan. 1966-jan. 1969	775 900
Côte d'Ivoire	CIV 4	Étude des minerais dans le Sud-Ouest	2 foreurs (15 mois)	Juin 1964-juin 1967	1 040 900
El Salvador	ELS 3	Évaluation des gisements miniers du Nord	? ? ?	Juin 1965-juin 1968	597 500
El Salvador	ELS 4	Étude des sources géothermiques	Expert (1 an)	Juin 1965-juin 1968	998 000
Équateur	EQU 15	Relevé des ressources minières	Foreurs (3 ans)	Jan. 1964-juin 1967	819 600
Éthiopie	ETH 17	Relevé des ressources minières	Géologue minier (1 an); foreur; expert géophysicien; levé géophysique aérien (Survair); analyse des minerais (Technical Service Lab.)	Juin 1967-jan. 1971	1 347 200
Guyane	GUY 8	Levé topographique (avant-projet d'aménagement hydroélectrique)	Cartes de courbes de niveau (Shawinigan Engineering)	Jan. 1966-jan. 1968	875 500

Tableau 9.1—Liste des programmes géoscientifiques du Programme de développement international des Nations Unies pour lesquels travaille un personnel canadien. Période 1959-1969

Pays bénéficiaire	Programme n°	Nature du programme	Personnel canadien	Date	Dépenses en \$ É.-U.
Guyane	GUY 11	Levé géophysique aérien (2 ^e phase)	Mesures géophysiques aériennes (1 mois, 142 221 \$); boursier en prospection minière (2 mois); 2 foreurs (18 mois); chef de chantier de forage (2 ans)	Juin 1966-juin 1969	1 036 200
Haute-Volta	HTV 4	Étude des eaux souterraines et des richesses minières	4 foreurs (2 pour 1 an; 2 pour 8 mois) expert pour le cuivre (3 mois); géophysique des eaux souterraines-Huntec (18 mois, 79 998 \$)	Juin 1963-sept. 1968	1 050 000
Îles Salomon britanniques	RU 36	Levé géophysique aérien	Géochimiste-spectroscopiste (21 mois), opérateurs d'instruments géophysiques (5 mois); levé géophysique aérien par Seigel (5 mois, 20 427 \$)	Jan. 1964-juin 1967	984 800
Inde	IND 22	Institut de prospection pétrolière (2 ^e phase)	? ? ?	Mai 1961-août 1966	790 300
Inde	IND 64	Mise en valeur des mines dans l'État de Madras	Photogéologue (1 an)	Jan. 1967-jan. 1970	1 020 600
Inde	IND 98	Investigations sur les eaux souterraines (2 ^e phase)	Chargé de programme (18 mois)	Juin 1968-déc. 1970	707 900
Iran	IRA 1	Institut d'études géologiques	Boursier en géologie (2 mois); forage et prospection minière (18 mois)	Déc. 1960-juin 1968	1 566 300
Kénia	KEN 4	Relevé des ressources minières	Géologue minier (1 an); boursier en géologie (2 ans)	Jan. 1964-juin 1967	605 300
Madagascar	MAG 3	Relevé des richesses minières et des eaux souterraines	Foreur (6 mois)	Jan. 1963-sept. 1966	1 246 300
Mexique	MEX 4	Relevé des gîtes métallifères	Chef de programme (42 mois); 2 collecteurs de données (21 mois); géologue-expert (1 mois); boursier en géologie (1 an); opérateur d'instruments géophysiques (2 ans)	Jan. 1962-sept. 1967	896 600
Nicaragua	NIC 3	Relevé des richesses minières	Géophysiciens (27 mois); géologue-experts (1 mois); boursier en spectrographie (1 an); 2 foreurs (3 ans-18 mois); levés géophysiques photogéologiques aéroportés (2 ans, 110 782 \$)	Jan. 1963-déc. 1967	738 500
Nigéria	NIR 19	Prospection minière aéromagnétique dans le Nord-Ouest	Levé géophysique aérien-Canadian Aero Service (4 mois, 260 000 \$)	Juin 1964-mai 1967	556 500
Pakistan	PAK 15	Levé géodésique du Pakistan	Boursier en études géodésiques (1 an)	Jan. 1964-jan. 1968	687 500
Panama	PAN 4	Relevé des richesses minérales dans la région d'Azuero	Photogéologue (1 an); foreur; géophysique aéroportée (2 mois-Lockwood)	Jan. 1965-jan. 1968	829 600

