

J-69

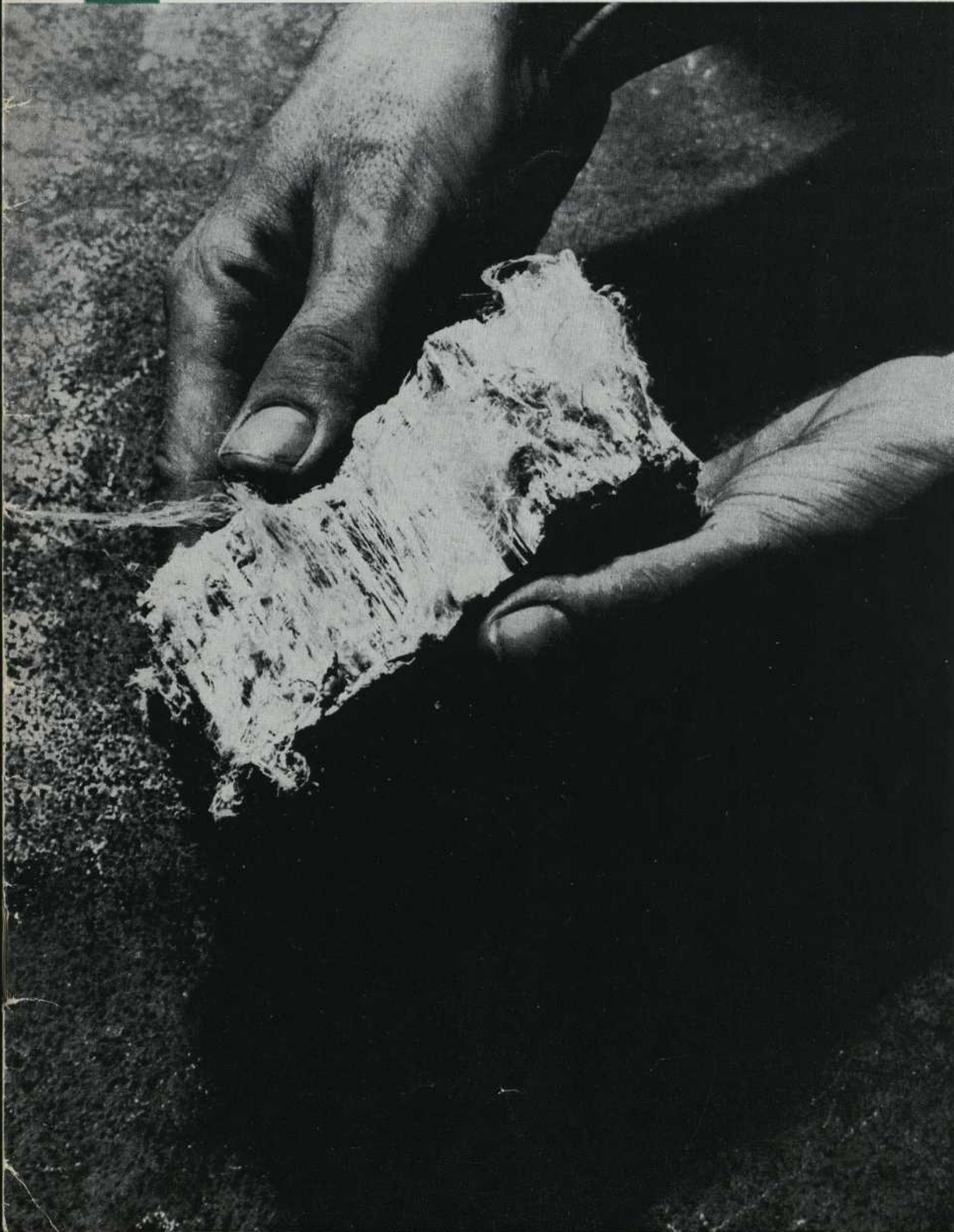
PER
J-69

6



le jeune scientifique

PUBLICATION DE L'ACFAS



VOLUME 6
NUMÉRO 6
MARS 1968



le jeune scientifique

PUBLICATION DE L'ACFAS

Le Jeune Scientifique, revue de vulgarisation scientifique, est publié par l'Association canadienne-française pour l'Avancement des Sciences (ACFAS) et est subventionné par le ministère de l'Éducation de la province de Québec.

