

QE
185
R43
1977
c.3
oclm

GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA
COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA

REGARDS SUR LA GÉOLOGIE DU CANADA



Énergie, Mines et
Ressources Canada

Energy, Mines and
Resources Canada

1977

**Adapté de l'ouvrage
"La prospection au Canada",
par A.H. Lang, 5^e édition, 1976.**

On peut obtenir d'autres exemplaires de cette brochure
aux bureaux de distribution des publications de la
Commission géologique du Canada et au Service des
relations publiques et de l'information du ministère de
l'Énergie, des Mines et des Ressources, Ottawa.

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1981

N^o de cat. M 40-40/1977F

ISBN 0-662-91048-6

NOTIONS DE BASE

Deux faits essentiels déterminent l'histoire du globe terrestre. D'abord, on peut affirmer que son origine remonte à trois ou quatre milliards d'années.

En second lieu, il est manifeste que l'écorce terrestre a subi d'innombrables transformations tout au long de ces millénaires et que les divers processus de désagrégation et de formation qui les ont accompagnées se poursuivent sans cesse.

En déchiffrant le secret des roches, les géologues ont pu reconstituer, en large partie du moins, l'histoire de la formation de la Terre et de ses perpétuelles transformations.

Que la géologie traite principalement de phénomènes qui se manifestent depuis des milliards d'années, il n'en reste pas moins qu'elle explique de la même façon ceux qui s'exercent encore de nos jours.

DÉSAGRÉGATION DE L'ÉCORCE TERRESTRE

On croit généralement que les roches, les montagnes, les rivières et les rivages sont des éléments permanents de la topographie d'un pays. Cependant, un peu d'observation aura tôt fait de démontrer que la réalité est tout autre. Les roches se désagrègent graduellement sous l'action du gel et des agents chimiques. Des éboulements affectent la forme des montagnes. Les rivières minent leurs rives et changent leurs cours; sous l'action des vagues qui les grugent, les littoraux présentent des lignes différentes. Ces transformations sont les plus évidentes mais beaucoup d'autres adviennent constamment, imperceptiblement, au fil des jours et des jours. Si elles peuvent sembler insignifiantes à l'échelle du globe, on se rend compte que leur effet cumulatif est énorme, lorsque l'on sait qu'elles se poursuivent depuis des centaines de millions d'années. La science géologique repose sur ces transformations mêmes.

La principale composante de l'écorce terrestre est la roche cohérente, appelée roche de fond qui, lorsqu'elle n'affleure pas, est recouverte d'une couche plutôt mince de sols, de sable, de gravier, de galets et de fragments anguleux de roche. En termes génériques, on appelle ordinairement *terrain de couverture* cette mince couche terrestre. Mais l'un de ses éléments, les sols, forme une catégorie particulière. La roche de fond, tout comme les parcelles et fragments de roche contenus dans le terrain de couverture subissent les assauts constants d'agents atmosphériques de toutes sortes.



85280

Érosion atmosphérique le long des fissures dans la roche volcanique (basalte).
Noter la tendance à l'altération en masses arrondies.

On englobe dans le nom collectif d'*érosion* tous les processus qui provoquent l'usure de la Terre. Cette notion inclut cependant toutes les formes particulières d'usure, telles l'*altération superficielle* produite par les agents plus ou moins statiques de l'atmosphère, l'érosion glaciaire, éolienne, fluviale ou marine, de même que le charroi des produits d'érosion.

L'altération superficielle s'applique à toute décomposition à la surface d'une roche ou le long des fissures qui s'y trouvent, attribuable à l'action de l'humidité sous forme de pluie ou de neige fondue. On peut constater le même phénomène à l'extérieur des vieux immeubles de pierre, où la surface des blocs a changé de couleur et emprunte souvent l'apparence de pierre pourrie qui s'effrite ou même sur les affleurements de roches de fond et les fragments de roches. Seul un très petit nombre de roches sont solubles dans l'eau pure; mais la plupart le sont si l'eau a absorbé divers acides, comme l'acide carbonique, libérés dans l'atmosphère ou ramassés dans le sol au cours du ruissellement. Les fissures dans la roche accélèrent l'altération, car elles exposent de nouvelles surfaces aux intempéries et tendent à concentrer l'action des agents dissolvants.

QE
185
R43
1977
C.3
oclm

Un autre genre d'altération provient de l'alternance de dilatation et de contraction des roches pendant les journées chaudes et les nuits fraîches. Ces écarts de température provoquent l'effritement des roches dont les surfaces prennent en général la forme de masses arron-

dies. La force d'explosion de l'eau qui gèle dans les fissures, fait courir dans les montagnes où les basses températures sont fréquentes pendant les nuits d'été, est un autre type d'érosion atmosphérique ; des morceaux de roche se détachent de la masse principale et vont s'accumuler au



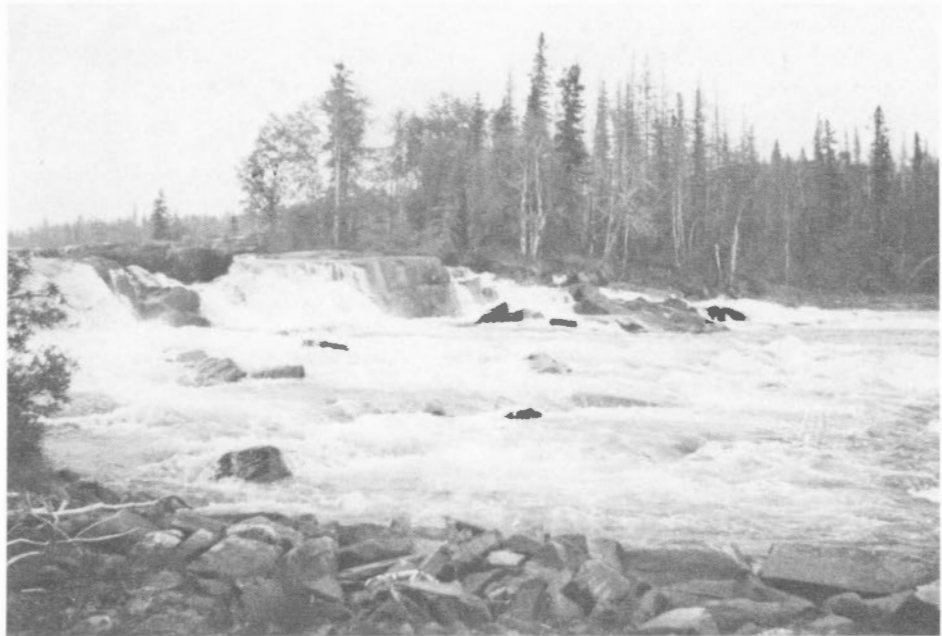
L'érosion à l'œuvre sur les hauteurs qui dominent Hazelton (C.-B.). On remarque aussi des petits glaciers de type alpin et des petits cirques. On voit en outre des talus d'éboulis le long des flancs de la vallée.

83033



Érosion en terrain montagneux, massif de Saint-Élie (C.-B.) (Photo A. R. C. 17-22L)

Érosion dans des roches précambriennes. Chutes et rapides de la Yellowknife.



84382

pieu des falaises, pour former ce que les montagnards appellent des « clapiers ». Les géologues emploient l'expression « talus d'éboulis » pour désigner ces amas de fragments anguleux et de terrain de couverture qui ont glissé sur la pente, attirés par gravité.

Nous savons tous que le mouvement des eaux est l'un des plus puissants agents d'érosion qui soit. Que l'on se rappelle les ravins creusés dans les champs par une pluie assez forte pour transporter un peu de sol de même que l'éboulement des berges minées par les cours d'eau et les vagues. Il n'en faut pas davantage pour déduire que l'action de l'eau dans les rapides et les chutes, quoique moins évidente, est certes plus puissante. Le courant peut alors affouiller le lit d'un ruisseau ou d'une rivière, charriant des blocs de pierre et de cailloux qui, projetés les uns contre les autres, s'usent et se fragmentent peu à peu en particules de plus en plus petites. L'eau n'est cependant pas l'unique responsable de ces transformations ; il faut noter aussi l'effet abrasif des innombrables grains de sable à arêtes vives qui, mus par un cours d'eau rapide, usent lentement au passage la roche de fond ou les blocs les plus durs. Les vagues qui se brisent sur les rivages des lacs ou des océans en reculent les contours ; les matériaux détachés de la rive s'effritent sous l'action directe de l'eau et des grains de sable qui y sont vivement agités. Les cours d'eau élargissent leurs vallées ; ils changent graduellement leur route et creusent toujours plus creux leur lit. En certains endroits, ces transformations surviennent assez rapidement pour qu'on puisse les observer au cours d'une vie humaine. Sachant que cette érosion peut se poursuivre pendant des millions d'années, on comprend facilement

que les eaux en mouvement aient pu user le sol et façonner falaises, collines et vallées.

Bien que leur action ne soit pas aussi universellement importante que celle des eaux en mouvement, les vents n'en sont pas moins en plusieurs endroits d'importants agents d'érosion. Les grands vents représentent un problème sérieux dans nombre de régions agricoles, car ils



88162

Érosion de roches (grès) le long du littoral du golfe Saint-Laurent.

emportent le précieux sol végétal. Les tempêtes de sable ne font pas que transporter le sable d'un endroit à l'autre : leur effet abrasif se fait sentir sur les plus gros fragments de roche et contre les affleurements de roches de fond qu'elles usent et polissent à la façon d'un jet de sable.

Comme on connaît moins bien les puissants agents d'érosion que sont les glaciers et que ce sujet exige de plus amples explications, nous le traitons en dernier lieu. C'est au sommet des hautes montagnes comme celles de l'Ouest canadien que l'on retrouve ces nombreuses masses de glace, les glaciers alpins, résistant même aux étés les plus chauds. Il existe aussi, étalés sur de vastes étendues des régions arctiques comme l'île Baffin et le Groenland ou dans quelques régions montagneuses, d'énormes glaciers appelés champs de glace. Les glaciers se forment partout où il tombe plus de neige en hiver qu'il n'en fond en été. À ces endroits, le poids de la neige fraîche tasse la neige sous-jacente, qui finit par se recristalliser en glace solide. La partie inférieure du glacier, en raison du poids de la glace et de la neige qui la recouvrent, se déplace lentement par écoulement plastique. Ainsi, l'eau congelée qui tombe sous forme de neige avance graduellement jusqu'à l'extrémité inférieure du glacier, où sa fonte donne naissance à un cours d'eau. Lorsque la fonte s'effectue moins vite que l'accumulation de neige nouvelle, le volume du glacier s'accroît et l'on dit alors qu'il est en pro-

gression. Advenant le contraire, le volume du glacier diminue et l'on dit qu'il est en recul. De nos jours, période relativement tempérée, la plupart des glaciers sont en recul. Plusieurs fois au cours de l'histoire géologique du globe, le climat fut si rigoureux que d'immenses calottes glaciaires, dont l'épaisseur pouvait atteindre des milliers de pieds, recouvrirent de grandes étendues continentales. Après la fonte de ces calottes glaciaires, mais avant que le climat devienne aussi tempéré qu'il l'est maintenant, les glaciers du type alpin abondaient. Ils s'unissaient pour former de longues bandes de glace, appelées glaciers de vallée, qui s'écoulaient lentement dans les grandes vallées des régions montagneuses.

L'érosion glaciaire se produit de diverses manières. La glace de fond s'avance, emportant des fragments de roche qu'elle déposera en route au moment de la fonte ; l'action de ces fragments ressemble à celle des dents de râpes gigantesques qui se déplaceraient lentement. Les plus grosses creusent de profondes cannelures dans le terrain de couverture ou la roche de fond sur le parcours du glacier ; les plus petites strient et polissent les saillies de la roche de fond et produisent ces affleurements rayés et patinés qui abondent au Canada. Les glaciers servent aussi de moyen de transport aux fragments de roc tombés des pics, les charriant à leur surface jusqu'à la fonte. Au sommet des glaciers alpins, la glace pénètre dans les

Vue de la rivière White et du fleuve Yukon (Yukon), montrant les sédiments charriés par ces cours d'eau et déposés sur le fond plat des vallées. (Photo A. R. C. T1-36R.)





Cône alluvial formant un delta.

120527

fissures rocheuses et entoure les fragments de roche ; elle les arrache à la masse principale et les emporte pour former des bassins semi-circulaires appelés cirques.

Ainsi les régions terrestres actuelles s'usent lentement à cause des cycles d'érosion, de transports et de dépôts, répétés à maintes reprises, qui ont inscrit leur histoire dans les strates accumulées au cours des âges. Mais si aujourd'hui la Terre n'est pas qu'une boule lisse, c'est que, à l'exception du lent accroissement de la quantité de sels dissous dans les eaux des océans, l'enlèvement de matériaux des régions terrestres a toujours été compensé par le dépôt de sédiments. Voyons maintenant comment s'opèrent le transport et la sédimentation des produits de l'érosion.

TRANSPORT ET SÉDIMENTATION

Au cours du long trajet qui les mènent à la mer, les sédiments empruntent plusieurs moyens. Ils entreprennent d'abord le lent cheminement qui les mène du haut des pics rocheux jusqu'aux rivières, le long des flancs des montagnes, des collines et des pentes sous les falaises. Souvent, ils sont entraînés à toute vitesse soit par des éboulements, suite du détrempage excessif des matériaux ou de la dilatation provoquée par le gel, soit par des avalanches de neige. Lorsqu'ils n'ont pas été stoppés en route et qu'ils parviennent enfin à rejoindre un cours d'eau, ils ajoutent aux autres sédiments déjà arrachés au sol et que le cours d'eau charrie. C'est la rivière qui devient alors maîtresse de son destin. S'ils sont trop gros, elle les déposera sur un banc avec les autres galets, le gravier ou le sable ; s'ils sont plus petits, elle les transportera plus

loin, dans les lacs et les océans, où elle les déposera sous forme de sable, de vase ou d'argile. Les courants font le tri des débris provenant de l'érosion par les vagues, de manière à laisser les plus gros fragments et les galets constituer des grèves, tandis que le sable demeurera en eau peu profonde, et la boue en eau plus profonde. Une bonne partie de la matière dissoute dans l'eau des rivières vient se mêler à l'océan pour former l'eau de mer qui, contrairement à la croyance populaire, n'est pas un simple composé d'eau et de sel ordinaire, mais plutôt un mélange de presque tous les éléments, ne fût-ce qu'en quantités infimes. Cependant, certains de ces éléments contenus dans l'eau de mer s'en vont, soit par des réactions chimiques, soit par l'évaporation, dans des lagunes ; ils y forment des dépôts de chaux, de sels et de divers autres sédiments d'origine chimique. Comme nous l'avons déjà mentionné, le vent est lui aussi un agent d'érosion qui transporte et dépose de fortes quantités de poussière et de sable dans certaines régions. Comme l'eau et le vent agissent de façon intermittente et que les particules déplacées sont à peu près de même couleur et de même dimension, une bonne partie des sédiments ainsi formés sont nettement stratifiés. L'épaisseur de chaque couche varie et peut même atteindre plusieurs pieds. Les glaciers charrient de l'argile, du sable et de plus gros fragments de roches, anguleux ou arrondis, qu'ils déposent sous forme de *till* en nappes irrégulières et en crêtes appelées *moraines*. Il arrive aussi que la matière la plus fine soit emportée dans des rivières et des lacs temporaires créés par la fonte de la glace, et prenne forme d'argile, de silt, de sable ou de graviers glaciaires stratifiés.

Lorsque les sédiments — quelle que soit leur origine — ne sont pas encore consolidés, ils peuvent subir les effets de l'érosion et se retrouver ailleurs ; ou bien ils peuvent rester en place et s'enfouir de plus en plus profondément sous des couches superposées de sédiments, jusqu'à ce qu'ils deviennent compacts et cimentés en roches sédimentaires dures. (Nous en traitons plus en détail plus loin.) Certaines parties de l'écorce terrestre renferment des accumulations de roches sédimentaires et volcaniques beaucoup plus épaisses que d'autres. Elles prennent la forme de dépressions allongées et peu profondes, appelées géosynclinaux, que l'on trouve au large des terres soumises à l'érosion et qui s'enfoncent graduellement à mesure que s'ajoutent de nouvelles strates. On qualifie de *marins* les sédiments déposés dans les océans et de *continentaux*, ceux qui aboutissent en eau douce ou directement sur le sol.

VOLCANS ET PLUTONS

Jusqu'ici, nous n'avons parlé que de la sédimentation causée par l'usure de roches déjà formées, alors que, dans nombre de cas, des roches d'une autre catégorie forment aussi les couches sédimentaires. Ces roches se sont consolidées dans l'écorce terrestre soit à partir de la lave en fusion, répandue par les volcans sur le sol, sous les océans et lacs, soit à partir de matériaux en fusion ou autres, qui n'ont jamais atteint la surface. On les groupe sous l'expression générale de roches *ignées* (d'un mot latin signifiant feu) et on les répartit en deux catégories principales : les roches *volcaniques*, formées à la surface, et les roches *plutoniques*, formées sous la surface. Les volcans et les laves qu'ils crachent comptent parmi les phénomènes naturels les plus impressionnants ; comme il est possible de les étudier dans diverses parties du monde, on connaît bien



Stock et petites masses, dykes et filons-couches de granite et de roches apparentées (en blanc) qui ont fait intrusion dans des roches sédimentaires métamorphosées (en gris sombre) du Bouclier canadien, Territoires du Nord-Ouest. On peut voir aussi trois longs dykes de diabase plus récents (en gris sombre). Les régions plus foncées sont des lacs. Cette photographie aérienne embrasse une étendue d'environ trois milles carrés. (Photo A. R. C. A5619-36).

l'origine des diverses catégories de roches volcaniques. On ne peut évidemment pas voir les roches plutoniques en voie de formation, parce que le processus est souterrain ; elles ne nous apparaissent que longtemps après leur formation, une fois mises à nu par l'érosion. C'est donc sur les données indirectes que se fonde notre connaissance du centre de la Terre et de l'origine des roches plutoniques. Nous allons les exposer dans leurs grandes lignes.