Tableau 9.1—Liste des programmes géoscientifiques du Programme de développement international des Nations Unies pour lesquels travaille un personnel canadien^a. Période 1959-1969

Pays bénéficiaire	Programme n°	Nature du programme	Personnel canadien	Date	Dépenses en \$ É.-U.
Philippines	PHI 9	Institut de géologie appliquée	Chef de programme (1 an); boursier en économie des minéraux et en gestion des mines (1 an)	Jan. 1962-juin 1968	704 000
Philippines	PHI 13	Relevé des richesses houillères	2 foreurs (18 mois)	Jan. 1969-jan. 1972	523 500
Pologne	POL 4	Recherche de gisements enfouis de potasse	Boursier en prospection minière (9 mois)	Jan. 1966-jan. 1968	971 300
République Arabe-Unie	RAU 56	Évaluation de potentiel minier de la région d'Assouan	Levé aéromagnétique—Lockwood (252 000 \$)	Juin 1965-avril 1970	1 795 800
Sénégal	SEN 4	Relevé des ressources minières	Boursier en géologie appliquée (8 mois); foreur (20 mois)	Jan. 1963-déc. 1966	924 600
Somalie	SOM 14	Relevé des ressources minières et des eaux souterraines (2 ^e phase)	? ? ?	Jan. 1968-jan. 1970	776 600
Soudan	SOU 28	Relevé des richesses minières dans trois régions	Géophysicien-expert (4 mois); levé géophysique aérien	Juin 1967-sept. 1971	1 257 700
Swaziland	RU 40	Levé géophysique aérien	Géophysicien (12 mois), levé magnétique et radio-métrique aéroporté—Canadien Aero Service (1 mois, 103 293 \$); levé électromagnétique—Lockwood (6 semaines, 94 744 \$)	Juin 1965-juin 1969	462 900
Tanzanie	TAN 5	Prospection dans la zone aurifère du lac Victoria	Géologue expert (1 mois); boursiers en géologie et en géophysique (1 an)	Juin 1964-mai 1968	625 500
Togo	TOG 4	Étude des eaux souterraines et des richesses minières	Géologue minier en chef (14 mois); boursiers en géologie minières (6 mois); géophysiques aéroportée—Spartan (115 950 \$)	Jan. 1962-jan. 1965	1 273 500
Trinité et Tobago	TRI 6	Levé séismique en mer entre Trinité et Tobago	Chef du programme géophysique (6 mois)	Jan. 1968-jan. 1969	617 100
Tunisie	TUN 10	Étude des minerais du bassin de Foussana	Étude géophysique au sol—Seigal (1 an, 47 708 \$)	Jan. 1964-avril 1968	922 500
Total		44 programmes (sur 117 programmes du PDNU)	Voir le relevé du personnel canadien au tableau 9.2	Période 1959-1969:	39 322 447

^a Données fournies par le Bureau de coopération technique des Nations Unies; Rapport des programmes des Fonds spéciaux en date du 30 juin 1968.

Tableau 9.2—Géoscientifiques et géotechniciens canadiens participant aux travaux géoscientifiques du Programme de développement international des Nations Unies* période 1959-1969

Catégorie des conseillers	Durée de chaque programme	Nombre de conseillers
Conseillers pour les levés	3 mois	1
Experts		
en géologie	1 à 3 mois	3
en géophysique	2 et 4 mois	2
Foreurs	4 de 2 à 9 mois; 15 de 1 à 3 ans	19
Géochimistes		
en géochimie analytique	1 an	1
en géochimie générale	21 mois	1
Géologues		
en géologie générale	1 à 3 ans	8
en géologie économique	1 an et 40 mois	2
en hydrogéologie	2 ans	2
en géologie minière	6 mois	1
en photogéologie	2 de 1 an; 1 de 3 ans	3
en pétrologie	2 ans	1
Géophysiciens	1 de 6 mois; 2 de 1 an à 27 mois	3
Ingénieur minier	15 mois	1
Opérateur d'instrument géophysique	2 ans	1
Rassembleurs de données	de 18 mois à 2 ans	2
Total	70 années de spécialiste	

* Données fournies par le Bureau de coopération technique des Nations Unies, Rapport des programmes des Fonds spéciaux en date du 30 juin 1968.