RÉDACTION

Léo Brassard
directeur

Roger H. Martel
secrétaire de rédaction

CONSEIL D'ADMINISTRATION

Léo Brassard
Pierre Couillard
Denis Jacob
Roger H. Martel
Roland Prévost
Marcel Sicotte
Jacques Vanier

COLLABORATEURS

Jean-A. Baudot
Alain Bonnier
Michel Ferland
Roger Fischler
J.-André Fortin
Jean-Guy Fréchette
Raymond-M. Gagnon
Guy Gavrel
Miroslav M. Grandtner
Edouard Kurstak
Gaston Moisan
Paul-H. Nadeau
Raymond Perrier
Bernard J.R. Philogène
Roland Prévost
Jean-René Roy
Jacques St-Pierre
Madan Lal Sharma
Raymond Van Coillie
Jacques Vanier
G.-Oscar Villeneuve

Volume VI, no 6

mars 1968

SOMMAIRE

- 121 L'alimentation de l'humanité aspect « écologique » du problème
- 124 La Lune, un nouveau continent
- 129 Les Cochenilles de nos pins
- 132 La rhéologie, une science qui permet de connaître le comportement des matériaux
- 138 L'origine des éléments
- 142 Quelques traits du milieu québécois

Photo-couverture : échantillon d'amiante chrysotile montrant les fibres soyeuses de cet important minéral. Les fibres individuelles sont blanches mais l'ensemble forme un bloc d'une belle couleur vert d'eau. Comme on le sait, le Canada occupe le premier rang, parmi les pays libres, dans la production de l'amiante dont la plus grande partie provient des cantons de l'Est du Québec. Photo de l'Office national du film, O.N.F., Ottawa.

Abonnements

Le volume annuel commence en octobre et se termine en mai, soit 8 numéros. Abonnement individuel: Canada, \$3.00; étranger, \$3.50. Abonnement annuel de groupe-étudiants, soit 15 abonnements ou plus à une même adresse: \$2.00 chacun. Vente au numéro, 50 cents.

Adresse

Rédaction et abonnements: case postale 391, Joliette, (Québec), Canada. Tél.: (514) 753-7466.

Notes

Tout écrit publié dans la revue n'engage que la responsabilité du signataire.
Tous droits de reproduction et de traduction réservés par l'éditeur © ACFAS, 1968.
Le Ministère des Postes à Ottawa a autorisé l'affranchissement en numéraire et l'envoi comme objet de deuxième classe de la présente publication. Port payé à Joliette.
Tous les articles sont classifiés dans l'*Index analytique*, Presses de l'Université Laval, Québec.

PER
J-69
5)

L'alimentation de l'humanité

aspect "écologique" du problème

par Gérard DRAINVILLE

Le problème de la faim dans le monde constitue probablement le plus grand défi que nous ayons à relever actuellement. Deux hommes sur trois ne mangent pas à leur faim. Cette phrase, nous l'avons entendue de nombreuses fois et d'autres cris d'alarme viennent de plus en plus souvent ébranler nos sentiments humanitaires (1).

Devant une telle situation, il ne suffit pas de s'émouvoir; il faut surtout tenter d'étudier toutes les facettes de cet immense problème pour ensuite essayer d'entrevoir les possibilités de solutions. Dans cet article, nous ne considérerons que le point de vue « écologique » de l'alimentation de l'humanité.

Nous savons que l'écologie est la science biologique qui étudie un organisme dans ses rapports avec les autres vivants et avec les êtres non vivants qui l'entourent (2). En d'autres mots, cette science étudie l'être vivant en tenant compte du fait qu'un organisme n'est jamais isolé dans la nature, qu'il est toujours rattaché par certains liens aux êtres environnants, vivants ou non.

1— Qu'est-ce que se nourrir?

Tous les vivants se nourrissent, c'est-à-dire qu'ils prennent dans le milieu ambiant divers matériaux et les transforment en leur propre substance vivante. Ces matériaux enlevés par les vivants à la nature qui les entoure deviennent des *aliments* et servent à la construction et à l'entretien de l'organisme. Se nourrir, c'est donc dérober quelque chose à son entourage et s'en servir pour maintenir sa propre vie. L'alimentation implique ainsi une *dépendance de l'organisme à l'égard du milieu qui l'entoure*. Un organisme, l'Homme par exemple, ne survit qu'en dérobant ses aliments autour de lui.