On sait qu'à l'intérieur de l'écorce terrestre la température s'élève à mesure qu'on descend dans les mines et les puits profonds, à raison d'un degré F par 60 pieds. Même s'il est peu probable que ce taux soit constant à de grandes profondeurs, la température y est certainement élevée, comme le prouvent les sources thermales et la lave brûlante qui en maints endroits montent à la surface. La chaleur provient probablement, dans une large mesure, de la désintégration naturelle d'éléments radioactifs comme l'uranium ; elle dépasse le point de fusion des roches de surface. Toutefois la pression augmente aussi à mesure que l'on s'enfonce et devient telle, dans les régions profondes, que la plupart des roches demeurent à l'état solide ou plastique. C'est ce que confirme le comportement des ondes sismiques, qui se propagent comme si la plus grande partie de l'intérieur de la Terre était solide. Ces ondes nous fournissent également une preuve convaincante que l'intérieur de la Terre se divise en zones de composition différente qui se fondent probablement les unes dans les autres. Par ailleurs, le fait que nous puissions calculer le poids global de la Terre d'après les effets de la gravitation est une deuxième source de renseignements. Le poids ainsi calculé est bien supérieur à ce qu'il serait si l'intérieur était formé de roches relativement légères, comme celles qui prédominent dans les parties de l'écorce que nous pouvons examiner. L'intérieur doit donc se composer de matériaux lourds et denses dont le poids, à différentes profondeurs, peut être mathématiquement calculé. Les météorites qui tombent parfois sur la Terre constituent une troisième source de renseignements. Comme ce sont apparemment des fragments de planètes désintégrées ou provenant de corps célestes plus petits, ils nous renseignent sur la formation probable de l'intérieur de la Terre. Certains météorites se composent de roches denses et de couleur foncée, tandis que d'autres, encore plus lourds, sont un mélange de nickel et de fer. On peut donc raisonnablement supposer que l'intérieur de la Terre est d'une composition analogue.

À partir des données que nous venons d'énumérer et qui se confirment mutuellement, nous pouvons nous faire une idée assez juste de l'intérieur de la Terre. Le comportement des ondes sismiques indique que les roches de la croûte, très semblables à celles que nous pouvons examiner à la surface, s'étendent sur une profondeur de 15 à 40 milles sous les continents et d'environ 5 milles sous le fond des océans. Vient ensuite une zone d'une matière moins élastique, qui forme le *manteau*. Cette zone est probablement près du point de fusion presque partout et à l'état de fusion là où la température est plus élevée et la pression plus basse. Les matériaux se comportent

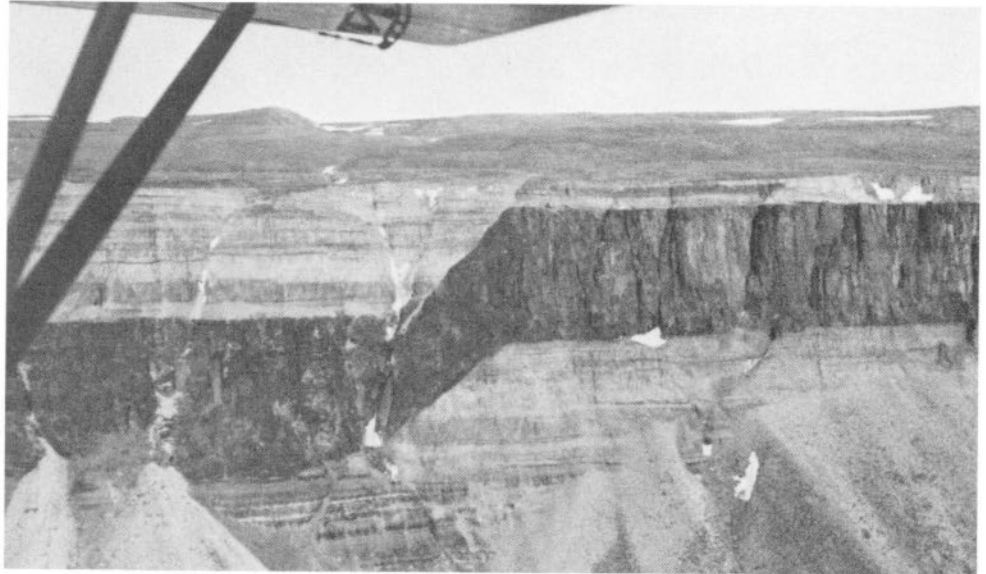
comme s'ils étaient à l'état solide pendant les brèves périodes de tension, et comme un écoulement plastique pendant des périodes plus longues. La pression provoquée par cet écoulement peut expliquer en partie les mouvements de la croûte terrestre. Le manteau aurait une épaisseur d'environ 1 800 milles, d'après les calculs effectués. Il transmet des ondes sismiques comme s'il était solide et il a à peu près la même composition que les roches ultramafiques et les ferro-silicates. Les matériaux compris entre le manteau et le noyau de la Terre s'étendent sur un rayon de 2 200 milles, et l'on pense qu'ils sont composés de nickel et de fer. Ils se répartiraient en deux zones : un noyau intérieur solide et une couche extérieure fluide.

Dans les régions montagneuses très érodées, ou dans les régions autrefois montagneuses, on trouve souvent des masses de roches cristallines à gros grains (roches plutoniques), comme le granite ou la diorite, qu'on appelle *plutons*. Les masses moins considérables de roches plutoniques s'appellent *stocks* (figure 1) et celles qui mesurent plus de 40 milles carrés se nomment *batholites*. Pour que les grains assez gros qui caractérisent les roches plutoniques puissent se former, il a fallu une lente cristallisation à



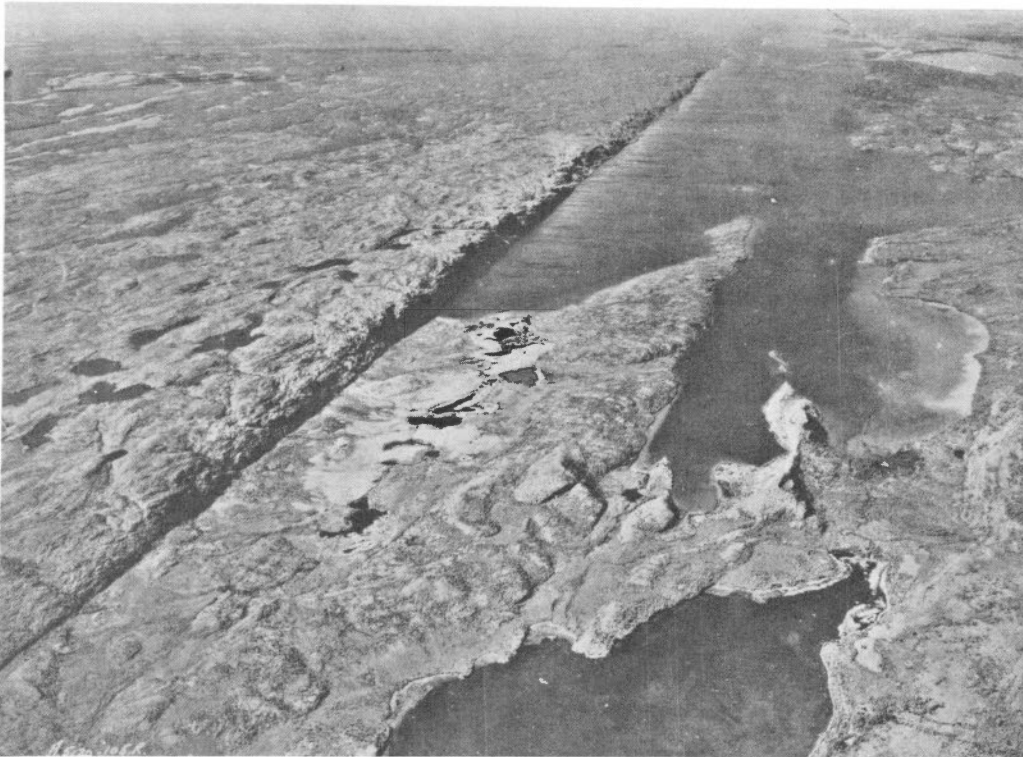
85468

Granite traversé par un petit dyke d'aplite, recoupé lui-même par un dyke de lamprophyre.



Changement d'horizon d'un filon-couche de gabbro à diabase de la fin du précambrien, le long d'une fracture, Îles de l'Arctique.

131185



Érosion le long d'une grande faille dans le Bouclier canadien, Territoires du Nord-Ouest (photo A. R. C. A5120-105R).

des milliers de pieds sous la surface. On croyait anciennement que la formation de ces roches prenait place dans le manteau, situé immédiatement sous la croûte, en larges masses liquides ou plastiques appelées *magmas*. On croyait aussi que la diversité de composition des roches plutoniques provenait en partie d'une ségrégation de la matière à l'intérieur du magma, et en partie de l'action du magma sur les roches avoisinantes de la croûte. On relève cependant sur certaines roches granitiques des indices d'une cristallisation à partir principalement d'un rema-

niement des roches sédimentaires de la croûte ; cette cristallisation se serait produite à des profondeurs considérables par rapport à la surface actuelle, après que les roches de la croûte eussent été imprégnées de solutions provenant de plus grandes profondeurs. Certains géologues sont maintenant d'avis que toutes les roches plutoniques se forment de cette façon, c'est-à-dire par *granitisation* ; cependant la plupart d'entre eux estiment que les deux processus jouent dans la formation de ces roches.

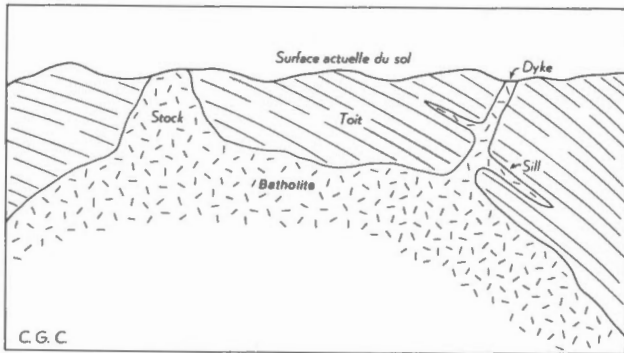


Figure 1. Représentation schématique d'un batholite non encore mis à nu par l'érosion, et des stocks, dykes et filons-couches associés.

Il y a aussi d'autres roches ignées, à grains plus fins, dont la composition varie autant que celle des roches plutoniques. Elles se présentent sous trois formes caractéristiques : de petites masses irrégulières auxquelles on n'a pas donné de nom ; des masses longues, minces et étroites qu'on appelle *dykes* et qui remplissent les fractures ouvertes dans d'autres roches ; et enfin des masses appelées filons-couches qui ont pénétré parallèlement aux couches de sédimentation, aux épanchements de roches volcaniques ou aux bandes de roches métamorphiques dont nous parlerons plus loin. La fine cristallisation des dykes et des filons-couches provient, dans une certaine mesure, de leurs petites dimensions qui ont permis un refroidissement plus rapide ; probablement peut-on l'attribuer aussi au fait qu'une partie de la matière en fusion s'est rapprochée davantage de la surface au moment de leur formation et a pu, dans ces circonstances, se refroidir plus vite. On qualifie généralement d'intrusions les dykes, filons-couches, stocks et batholites. Pour ce qui est des stocks et des batholites en particulier, on pense qu'il serait plus juste

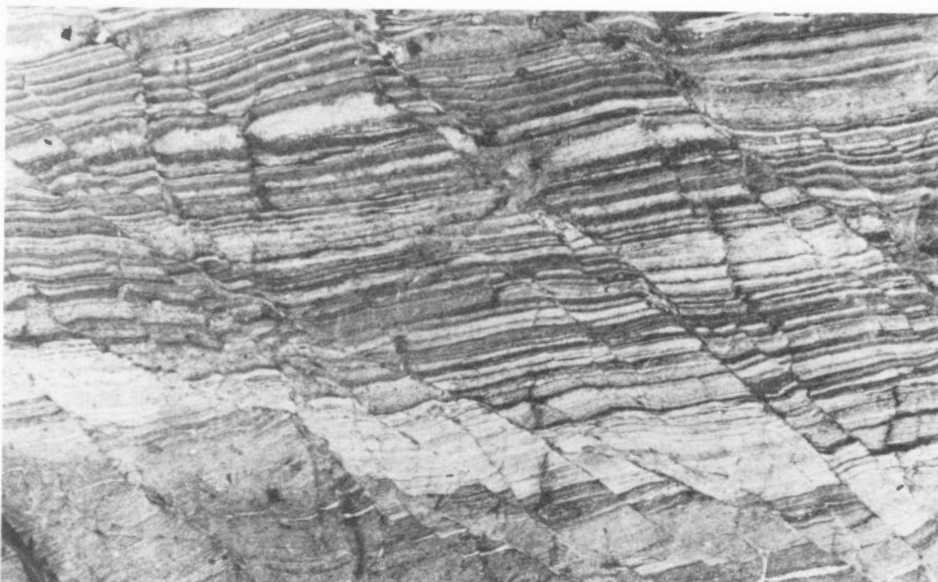
de les appeler *plutons*, certains étant sans doute le résultat de processus comme la granitisation, plutôt que de déplacements comme dans le cas des véritables intrusions.

Les laves coulent par les volcans et les diverses fissures de l'écorce terrestre. Elles se cristallisent assez rapidement, à cause de leur écoulement sur le sol et sous l'eau — ce qui les met en contact avec l'air, les sols de surface et les roches fraîches, de même qu'avec l'eau.

En fait, la principale différence entre les laves — qui ont à peu près la même composition que les roches plutoniques — se réduit à la grosseur des cristaux qui les composent. Seuls les accumulations de cendres volcaniques et les fragments plus gros que projettent nombre de volcans donnent des roches volcaniques d'une autre catégorie. Les laves, les cendres et les roches fragmentaires volcaniques apparaissent souvent en strates distinctes, par suite de l'intermittence des dépôts.

MOUVEMENTS DE LA CROÛTE TERRESTRE

Au fur et à mesure du lent processus de sédimentation, le poids des matériaux déposés au fond des larges bassins de sédimentation enfonce ces derniers et provoque un déplacement de la matière plastique située sous l'écorce. Ces forces déformantes soumettent la croûte terrestre à des mouvements qui produisent soit des fissures, le long desquelles un bloc de l'écorce peut se déplacer par rapport à un autre, soit des soulèvements prononcés, soit de grands affaissements, ou encore des déplacements de moindre envergure. Au-dessous des régions élevées du globe dont le poids diminue par suite de l'érosion, la pression qui s'exerce en profondeur doit diminuer également. C'est ainsi que les surfaces relativement planes, rongées par l'érosion, s'élèvent lentement et forment des plateaux. Ce soulèvement accélère la vitesse des cours d'eau, ce qui en augmente la puissance d'érosion et leur



Série de petites failles normales dans de minces couches de quartzite précambrien : formation ferrifère. Les couches de quartzite plus sombres contiennent une forte proportion de magnétite.

fait découper des nouveaux plateaux, deuxième génération de montagnes et de vallées. Cependant, ces plissements n'expliquent pas l'origine des fortes pressions latérales sans lesquelles certains phénomènes dont il est question plus loin ne sauraient se produire. On a émis diverses théories au sujet de ces pressions mais l'origine exacte des forces qui s'exercent n'est pas encore très bien connue.

Les diverses formes de déplacements qui se produisent dans les roches de l'écorce ainsi que les structures qui en résultent sont de première importance pour les prospecteurs, étant donné que beaucoup de gîtes minéraux peuvent s'y rattacher. Les principales structures géologiques sont les fractures, les failles et les plissements.

Fractures et failles

Les roches réagissent aux pressions en se fracturant ou en se déplaçant en masses solides ; ou encore par recristallisation, produisant alors des composés chimiques qui demeurent stables sous une pression accrue : enfin, par écoulement plastique quand la pression est considérable. Les structures les plus simples provoquées par les tensions sont les fractures ou joints, qui vont de toutes petites fissures à des fractures de plus de 100 pieds. On les trouve le plus souvent en groupes de fractures parallèles ou se recoupant en angles plus ou moins uniformes dans un même groupe. Une tension continue peut causer un déplacement de la roche d'un côté de la fracture par rapport à l'autre, ce qui produit une *faille*. Les parois d'une faille sont d'habitude polies et striées, formant une surface caractéristique dite de *miroir de faille*. Le déplacement le long d'une faille broie souvent la roche et forme un amas de rochers moulus ressemblant à de l'argile ; cet amas, dont l'épaisseur varie d'une fraction de pouce à plusieurs pieds, est appelé *salbande*. Au lieu de former une salbande, le déplacement le long d'une faille peut former une *zone de cisaillement*, où une bande de roc découpé ou cisailé sépare les roches déplacées. La roche peut encore être broyée en fragments anguleux, ce qui donne, entre les parois d'une faille, une *zone de broyage* ou une *zone bréchiiforme*. Les grandes failles peuvent avoir plusieurs milles de longueur : les plus importantes s'étendent sur des centaines de milles. Le déplacement des roches d'un côté ou de l'autre de la faille est considérable et on peut le mesurer en centaines de pieds ou même en milles. Le long des grandes failles, ce mouvement cause des vibrations intenses qui se traduisent par des tremblements de terre.

Pour comprendre les descriptions que donnent les rapports géologiques et miniers au chapitre des failles, il faut connaître les quelques autres définitions que nous donnons ci-dessous. Bien que sur une carte ou un plan géologique, on représente une faille par une ligne, le mouvement se fait le long d'une surface qu'on appelle *plan de faille*. L'orientation de ce plan, exprimée à l'aide de la boussole, s'appelle *direction* du plan de faille. La pente figurée par une ligne perpendiculaire à la direction s'appelle *pendage* ou *inclinaison* (figure 2A). Certains plans de faille sont verticaux, mais la plupart forment un angle ; dans ces derniers



Plan horizontal défectueux mis à nu par l'érosion.

86549

cas, le bloc rocheux qui se trouve au-dessus du plan s'appelle *toit*, tandis que celui qui se trouve au-dessous se nomme *mur* (figure 2B et C). Si le toit semble s'être déplacé vers le bas par rapport au mur, la faille est dite *normale*, tandis que si le toit semble avoir été relevé, la faille est dite *inverse* ou de chevauchement. De façon générale, la direction du mouvement se mesure horizontalement aussi bien qu'en profondeur. Le déplacement horizontal s'appelle *rejet horizontal* et le déplacement vertical, *rejet vertical* ; on emploie l'expression *rejet net* pour décrire le déplacement réel (figure 2A). Une faille dont le mouvement est presque entièrement vertical est parfois appelée *faille de plongée* : celle dont le déplacement est surtout horizontal est dite *faille de décrochement*. On dit parfois que le décrochement d'une faille est à droite ou à gauche, suivant la direction du mouvement apparent. Supposons, par exemple (figure 2D), qu'un observateur soit placé le long de la ligne de contact d'un lit, d'un filon ou d'un filon ou d'un dyke brisé par une faille. Si, faisant face à la faille, il constate que le contact correspondant, de l'autre côté de la faille, est reporté à droite, la faille est à droite. Le mot contact, d'usage fréquent dans les descriptions géologiques, s'applique à la ligne ou à la surface qui sépare deux massifs de roches de caractère différent.