Sociétés minières canadiennes qui se livrent à la prospection et à la mise en valeur minière dans les pays en voie de développement¹

Société	Pays et territoire
Alcan Aluminum Ltd.	Inde (une fonderie; une seconde fonderie qui doit commencer à produire en 1971 et coûtera 9 millions de dollars) Guyane (mines de bauxite) Guinée (investissement de 19 millions de dollars, soit une participation de 27 pour cent au capital social de l'exploitation des gisements de bauxite de Boke, qui doit débuter en 1972) Inde (mines de bauxite; nouvelle fonderie inaugurée en 1969) Jamaïque (mines très importantes de bauxite) Grande-Malaisie (mines de bauxite)
Allan Explorations Ltd.	Chili (terrains cuprifères)
Atlas Explorations Ltd.	Chili (terrains cuprifères)
Belra Explorations Ltd.	Chili (terrains cuprifères)
Canadian Javelin Ltd.	El Salvador (aménagement de l'ancienne mine de Montecristo en vue de l'exploitation de minerais auro-argentifères au taux de 100 t/j)
Cominco Ltd.	Groënland (participation de 66.6 p. 100 dans une concession de 3 125 milles ² offrant des possibilités de découvertes de métaux communs) Guyane Sud-Ouest de l'Inde (40 pour cent du capital social dans une usine d'extraction du zinc et d'une usine de fabrication d'acide sulfurique) Jamaïque (terrains cuprifères) Mexique (prospection pour les métaux)
Cultus Explorations Ltd.	Nouvelle-Guinée (prospection pour les métaux communs et précieux, et l'amiante)

Consolidated Halliwell	Haïti (mine de cuivre de 500 t/j)
Denison Mines Ltd.	Guyanne (concession de 9 150 milles ² pour la recherche de gisements d'uranium et d'or) Jamaïque (quatre permis de prospection, terrains cuprifères)
Falconbridge Nickel Mines Ltd.	Nouvelle-Calédonie (50 pour cent des fonds de prospection; plusieurs millions de dollars déjà dépensés) Congo oriental République Dominicaine (ensemble minier et métallurgique de 180 millions de dollars; la production doit débiter fin 1971) Nicaragua (mine d'or de La Luz; mine de cuivre de Rosita) Ouganda (72.8 p. 100 du capital social dans la mine de cuivre de Kilembe, 3 000 t/j.)
Fundy Exploration Ltd.	Costa-Rica (concession de 30 milles ² pour la prospection du cuivre)
International Nickel Company of Canada Ltd.	Costa-Rica Guatemala (ensemble minier et métallurgique de 180 millions de dollars en voie de réalisation) Indonésie-Île Sulawesi (concession de 25 milles ² pour la prospection du nickel) Nouvelle-Calédonie (40 pour cent du capital social de COFIMPAC; financement jusqu'à concurrence de 60 p. 100, soit 200 millions de dollars) Nouvelle-Guinée-Papouasie (prospection pour le nickel) Panama
Lytton Minerals Ltd.	Mexique (option prise sur un terrain cuprifère, dépenses se chiffrant à 300 000 dollars)

Noranda Mines Ltd.	Chili (prospection pour le cuivre) Colombie Costa-Rica République Dominicaine Honduras Mexique (49 p. 100 du capital de la plus grande mine de fluorine du monde) Nicaragua (61 p. 100 des capitaux investis directement dans une mine d'or de 300 t./j.) Saint-Domingue Vénézuéla
North Bordulac Mines Ltd.	Costa-Rica (demande d'une concession de 30 milles ² pour la recherche du soufre)
Pascar Oils Ltd.	Costa-Rica (concession de 25 milles ² pour la recherche du soufre)
Patino Mining Co. Ltd.	Nouvelle-Calédonie (plusieurs millions de dollars déjà dépensés en prospection)
Placer Developpement Ltd.	Nouvelle-Guinée (prospection minière) Philippines (40 p. 100 du capital social de Marcopper Mining Co. et d'un concentrateur traitant 15 000 t/j.)
Prado Explorations Ltd.	Arabie Saoudite (indices minéralisés)
Pure Silver Mines Ltd.	Mexique (30 p. 100 du capital social de trois mines d'argent; prospection pour le tungstène et le cuivre)
Sherritt Gordon Mines Ltd.	Indonésie (10 p. 100 du capital social de P.T. Pacific Nickel Indonesia)
Thermochem Industries Ltd.	Costa-Rica (prospection pour le soufre)