2— Les modes de nutrition dans la nature

Nous observons dans la nature deux grands modes de nutrition ou, si l'on veut, deux manières tout à fait différentes qu'ont les organismes d'utiliser les matériaux environnants comme aliments:

a) L'autotrophie, qui se rencontre chez les plantes vertes (et aussi chez certaines bactéries), est un mode de nutrition qui consiste à se nourrir uniquement de *substances minérales* comme l'eau, le gaz carbonique, les nitrates, les sels ammoniacaux, etc. La plante verte peut, grâce à sa *chlorophylle*, capter l'énergie lumineuse solaire et la mettre en réserve sous forme d'énergie chimique. Cette opération se nomme la *photosynthèse*. Au cours de la photosynthèse l'énergie chimique est emmagasinée dans des substances organiques complexes que la plante synthétise à partir des éléments minéraux. Les végétaux chlorophylliens possèdent ainsi une *dépendance uniquement à l'égard du monde minéral*: ils peuvent fabriquer leur nouvelle matière vivante en absorbant exclusivement des aliments minéraux et en puisant leur énergie de fabrication à même les radiations lumineuses solaires. La plante verte n'a donc pas besoin d'un autre vivant pour préparer les matériaux de son alimentation; elle est « autotrophe » (des mots grecs *autos*, soi-même, et *trophein*, se nourrir).

b) L'hétérotrophie, deuxième mode de dépendance des organismes dans leur nutrition, se rencontre chez tous les animaux et les plantes non chlorophylliennes (les champignons et la plupart des bactéries). Elle est un mode de nutrition impliquant la présence obligatoire de *substances organiques* (protéines, sucres, graisses) dans les aliments. Or une substance organique est une substance chimique complexe fabriquée par un être vivant*, un « organisme », d'où

L'auteur, Gérard Drainville, ptre, M. Sc., est professeur de biologie au Collège de Joliette.

* Depuis l'avènement des substances organiques de fabrication artificielle, on définit ces substances par la présence de chaînes d'atomes de carbone dans leur molécule, plutôt que par le fait qu'elles soient habituellement synthétisées par des « organismes ».

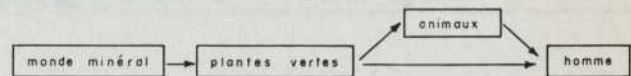
le nom de « substance organique ». Elle est constituée de chaînes d'atomes de carbone réunis par des liens chimiques où se trouvent emmagasinées des quantités importantes d'énergie. Cette énergie provient en dernier lieu de l'énergie lumineuse solaire qu'une plante a recueillie précédemment et qu'elle a accumulée dans ces liaisons chimiques. Une substance organique est ainsi une sorte de « comprimé d'énergie solaire ». L'organisme hétérotrophe doit donc recevoir dans ses aliments ces comprimés d'énergie solaire préfabriqués par les plantes chlorophylliennes; il ne peut les fabriquer lui-même. Il a absolument besoin d'un autotrophe pour lui préparer les matériaux de son alimentation. L'autotrophe est vraiment le fabricant des substances organiques; l'hétérotrophe ne fait que les utiliser en les transformant à son profit (*hétéros*, autre; *trophein*, se nourrir): il est un *consommateur* alors que l'autotrophe est un *producteur*.

3— La chaîne alimentaire

La vie qui s'installe une première fois dans un désert doit donc nécessairement débiter par la vie autotrophe. L'autotrophe est le pionnier, le premier « défricheur » du monde minéral lorsqu'il s'agit d'y implanter une nouvelle vie. L'hétérotrophe ne vient qu'en second; il ne peut subsister sans l'autotrophe. En d'autres mots, l'hétérotrophe pour survivre doit détruire d'autres vivants, alors que l'autotrophe se suffit d'éléments minéraux.

Parmi les hétérotrophes, on compte deux groupes: les *herbivores* qui se nourrissent de plantes et les *carnivores* qui mangent les herbivores ou qui se mangent entre eux. Nous savons par exemple, que le loup mange le chevreuil, que le renard mange les lièvres ou les poules, que le hibou chasse les campagnols (mulots), que les grenouilles et certains oiseaux dévorent beaucoup d'insectes. Dans ces exemples, chevreuil, lièvres, poules, campagnols et beaucoup d'insectes sont herbivores, alors que loup, renard,

hibou, grenouilles et certains oiseaux sont carnivores. On peut ainsi parler d'une *chaîne alimentaire* toujours construite sur le même modèle: monde minéral → autotrophes → hétérotrophes herbivores → hétérotrophes carnivores. (Fig 1). Ou, si l'on pense à l'Homme comme point d'arrivée de cette chaîne alimentaire, le schéma devient le suivant :