Plissements

Les roches, même à l'état solide, plissent sous l'effet de la pression. Les plis varient beaucoup : simples rides, vastes voûtes, auge larges de plusieurs milles. Le pli en voûte est dit *anticlinal* et son voisin, le pli en auge, est dit *synclinal* (figure 4). La ligne imaginaire le long de la crête d'un pli anticlinal ou le long de la partie la plus basse d'un pli synclinal forme l'axe du pli ; les côtés portent le nom de *flancs*. Les couches de roches stratifiées que l'on trouve souvent dans une position inclinée, sont soit le flanc d'un pli, soit le produit d'un soulèvement inégal. Les géologues donnent le nom de *disposition* ou *gisement* à la position des couches et mesurent la présentation des lits inclinés par ce qu'ils appellent la direction et le pendage. La direction représente l'orientation d'une

ligne imaginaire tirée horizontalement le long du plan d'inclinaison, tandis que l'angle entre le plan horizontal et le plan d'inclinaison donne le pendage. Ces termes sont illustrés à la figure 3. Des mesures analogues indiquent la disposition des fractures, des dykes et des filons.

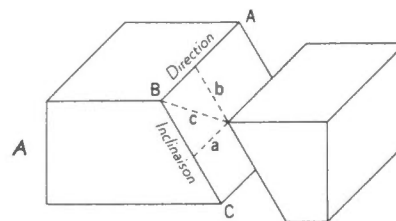
Orogénèse

On associe souvent les fractures, failles et plissements à un processus complexe dit *orogénèse* qui, soulevant de grandes quantités de roches stratifiées accumulées dans de vastes bassins de sédimentation, les déforme ; d'où les plis complexes et les blocs faillés qui caractérisent les chaînes de montagnes. Parfois, d'anciennes régions montagneuses rongées par l'érosion se soulèvent également et pour ainsi dire rajeunies, forment des montagnes secondaires. Ces phénomènes s'accompagnent habituellement d'activité volcanique ; de fait, on croit généralement que l'origine des magmas correspond à une détente locale de la pression à la suite d'un relèvement des couches, détente qui permet la liquéfaction de roches profondes maintenues jusque-là par la pression à l'état solide. On qualifie les grands accidents de structure, provoqués par les mouvements orogéniques, d'accidents *tectoniques* ; ils sont à la base de la tectonique.

SUCCESSION GÉOLOGIQUE

L'expression « succession géologique » rend compte de l'ordre de dépôt ou d'intrusion des diverses roches sédimentaires et ignées sur lesquelles repose une région donnée (figure 4). Cette succession varie d'un endroit à l'autre parce que l'accumulation et l'érosion ne sont pas forcément concurrentes : les intrusions et l'activité volcanique ne surviennent qu'à certains moments et à certains endroits ; l'érosion peut éventuellement détruire beaucoup de roches bien en place. Les conditions géologiques diffèrent également sous un autre rapport, soit par la façon dont les roches sont inclinées, plissées ou faillées.

Malgré ces complications, la comparaison des étages stratigraphiques de diverses régions a permis aux géologues d'établir un ordre de succession géologique dont les grandes lignes s'appliquent à tous les continents. Ce résultat provient largement de la présence de fossiles dans presque toutes les roches sédimentaires déposées durant les dernières époques géologiques, c'est-à-dire à partir du début de la période cambrienne, ainsi que nous l'expliquerons plus bas. Les fossiles sont les empreintes ou les restes de plantes ou d'animaux ensevelis dans des sédiments et préservés après la transformation des sédiments en roches. On ignore à quel moment la vie a débuté sur notre planète, car les organismes vivants les plus simples, qui sont sans doute apparus les premiers, n'avaient ni écailles, ni squelette fossilisables. Toutefois, la vie a dû apparaître tôt puisque des roches datant d'environ 570 millions d'années renferment des vestiges fossilisés de plusieurs organismes distincts, assez évolués, qui ne représentent certes pas les formes premières de la vie animale. La plupart des roches sédimentaires de moins de 570 millions d'années renferment



Éléments des failles et mouvement des failles

Le plan ABC représente un plan de faille
La ligne AB représente la direction de faille
La ligne BC représente l'inclinaison de faille
La ligne a indique le rejet longitudinal
La ligne b indique le rejet vertical
La ligne c indique le rejet net

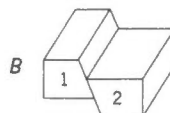


Schéma d'une faille normale

1, mur; 2, toit

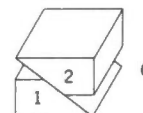


Schéma d'une faille inverse ou contraire

1, mur; 2, toit

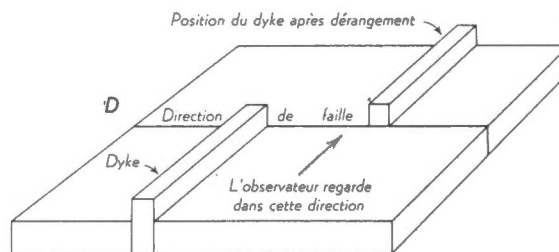


Schéma d'une faille à droite

Un dyke qui fait saillie au-dessus du sol par suite de sa résistance à l'érosion est déplacé par une faille à droite

Figure 2. Représentation schématique de failles.

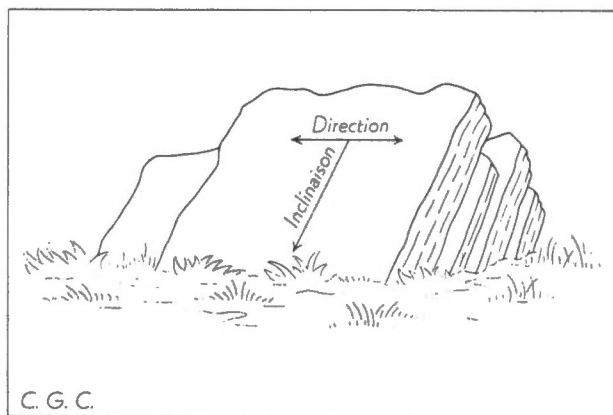


Figure 3. Représentation schématique d'un affleurement de couches sédimentaires, montrant dans quels sens on mesure le pendage et la direction.



Faïlle de chevauchement dans les Rocheuses. Les strates sédimentaires à fort pendage, à gauche, sont charriées au-dessus de roches sédimentaires formant un synclinal retourné vers la droite.

117523



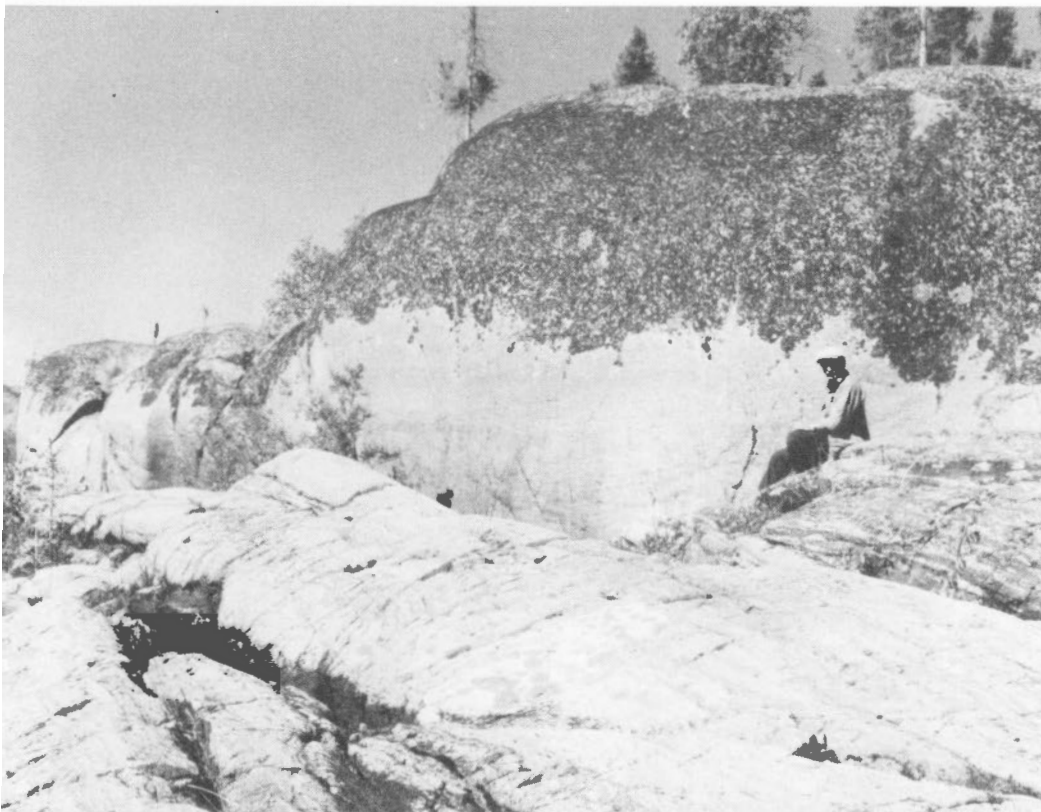
Plissement de strates lardées de calcaire et de schiste, montagnes Rocheuses.

154571



Discordance entre le conglomérat protérozoïque basal (huronien) et la roche archéenne de base.

134621



Discordance entre le conglomérat et l'arkose précambriens, plus récents, et le quartzite précambrien à fort pendage, plus ancien. La région sombre, dans la partie supérieure de la photo est causée par du lichen.

117824

des fossiles ; en certains endroits, on a trouvé les restes fossilisés d'organismes primitifs dans des couches plus anciennes. Il a été amplement démontré que les fossiles déposés au cours d'une période donnée sont similaires dans n'importe quelle partie d'un continent, les différences marquées qu'ils offrent parfois correspondent au déclin et à l'évolution de certaines espèces. Ces faits aident beaucoup le géologue qui peut ainsi utiliser les fossiles pour établir la corrélation entre les roches du même âge qu'il rencontre dans des régions différentes et pour établir le véritable ordre de la succession géologique dans les régions où certaines couches font défaut ou ont été renversées par la violence du plissement.

Une étude des successions dans différentes parties du globe permet de diviser, pour l'ensemble de la Terre, les temps géologiques en périodes définies de très longue durée. Après entente sur ces intervalles de temps, on a donné le nom d'*ères* et d'*éons* aux âges intermédiaires entre les époques d'orogénèse plus active et le nom de *périodes* aux divisions d'une même ère séparées par des perturbations moins violentes de l'écorce terrestre. À cause de ces cycles d'orogénèse et de surrection, et des cycles d'érosion et de dépôt subséquents, les roches représentant différentes ères ou périodes sont généralement séparées par des surfaces d'érosion ancienne dites discordances. Celles-ci sont de deux sortes : Les *discordances parallèles*, dont les couches du dessus et du dessous sont horizontales ou également inclinées, ce qui indique qu'il y a eu érosion et

peut-être soulèvement, mais non plissement ; Les *discordances angulaires*, dont les couches inférieures sont plissées ou inclinées d'une façon toute différente des couches supérieures, ce qui indique que les roches plus anciennes ont été plissées ou inclinées avant le dépôt des plus récentes.

Les roches formées durant les périodes et les ères les plus récentes étant mieux conservées, il est plus facile de les distinguer. En conséquence, les unités de temps convenues deviennent progressivement plus courtes, comme le démontre le prochain tableau. Comme dans tous les tableaux et légendes géologiques, les unités les plus récentes sont placées au sommet.

Antérieurement à 1920, même s'ils ne disposaient pas des moyens actuels pour estimer l'âge des roches, les géologues savaient que les temps géologiques représentaient des millions d'années. Cette conclusion se fondait sur la mesure du taux moyen d'accumulation des sédiments déposés au cours de l'époque moderne. En appliquant ce taux aux énormes épaisseurs de roches sédimentaires qu'on a mesurées pour de nombreuses périodes, on a conclu à l'évidence que chaque période représentait plusieurs millions d'années. Ils se rendaient compte également que les espèces vivantes d'une période donnée provenaient manifestement de celles de la période précédente et que ces transformations ne pouvaient s'être opérées que très lentement : ce second fait corroborait la première déduction. De nos jours, les astronomes sont convaincus que la date de formation de la Terre remonte au moins à trois ou

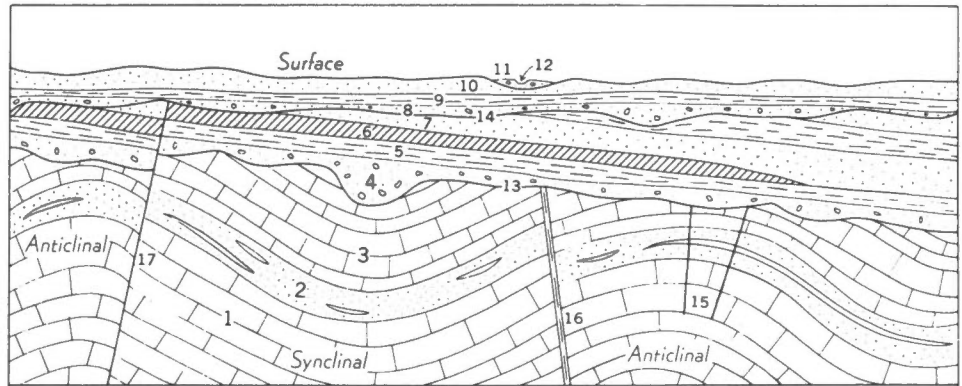


Figure 4
Coupe schématique de succes-
sions géologiques.

Série ancienne (1-3) qui consiste en trois formations reposant en concordance et comprenant du calcaire (1), du grès accompagné de lentilles de schiste (2), et du calcaire plus récent (3). Le plissement de ces couches donna des anticlinaux et des synclinaux, puis les couches supérieures, rongées par l'érosion, formèrent l'ancienne surface du sol (13). Cette surface fut submergée et sur elle se forma par sédimentation une autre série concordante (4-7): comprenant conglomérat et grès (4), schiste (5), coulées de lave (6) et grès (7). Ces formations et celles des séries sous-jacentes déjà plissées furent soulevées et inclinées. L'érosion produisit alors une autre surface du sol (14). Cette dernière fut submergée et une troisième série se forma par sédimentation (8-10): conglomérat et grès (8), schiste (9) et grès (10). Ces dépôts conservèrent la position horizontale qu'ils avaient au début. Un cours d'eau d'âge récent (12) a creusé une vallée dans la formation (10), déposant du sable et du gravier (11). Les lignes (15) représentent des cassures antérieures à l'établissement de la surface (13). Une faille (16), qui a formé une large zone de broyage, est elle aussi antérieure à la surface (13). Une faille postérieure (17) est elle aussi plus récente que la surface (13), mais elle est plus ancienne que la surface (14).

C. G. C.

quatre milliards d'années. C'est ce que confirment les méthodes actuelles, utilisées pour déterminer l'âge de certains minéraux et de certaines roches ou les principales périodes d'orogénèse. Ces méthodes partent du principe que des éléments se désintègrent lentement en d'autres éléments (isotopes) selon un rythme connu. Grâce à des analyses très précises, et en particulier à la détermination de la proportion d'isotopes d'éléments comme le potassium et l'argon, on a pu calculer la durée des différentes périodes (avec des marges d'erreur relativement faibles). Les résultats des nombreux calculs effectués jusqu'à présent se recourent assez bien pour donner une idée exacte des principales étapes des âges géologiques et une bonne mesure de leur durée respective.

Le tableau qui suit indique la durée* des principales périodes. Même si de nouvelles données venaient modifier quelque peu certains chiffres, on peut prévoir que les ordres de grandeur demeureront toujours valables. La période la plus ancienne, le précambrien, représente plus des cinq sixièmes de la durée des âges géologiques. Les fossiles sont rares dans les roches précambriennes et ces roches sont si déformées qu'il n'est pas facile de les suivre d'une région à une autre; c'est pour cette double raison que l'on n'a pas pu subdiviser le précambrien avec autant

de précision que les ères plus récentes. Au Canada, le précambrien se subdivise en deux: le précambrien inférieur, ou archéen, et le précambrien supérieur, ou protérozoïque, Stockwell a récemment subdivisé le précambrien supérieur en trois ères: aphébiennienne, hélikiennienne et hadryniennienne. Il n'a pas encore été possible de subdiviser ces ères en périodes ni le précambrien inférieur en ères, bien qu'en certains endroits on leur ait donné des noms.

La fin du précambrien a été marquée, dans la plupart des régions, par un intervalle d'érosion prononcée, suivi de l'ère paléozoïque, puis de l'ère mésozoïque. Dans quelques régions, cependant, les strates précambriennes plus récentes font saillie dans celles du paléozoïque plus ancien. L'ère cénozoïque, la plus récente se subdivise elle-même en plusieurs périodes relativement courtes. Les plus anciennes de ces périodes forment ce qu'on appelle le tertiaire, c'est-à-dire la troisième des importantes subdivisions chronologiques après le précambrien supérieur. L'ère tertiaire

* Échelle des temps phanérozoïques de la Geological Society; bulletin trimestriel de la Geological Society, Londres, vol. 120 S, pages 260 à 262, 1964.

C. H. Stockwell, *Fourth report on structural provinces, orogenies, and time-classification of rocks of the Canadian Precambrian Shield*, dans: *Age Determinations and Geological Studies*; Commission géologique du Canada, Étude 64-17 (Partie II), 1964.

Échelle des temps géologiques

Éon	Ère	Période	Espèces vivantes caractéristiques	Durée approximative (années)
	Cénozoïque	Récente Pléistocène	Homme	1 500 000
		Pliocène Miocène Oligocène Éocène Paléogène	Mammifères et plantes modernes	
	Mésozoïque	Crétacée Jurassique Triasique	Reptiles	65 000 000
	Paléozoïque	Permienne Carbonifère	Amphibiens	225 000 000
		Dévonienne Silurienne	Poissons	
		Ordovicienne Cambrienne	Invertébrés plus évolués	
Précambrien supérieur (Protérozoïque)	Hadrymien		Invertébrés primitifs et algues	570 000 000
	Hélikien			880 000 000
	Aphébien			1 640 000 000
Précambrien inférieur (Archéen)				2 390 000 000
				3 000 000 000 ou plus

précède le pléistocène, période de refroidissement du climat de l'hémisphère nord, où de grands glaciers et des calottes glaciaires se sont formés sur de vastes étendues des continents nord-américain, asiatique et européen. Le climat s'est ensuite réchauffé, faisant fondre la glace. Par la suite, l'alternance de périodes froides et de périodes chaudes a produit quatre époques glaciaires successives au cours du pléistocène.