(1) La plupart de ces données sont tirées d'un article de R. J. Roberts intitulé *Foreign Exploration Boom* et publié dans le «Northern Miner» du 10 avril 1969.

Programmes d'aide géoscientifique à l'étranger accordé par quelques pays industrialisés

1. États-Unis

Plusieurs organismes américains mènent à bien des programmes d'aide géoscientifique à l'étranger, en particulier l'Agence de développement international (AID), et le Corps des volontaires de la Paix. Les scientifiques de la Commission géologique des États-Unis (USGS) jouent un rôle considérable dans l'exécution des programmes d'aide américains, principalement par l'intermédiaire de l'AID. Parmi les activités internationales auxquelles est associé le personnel de l'USGS, l'aide technique aux pays en voie de développement répond aux engagements les plus importants et les plus permanents du personnel de la Commission géologique.¹ Au cours des 25 dernières années, le personnel de la Commission a accompli environ 900 grandes missions dans plus de 70 pays. En 1967, 144 membres de la Commission travaillaient dans des pays en voie de développement, sans compter le personnel du Bureau de la topographie. L'extrait suivant donne une précision intéressante sur la politique américaine en matière d'aide géoscientifique aux pays en voie de développement: «Bien que l'aide technique ait porté généralement sur la cartographie géologique et l'évaluation des ressources minières et en eau, ainsi que sur la géologie appliquée et les études hydrologiques, les objectifs à long terme étaient de renforcer les organismes homologues et de former le personnel scientifique correspondant».¹

Le Corps des volontaires de la Paix fournit un grand nombre d'éléments, à un niveau inférieur et moyen, au personnel des programmes géoscientifiques, un peu de la même façon que le Service universitaire canadien outre-mer.

¹USGS, Geological Survey Research, Étude spécialisée 600-A, Washington, D.C., 1968.

2. Grande-Bretagne

L'aide technique britannique aux pays en voie de développement se trouve placée sous le contrôle du ministère du Développement dans les pays d'outre-mer, qui applique les programmes voulus et qui est directement responsable de certains organismes d'aide à l'étranger, y compris le Bureau des levés d'outre-mer (Directorate of Overseas Surveys). Ce ministère finance également d'autres services spécialisés tels que la Division d'outre-mer de l'Institut des sciences géologiques (anciennement la Commission géologique d'outre-mer). Le travail de cette Division a principalement trait aux programmes qui constituent une aide directe aux pays étrangers et il vise surtout à appuyer les études géologiques et géophysiques réalisées à l'étranger dans le cadre des programmes du PDNU. Au cours de l'année 1967-1968, des membres de cette division ont travaillé à Bahrain, en Guyane, à Hong-Kong, au Laos, en Lybie, au Maroc, à l'île Maurice, en Ouganda, au Pérou, au Swaziland, en Tanzanie et en Thaïlande.¹ En 1969, 134 géoscientifiques britanniques ont participé à l'aide aux pays étrangers, occasionnant une dépense totale (y compris les frais de laboratoires) de 670 000 livres sterling.²