4— La pyramide alimentaire

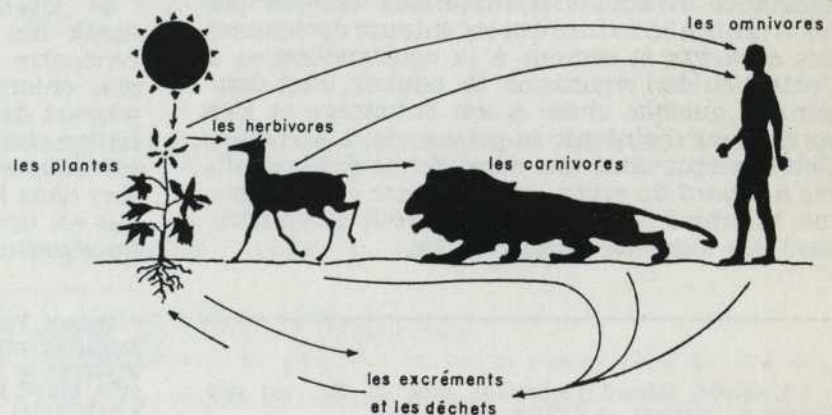
La chaîne des carnivores peut même s'allonger et comporter trois ou quatre maillons. Par exemple, le hareng en se nourrissant de zooplancton est habituellement un carnivore primaire; il peut être mangé par une morue, un Fou de Bassan ou un phoque. Le phoque et la morue peuvent être mangés à leur tour par un requin ou par l'Homme qui deviennent dans ce cas des carnivores tertiaires.

Or, pour comprendre les problèmes d'alimentation d'une espèce vivante donnée, il est important de savoir que *plus la chaîne alimentaire s'allonge, plus la quantité de nourriture disponible au bout de cette chaîne devient restreinte*. Ceci se comprend facilement puisque chaque organisme qui entre dans la chaîne dépense une grande partie de sa nourriture comme combustible pour produire l'énergie servant à maintenir ses activités vitales. La nourriture ainsi dissipée en énergie (calorique, mécanique, etc.) ne peut servir à construire la matière vivante de cet organisme, ce qui réduit d'autant la quantité de nourriture disponible pour les autres hétérotrophes de la chaîne qui viendront après lui. On exprime souvent ce phénomène en parlant de *pyramide alimentaire* plutôt que de

Fig. 1

La chaîne de nourriture ou « chaîne alimentaire » dans une communauté de la nature.

(Cette figure et la suivante sont dessinées d'après les figures 6.7 et 6.8 du volume *Éléments de Biologie* par Paul B. Weisz, traduit et adapté par un groupe de scientifiques sous la direction de G. Morin, McGraw-Hill, éd., Montréal, 1966, avec la bienveillante autorisation de l'éditeur.)



« chaîne alimentaire », montrant bien par là la diminution progressive de la quantité de nourriture disponible à mesure qu'une espèce se rapproche du bout de la chaîne alimentaire (Fig 2).

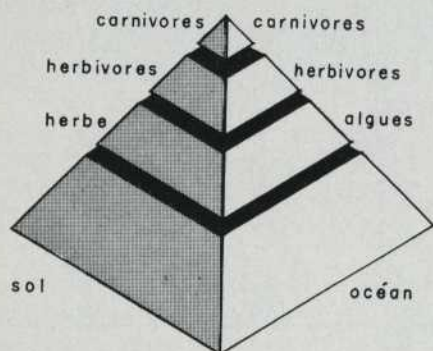


Fig. 2

La « pyramide alimentaire ». Le sol et l'océan sont responsables de la vie végétale; les herbivores subsistent au moyen des plantes; les carnivores se nourrissent d'herbivores.

Or le point capital à retenir dans l'alimentation de l'humanité est que *l'Homme est un hétérotrophe*. Ceci veut dire qu'il dépend en définitive des plantes vertes pour se nourrir. Et de plus, comme il est souvent un carnivore et pas toujours un carnivore primaire, cela signifie également que la quantité de nourriture dont il dispose n'est pas illimitée. De plus, pour assurer sa survie, l'Homme devra toujours veiller à ce que les étages de la pyramide d'où il tire sa nourriture représentent une quantité d'aliments plus grande que la masse de substances organiques que constitue sa propre population. Autrement, c'est le *renversement de la pyramide alimentaire*, c'est-à-dire la « famine ».