Dans les paragraphes précédents, nous n'avons expliqué que les termes chronologiques. Les géologues ont aussi adopté une méthode uniforme pour désigner les unités de roches sédimentaires et volcaniques. La plus petite unité de roches sédimentaires s'appelle *couche* ou *strate* et l'épaisseur de cette unité peut varier d'une fraction de pouce à plusieurs pieds. Les unités de lave s'appellent *coulées*. La plus petite unité qu'on puisse indiquer en pratique, sur une carte géologique, s'appelle *formation*. Dans de rares cas, la formation peut se composer d'une seule couche ou d'une seule coulée, mais la plupart des formations comprennent une série de couches ou de coulées, ou les deux, déposées pendant un court intervalle géologique. On peut n'y trouver qu'une seule sorte de roches ou des couches alternantes de roches différentes. On donne généralement des noms aux formations, comme « la formation d'Ottawa » ou

« la formation de Belly River ». On peut suivre certaines formations pendant des centaines de milles, mais toutes, en définitive, finissent quelque part, soit qu'elles deviennent lenticulées, soit qu'elles se fondent peu à peu dans d'autres formations. Les prospecteurs sont portés à employer ce terme dans d'autres acceptions et parlent de formation de granite, formation de calcaire, formation favorable, *et cetera*; il faut éviter ces expressions, à l'exception de « formation ferrifère » qui est acceptée. Lorsque plus d'une formation se suivent et sont reliées de telle façon qu'il est opportun de les désigner collectivement, on les appelle *groupe* et on leur donne des noms comme, par exemple, « le groupe de Windsor ». On trouvera rarement une série complète de formations pour une période donnée mais, lorsque le cas se présente, on donne à ces formations le nom de *système*, tel le système cambrien.

On peut estimer l'âge des roches intrusives d'après l'âge des roches dans lesquelles elles ont pénétré. Si, par exemple, une masse de granite traverse des couches récentes du trias et que des couches discordantes datant du crétacé inférieur la recouvrent, c'est que l'intrusion et la mise à nu de cette masse ont eu lieu durant la période jurassique; comme l'érosion se fait très lentement, l'intrusion est probablement advenue au début du jurassique.

GRANDS TRAITES DE LA GÉOLOGIE DU CANADA

MINÉRAUX

Les éléments

La substance dont se composent la Terre, ses eaux et son atmosphère, se divise en éléments aux propriétés chimiques distinctes. Ces éléments forment les minéraux qui, à leur tour, donnent naissance aux roches. On trouvera à l'appendice 1 la liste des 103 éléments bien identifiés ainsi que les symboles qui les énoncent en formules chimiques. Quelques-uns de ces éléments existent en abondance, d'autres, en quantités moindres; certains sont extrêmement rares. Tout indique qu'on a maintenant reconnu tous les éléments de la croûte terrestre à l'exception, peut-être, d'éléments instables produits en laboratoire. Quelques éléments existent seuls, à l'état libre; mais la plupart se trouvent combinés avec un ou plusieurs autres. On nomme composé chimique le résultat de telles combinaisons. Comme il y a au-delà de 100 éléments, il est facile d'entrevoir la pléthore des diverses combinaisons possibles. Les atomes de chaque élément possèdent des caractéristiques propres; un ou plusieurs atomes d'un élément peuvent se joindre à un ou plusieurs atomes d'un autre élément. Ainsi, deux atomes d'hydrogène peuvent se joindre à un atome d'oxygène pour former de l'eau; dont la formule est H_2O .

Les éléments qui intéressent directement le prospecteur se divisent en deux catégories: les métaux et les métalloïdes. Opaques, les métaux possèdent l'éclat métallique et, dans la plupart des cas, peuvent être déformés par martelage; ils sont conducteurs de chaleur et d'électricité. Les métalloïdes comprennent les éléments gazeux et certains éléments solides, comme le soufre, le carbone et le silicium, qui n'ont pas les propriétés métalliques. Quelques éléments dont l'arsenic et l'antimoine, les semi-métaux, participent à la fois des métaux et des métalloïdes.

Qu'est-ce qu'un minéral ?

Un minéral est un élément ou plus communément un composé chimique de deux ou de plusieurs éléments qu'on trouve dans la terre. En termes plus précis, un minéral est une substance homogène, inorganique, naturelle, ayant une composition chimique particulière et des propriétés physiques assez définies. Nous disons « naturelle » pour établir une distinction entre minéraux et composés synthétiques — œuvre de l'homme. La nature homogène des

minéraux suppose que toutes les parcelles d'un même minéral soient exactement de même composition. Les minéraux sont inorganiques; sont donc exclus les os, les coquillages, les perles et d'autres substances organiques qui en diffèrent par leur origine et l'absence d'une structure moléculaire homogène. Étant un métal liquide, le mercure a droit au titre de minéral. Même l'eau, à la rigueur, est un minéral puisqu'elle possède une composition chimique précise; à l'état de glace, elle devient une structure cristalline incontestable. D'autre part, le pétrole et le charbon n'entrent pas strictement dans la catégorie des minéraux, car ils sont constitués de plusieurs composés chimiques variables. On considère cependant les industries pétrolières et houillères comme des secteurs de l'industrie des minéraux.

Classification des minéraux

En vertu d'une coutume lointaine, on classe les minéraux selon leur composition chimique; on les divise en groupes, tels les éléments natifs (l'or, le diamant, etc.), les sulfures (combinaison d'un élément avec le soufre; par exemple, la pyrite, qui est du sulfure de fer), les oxydes (élément uni à l'oxygène, comme l'uranite, qui est de l'oxyde d'uranium), les carbonates (élément uni au carbone et à l'oxygène; par exemple, la calcite, composée de calcium, de carbone et d'oxygène), et plusieurs autres composés plus complexes. Ainsi classés, on dénombre environ 2 000 minéraux.

Certains éléments ou composés, mêlés à d'autres, forment ce qu'on appelle des « séries » ou « solutions solides ». On les désigne par des noms de minéraux distincts selon des critères arbitraires touchant l'importance relative de ses divers éléments ou composés. L'argent, par exemple, forme une solution solide avec l'or. Aussi, la plupart des mines d'or ont-elles en sous-produit de l'argent, même si ce dernier n'apparaît pas de façon distincte dans le minerai. Une faible quantité d'argent n'empêche pas le minéral d'être considéré comme de l'or; mais si la quantité d'argent est importante, le minéral sera nommé « électrum ». Les plagioclases, groupe de minéraux de la famille des feldspaths, nous fournissent un bon exemple d'une série de composés. Ils reçoivent des appellations distinctes selon les pourcentages de sodium ou de calcium qu'ils renferment. Les minéraux varieront légèrement quand certains éléments ou groupes d'éléments, ayant à peu près les mêmes propriétés qu'une des parties constituantes essentielles d'un minéral, peuvent y être substitués dans la forme cristalline du minéral. De cette façon, on peut trouver de faibles quantités de manganèse à la place du fer dans un minéral ferreux sans qu'il y ait modification du classement; on pourrait donner beaucoup d'autres exemples de ce genre.

Un grand nombre de minéraux sont impurs, en ce sens qu'ils renferment de menues particules d'un autre minéral sous forme d'inclusions ou de veinules, dont certaines sont si petites qu'on ne peut les voir sans un très puissant microscope.

Il est souvent commode de classer les minéraux d'autres façons que selon leur composition chimique fondamentale. On peut dire, par exemple, que les minéraux sont métalliques ou non métalliques selon qu'ils possèdent ou non l'éclat ou le lustre métallique. Signalons qu'il ne s'agit que de l'apparence du minéral même, et non pas de son contenu. Nombre de minéraux recelant d'importantes quantités d'un métal donné n'ont pas pour autant l'éclat métallique. Si on pulvérise un minéral métallique ou si on le frotte sur un morceau de porcelaine rugueuse, la poussière, ou trait, est invariablement de teinte plus foncée que le minéral massif. Pour distinguer des autres les minéraux qui produisent des métaux, la terminologie géologique emploie les expressions métallifères et non métallifères. Dans le langage statistique et économique, les expressions métallique et non métallique ont souvent la même acception.

On désigne aussi les minéraux sous les appellations de primaires ou secondaires ; ces qualificatifs, pratiques à certains égards, prêtent toutefois à confusion. Selon l'acception normale de ces termes, les minéraux primaires gardent leur état originel et les minéraux secondaires l'ont perdu à la suite d'une altération, notamment par oxydation, des minéraux primaires. Exposés à l'humidité de la surface de la terre, ou près de celle-ci, nombre de minéraux primaires se transformeront en minéraux secondaires, à peu près comme un morceau de fer attaqué par la rouille. Ces formes de minéraux secondaires peuvent constituer d'importants gisements, dont certains sont exploités. Habituellement, ils forment une croûte ou efflorescence (où on ne les trouve qu'en petites quantités), susceptible de fournir au prospecteur un indice important de la présence d'un gîte de minéraux primaires.

Identification des minéraux

Les minéraux sont généralement classés du point de vue chimique. Il existe toutefois, en plus des épreuves ou analyses chimiques, maintes autres façons de les identifier, notamment par la couleur, le poids, la dureté ou la forme cristalline. Dans quelques cas, il suffit d'une seule caractéristique pour assurer une identification précise. Pour certains autres minéraux, il suffit de deux ou trois épreuves simples. Ainsi un minéralogiste peut reconnaître, rien qu'en les examinant, quelques centaines de minéraux ; il peut arriver au même résultat en soumettant le minéral, sur les lieux ou à la maison, à de petites expériences. Le profane s'y retrouvera moins aisément. Mais on ne peut établir d'une façon absolue l'identité de la plupart des minéraux qu'à la suite d'examen au microscope, d'expériences chimiques poussées, de mesurage des cristaux ou de radiographies. Ces épreuves en laboratoire permettent de reconnaître la structure cristalline interne des minéraux en question.

Les roches se présentent en masses assez importantes dans la croûte terrestre. Elles sont presque toujours des agrégats hétérogènes de grains et de cristaux de minéraux, ce qui les distingue de ces derniers qui, eux, se présentent sous une forme homogène. Quelques variétés de roches, comme le verre volcanique, ne sont toutefois pas granulaires. La plupart des roches sont des mélanges de deux ou plusieurs minéraux, mais certaines ne renferment qu'un seul minéral, notamment le grès pur (composé exclusivement de quartz) et la pierre calcaire pure (composée de calcite). Certaines roches spéciales, comme le charbon, se composent de matières organiques qui ne sont pas minérales au sens strict du mot.

Les roches se divisent en trois classes principales dites *ignées*, *sédimentaires* et *métamorphiques*. Nous avons parlé, dans le chapitre précédent, de l'origine des roches ignées et sédimentaires. Nous en signalerons maintenant les caractéristiques et les classifications principales, de même que celles des roches métamorphiques dont nous n'avons pas parlé jusqu'ici puisqu'elles constituent une classe à part. Les roches métamorphiques résultent des variations de température, de pression, ou des deux à la fois, subies par les roches ignées ou sédimentaires dans les couches profondes de la croûte terrestre. Ces variations ont provoqué un nouvel arrangement des éléments, de façon à constituer des minéraux plus stables en milieu transformé. Un certain nombre de roches dites métamorphiques renferment des minéraux constitués en partie par l'addition d'éléments à des roches existantes, selon des processus qui entraînent la diffusion de ces éléments.

Les géologues utilisent deux modes de classification des roches dont l'un peut être appliqué sur le terrain à la suite d'observations ordinaires ou d'examen à la loupe ; l'autre, plus détaillé, n'est habituellement appliqué qu'après des études en laboratoire. Dans la plupart des cas, la classification sur le terrain suffit pour la prospection et pour l'intelligence des rapports géologiques. Si les principaux types pétrographiques des classes ignées, sédimentaires et métamorphiques sont bien établis, plusieurs variétés de roches se rangent sous plus d'une classe à la fois : on relève donc de nombreux exemples de cas limites.

Roches ignées

Presque toutes les roches ignées sont cristallines. Cependant la plupart ont une texture de compénétration plutôt qu'une texture cristalline vu la quasi-simultanéité du développement des grains à partir du magma qui se refroidit. Dans certains cas, toutefois, le refroidissement entraînera la formation de cristaux bien réguliers. Si ces derniers sont plus gros que ceux de la roche encaissante, on les appelle des *phénocristaux* et la roche est dite *porphyrique*.

Les minéraux de la famille des feldspaths, généralement accompagnés de quantités plus faibles de quartz, constituent l'élément lithogénétique de base pour la plu-

part des roches ignées. Ces minéraux ont généralement une teinte pâle. D'autres minéraux lithogénétiques importants renferment du fer et du magnésium ; on les appelle les minéraux ferromagnésiens ; tels sont la hornblende, le pyroxène, l'olivine et la biotite, tous de teinte foncée. Il y a aussi un grand nombre de minéraux « accessoires », comme la magnétite, qu'on trouve en petites quantités dans presque n'importe quelle sorte de roche ignée. On entend habituellement par roches acides les roches ignées qui se composent surtout de feldspath et de quartz, tandis qu'on appelle basiques les roches caractérisées par l'absence de quartz et la présence de fortes quantités de minéraux ferromagnésiens. L'emploi de ces adjectifs est malheureux, car ils ont en chimie une autre acception bien établie. Il faut plutôt parler de roches *siliceuses* ou *felsiques* pour les roches qui contiennent beaucoup de quartz ou de feldspath et de roches *fémiques* ou *mafiques* pour les roches ferromagnésiennes.

Roches plutoniques

Les roches à textures plutôt grossière, dont on peut voir habituellement les grains à l'œil nu, comme c'est le cas du granite, sont dites plutoniques. Une première classification repose sur la quantité et la variété de feldspath, ainsi que sur la quantité de quartz ou de minéraux ferromagnésiens qu'elles renferment. Règle générale, on peut déterminer *grosso modo* la variété du feldspath à l'œil nu où à la loupe mais, dans certains cas, c'est chose difficile ou impossible. Si l'on désire des observations plus précises, il faut procéder à des examens au microscope ou des analyses chimiques. Quant à l'étude sur le terrain, il suffit de se référer aux distinctions mentionnées ci-après.

Le *granite* est une roche de teinte relativement claire, composée de feldspath potassique et de quartz. Dans plusieurs sortes de granite, on trouve aussi de faibles quantités de mica blanc, de biotite ou de hornblende. Le granite à cristaux réguliers, plutôt gros, éparpillés dans une matrice de matière granitique ordinaire, est dit *granite porphyrique*. Il en est de même des variétés de roches décrites ci-après.

La *syénite* est une roche de couleur pâle composée surtout de feldspath potassique. On n'y voit à peu près pas de quartz, même à la loupe.

La *diorite* est une roche de couleur plutôt foncée, composée principalement de feldspath à plagioclase et d'une quantité appréciable d'un des minéraux à amphibole, habituellement de la hornblende, ou d'un des minéraux à pyroxène. D'autres variétés répandues sont la *granodiorite*, qui renferme sensiblement plus de plagioclases que de feldspath potassique, et la *diorite quartzifère* dont la teneur en quartz dépasse 10 p. 100.

Le *gabbro* est une roche de couleur foncée composée surtout de plagioclases plutôt calciques que sodiques (habituellement de labradorites) et de fortes quantités d'amphiboles ou de pyroxènes. Le *gabbro* dont la teneur en minéraux ferromagnésiens est beaucoup moindre devient de l'*anorthosite*.

Les roches *ultramafiques* se composent presque entièrement de minéraux ferromagnésiens du type olivine ou pyroxène, ou de l'un et l'autre de ces minéraux ; les plagioclases en sont absents ou à peu près. Elles se métamorphosent habituellement en minéraux à base de serpentine. La patine caractéristique est de teinte orange chamois ; les surfaces fraîches vont du vert foncé au noir. La magnétite produite au cours de la transformation en serpentine rend la roche faiblement ou modérément magnétique.

Roches filoniennes

La texture des roches filoniennes est généralement plus fine que celle des roches plutoniques correspondantes. Certaines, dont un grand nombre de diabases et de pegmatites (ci-après décrites), ont cependant une texture grossière. L'*aplite* et la diabase sont d'autres variétés communes. L'*aplite*, roche à texture fine uniforme, correspond par sa composition au granite et a généralement l'apparence du sucre. La *diabase*, dont la composition s'apparente de près à celle du *gabbro*, a généralement des cristaux en forme de treillis : c'est la texture diabasique.

Nombre des variétés mentionnées précédemment, de texture uniforme, peuvent être des porphyres. On les nomme habituellement d'après la composition des phénocristaux. Le *porphyre à quartz*, le *porphyre à feldspath* et le *porphyre à hornblende* en sont des exemples communs.

On trouve souvent une roche filonienne d'un autre genre, la *pegmatite*, roche à gros grains formée dans des conditions qui ont permis la croissance de masses relativement importantes de minéraux ou de cristaux. Les variétés les plus fréquentes sont les pegmatites granitiques, composées essentiellement d'amas de feldspath et de quartz d'un demi-pouce à plus d'un pied de diamètre. Elles contiennent aussi, dans certains cas, des cristaux de mica, d'apatites et de nombreux autres minéraux. On rencontre plus rarement des pegmatites dont la composition correspond à celle de la syénite, de la diorite ou du *gabbro*.

Les roches filoniennes ainsi que les roches volcaniques sont parfois d'une texture trop fine pour que l'on puisse en identifier sur le terrain les minéraux constituants. En pareil cas, on emploie les termes génériques *felsite* et *trapp*, pour désigner respectivement les roches de teintes pâles et celles de teintes foncées.

Roches volcaniques

La composition des roches volcaniques correspond à celle de l'une ou l'autre des variétés de roches plutoniques, mais leur texture habituelle est fine ou vitreuse. Elles se caractérisent également par des structures que nous décrirons ci-après. La finesse de leurs grains rend parfois difficile l'identification des minéraux constituants et la désignation de la roche, bien que la coloration dominante puisse servir de point de repère. Les roches volcaniques peuvent être de texture uniformément grenue ou de texture porphyrique. Dans ce dernier cas, se référant à la désignation de la variété, on parle d'ordinaire de rhyolite porphyrique ou d'andésite porphyrique par exemple et,

parfois, selon la composition des phénocristaux, de porphyre à quartz ou porphyre à hornblende. Un grand nombre de roches volcaniques présentent de petites cavités (vacuoles) remplies de gaz ou vapeurs : on les dit alors *vacuolaires*. Si un minéral de formation ultérieure remplit des vacuoles en tout ou en partie, on dit que la roche est amygdaloïde. Les coulées de basalte ou celles de composition à peu près analogue se distribuent d'ordinaire en masses arrondies (structure en coussins) résultant de l'écoulement sous l'eau ou, en tout cas, dans un endroit très humide.