3. France

Le «Bureau de recherches géologiques et minières» (BRGM) est l'organisme le plus important du gouvernement français dans le domaine des activités géoscientifiques et de la mise en valeur des ressources minières. En plus d'activités en France et dans les anciennes colonies françaises, le BRGM exécute des programmes d'aide extérieure et joue le rôle d'entrepreneur envers les gouvernements étrangers ou des firmes commerciales privées, à la fois pour la prospection et l'exploration minière; en outre, il se livre à des opérations commerciales dans les pays en voie de développement pour son propre compte. Quelques-uns des programmes du BRGM sont financés par le PDNU, d'autres par le Fonds de développement européen (FDE); ils bénéficient aussi de

l'aide financière directe du gouvernement français par le canal de son Fonds d'aide et de coopération (FAC) destiné à l'Afrique francophone et à Madagascar. Enfin, d'autres programmes sont financés par l'Association pour l'organisation des missions à l'étranger (ASMIC). En 1967, le BRGM a augmenté son budget pour ses activités à l'étranger de plusieurs millions de dollars et il a œuvré dans 25 pays en voie de développement: le Cambodge, le Cameroun, le Congo-Brazzaville, le Congo-Kinshasa, la Côte d'Ivoire, le Dahomey, le Gabon, la Haute-Volta, l'Inde, l'Indonésie, l'Iran, l'Irak, le Laos, la Lybie, Madagascar, le Mali, La Mauritanie, le Niger, le Pakistan, l'Arabie Saoudite, le Sénégal, le Tchad, le Togo, la Turquie et la Zambie.³

4. Japon

En 1962, le Japon a centralisé les fonctions de direction et les responsabilités concernant ses programmes d'aide à l'étranger au sein de son Agence de coopération technique pour l'étranger. Une des grandes activités du Japon en ce domaine consiste en études d'avant-projets techniques et d'investissements, y compris ceux portant sur les ressources hydro-électriques, les barrages, etc. ainsi qu'en relevés des richesses naturelles comme ceux qui ont été effectués au Laos et au Vénézuéla. Des conseillers géoscientifiques japonais ont œuvré récemment en Thaïlande et en Grande-Malaise. Il faut noter que le Japon, grand importateur de matières premières, axe son programme d'aide surtout sur la mise en valeur des richesses minières, notamment dans le Sud-Est de l'Asie.

¹Natural Environment Research Council. *Rapport de l'exercice allant du 1^{er} avril 1967 au 31 mars 1968*, Librairie de Sa Majesté, Londres, juillet 1968.

²Dunham, K. C., renseignement communiqué à titre personnel.

³BRGM. Rapport annuel, 1967, Paris 1968.

Publications du Conseil des sciences du Canada

Rapports annuels

Premier rapport annuel, 1966-1967 (SS1-1967F)

Deuxième rapport annuel, 1967-1968 (SS1-1968F)

Troisième rapport annuel, 1968-1969 (SS1-1969F)

Quatrième rapport annuel, 1969-1970 (SS1-1970F)

Cinquième rapport annuel, 1970-1971 (SS1-1971F)

Rapports

Rapport n° 1, Un programme spatial pour le Canada (SS22-1967/1F, \$0.75)

Rapport n° 2, La proposition d'un générateur de flux neutroniques intenses: Première évaluation et recommandations (SS22-1967/2F, \$0.25)

Rapport n° 3, Un programme majeur de recherches sur les ressources en eau du Canada (SS22-1968/3F, \$0.75)

Rapport n° 4, Vers une politique nationale des sciences au Canada (SS22-1968/4F, \$0.75)

Rapport n° 5, Le soutien de la recherche universitaire par le gouvernement fédéral (SS22-1969/5F, \$0.75)

Rapport n° 6, Une politique pour la diffusion de l'information scientifique et technique (SS22-1969/6F, \$0.75)

Rapport n° 7, Les sciences de la Terre au service du pays - Recommandations (SS22-1970/7F, \$0.75)

Rapport n° 8, Les arbres...et surtout la forêt (SS22-1970/8F, \$0.75)

Rapport n° 9, Le Canada . . . leur pays (SS22-1970/9F, \$0.75)

Rapport n° 10, Le Canada, la science et la mer (SS22-1970/10F, \$0.75)

Rapport n° 11, Le transport par ADAC: Un programme majeur pour le Canada (SS22-1970/11F, \$0.75)

Rapport n° 12, Les deux épis, ou l'avenir de l'agriculture (SS22-1971/12F, \$0.75)

Rapport n° 13, Le réseau transcanadien de téléinformatique: 1^{ère} phase d'un programme majeur en informatique (SS22-1971/13F, \$0.75).

Études spéciales

Les cinq premières études de la série ont été publiées sous les auspices du Secrétariat des sciences.