5— L'équilibre et la conservation de la nature

Cet équilibre de la pyramide alimentaire doit exister sans doute à l'échelle mondiale, mais aussi à l'échelle nationale ou tout au moins à l'échelle d'un même continent, sinon l'équilibre alimentaire mondial lui-même sera précaire. L'Homme doit, dans beaucoup de régions, s'ingénier à améliorer ses moyens actuels de production d'aliments (aménagement des terres arables, fertilisation et irrigation des sols, intensification de la pêche, meilleur équilibre entre les productions animales et végétales, etc.) et inven-

ter de nouvelles sources d'aliments (levures, farine de poisson, aquiculture, protéines provenant du pétrole, plancton, photosynthèse artificielle, etc.).

L'Homme en s'alimentant doit cependant toujours se rappeler que, s'il a le pouvoir d'aménager la nature et de la transformer pour lui faire produire davantage, il n'a pas le pouvoir de fabriquer lui-même les premières molécules organiques, ces « comprimés d'énergie solaire » dont dépend en dernière analyse sa survie. Il doit donc pour assurer sa propre conservation, *travailler à la conservation de la nature vivante*. Et comme chez les vivants tout est interdépendant, tout se tient, il doit étudier cette nature et ses exigences pour ne pas modifier aveuglément un facteur qui pourrait détruire l'équilibre biologique d'une région.

On connaît un grand nombre de cas de ces ruptures d'équilibre biologique: élimination radicale d'une espèce, introduction massive d'une autre espèce, utilisation irraisonnable de produits chimiques (insecticides, herbicides), pollution des eaux par les déchets industriels et par ceux de la navigation, abattage complet des forêts, etc. Si l'amélioration de la production alimentaire est le premier souci des scientifiques et des techniciens de l'alimentation (nutritionnistes, agronomes, biologistes, etc.), la conservation de la nature (protection des forêts et du gibier, assainissement des eaux, etc.) doit être la préoccupation de tous; la survie même de l'humanité en dépend.

Références

- (1) DUMONT, René. *Nous allons à la famine*, Seuil, Paris, 1967.
Alerte à la famine, numéro spécial de « Croissance des Jeunes Nations », mars 1966.
- (2) MOISAN, Gaston. *L'écologie, une science en progrès*, « Le Jeune Scientifique », vol. 5, no 3, déc. 1966, pp. 64-68.

Autres lectures suggérées :

- BOURLIERE, F. et M. LAMOTTE. *L'écologie et la faim du monde*, revue « Atomes », décembre 1967.
- CARSON, Rachel. *Printemps silencieux*, Plon, Paris, 1963.
- LERY, François. *L'alimentation*, Seuil, Paris, coll. Le Rayon de la Science, 1962.
- PRAT, Henri. *L'Homme et le sol*, Gallimard, Paris, coll. Géographie humaine, 1949.

Origine et évolution du monde lunaire

Un passé très obscur

Trois grandes hypothèses concernant la formation de notre satellite polarisent les faveurs de la majorité des hommes de science. Mais ces trois hypothèses présentent toutes plus ou moins de difficultés, refusant de se plier capricieusement aux calculs acharnés des théoriciens.

Une première hypothèse veut que la Lune ait été à l'origine une planète indépendante dont l'orbite perturbée par une force quelconque, amena notre vieille compagne si près de la Terre qu'elle fut captée par le champ gravitationnel terrestre. Les difficultés surgissent surtout au point de vue dynamique quand il faut expliquer ce processus de « kidnapping »; de plus, la production d'un tel événement quoique loin d'être impossible, est un phénomène très rare.

La seconde hypothèse prétend que la Terre et la Lune sont originaires de la contraction du même nuage de poussière et de gaz. Mais encore ici, la nature s'est amusée à déjouer nos calculs; la densité de la Lune n'étant que 60% celle de la Terre, il faut pour accepter cette hypothèse invoquer un processus de *différenciation* qui aurait donné à la Terre plus d'éléments lourds qu'à notre consœur; or, ce processus, personne ne l'a encore décrit de façon satisfaisante.

L'auteur, Jean-René Roy, B. Péd., est étudiant en physique spécialisée à la Faculté des Sciences, Université de Montréal.

Les dessins sont de Jean-René Roy et les photographies sont une gracieuseté de la National Aeronautics and Space Administration, NASA, Washington.