Certaines roches, en partie volcaniques et en partie sédimentaires, prennent naissance à la suite d'explosions volcaniques qui fragmentent des matériaux déjà cristallisés dans la cheminée d'un volcan, puis projettent dans l'air de gros fragments anguleux ou de petits fragments qui se transforment en cendre volcanique. Ces retombées se déposent en lits sur le sol ou au fond des nappes d'eau et se transforment plus tard en roches. Celles qui renferment des fragments plus gros s'appellent *brèches volcaniques* ou agglomérats volcaniques ; celles aux grains plus fins s'appellent *tuf*. On les classe, selon leur composition, en tuf rhyolitique, brèche andésitique, et *cetera*.

Roches sédimentaires

Nous avons déjà expliqué comment l'érosion produit les sédiments et les dépose sur le sol ou dans l'eau. Ces dépôts se tassent graduellement sous le poids des matières qui les recouvrent. Les grains peuvent être cimentés par la silice, le carbonate de calcium ou d'autres composés cristallisés provenant des impuretés dissoutes dans l'eau qui s'infiltré entre les grains. Les dépôts deviennent ainsi des roches sédimentaires solides, que l'on classe selon la grosseur et la composition de leurs grains.

Les éléments les plus gros des roches sédimentaires sont les conglomérats, les tillites et les brèches sédimentaires. Les *conglomérats* sont formés de gravier contenant des cailloux, des moellons ou des blocs émoussés. La *tillite* est une variété spéciale regroupant des matériaux détritiques glaciaires disparates (till). Les *brèches sédimentaires* renferment des fragments anguleux de roches, comme on en trouve dans les éboulements de roches et les talus d'éboulis. Les roches composées de particules rondes de la grosseur d'un pois, ou plus petites, prennent le nom de *gravillons*.

Les roches formées par la consolidation du sable comptent parmi les roches sédimentaires les plus communes. Le sable moyennement pur, composé presque entièrement de grains de quartz, peut se transformer en *grès*. Si les grains sont très petits la roche s'appelle *siltstone*. Si la roche renferme une quantité assez abondante de grains de feldspath, on l'appelle *grès feldspathique*, mais si le feldspath prédomine nettement on l'appelle *arkose*. Les sables renfermant de fortes quantités de minéraux ferromagnésiens ainsi que du feldspath, comme ceux qui résultent de l'érosion de la diorite ou du gabbro, produisent la *grauwacke*. Les sables déposés au moment où une activité volcanique s'exerçait

à proximité sont habituellement mêlés à la cendre volcanique ; à la consolidation, ils forment des roches comme *grès tufacé* ou la *grauwacke tufacée*.

Les sédiments à texture plus fine, surtout la boue et l'argile, produisent les *schistes*. Il s'agit généralement de roches grises ou noires qui se présentent en couches minces, plutôt tendres et frangibles. On peut d'ordinaire briser avec les doigts les petites pièces qu'on détache facilement des affleurements.

L'eau, douce ou salée, contient en général une forte quantité de carbonate de calcium en solution, ainsi que d'autres composés chimiques. Dans des conditions chimiques favorables, ces composés se déposent par précipitation pour former des dépôts mous qui se transforment en roches en durcissant. La plus commune des roches sédimentaires de cette catégorie est la *roche calcaire*, formée de carbonate de calcium. Elle est assez tendre, généralement blanche ou grise, parfois noire. Les surfaces altérées prennent d'ordinaire une apparence caractéristique, rugueuse et cariée. C'est que le carbonate de calcium est lentement soluble à la pluie ou dans l'eau. Certaines roches calcaires, surtout si elles sont impures, sont difficiles à reconnaître à l'œil nu. On les reconnaît toutefois par l'effervescence qui se manifeste si on y laisse tomber une goutte d'acide faible. La *dolomite*, formée principalement de carbonate de magnésium, est presque aussi commune que la pierre calcaire. Elle ressemble à la roche calcaire, sauf qu'on ne constate aucune effervescence spontanée lorsqu'on y applique un acide faible, à froid. Il y aura cependant effervescence si l'on gratte la roche au couteau.

Roches métamorphiques

Les roches ignées ou sédimentaires peuvent se transformer en des variétés totalement différentes, dites *métamorphiques*. Cela peut se produire sous l'effet de la pression et de chaleur et, dans une certaine mesure, de l'apport de matières fluides ou non. Ces transformations se produisent dans des couches profondes de la croûte terrestre, mais les roches ainsi produites peuvent affleurer, ou presque, par suite d'érosion en profondeur. Le métamorphisme peut entraîner la recristallisation des minéraux lithogénétiques primitifs en grains de grosseur ou d'orientation différentes, ou la formation de nouveaux minéraux plus stables dans des conditions physiques ou chimiques nouvelles.

Le mot métamorphisme signifie littéralement changement de forme. Selon certaines acceptions anciennes, ce vocable désignait uniquement les modifications sous l'effet de la chaleur ou de la pression, sans apport important de matière. Son acception actuelle exclut l'altération superficielle mais embrasse les transformations occasionnées par la chaleur ou la pression, ou par une action combinée des deux, ainsi que, dans une certaine mesure, par l'apport de matière en solution ou à l'état gazeux. Les échanges plus considérables de matière se nomment *métasomatisme* et *granitisation*, comme nous l'expliquerons plus loin.

Le métamorphisme a pour effet de réorganiser en tout ou en partie les minéraux constituants d'une roche et de

transformer la granulométrie des minéraux en texture généralement plus grossière. Il donne aussi naissance à de nouvelles structures, notamment par l'alignement des minéraux en zones feuilletées ou en bandes parallèles. Les minéraux métamorphiques les plus connus sont les micas, le grenat, la staurolite, la cyanite et la sillimanite. Certaines roches ont été métamorphosées au point de rendre difficile ou même impossible l'identification de leurs types antérieurs. Le travail d'identification pourra être facilité par la découverte de zones rocheuses assez peu altérées, ou encore si une strate ou autre formation, telle qu'un dyke, se prolonge dans la roche jusqu'à ses parties non métamorphosées ou les moins métamorphosées.

Dans certains rapports géologiques, on fait état de métamorphisme *de contact* et de métamorphisme *dynamique*. Dans le premier cas, il s'agit d'un métamorphisme plutôt localisé autour d'une intrusion rocheuse ; dans le second cas, le métamorphisme affecte d'importantes masses rocheuses et se rattache habituellement aux pressions orogéniques.

Voici brièvement définies certaines des roches métamorphiques les plus répandues :

Marbre : Roche constituée surtout de calcite ou de dolomie recristallisée, et dérivée de la roche calcaire ou de la roche dolomitique.

Skarn : Roche de granulométrie moyenne ou grossière, constituée surtout de minéraux à base de silicates calciques et renfermant habituellement de la magnétite.

Serpentine : Roche constituée essentiellement de minéraux de la famille des chlorites à serpentine. Les teintes varient d'ordinaire du vert au noir.

Roches vertes : Nom que les prospecteurs donnent aux roches de teintes verdâtres constituées surtout de chlorites, d'amphiboles ou d'épidotes. Elles proviennent généralement de roches volcaniques ou plutoniques de composition basique ou intermédiaire.

Quartzite : On désigne ainsi une roche métamorphique, constituée surtout de quartz, à cassure irrégulière et qui a tendance à briser les grains plutôt qu'à les contourner. Aussi, grès bien cimenté constitué surtout de quartz.

Fénite : Variété particulière de roche métamorphique de contact, associée à des roches ignées alcalines.

Argilite : Pierre formée de boue durcie sans clivage.

Ardoise : Schiste recristallisé remarquable par son bon clivage et exempt de la texture grossière de la phyllite.

Roche cornéenne : Roche recristallisée, de texture fine ou moyenne, formée par un métamorphisme de contact, exempte de schistosité ou de clivage ; généralement constituée d'ardoise ou de roches connexes.

Phyllite : Roche intermédiaire entre l'ardoise et le schiste quant à la granulométrie et au degré de métamorphisme. Elle renferme beaucoup de chlorites et de micas, ce qui la rend presque aussi feuilletée que le schiste.

Schiste : Roche très feuilletée, constituée surtout de minéraux lamelleux comme le mica ou la chlorite, et de minéraux granuleux comme le quartz, le feldspath ou le grenat. On compte plusieurs variétés dont le schiste à biotite, le schiste à grenat, *et cetera*.

Schiste vert : Roche à forte teneur de minéraux verts, comme la chlorite, la hornblende ou l'épidote.

Gneiss : Roche plus ou moins granulaire caractérisée par l'alternance de bandes de minéraux de teintes pâles et de teintes foncées, comme le quartz, le feldspath, la biotite et l'amphibole. Les fractures se font plus facilement dans le sens parallèle ou perpendiculaire aux strates. Dans les cas où le clivage est parallèle, il est moins régulier que dans les schistes. Le gneiss s'appellera *orthogneiss* s'il provient de roches ignées, et *paragneiss* s'il provient de roches sédimentaires, mais il n'est pas toujours possible d'établir cette distinction. Une variété répandue d'orthogneiss est le gneiss granitique. Cette expression est parfois utilisée abusivement pour désigner des roches qui ne sont issues du granite qu'en apparence seulement.

Certains gneiss spéciaux, de familles connexes, comprennent le *gneiss hybride*, constitué en partie de roches métamorphiques plus anciennes et en partie de matières ignées ; le *gneiss lit-par-lit*, dans lequel alternent des strates granitiques et mafiques ; la *migmatite*, roche mixte constituée habituellement de gneiss et contenant des matières granitiques et des matériaux métamorphiques probablement plus anciens.

Amphibolite : Roche de texture moyenne ou grossière, constituée surtout d'amphiboles et de plagioclases.

Granulite : Roche de texture moyenne ou grossière, granulaire et pratiquement non feuilletée.

Éclogite : Roche d'un vert terne à texture granulaire, constituée de pyroxène de grenat.

Le métamorphisme se qualifie de *faible* ou *prononcé* suivant le degré de transformation subi par les roches originales, plus particulièrement sous l'effet de la chaleur. Cette intensité du métamorphisme a donné naissance au concept du *faciès* métamorphique, selon lequel les roches soumises à certaines température et pression limites se caractérisent par la présence de certains minéraux ou roches stables, même si le faciès comporte d'autres roches. C'est un sujet d'étude important pour les géologues qui s'intéressent aux roches métamorphiques.

Le territoire canadien, d'une superficie de quatre millions de milles carrés, recouvre en partie les principales régions géologiques de l'Amérique du Nord. L'étude des terrains et formations révèle l'existence de roches et de structures de types et d'âges très variés. Les ressources minérales et les formes topographiques y sont donc multiples et fort diversifiées. Les variations géologiques et climatiques expliquent aussi la répartition des ressources forestières et agricoles, la vocation des terres ainsi que les concentrations démographiques. Le pays se divise en grandes régions géologiques comportant, dans la plupart des cas, des sous-régions d'importance et d'étendues diverses. Cette classification, bien sûr, est de caractère général. Il faut noter par ailleurs la complexité des caractéristiques géologiques et la diversité des ressources minérales propres à chaque région. Même si les principales régions et certaines de leurs subdivisions les plus importantes sont délimitées depuis plusieurs années, les auteurs ne les désignent pas tous de la même façon. En outre, d'autres subdivisions restent à établir.

Le présent chapitre décrit brièvement la géologie du Canada ; le lecteur comprendra qu'il ne nous était guère possible d'offrir, dans le cadre de cet ouvrage, autre chose qu'une esquisse des principales régions et subdivisions et une rapide description de leurs caractéristiques géologiques et tectoniques. Nous y signalons aussi les principaux gîtes minéraux connus et virtuels. À ceux qui souhaiteraient approfondir ce très vaste sujet nous suggérons la lecture d'un ouvrage excellent, riche en illustrations et en références, intitulé *Géologie et ressources minérales du Canada*.

Géologiquement, le Canada comprend un *bouclier*, quatre plates-formes, trois *orogènes* et trois *plateaux continentaux*, comme l'indique la figure 5. Le *Bouclier canadien* occupe à peu près la moitié du pays ; il emprunte vaguement la forme d'un bouclier et présente un ensemble de roches précambriennes, affleurantes ou non. Cette région, assez stable depuis le précambrien, est en quelque sorte le noyau du continent. Les plates-formes, entourant une grande partie du Bouclier, recouvrent des strates paléozoïques horizontales et des couches plus récentes reposant sur des socles précambriens constitués de roches généralement identiques à celles du Bouclier. Les orogènes sont de grandes zones allongées qui, à diverses époques du paléozoïque, du mésozoïque et au début du tertiaire, ont été le siège de mouvements orogéniques (formation des montagnes), accompagnés d'éruptions volcaniques et de métamorphisme. La formation, à époques diverses, de séries de géosynclinaux dans certaines parties des orogènes, a donné naissance à d'épaisses accumulations de strates sédimentaires, volcaniques, ou des deux. De nombreuses masses de roches plutoniques se sont formées à certains endroits. Les trois orogènes comprennent les Appalaches dans l'est du Canada, l'Inuitien dans l'Arctique et la Cordillère dans l'ouest canadien. Les roches qui s'y sont formées ont subi, au cours du processus orogénique, des plissements, des failles et des surrections à diverses époques, souvent plusieurs fois en un même endroit.

L'érosion des roches exhaussées explique en partie les formes actuelles des monts Appalaches, la chaîne Inuitienne et la Cordillère, exception faite de certains phénomènes glaciaires. Les plaines côtières longent les zones littorales de l'Arctique et du Pacifique, tandis que les plateaux continentaux se prolongent sous les océans Atlantique, Arctique et Pacifique.

Il y a environ 10 000 ans, au cours du pléistocène, le Canada était presque entièrement recouvert de glaciers. Ces glaciers ont strié et entraîné une grande partie des sols résiduels et des dépôts alluviaux formés à l'époque tertiaire ; ils ont érodé une partie de la roche de fond affleurante, laissant des surfaces striées, d'autres polies, et de grandes accumulations de sable, de gravier et d'argile déposées par les glaciers mêmes ou par leurs eaux de ruissellement, à mesure que le climat devenait plus tempéré. Il est difficile d'établir avec certitude les zones d'affleurement et de recouvrement pour l'ensemble du pays, vu les différences qui existent entre les grandes zones d'affleurement dans les hautes régions montagneuses et les plaines, presque entièrement recouvertes de dépôts. Une autre difficulté tient au fait que, dans plusieurs régions, les affleurements rocheux sont couverts de mousse ou dissimulés par le feuillage des arbres, de sorte qu'il est impossible de faire une estimation à partir de photographies aériennes. L'expérience a cependant démontré que la roche de fond est probablement recouverte de morts-terrains sur plus de 95 p. 100 de la superficie totale du Canada.

LE BOUCLIER CANADIEN

Le Bouclier canadien, comme nous le disions, englobe la moitié du pays. Composé de roches précambriennes affleurantes ou non, il se prolonge aux États-Unis pour former une grande zone au sud du lac Supérieur et la zone plus petite des Adirondacks dans l'État de New York. Des roches à peu près de même type et du même âge que celles du Bouclier descendent en pente douce sous les strates plus récentes qui flanquent ce dernier ; elles affleurent sous forme d'« enclaves » dans l'ouest de l'Arctique, au sud de la baie d'Hudson et dans l'île de Terre-Neuve.

La région du Bouclier recèle d'énormes ressources et constitue la plus importante source de métaux au Canada. On y extrait une grande variété de minéraux industriels ; les possibilités de découverte d'autres gîtes minéraux exploitables y sont immenses, à cause de son étendue et de ses nombreux secteurs géologiquement favorables. Les ressources forestières y sont abondantes et les nombreuses rivières y sont des sources d'énergie hydro-électrique. Sa topographie, son paysage et son climat tempéré, conditionnés par la géologie, en font aussi une région touristique très recherchée.

La surface rocheuse du Bouclier est ancienne et ondulée, l'érosion y ayant découpé des vallées plus récentes. Elle descend vers la baie d'Hudson et son élévation générale est d'environ 1 000 pieds au-dessus du niveau de la mer, le long de sa marge occidentale dans la

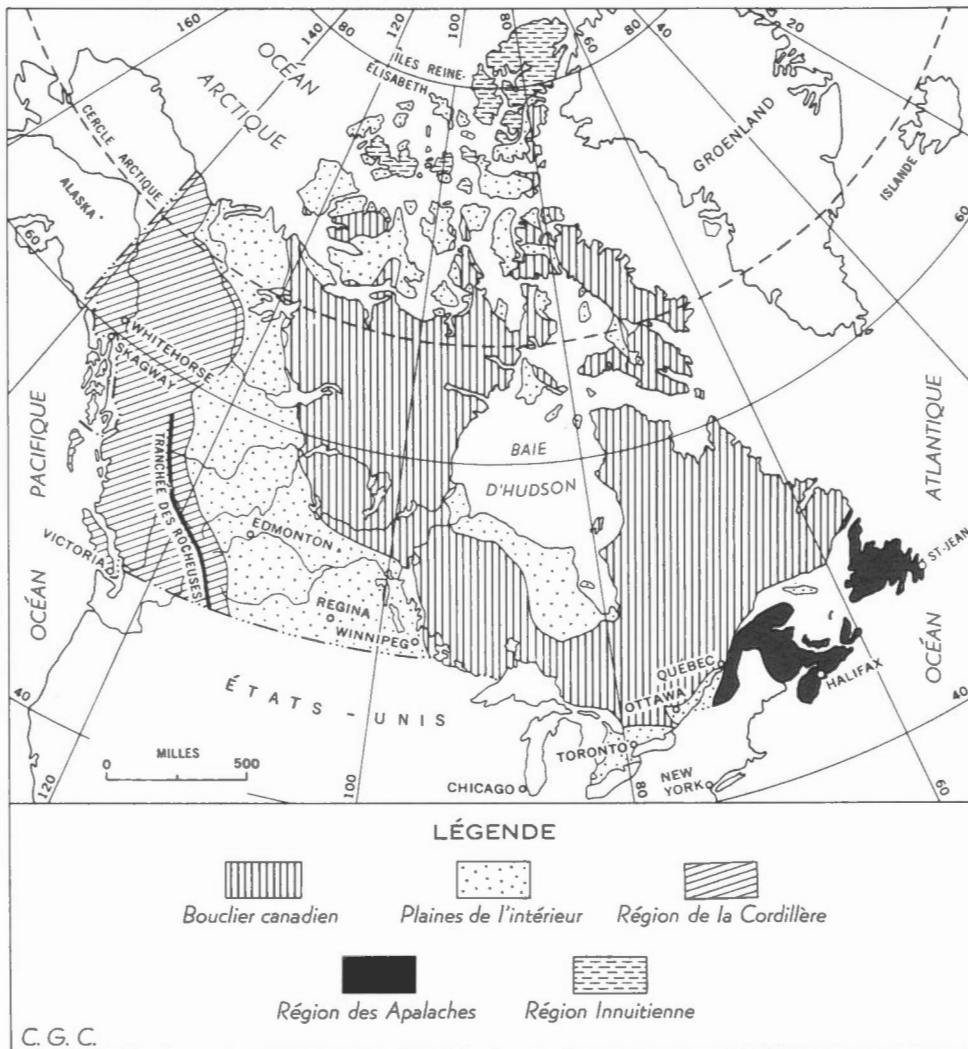


Figure 5.
Le Canada et ses principales régions géologiques.