Special Study No. 1, Upper Atmosphere and Space Programs in Canada, by J. H. Chapman, P. A. Forsyth, P. A. Lapp, G. N. Patterson (SS21-1-1, \$2.50)

Special Study No. 2, Physics in Canada: Survey and Outlook, by a Study Group of the Association of Physicists headed by D. C. Rose (SS21-1/2, \$2.50)

Étude spéciale n° 3, La psychologie au Canada, par M. H. Appley et Jean Rickwood (SS21-1/3F, \$2.50)

Étude spéciale n° 4, La proposition d'un générateur de flux neutroniques intenses: Évaluation scientifique et économique, par un Comité du Conseil des sciences au Canada (SS21-1/4F, \$2.00)

Étude spéciale n° 5, La recherche dans le domaine de l'eau au Canada, par J. P. Bruce et D. E. L. Maasland (SS21-1/5F, \$2.40)

Étude spéciale n° 6, Étude de base relative à la politique scientifique: Projections des effectifs et des dépenses R & D, par R. W. Jackson, D. W. Henderson et B. Leung (SS21-1/6F, \$1.25)

Étude spéciale n° 7, Le gouvernement fédéral et l'aide à la recherche dans les universités canadiennes, par John B. Macdonald, L. P. Dugal, J. S. Dupré, J. B. Marshall, J. G. Parr, E. Sirluck, E. Vogt (SS21-1/7F, \$3.00)

Étude spéciale n° 8, L'information scientifique et technique au Canada, 1^{re} partie, par J. P. I. Tyas (SS21-1/8F, \$1.00)

II^e partie, Chapitre 1, Les ministères et organismes publics (SS21-1/8-2-1F, \$1.75)

II^e partie, Chapitre 2, L'industrie (SS21-1/8-2-2F, \$1.25)

II^e partie, Chapitre 3, Les universitaires (SS21-1/8-2-3F, \$1.75)

II^e partie, Chapitre 4, Les organismes internationaux et étrangers (SS21-1/8-2-4F, \$1.00)

II^e partie, Chapitre 5, Les techniques et les sources (SS21-1/8-2-5F, \$1.25)

II^e partie, Chapitre 6, Les bibliothèques (SS21-1/8-2-6F, \$1.00)

II^e partie, Chapitre 7, Questions économiques (SS21-1/8-2-7F, \$1.00)

Étude spéciale n° 9, La chimie et le génie chimique au Canada. Étude sur la recherche et le développement technique, par un groupe d'études de l'Institut de Chimie du Canada (SS21-1/9F, \$2.50)

Étude spéciale n° 10, Les sciences agricoles au Canada, par B. N. Smallman, D. A. Chant, D. M. Connor, J. C. Gilson, A. E. Hannah, D. N. Huntley, E. Mercier, M. Shaw (SS21-1/10F, \$2.00)

Étude spéciale n° 11, L'inventeur dans le contexte actuel, par Andrew H. Wilson (SS21-1/11F, \$1.50)

Étude spéciale n° 12, L'aéronautique débouche sur l'avenir, par J. J. Green (SS21-1/12F, \$2.50)

Étude spéciale n° 14, La recherche forestière au Canada, par J. Harry G. Smith et G. Lessard (SS21-1/14F, \$3.50)

Étude spéciale n° 15, La recherche piscicole et faunique, par D.H. Pimlott, C.J. Kerswill et J.R. Bider (SS21-1/15F, \$3.50)

Étude spéciale n° 16, Le Canada se tourne vers l'océan, par R.W. Stewart et L.M. Dickie (sous presse)

Étude spéciale n° 17, Étude sur les travaux canadiens de R & D en matière de transports, par C.B. Lewis (SS21-1/17F, \$0.00)

Étude spéciale n° 18, Du formol au Fortran, par P.A. Larkin et W.J.D. Stephen (sous presse)

Étude spéciale n° 19, Les Conseils de recherches dans les provinces, une richesse pour notre pays, par Andrew H. Wilson (SS21-1/19F, \$0.00)

Étude spéciale n° 20, Perspectives d'emploi pour les scientifiques et les ingénieurs au Canada, par Frank Kelly (SS21-1/20F, \$1.00)