Photo prise par « Lunar Orbiter 2 » de l'Océan des Tempêtes montrant plusieurs dômes dont les diamètres atteignent jusqu'à 10 milles et les hauteurs de 1 000 à 1 500 pieds. Ces structures semblent sous-entendre une certaine activité volcanique. Le cratère Marius, en haut à droite, d'origine météoritique, a une largeur d'environ 25 milles et une profondeur d'un mille.

La LUNE un nouveau continent

par Jean-René ROY

Enfin, notre troisième hypothèse réussit à éviter les déboires de la seconde. Elle propose que la Lune faisait autrefois partie de la Terre, puis en fut arrachée et lancée dans l'espace alors que la Terre tournait sur elle-même beaucoup plus rapidement qu'aujourd'hui; la Lune serait ainsi constituée des mêmes matériaux que la croûte terrestre dont la densité est en fait faiblement inférieure à la densité moyenne de la Lune. Mais les problèmes soulevés par ce processus sont multiples: tout d'abord la *quantité de mouvement angulaire* (qui doit absolument être conservée dans tout phénomène physique) du système Terre-Lune

n'est que 27% de la valeur originelle et l'énergie totale 6%! Les frictions peuvent très difficilement rendre compte de la perte de 94% de l'énergie; quant aux 73% de quantité de mouvement volatilisés, il est impossible d'expliquer cette disparition. La conservation de la quantité de mouvement est la loi qui rend impossible dans notre univers d'obtenir quelque chose pour rien.

Les énigmes de l'évolution lunaire

Si un voile obscur cache les origines de notre fidèle compagne, les hommes de science s'attardent avec

plus de ferveur aux modèles lunaires d'évolution; avec les instruments de l'astronautique il devient plus facile de justifier, de confirmer ou d'écarter les diverses opinions. On assume généralement que l'âge de la Lune est d'environ 5 milliards d'années, soit sensiblement le même que celui de la Terre.

On s'est amusé à diviser les promoteurs des différents modèles d'évolution en trois camps : les *chauds*, les *froids* et comme de raison, les *tièdes*.

Les chauds affirment qu'une intense activité volcanique fait rage à l'intérieur et à la surface de la Lune; les cratères sont d'origine volcanique et les plus grands seraient des *caldères*, cratères laissés par des volcans qui explosent littéralement comme le Krakatau en 1883, ou par l'effondrement du sol au-dessus de chambres de magma qui se sont vidées. Les chauds concluent que les « mers » de la Lune sont d'immenses coulées de laves.

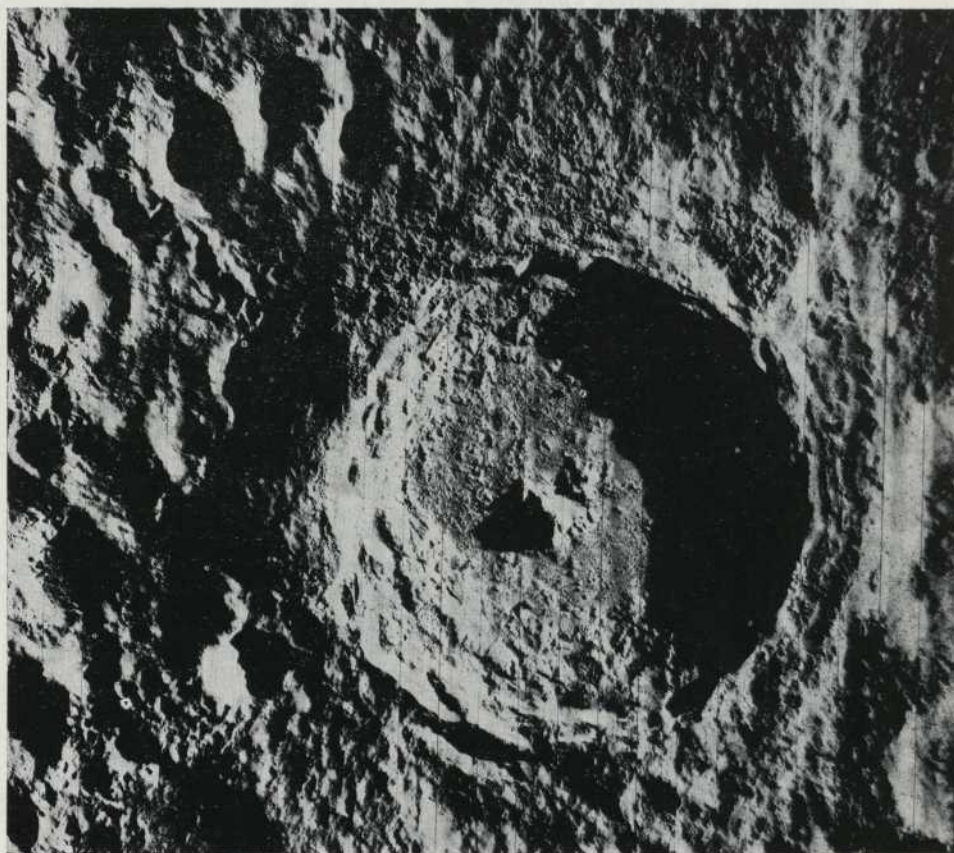
À l'autre pôle, les froids refusent cette activité plutonique intense, du moins en surface. Les cratères et la plupart des autres formations proviennent d'impacts météoritiques. D'après certains on trouverait même de la glace en quantité énorme sous la surface de la Lune par analogie avec les « pingos » qu'on trouve au Groenland ou dans le delta du fleuve Mackenzie au Canada; ces « pingos » dont les dimensions atteignent plus d'un mille de diamètre parfois, sont des dômes s'élevant à près de 200 pieds formés par l'excroissance souterraine d'énormes lentilles de glace très semblables à certaines collines arrondies de la Lune.