Saskatchewan et les Territoires du Nord-Ouest. La topographie se hérissé davantage dans les hautes terres d'Hali-burton et des Laurentides, ainsi que le long du golfe Saint-Laurent; certaines montagnes s'élèvent à 5 500 pieds au Labrador et à 8 500 pieds dans l'île Baffin. Le Bouclier est demeuré relativement stable depuis la fin du précambrien; vers la fin du tertiaire, une surrection a relevé la surface de 300 à 700 pieds et les cours d'eau rajeunis ont entaillé les vallées. La période postérieure à la glaciation du pléistocène a aussi été témoin de changements d'élévation alors que des failles se sont produites le long de la bordure méridionale et près de la péninsule de Boothia, à différentes époques depuis la fin du précambrien.

Les roches du Bouclier représentent au moins les cinq sixièmes des temps géologiques: Les roches les plus anciennes se sont formées durant l'archéen et les plus récentes durant le protérozoïque (p. 15). Une surface d'érosion marquée et très étendue (discordance) qui remonte, croit-on, à 2 390 millions d'années, sépare les roches archéennes de celles du protérozoïque. Des

roches sédimentaires, volcaniques et plutoniques se constituèrent à diverses époques, le volcanisme ayant été particulièrement actif durant l'archéen. Dans nombre de secteurs du Bouclier, les roches ont été déformées par des périodes d'orogénèse survenues à des époques différentes selon les régions et donnant lieu à de multiples plissements et failles, au métamorphisme et à la granitisation. Les roches d'autres parties du Bouclier ont sans doute subi des transformations de même nature à diverses époques, mais seuls les effets de l'orogénèse la plus récente sont visibles en certaines régions. Dans beaucoup de secteurs, les roches archéennes ont été tellement altérées par le métamorphisme et la granitisation qu'il est impossible de reconnaître les types et structures primitives. Ailleurs, par contre, on peut identifier les strates métamorphiques, volcaniques et sédimentaires de l'archéen et les retracer dans des zones de plissements dont certaines représentent probablement des géosynclinaux très anciens. Les strates protérozoïques n'ont pas, en général, subi un métamorphisme aussi intense que celles des âges archéens. Dans plusieurs parties du Bouclier, d'épaisses accumula-

tions de strates, remontant au protérozoïque, se sont déposées en géosynclinaux et, plus tard, en longues zones de plissements. Ailleurs, des nappes relativement minces de strates protérozoïques, horizontales ou légèrement inclinées, recouvrent des roches plus anciennes.

On a maintenant cartographié, au moins par reconnaissance, presque tout le Bouclier. Les interprétations géologiques des roches plus récentes y sont plus difficiles étant donné le degré de métamorphisme et l'absence de fossiles. La corrélation avec des strates postérieures au précambrien en devient impossible. On a néanmoins réalisé de grands progrès au cours des dernières années, grâce à de minutieuses études géologiques, appuyées par des levés géophysiques et des datations isotopiques. Ces datations indiquent les périodes de métamorphisme et d'orogénèse plutôt que celles de la formation originelle des roches. Toutefois, les schémas d'évolution qui s'en dégagent présentent une telle cohérence que la crédibilité des interprétations orogéniques et tectoniques s'en trouve renforcée. Nous en traitons sommairement ci-après. (figure 6). Certains termes employés dans ces paragraphes ont été adoptés récemment par la Commission géologique du Canada. Nous avons cru bon de les employer pour qu'ils deviennent familiers à ceux qui auront à utiliser les nouvelles cartes ou à prendre connaissance de rapports récents. Le métier de la prospection est de plus en plus complexe et exigeant. Ceux qu'attire le potentiel immense du Bouclier auront avantage à puiser à même les ressources de la science et de la technique moderne. Dans les pages qui suivent nous tenterons de leur indiquer la voie.

Analyse du Bouclier canadien

Les premiers géologues considéraient les roches précambriennes de l'Europe et de l'Amérique du Nord comme un « complexe d'assises » dont on ne pouvait déchiffrer la stratigraphie, en raison du métamorphisme et de l'absence de fossiles qui auraient permis d'en établir la corrélation. Des études plus poussées du Bouclier canadien furent entreprises il y a plus d'un siècle. D'autres pays ont largement contribué à la définition des principes fondamentaux de la géologie précambrienne. Mais les géologues canadiens ont eux-même relevé le défi que leur présentait le Bouclier.

Les premières études du Bouclier ont porté sur les régions au nord des lacs Huron et Supérieur et à proximité de la rivière Outaouais. La découverte des camps miniers de Sudbury et de Cobalt, vers 1900, a donné le signal d'examen plus poussés. Ainsi, la région qui s'étend depuis la tête des Grands Lacs jusqu'au lac Témiscamingue, vers l'est, fut bientôt reconnue comme le prototype de tout le Bouclier. On devait se rendre compte plus tard qu'il s'agissait là d'une généralisation trop hâtive et que le terme « région classique » collait davantage à la réalité. Elle renferme un groupe de roches très métamorphisées, notamment du marbre, appelé série de Grenville, que plusieurs géologues tiennent pour le groupe le plus ancien,

à cause de son intense métamorphisme. On y trouve aussi des successions de strates volcaniques et sédimentaires très plissées et métamorphisées, de type archéen ; des formations où prédominent les roches volcaniques « groupe ou série Keewatin » et d'autres qui contiennent surtout des roches sédimentaires « groupe ou série Témiscamingue ». Ailleurs une discordance marquée a recoupé les roches volcaniques et sédimentaires altérées, ainsi que les roches plutoniques apparentées, d'un groupe de sédiments moins déformés et moins plissés auxquels on a donné le nom d'Huronien. Ces derniers remontent, croit-on, au début du protérozoïque. Ces sédiments ont été envahis par des intrusions granitiques plus récentes. Les sédiments horizontaux de la région de Port-Arthur s'appellent « série animikéenne » ; on les fait remonter à la fin du protérozoïque. Quelques lits de diabase plus récents, semblables à des filons-couches, s'appellent « keweenawiens » et datent de la toute fin du protérozoïque. On désigna sous le nom de « série Cobalt » le conglomérat plat de la région du même nom, pour découvrir plus tard qu'il s'agissait d'équivalents non plissés des strates huroniennes. Les filons-couches et dykes de diabase qui recoupent les sédiments de Cobalt ont été jugés équivalents à ceux du Keweenawien. Un « front », caractérisé par un métamorphisme et une granitisation ignés, sépare les roches des types huronien et Grenville, comme l'ont indiqué W. H. Collins et d'autres géologues. Dans le même esprit, M. E. Wilson, désignait « sous-province de Grenville » la région qui recèle des roches du type Grenville, et « sous-province du Lac Supérieur » la partie nord-ouest qui renferme des roches moins déformées. Ce dernier tenait le Bouclier tout entier pour une province géologique. La plupart des géologues modernes sont d'avis contraire, estimant le Bouclier trop vaste pour constituer une province unique. À mesure qu'on s'éloignait de la région classique, les corrélations avec les ordres chronologiques déjà établis posaient des difficultés grandissantes. On devait peu à peu reconnaître que diverses parties du Bouclier avaient connu à des époques différentes la même évolution géologique et que les corrélations établies n'étaient pas valables. Certains géologues ont employé des expressions comme « type Témiscamingue » pour désigner des formations douteuses. Au fur et à mesure des recherches, ces désignations sont remplacées par des noms stratigraphiques adaptés à chacune des grandes régions. Ce foisonnement d'appellations rend confuse la description géologique détaillée du Bouclier. Heureusement, celle des régions renfermant des formations plus récentes s'appuie sur une terminologie mieux normalisée et qui se rattache à des superficies plus grandes.

Les divisions temporelles de l'archéen et du protérozoïque ont été désignées diversement. La confusion que cela entraîne ne facilite pas la compréhension de la géologie du Bouclier canadien. Des termes aussi vagues que protérozoïque ancien et récent ont été retenus faute de pouvoir établir — en raison de l'absence ou de la rareté des fossiles — les ères et périodes avec autant de précision que dans le cas des ères du paléozoïque, du mé-

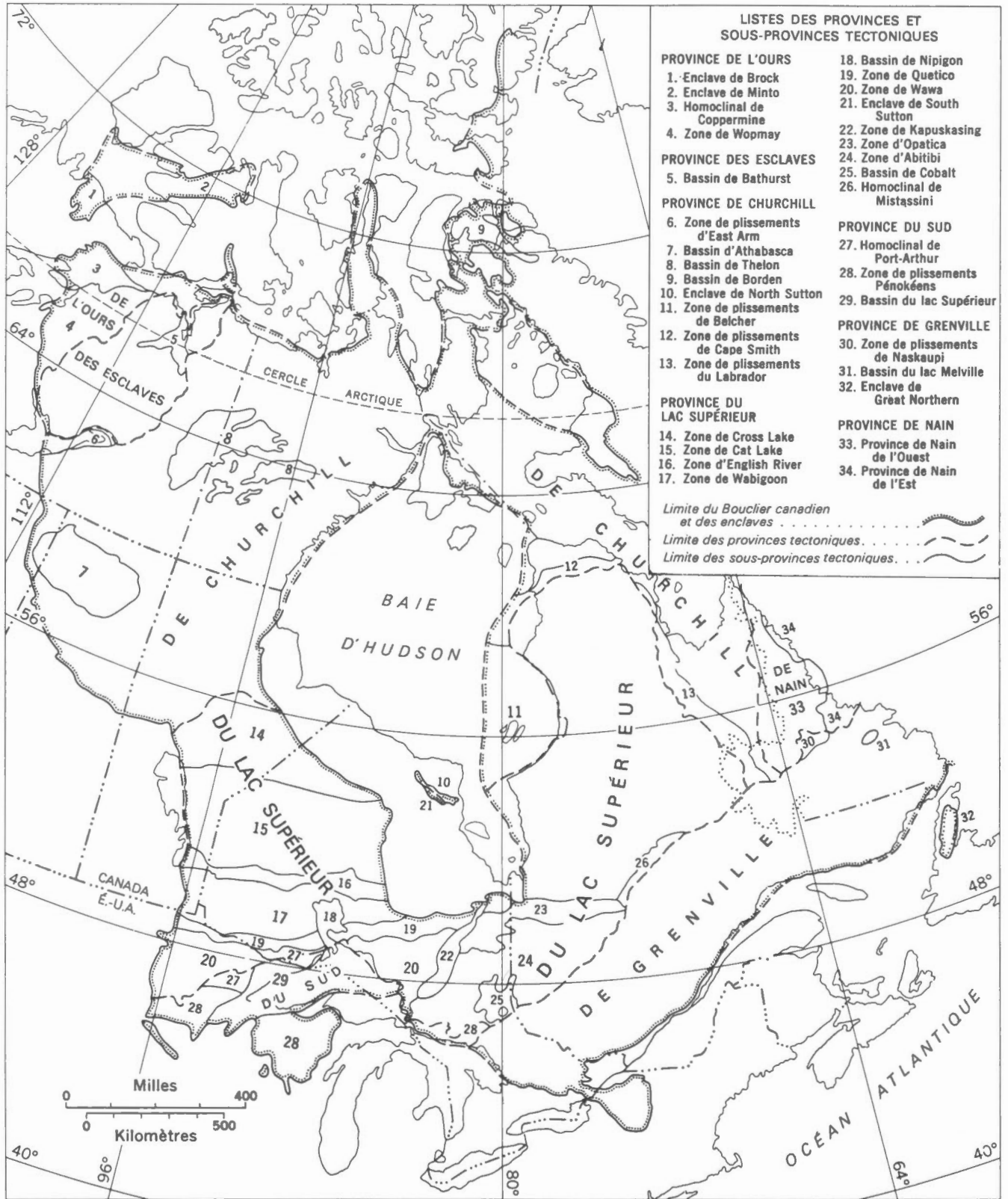


Figure 6. Provinces et sous-provinces tectoniques du Bouclier canadien (par C. H. Stockwell).

sozoïque et du tertiaire. Les termes Huronien, Keewatin et Témiscamingue réservés d'ordinaire à certaines séries de strates du précambrien ont été appliqués, dans des régions fort dispersées, à des strates et structures d'apparence identique mais qui peuvent fort bien s'être formées à des époques différentes.

Le nombre croissant de datations isotopiques dont on dispose et les réalités tectoniques et lithologiques auxquelles elles correspondent ont amené C. H. Stockwell à proposer, en 1965, des divisions précises pour le protérozoïque. Ces divisions, adoptées par la Commission géologique du Canada, sont les suivantes : l'archéen et le protérozoïque s'appellent âges et non ères, comme les avait nommés certains auteurs. Le protérozoïque se divise en trois ères appelées l'aphézien (la plus ancienne), l'hélikien et l'hadrymien. L'hélikien se subdivise à son tour en deux sous-ères, la plus ancienne s'appelant le paléohélikien et la plus récente, le néohélikien.

Il est maintenant admis que le Bouclier peut et doit être divisé en *provinces* principales et en sous-provinces. Les premières correspondent à des territoires tectoniques plutôt que géologiques. C'est que des roches de types identiques ont pu s'y former à différentes époques et que la datation isotopique indique la période d'orogénèse et de métamorphisme plutôt que celle de la formation originelle. Le Bouclier est donc divisé maintenant en sept provinces (figure 6). Elles portent les noms de lac Supérieur, des Esclaves, de Churchill, de l'Ours, du Sud, de Nain et de Grenville, et se distinguent principalement par les grandes différences directionnelles de leur structure interne et par les types de plissements. La démarcation s'établit lorsqu'une direction est coupée par un mouvement plus récent, soit le long des discordances principales, soit le long des « fronts orogéniques », c'est-à-dire là où des zones délimitent la région d'influence d'une période ancienne d'orogénèse. Les datations isotopiques coïncident avec ces principales différenciations, ce qui ajoute à leur crédibilité.

Plusieurs géologues ont proposé l'établissement de diverses sous-provinces. Stockwell, pour sa part, a indiqué récemment ses choix relativement aux noms et aux délimitations proposées, ajoutant des précisions nouvelles. Certains secteurs importants des provinces restent cependant à définir. La plupart d'entre elles, qui ont été définies, sont indiquées à la figure 6 et dans le texte. Les sous-provinces qui renferment des strates archéennes et protérozoïques plissées sont appelées « zones de plissements » ou « zones » ; celles qui contiennent des strates archéennes ayant généralement subi un plissement plus intense. On appelle « homoclinaux » les sous-provinces caractérisées par des strates légèrement inclinées dans une même direction, et « bassins » celles qui le sont par des couches planes. Les homoclinaux et les bassins datent, pour la plupart, du protérozoïque et recouvrent des roches précambriennes.

M. Stockwell a aussi défini quatre orogènes principaux au sein du Bouclier. Toutefois, le degré d'incertitude et d'erreur dans les datations isotopiques nous empêche d'établir une chronologie rigoureuse des cycles orogéniques. Les définitions ne se fondent donc en définitive que sur la présence de certaines roches dans des zones types servant de critères. Le processus orogénique s'est probablement répété à plusieurs époques distinctes dans les mêmes parties du Bouclier. Les déformations plus récentes empêchent de reconnaître les orogénèses antérieures. Les quatre orogènes — dont l'âge approximatif est exprimé en millions d'années — sont établis d'après la moyenne des datations isotopiques. Ce sont les suivants : le kénoréen (2 490 m.a.) représente le dernier plissement généralisé ainsi que l'activité métamorphique et plutonique de la province du lac Supérieur ; l'udsonien (1 735 m.a.) dans la province de Churchill ; l'elsonien (1 370 m.a.) dans la province de Nain, et le grenvillien (945 m.a.) dans la province de Grenville.

Province du lac Supérieur

Cette province, la plus vaste des provinces structurales, comprend des strates volcaniques et sédimentaires altérées et de grandes étendues de roche granitique et gneissique. Elle renferme des roches volcaniques du type Keewatin, des sédiments du type Témiscamingue et des couches qui leur sont apparentées. Les roches volcaniques y sont diverses et abondantes. La plupart ont été transformées en chlorite et autres minéraux verts, d'où leur nom de *roches vertes*. Beaucoup de roches vertes contiennent des *coussins* arrondis, témoignant des coulées de lave qui se sont produites au fond d'une mer ou d'un lac.

Les structures générales s'orientent surtout vers l'est. La partie sud-est de la province comprend le vaste complexe de la sous-province d'Abitibi, constituée d'une large zone géosynclinale plissée s'étendant de Timmins à Chibougamau. Elle recèle des couches volcaniques et sédimentaires ainsi que des gîtes d'anorthosite dans les secteurs de Matagami et de Chibougamau. La partie occidentale de la province comprend les zones de plissements volcaniques et sédimentaires de Cross Lake, de la rivière English et de Quetico. Des couches de recouvrement, légèrement ou non plissées, forment les bassins de Cobalt ainsi que l'homoclinale de Mistassini.

La province du lac Supérieur, et particulièrement la sous-province d'Abitibi, est l'une des plus importantes sources de métaux au Canada, sinon la plus importante. Les gîtes de cuivre, de zinc et d'or y abondent et on y trouve également des quantités considérables de fer, de molybdène et d'autres métaux. Le bassin de Cobalt a fourni les importants minerais d'argent du camp de Cobalt, dont l'exploitation se poursuit encore. Un relevé des mines qui ont été mises en exploitation entre 1956 et 1966 indique que près du tiers se trouvent dans la province du lac Supérieur, notamment la quasi-totalité des mines de fer, de zinc, d'argent et d'or. Ajoutons que la moitié des mines de cette province produisent surtout du cuivre.

Province du Sud

Les parties de la province du Sud rattachées au territoire canadien englobent une vaste étendue du lac Supérieur, l'homoclinal Port-Arthur et la zone de plissements pénokéens au nord du lac Huron. La province se prolonge au sud sous une partie des États du Michigan, du Wisconsin et du Minnesota où l'on extrait de grandes quantités de minerai de fer.