Enfin, les tièdes visent un juste milieu et ils proposent le modèle jugé le plus plausible. Quelques phénomènes lunaires sont d'origine volcanique, tels que les cratères entourés de halos sombres comme ceux photographiés par *Ranger IX* au fond du cratère Alphonse. La majorité des cratères sont d'origine météoritique, et des bolides de dimensions colossales auraient causé en partie les coulées de laves qui ont créé les « mers ». Le bombardement des météorites serait prépondérant dans l'évolution de la surface lunaire telle qu'elle nous apparaît aujourd'hui.



En haut : la caméra de « Lunar Orbiter 2 » nous entraîne au cœur de Copernic, un cratère de 56 milles de largeur qui peut être observé à l'aide d'une simple jumelle. On distingue bien le piton central qui s'élève à mille pieds au-dessus du fond. L'horizon est découpé par le promontoire Gay-Lussac d'une hauteur de 3 000 pieds dans les monts Carpathes.

En bas : la même caméra, de 5 à 135 milles d'altitude, a donné cette saisissante image du jeune cratère Tycho dont le diamètre atteint 50 milles. Les débris provenant de ce cratère recouvrent la majeure partie de la surface lunaire visible et ils nous amènent à considérer Tycho comme l'un des plus jeunes cirques lunaires.



Le dossier de la Lune

« La Lune est un cercle dix-neuf fois plus grand que la Terre, semblable à une roue de char, dont les jantes seraient creuses et pleines de feu, comme le cercle du Soleil, mais situé obliquement par rapport à celui-ci; il n'y a aussi qu'un seul événement comme un tuyau de soufflet, les phases suivent la révolution de la roue. La lumière de la Lune lui est propre. Anaximandre: l'éclipse de la Lune se produit par la fermeture de la bouche qui est sur la roue. » (Aétius, II, 25, 28, 29; 1er siècle A.D.) C'est ainsi qu'Aétius décrivait la Lune telle qu'imaginée par le philosophe grec Anaximandre ayant vécu de 610 à 547 avant Jésus-Christ. C'est avec Galilée que l'étude de la Lune devint véritablement une discipline scientifique. *Lunas, Rangers, Surveyors* et *Orbiters*, ils sont maintenant près de 20 sur la surface de la Lune, ces premiers Santa Maria qui nous ont dévoilé maints aspects de la Lune. Or très bientôt l'homme y débarquera. Des siècles de recherche scientifique plutôt boiteux parfois, mais dont les dernières étapes auront été vertigineusement progressives, auront préparé ce débarquement, premier pas craintif d'un assaut dont on n'imagine pas encore assez l'envergure et les perspectives.