C'est dans la zone de plissements pénokéens, formée de strates huroniennes classiques, que l'on trouve deux des plus importantes régions minières du monde : celle de Sudbury (nickel-cuivre), et celle d'Elliot Lake (uranium). On exploite, dans le bassin du lac Supérieur, au nord de Sault-Sainte-Marie, un type particulier de gisement de cuivre-chalcocite natif, identique à ceux qu'on trouve dans le nord de l'État du Michigan.

Province des Esclaves

La plupart des roches de la province des Esclaves ressemblent à celles de l'âge archéen de la province du lac Supérieur. La structure directionnelle des roches de cette province, quoique incurvée, porte surtout vers le nord. Elle repose principalement sur des roches granitiques et gneissiques et renferme des couches sédimentaires métamorphisées et des moindres quantités de roches vertes du groupe Yellowknife. On exploite d'importants gisements aurifères à Yellowknife ; ceux des autres parties de la province sont moins importants. On trouve aussi dans cette province de nombreuses zones susceptibles de contenir de l'or et quelques autres du béryl, du lithium et du nobium.

Province de Churchill

La partie occidentale de la province de Churchill s'étend entre les provinces du lac Supérieur et des Esclaves et se caractérise par des zones incurvées de roches sédimentaires, volcaniques et gneissiques qui forment aussi une partie de la plate-forme d'Hudson et de l'enclave de Sutton, au sud de la baie d'Hudson. Elles remontent ensuite vers le nord, traversent les îles Belcher pour donner les zones de plissements de Cape Smith et du Labrador. Les frontières entre les provinces de Churchill, du lac Supérieur et des Esclaves sont parfois des discordances marquées et parfois des fronts orogéniques. À l'intérieur de la province, des roches plissées recouvertes de couches plates ou légèrement inclinées forment les bassins d'Athabasca, de Borden et de Thelon.

La partie nord-ouest de la province de Churchill, au Grand Lac des Esclaves, renferme la zone de plissements d'East Arm formée de couches protérozoïques. C'est dans cette zone que l'on a découvert des venues de cuivre, de plomb, de zinc, d'uranium, de nickel, de cobalt et de tungstène. Une zone à orientation nord — dite zone de

Taltson ou de Nonacho* — dans la partie de la province qui s'étend entre le Grand Lac des Esclaves et le lac Athabasca, contient plusieurs gîtes probables de minéraux sulfurés et des venues d'uranium. Au nord du lac Athabasca, des roches sédimentaires et volcaniques du protérozoïque recouvrent une zone plus ancienne de strates métamorphisées. On y trouve quantité de gîtes probables d'uranium et plusieurs mines d'uranium déjà en exploitation. Cette zone, que l'on appelle Athabasca-Rankin* dans certaines publications, se prolonge de façon discontinue vers la baie d'Hudson où l'on a exploité une mine de nickel à Rankin Inlet. Aucune venue d'uranium n'a été repérée dans la partie orientale de la zone. Au sud du lac Athabasca, une grande nappe de grès protérozoïque et autres sédiments forme le bassin d'Athabasca. Entre ce bassin et la province du lac Supérieur, se déploie l'un des plus importants secteurs métallifères du Bouclier. Il comprend les gîtes de zinc-cuivre de Flin-Flon et des environs, les gîtes de nickel-cuivre de Thompson et de Lynn Lake et les mines d'or à l'est de Flin-Flon. Les secteurs orientaux de la province renferment les gîtes de fer du Québec et du Labrador, et ceux des îles Belcher ; on y trouve aussi des gîtes de plomb-zinc au golfe Richmond et plusieurs types de gîtes dans la zone de Cape Smith.

Province de l'Ours

Séparées des roches de la province des Esclaves par une discordance, les couches sédimentaires et volcaniques plus récentes de la province de l'Ours s'étendent sur une vaste zone plissée et inclinée dessinant une vaste région triangulaire entre le Grand Lac des Esclaves et le Grand Lac de l'Ours. Les roches plus anciennes de la province de l'Ours sont recouvertes en discordance par des strates légèrement inclinées, à prépondérance basaltique, dans l'homoclinal de Coppermine. Au nord, des roches apparentées à celles de la province de l'Ours forment les enclaves de Brock et de Minto, entourées de roches postérieures au précambrien. Elles ne peuvent donc être considérées comme faisant partie intégrante du Bouclier proprement dit.

Les roches de la province de l'Ours renferment les gisements d'uranium d'Eldorado et de Rayrock, ainsi qu'un gisement de cuivre en exploitation à Port-Radium. Les gisements de cuivre de l'homoclinal de Coppermine font présentement l'objet d'analyses intensives. Leur attrait s'est accru depuis le développement des moyens de transport dans les régions septentrionales et l'accroissement de la demande. Ces gisements, dont certains sont connus depuis nombre d'années, ont des traits communs avec ceux du Michigan et de la région au nord de Sault-Sainte-Marie. Bien que la chalcocite y soit le principal minéral cuprifère, certains filons amygdaloïdes et certains dépôts de brèche contiennent du cuivre natif, de la bornite ou de la chalcopyrite.

* Ces zones ne sont pas comprises dans le schéma de la figure 6.

Province de Nain

On ne possède pas de carte géologique précise de la province de Nain. Mentionnons toutefois qu'elle s'étend depuis la partie orientale de la province de Churchill jusqu'à la côte du Labrador. Elle renferme des roches métamorphiques semblables à certaines roches de la province de Grenville, et d'importantes masses d'anorthosite. Un front orogénique constituerait la frontière entre cette province et celle de Churchill. On a provisoirement divisé la province en deux parties, orientale et occidentale, à cause des différences qui existent dans les datations isotopiques. Peu de gîtes minéraux y ont été découverts à ce jour. Plusieurs gîtes probables d'uranium, près de Makkovik sur la côte du Labrador, sont à proximité de la frontière provisoire de Grenville. Pour le moment on les rattache à la province de Nain.

Province de Grenville

La province de Grenville, qui forme la partie sud-est du Bouclier entre le lac Huron et le sud du Labrador, est séparée des provinces du lac Supérieur méridional, de Churchill oriental et de Nain par un front orogénique dénommé front de Grenville. Ce front s'étend en direction nord-est sur une distance d'environ 1 000 milles, recoupant les orientations des autres provinces. Sa frontière est en partie marquée par une discordance où les couches de la zone de plissements de Naskaupi reposent sur les roches de la partie occidentale de la province de Nain. Sur l'île de Terre-Neuve, une enclave entourée de failles renferme des roches semblables à certaines que l'on trouve dans la province de Grenville.

La roche type de Grenville est constituée de calcaires cristallins et de roches calcaires impures — surtout dans la partie sud-ouest de la province — ainsi que de gneiss et de schistes à grenat et d'autres minéraux typiques du métamorphisme intense des roches calciques et argileuses. On y trouve aussi des stocks et des batholites de roches plutoniques saliques et mafiques, de même que de l'anorthosite et d'innombrables masses de pegmatite et de roches apparentées. On a proposé de constituer en sous-provinces certaines parties de la province de Grenville. Une étude détaillée des divers secteurs étant en cours, nous n'avons pas cru opportun d'en faire état ici, ni de les indiquer sur la carte de la figure 6.

La province de Grenville est renommée pour ses venues pegmatitiques et métagénétiques de minéraux. Celles-ci renferment de nombreux gîtes de magnétite métagénétique et de pegmatite à teneur de mica, de feldspath, d'apatite et d'autres minéraux, ainsi que les gîtes d'uranium de la région de Bancroft. On y exploite aussi d'importants gisements de fer constitués de roches qui sont l'équivalent métamorphisé de celles qu'on trouve dans la zone du Labrador. Au nord de Havre-Saint-Pierre, de vastes gisements de titane sont exploités. Des filons renfermant des sulfures de zinc et de plomb ont été exploités aux mines New Calumet et Tétéreault, près de la frontière méridionale de la province, mais on y a rarement découvert de vastes gîtes de sulfure massifs ou disséminés.

PLATES-FORMES

Plate-forme de l'Intérieur

La plate-forme de l'Intérieur s'étend sur une vaste superficie généralement appelée Plaine intérieure ou Grande plaine. Cette région se déploie vers le nord, depuis le centre des États-Unis, pour constituer la partie continentale du Canada entre le Bouclier canadien et la Cordillère. Des strates sédimentaires non disloquées, ou légèrement infléchies, atteignant par endroits jusqu'à 10 000 pieds de profondeur, reposent sur un socle de roches précambriennes légèrement inclinées vers l'ouest, à raison de 15 pieds au mille. Des levés géophysiques et des forages de puits de pétrole et de gaz (nombre de ces forages ont percé de quelques pieds la roche précambrienne) ont permis de réunir quantité de données sur les roches de recouvrement et sur la position de la surface sous-jacente dans la partie méridionale de la région. Des renseignements de même nature ont été recueillis à propos des zones septentrionales. À une époque, les couches de couverture s'étendaient sur presque tout le Bouclier. Elles ont par la suite été érodées. L'érosion a tronqué les strates chevauchantes, de sorte que les formations anciennes affleurent en bandes relativement étroites, encerclant une bonne partie du Bouclier (carte géologique du Canada, notamment la région entre Winnipeg et le Grand Lac de l'Ours). Des couches plus récentes, occupant de plus vastes étendues à l'ouest, recouvrent les prolongements de strates paléozoïques et mésozoïques anciennes. Les strates paléozoïques de la partie centrale du Manitoba se composent de dépôts marins de calcaires; de grès et de schistes de l'ordovicien, du silurien et du dévonien; de dépôts de sel, d'anhydrite et de dolomie formés par évaporation dans les bassins partiellement isolés du reste de la mer. Plus au nord, les strates paléozoïques exposées remontent surtout au dévonien. Les formations paléozoïques sont recouvertes de couches d'origine marine du début du mésozoïque, à leur tour recouvertes par les formations crétacées déposées soit dans la mer, soit dans l'eau douce. Ces derniers forment les couches supérieures d'une grande partie de la Saskatchewan et de l'Alberta. À Turtle Mountain (Manitoba) et dans les collines du Cyprès (Saskatchewan), des vestiges de formations du tertiaire ancien recouvrent ces couches.

Les sols riches de la partie méridionale de la plate-forme, ceux de la plaine du Manitoba en particulier, sont le résultat de l'altération des couches sous-jacentes et des gîtes non consolidés formés par la glaciation. La majeure partie des ressources pétrolières et gazières du Canada sont contenues dans des strates paléozoïques et mésozoïques, surtout en Alberta, mais aussi en Saskatchewan, au Manitoba et au nord-est de la Colombie-Britannique. L'âge des couches productives se situe entre le dévonien et le crétacé. Nombre de roches réservoirs sont des calcaires récifaux très poreux. Certains autres « pièges stratigraphiques », tels les lentilles de grès poreux et de dolomie dans du schiste ou de l'anhydrite non poreux, ont aussi leur importance. Récemment, on a étendu à

presque toutes les plaines, y compris celles de l'archipel Arctique, la recherche de pétrole et de gaz. Les sables bitumineux de l'Athabasca, qui longent la rivière Athabasca sur plus de 100 milles, au nord de l'Alberta, sont des accumulations de pétrole lourd dans du sable du crétacé inférieur. Entre 100 000 et 300 000 millions de barils y seraient enfouis ; ce qui dépasse toutes les autres réserves connues dans le monde. On produit, ou on a produit, du charbon en plusieurs endroits. La plate-forme de l'Intérieur contient aussi de la potasse, du sel, du gypse, du calcaire et d'autres produits non métallifères. L'extraction de la potasse constitue depuis quelques années l'une des principales industries de la Saskatchewan. Les seuls gîtes métallifères connus sont le zinc et le plomb renfermés dans de la dolomie dévonienne, juste au sud du Grand Lac des Esclaves. Un centre minier important y a été établi récemment, plus précisément à Pine Point.

Plate-forme de l'Arctique

La plate-forme de l'Arctique s'étend sous une grande partie de l'archipel Arctique, entre l'orogène de la région Inuitienne et la partie exposée du Bouclier. Il s'agit de couches plates constituées surtout de calcaire, de dolomie et de dolomie schisteuse de l'ordovicien et du silurien, aussi, à certains endroits, de strates cambriennes, dévoniennes et tertiaires dont quelques-unes contiennent de la houille. Les possibilités de venues de pétrole et de gaz dans certaines couches soulèvent un vif intérêt.

Plate-forme du Saint-Laurent

La plate-forme du Saint-Laurent flanque la partie méridionale du Bouclier, depuis le lac Huron jusqu'à la ville de Québec, à l'exception d'une petite région du Bouclier appelée axe de Frontenac. La partie de la plate-forme située au sud-ouest de l'axe porte le nom de basses-terres des Grands Lacs ; celle au nord-est s'appelle basses-terres du Saint-Laurent. Elles recouvrent des couches légèrement inclinées de calcaire, de dolomie, de grès et de schiste du cambrien, de l'ordovicien, du silurien, du dévonien et du mississipien. Les couches à l'ouest de l'axe ont une puissance totale de 5 877 pieds. Aucune région ne recouvre cependant la succession complète des strates, celles-ci décrivant une légère pente en direction sud-ouest. Aucun forage n'a dépassé 4 727 pieds. À l'est de l'axe, les formations du Québec atteignent une épaisseur totale de 10 000 pieds. Les strates ordoviciennes et siluriennes affleurent sur l'île d'Anticosti.

Le premier champ de pétrole découvert au Canada se trouvait dans la région au nord du lac Érié d'où l'on extrait encore du gaz naturel et un peu de pétrole. Presque tout le pétrole a été tiré de couches dévoniennes ; le gaz, de couches siluriennes, en grande partie. La plate-forme du Saint-Laurent, source importante de sel et de matériaux de construction, ne contient cependant qu'un nombre restreint de venues métallifères. Le gîte de fer de Marmor

est enfoui dans des roches précambriennes qui portent un mince recouvrement de strates paléozoïques ; il se trouve donc, techniquement parlant, dans les basses-terres.

Les collines montérégiennes, aux environs de Montréal, dont le Mont-Royal est un exemple bien connu, sont les vestiges de petites intrusions alcalines ignées plus résistantes à l'érosion que les couches environnantes, datant probablement du crétacé. Les gîtes de niobium d'Oka (Québec) sont associés, croit-on, à l'activité montérégienne ignée.

Plate-forme d'Hudson

La plate-forme d'Hudson se déploie sous la majeure partie de la baie d'Hudson et des basses-terres de la baie d'Hudson, entre Churchill et Moosonee. Elle recouvre des strates ordoviciennes, siluriennes et dévoniennes composées essentiellement de calcaire et de dolomie ; également un petit nombre de strates jurassiques ou crétacées. On n'a pu établir avec précision l'épaisseur de cet assemblage de roches sédimentaires. Les affleurements y sont rares et l'on y a effectué qu'un petit nombre de forages. D'importants gisements de gypse dans la succession dévonienne et de vastes gîtes de lignite dans les couches du mésozoïque y ont toutefois été découverts. On y cherche présentement du pétrole ou du gaz.

OROGÈNE DES APPALACHES

Prolongement vers le nord-est d'une chaîne située en grande partie aux États-Unis, l'orogène des Appalaches comprend toute la partie du Québec qui s'étend au sud du Saint-Laurent et à l'est d'une ligne reliant Québec au lac Champlain. En outre, elle englobe tout le Nouveau-Brunswick, la Nouvelle-Écosse, l'Île du Prince-Édouard et l'île de Terre-Neuve. Cette région se caractérise par des structures géologiques à orientation nord-est, formées durant le paléozoïque et contrastant avec les orogènes plus récents de la Cordillère. La topographie des Appalaches reflète généralement ces directions structurales, étant formée d'un ancien plateau incliné vers le sud-est où les cours d'eau et l'érosion ont taillé des vallées et des collines. À l'intérieur de la Gaspésie, les monts Shickshocks s'élèvent à plus de 4 200 pieds au-dessus du niveau de la mer.

Une longue faille arquée, s'étendant en direction nord-est à partir du lac Champlain, constitue la limite entre les couches paléozoïques très disloquées de l'orogène des Appalaches et les couches horizontales du même âge de la plate-forme du Saint-Laurent. Cette faille explique la courbe prononcée décrite par la rive sud du bas Saint-Laurent. Elle aurait été provoquée, estime-t-on, par des poussées survenues durant l'ordovicien et le dévonien ; d'autres déplacements ont pu cependant survenir à d'autres époques.

Affleurant dans une enclave de la partie occidentale de l'île de Terre-Neuve, les roches précambriennes, datant de l'hélien ou d'une époque antérieure, ressemblent à celles de la province de Grenville. Elles sont séparées du

Bouclier canadien par des couches paléozoïques. La partie septentrionale de l'orogène des Appalaches, formée surtout entre la fin de l'hadrynien et du permien, renferme des sédiments d'évaporite du mississipien et de « roches rouges » ferrugineuses du trias. En plusieurs endroits de l'orogène, des dépôts se sont formés dans divers auges et bassins locaux ; d'où la variété des roches et des fossiles contenus dans des strates du même âge. Des roches volcaniques saliques et mafiques se sont aussi déposées à diverses époques. Les strates du silurien moyen les plus profondes en Amérique du Nord affleurent près de la baie des Chaleurs. Les roches sédimentaires y atteignent 8 427 pieds et les roches volcaniques 4 626 pieds.

Des gisements orogéniques — surtout le taconique (ordovicien) et l'acadien (dévonien) — ont entraîné le métamorphisme, la formation de roches plutoniques et la minéralisation des couches déposées. À la fin du carbonifère, des plissements et des failles ont de nouveau modifié certaines parties de la région à la suite des mouvements orogéniques qui se sont manifestés de façon plus marquée dans les Appalaches américaines. Durant l'orogénie acadienne, survenue aux trois époques du dévonien, on assiste à la formation de divers massifs granitiques et de roches ignées apparentées. De nombreuses masses de roches ultramafiques apparaissent, par intervalles, dans les zones de plissements à direction nord-est de l'Estrie et de Terre-Neuve. La plupart de celles-ci font intrusion dans les couches cambriennes et ordoviciennes et remontent probablement à l'orogénèse taconique.

L'orogène des Appalaches fournit présentement 9 p. 100 environ de la production canadienne de minéraux, dont les combustibles. Parmi les minéraux industriels les plus importants, on compte l'amianté, apparenté aux roches basiques de l'Estrie, le gypse, la barytine et le sel extrait des couches mississippiennes de la Nouvelle-Écosse. On exploite aussi des gisements de gypse au Nouveau-Brunswick. Presque toute la production canadienne de fluorine provient de filons dans le granite et les roches apparentées de Terre-Neuve. Les couches pennsylvaniennes renferment les gîtes de houille de la Nouvelle-Écosse. D'autre part, on exploite des mines de cuivre, de zinc, de plomb, d'or et d'argent au centre de la Gaspésie et de Terre-Neuve. La plupart des gîtes remontent à l'orogénèse acadienne, comme bon nombre des filons aurifères autrefois mis en valeur en Nouvelle-Écosse. Jusqu'à récemment, on exploitait des gîtes stratiformes de fer dans des sédiments ordoviciens, à Wabana, Terre-Neuve.

OROGÈNE DE LA CORDILLÈRE

La Cordillère canadienne fait partie d'une large zone de hautes montagnes et de plateaux longeant le côté occidental des deux Amériques et se prolongeant dans les îles Aléoutiennes et la côte de l'Asie. Des structures transversales la touchent en quatre parties, dont la plus septentrionale englobe tout le Canada et l'Alaska. En

Colombie-Britannique et en Alberta, une vallée extrêmement longue et droite appelée sillon des Rocheuses délimite nettement deux grandes provinces géologiques et tectoniques. S'étendant sur près de 1 000 milles depuis la frontière des États-Unis jusqu'à proximité des limites de la Colombie-Britannique et du Yukon, ce sillon est né de l'érosion d'une zone de failles. La région comprise entre le sillon et le Pacifique recouvre surtout des roches plutoniques, volcaniques et métamorphiques. À l'est du sillon, les montagnes Rocheuses et la zone des Foothills sont presque entièrement formées de strates sédimentaires façonnées en grands plis et en blocs faillés. Le sillon perd son identité à environ 60° de latitude, près de l'endroit où s'arrêtent les Rocheuses. Dans son ensemble, la géologie des parties du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest s'étendant au nord-ouest des Rocheuses s'apparente de très près à celle de la Cordillère occidentale de la Colombie-Britannique. Plus à l'est, dans les Territoires du Nord-Ouest, les monts Mackenzie, à l'ouest du fleuve du même nom, s'identifient aux Rocheuses. Les monts Franklin, à l'est du Mackenzie, correspondent sensiblement aux Foothills. La limite entre les Cordillères occidentale et orientale dessine donc un grand arc, portant 60° de latitude, qui longe les limites occidentales des monts Mackenzie et s'oriente ensuite vers l'ouest au-delà du Yukon et se trouve ainsi à appartenir à la Cordillère orientale et aux chaînons Richardson et aux monts Britanniques situés au sud de la côte arctique.

Surtout métallifère, la Cordillère occidentale n'en renferme pas moins des quantités appréciables de minéraux industriels et de houille. La Cordillère orientale, elle, est surtout réputée pour son charbon, son pétrole et ses minéraux industriels.

Cordillère occidentale

La partie occidentale de l'orogène de la Cordillère comporte une série de géosynclinaux propices à la formation de sédiments et de roches volcaniques ou plutoniques. Nombre des gisements métallifères de cette région proviennent des orogénèses du jurassique récent et du crétacé. On associe cependant à des orogénèses antérieures nombre d'autres gisements. Dans les trois complexes très métamorphisés de Shuswap, Wolverine et du Yukon, à l'intérieur de la Colombie-Britannique et du Yukon, on trouve certaines roches équivalant à des strates protérozoïques métamorphisées, des roches altérées du paléozoïque, et d'autres d'altération plus récente. À l'ouest, on rencontre le Complexe plutonique côtier, désigné autrefois sous le nom de Batholite de la chaîne côtière. Vu l'importance de sa masse, cette appellation était erronée. Il est séparé de la Cordillère orientale par des plutons de tailles diverses, dispersés dans les complexes métamorphiques ou dans les zones de recouvrement de roches volcaniques et sédimentaires du paléozoïque et du mésozoïque. Au début du tertiaire, après les principaux cycles d'orogénèse et d'érosion, de grandes nappes de sédiments et de lave basaltique ont recouvert des bassins locaux

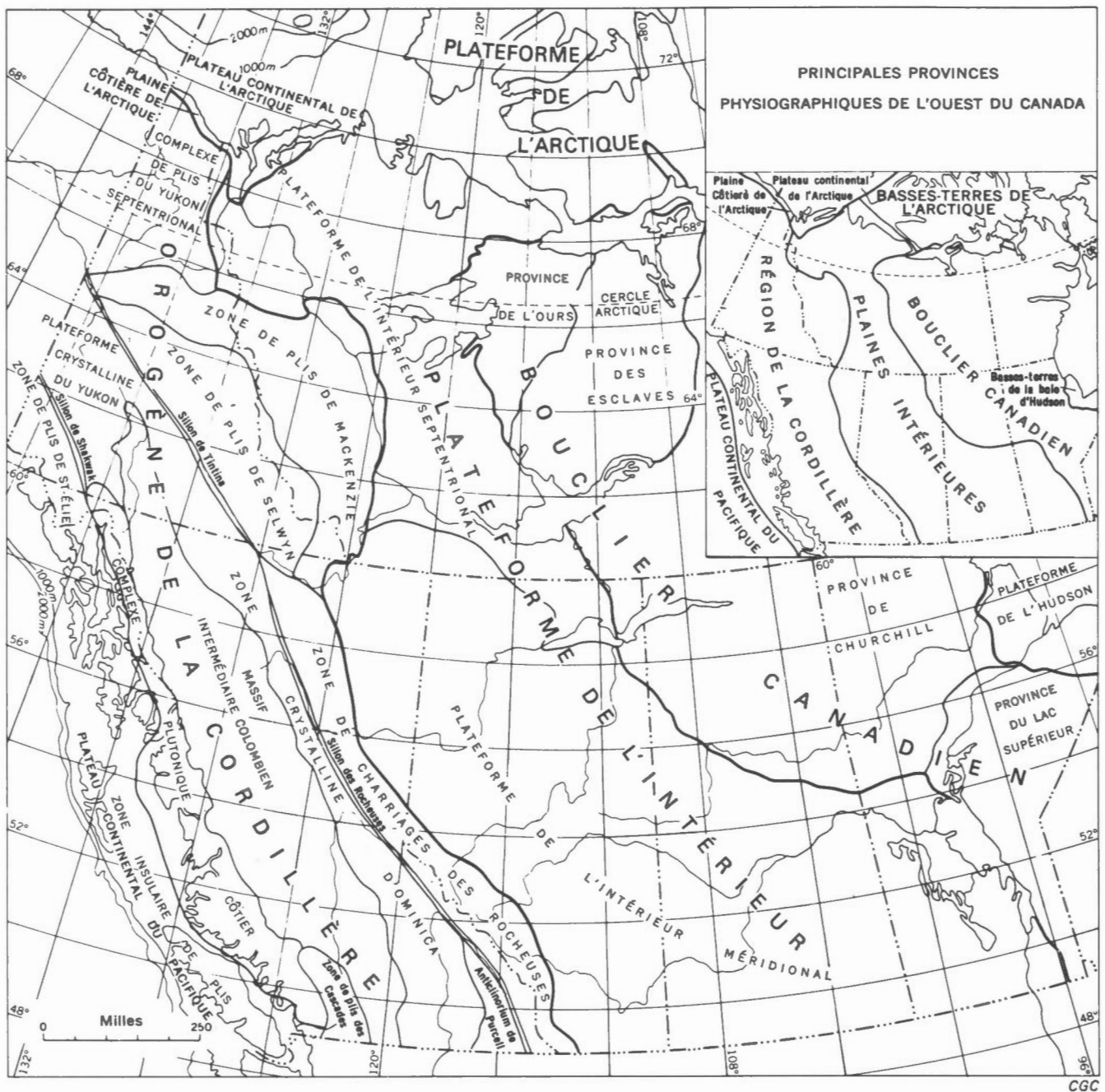


Figure 7. Principaux éléments géologiques de l'Ouest du Canada.

et une grande partie des roches à l'intérieur de la Colombie-Britannique. Postérieures à la minéralisation de la région, elles recouvrent une roche de fond probablement riche en gîtes minéraux.

Au début du tertiaire également, un soulèvement de montagnes érodées du mésozoïque stimule l'activité des cours d'eau qui creusent alors de profondes vallées dans l'ancienne surface, dont les vestiges sont encore apparents lorsque les sommets de montagnes sont assez uniformes. Ils ont aussi coupé, dans de vastes plateaux ondulés, de profondes vallées longitudinales, associées couramment à

l'érosion le long des failles. À plusieurs endroits, les coulées de lave du tertiaire, mentionnées plus haut, ont aplani la surface des plateaux. Certains s'étendent sur des milles de distance ; d'autres se découpent en mesas et en buttes.

La Cordillère occidentale, principale source de métaux au Canada jusqu'à ce que le Bouclier la supplante au début du siècle, occupe toujours un rang enviable. Ses possibilités sont très grandes. On exploite d'importants gisements de plomb, de zinc et d'argent dans le sud-est de la Colombie-Britannique, des gîtes de cuivre massif

et de porphyre en plusieurs endroits, et, au centre de la Colombie-Britannique, un important gîte de molybdène a récemment été mis en production. On a aussi extrait de l'or de nombreux placers et gîtes filoniens, dont certains sont encore en exploitation. La région côtière renferme beaucoup de gîtes de magnétite métasomatique, dont certains contiennent du cuivre et du fer. On extrait de l'amiante des gîtes du nord de la Colombie-Britannique et du Yukon et d'autres minéraux industriels dans diverses parties de la Colombie-Britannique.

Cordillère orientale

Les montagnes et les Foothills de la Cordillère orientale ont pris naissance à partir de l'érosion des dépôts sédimentaires de plusieurs milliers de pieds interstratifiés en couche de calcaire, de dolomie, d'argilite, de schistes, de grès, de quartzite et de conglomérats. Déposés dans des géosynclinaux entre le protérozoïque récent et le crétacé (et même à certains endroits au début du tertiaire), ces sédiments ont subi l'effet des orogénèses survenues entre l'hadrynien et le tertiaire. La plupart des structures qu'on peut facilement observer aujourd'hui correspondent à la grande orogénèse du laramide survenue au début du tertiaire. Le dessin en dents de scie des dépôts sédimentaires et les formes plus arrondies des chaînons de la partie septentrionale sont le fait de l'érosion. Des failles de poussée, serrées, recoupent les sédiments et les Foothills de la partie méridionale en une série de blocs faillés. Les Foothills des parties centrale et septentrionale sont très plissés mais comptent peu de failles. Les monts Mackenzie et Franklin sont formés surtout de sédiments paléozoïques façonnés en larges plis simples, entrecoupés de plis et failles complexes. Les chaînons Richardson et les monts Britanniques présentent des structures et des directions datant d'époques diverses.

Les combustibles ont toujours été la principale ressource minérale de la Cordillère orientale. Le pétrole provient surtout des strates mississippiennes du champ pétrolifère de Turner Valley, situé dans les Foothills au sud de Calgary, et des strates dévoniennes de Norman Wells, dans la plaine entre les monts Mackenzie et Franklin. On extrait aussi du gaz naturel dans la zone des Foothills. Les parties les plus plissées et faillées de la Cordillère ne favorisent guère la retenue du pétrole ou du gaz qui a pu s'y trouver à une certaine époque. La plupart des mines de charbon, comme les filons houillers d'ailleurs, nichent dans des couches du crétacé dispersées à travers les Rocheuses et les Foothills. L'exploration s'y poursuit toujours, notamment dans la région de Crowsnest Pass.

La Cordillère orientale si l'on s'en fie aux découvertes révèle peu de gîtes métallifères, comparativement à la Cordillère occidentale. On a extrait du zinc, du plomb et de l'argent des gîtes Monarch et Kicking Horse intercalés dans de la dolomie cambrienne, près de Field dans les Rocheuses. Également, des filons de zinc, de plomb, d'or et d'argent ont été exploités à l'est de la partie méridionale du sillon des Rocheuses, mais la géo-

logie de cette région n'est pas typique de celle de la majeure partie des Rocheuses. Un gîte stratiforme de cuivre a été découvert dans des sédiments de l'hadrynien, dans les monts Mackenzie, et des géologues qui y dressaient des cartes pour le compte d'une entreprise pétrolière ont découvert récemment à Snake River, dans les monts Mackenzie, une importante formation ferrifère datant de la même époque.

OROGÈNE INUITIEN

Bas plateaux, montagnes et crêtes hautes de 10 000 pieds parfois, telle se présente la topographie de l'orogène inuitien. Il recouvre une grande partie des îles Reine-Élizabeth et du nord du Groenland et se prolonge vers le nord-est depuis l'île du Prince-Patrick englobant toute l'île Axel-Heiberg et une grande partie de l'île Ellesmere. À certains endroits, il atteint 200 milles de largeur. Son sous-sol est formé de roches moyennement ou extrêmement plissées dont l'âge probable varie du protérozoïque au crétacé et au tertiaire. Il s'agit surtout de strates sédimentaires auxquelles se mêlent des roches métamorphiques et volcaniques.

On a identifié et nommé cinq zones de plissements à orientations diverses. Dans certaines zones, le plissement des strates est antérieur au silurien; dans d'autres, il remonte au silurien et au dévonien, à la fin du paléozoïque et du crétacé et au début du tertiaire. Certaines zones semblent propices à la formation de combustibles d'origine minérale, d'autres à des gîtes métallifères ou non. Des roches granitiques ont été identifiées dans la partie nord. En plusieurs endroits, on a découvert de la houille dans des strates de diverses époques. Les filons les plus épais, repérés dans les îles Ellesmere et Axel-Heiberg, se trouvent dans des couches datant vraisemblablement du tertiaire. Les parties les moins déformées de l'orogène inuitien pourraient receler des venues de pétrole et de gaz. Plusieurs compagnies y font des recherches en ce sens. On a signalé la présence de plomb et de zinc dans l'île Little Cornwallis et de magnétite dans l'île Axel-Heiberg. Il y a aussi du gypse à divers endroits, dans des strates déposées durant plusieurs périodes du paléozoïque.

PLATEAUX CONTINENTAUX

On connaît depuis longtemps, grâce aux sondages, l'existence et les limites approximatives de plateaux continentaux au large des côtes du Pacifique et de l'Atlantique. On devait se rendre compte plus tard qu'ils se prolongent entre les îles de l'Arctique, à leur nord-ouest, ainsi que le long de la côte de l'île Baffin et qu'ils sont bordés par des talus assez escarpés plongeant dans l'Atlantique à des profondeurs de 100 à 200 brasses. Lors d'un congrès tenu récemment à Genève, il a été convenu de considérer ces talus (et non les lignes de rivage actuelles) comme étant les limites continentales du pays.

La présence possible de gîtes minéraux, d'une part, et de gîtes de pétrole et de gaz naturel dans les roches sous-jacentes, d'autre part, suscite un intérêt croissant. On sait

aussi que des gîtes minéraux sont à se former à la surface de certains secteurs des plateaux. Contrairement aux zones terrestres, on n'a pu recueillir qu'un très petit nombre de données géologiques sur la composition des roches sous-jacentes aux plateaux continentaux. Il va sans dire que les difficultés d'observation y sont plus grandes. Les levés géophysiques de diverses natures, les travaux de dragage et d'exploration sous-marine actuellement en cours devraient combler cette lacune. Leurs résultats indiquent déjà l'existence en plusieurs endroits sous les plateaux de conditions semblables à celles que l'on observe dans les zones terrestres avoisinantes. On signalait notamment des prolongements de failles et d'autres structures. Les fjords de la côte du Pacifique, par exemple, sont d'anciennes vallées creusées par les glaciers et noyées par la mer. On étudie présentement les prolongements vers le large de certains de ces fjords.

Les glaciers, qui ont recouvert presque tout le Canada durant la période du pléistocène, ont fortement modifié la surface terrestre en emportant le sol résiduel, aplanissant et creusant les affleurements rocheux par l'action abrasive des roches retenues à la base des glaces en mouvement, en déposant des graviers, du sable, de l'argile et d'autres matériaux, soit sur le sol, soit dans les cours d'eau et les lacs nés de la fonte des glaces. C'est par l'étude du mouvement des glaces et des successions des dépôts glaciaires dans diverses régions que l'on a d'abord reconstitué ces phénomènes. Récemment, la datation par le radiocarbone des matériaux organiques contenus dans les dépôts plus récents du pléistocène a permis d'ajouter à nos connaissances en la matière. On a pu établir par exemple que le pléistocène a débuté il y a environ 1 500 000 ans, qu'il y a eu quatre époques principales de glaciation d'une durée de 100 000 ans chacune, séparées par des périodes interglaciaires (probablement plus longues que les époques glaciaires) durant lesquelles le climat était parfois plus chaud qu'il ne l'est présentement.

On estime généralement que la période glaciaire s'est terminée il y a quelque 10 000 ans. Cela appelle toutefois des réserves, la glace n'ayant pas fondu en même temps sur toute la surface du pays. En certains endroits de l'Arctique et dans des régions élevées de la Cordillère, les conditions glaciaires existent encore. La plupart des effets de la glaciation qu'on peut observer aujourd'hui datent de la dernière période. Malgré le froid qui sévissait alors, la glaciation n'a pas atteint la partie du Yukon que le massif de Saint-Élie (sommets les plus élevés du Canada) défendait contre les nuages humides du Pacifique. De même, certaines parties des îles de l'Arctique ont été épargnées ou n'ont été touchées que modérément par la glaciation. Au Yukon, cela a permis la conservation des placers aurifères exceptionnellement riches de la région du Klondike et, par la suite, leur exploitation relativement facile.

L'abrasion exercée sur la roche en place a été relativement minime, sauf dans la Cordillère où les glaciers de vallée ont grandement modifié la topographie des vallées du tertiaire y découpant les formes en « U » caractéristiques de la glaciation. La glaciation continentale a provoqué l'enlèvement de la plus grande partie des sols résiduels qui avaient dû être déposés durant le tertiaire ainsi que le dépôt de matériaux non consolidés dont l'épaisseur varie de quelques pouces à plus de 1 000 pieds. Certains de ces dépôts, appelés moraines, se composent de sable, de gravier et de blocs poussés par le glacier ou entraînés sur ses flancs. D'autres sont formés de sable ou d'argile stratifié, déposé dans des cours d'eau ou des lacs qui ont recueilli les eaux de fonte des glaciers.

Le niveau des mers a connu de nombreuses fluctuations pendant et après le pléistocène. Au stade primaire, l'eau s'est retirée des océans pour former la glace; le poids énorme de plusieurs milliers de pieds de glace recouvrant des milliers de milles carrés a entraîné un affaissement relatif du continent. Après la fonte des glaces, consécutive au pléistocène, le sol s'exhaussa comme l'indiquent les plages et les terrasses suspendues le long du littoral et sur les rives des Grands Lacs et des îles de l'Arctique.

GSC/CGC OTTAWA



OOG 01114222