Le satellite Lune

La Lune ayant des dimensions du même ordre de grandeur que la Terre forme avec celle-ci un système de planètes jumelles. Orbitant à une distance moyenne de 239 000 milles (périgée: 226 000 milles; apogée: 252 000 milles) à une vitesse de 0.63 mille/sec, notre satellite met 27 j 7 h 43 m 11.5 sec pour boucler une révolution complète. Comme il met le même temps pour opérer un tour sur lui-même, jamais il nous est possible de voir l'autre face sans le secours de satellites. En réalité, grâce au phénomène de libration, c'est 59% de la surface lunaire qui nous est accessible directement. La Lune a un diamètre de 2 160 milles (Terre: 7 927 mi), soit environ quatre fois inférieur au nô-

tre. Sa masse telle qu'évaluée par les chercheurs du Jet Propulsion Laboratory de la NASA, à l'aide de l'analyse de la trajectoire de *Mariner V*, est 1/81.2999 celle de la Terre. La gravité à la surface est 16% celle de la Terre et la vitesse d'échappement y est de 1.5 mi/sec comparativement à 7 mi/sec sur notre planète. La densité moyenne de la Lune est 3.33 celle de l'eau (Terre: 5.52).

Un monde de silence, glacial et bouillant

Etant donné sa faible gravité, la Lune n'a pu retenir d'atmosphère. 93% de la lumière du Soleil frappant le sol lunaire est absorbée. Mesurée depuis 1868, à l'aide de thermocouples installés au foyer des télescopes, la température varie considérablement à cause de l'absence d'atmosphère et d'eau pouvant servir de réservoirs de chaleur.

Sans atmosphère, aucun son ne sera perceptible au futur explorateur; les hommes qui y vivront n'auront à écouter que le battement de leur cœur ou les émissions de musique FM en provenance de la Terre et transmises dans le casque de leur scaphandre.

Les températures extrêmes varient de -140°F (face demi-éclairée) à 230°F , soit 18° au-dessus du point d'ébullition de l'eau, pour les régions où le Soleil est au zénith. Au point « minuit », des froids plus que sibériens de -250°F à -300°F sont chose courante. Grâce à ces variations de température, les observations radioastronomiques ont pu établir que le sol lunaire constituait un bon isolant et avait une faible densité. Une station lunaire souterraine pourrait facilement se protéger contre des variations brutales de température ainsi que des radiations X et gamma plus dangereuses. Signalons que *Surveyor 1* placé sur la Lune en juin 1966, à la stupéfaction de tous, a survécu à 2 nuits lunaires, et à son 3e jour lunaire, il fournissait encore des renseignements, démontrant que nos instruments pouvaient défier aisément les conditions de température du monde lunaire.

Topographie lunaire

Ces grandes étendues sombres que nous apercevons sur tout cliché de

la surface de la Lune sont ce que nous nommons improprement les « mers »; le nom remonte à Galilée qui croyait qu'elles étaient des surfaces d'eau. Au XVIIe siècle, les deux astronomes italiens Grimaldi et Riccioli donnèrent aux mers leurs noms latins encore utilisés à l'heure actuelle. Les mers représentent les régions les moins accidentées de la Lune et constituent les régions cibles pour l'atterrissage d'équipages humains.

L'origine et la formation des mers dépendent des hypothèses d'évolution que nous adoptons. Mais il semble de plus en plus certain qu'elles soient de gigantesques coulées de lave s'étendant sur des centaines de milles et noyant des milliers de cratères; les plus importants de ces derniers dont on n'aperçoit que le sommet des rebords ne sont plus que des cratères fantômes; les mers se seraient formées dans les débuts de l'histoire de la Lune quand la croûte encore chaude venait à peine de se former; des événements de nature catastrophique — comme la capture par la Terre — auraient rompu cet équilibre prématuré et provoqué ces coulées. D'autre part, il est fort possible que des météores de dimensions colossales atteignant 200 milles de diamètre percutant le sol lunaire à une vitesse de plusieurs dizaines de milliers de milles à l'heure, aient déployé de puissantes ondes de choc produisant une intense chaleur; le magma lunaire aurait pu être libéré des profondeurs ou être refondu par cette intense chaleur. Cette hypothèse est corroborée par l'allure très circulaire de certaines mers comme le Bassin Oriental, la mer des Pluies et la mer du Nectar. Le spécialiste américain G. P. Kuiper de l'Observatoire lunaire et planétaire de l'Université de l'Arizona divise les mers en deux catégories: 1) les mers d'origine météoritique, les mers circulaires et symétriques comme celles des Crises, du Nectar, de la Sérénité, des Pluies et le Bassin Oriental; 2) les grandes étendues asymétriques non emmurées de montagnes et qui seraient produites par la lente coulée de laves provenant de l'intérieur. La partie orientale de la mer de Tranquillité, la mer des Nuares et l'océan des Tempêtes sont de ce dernier type.

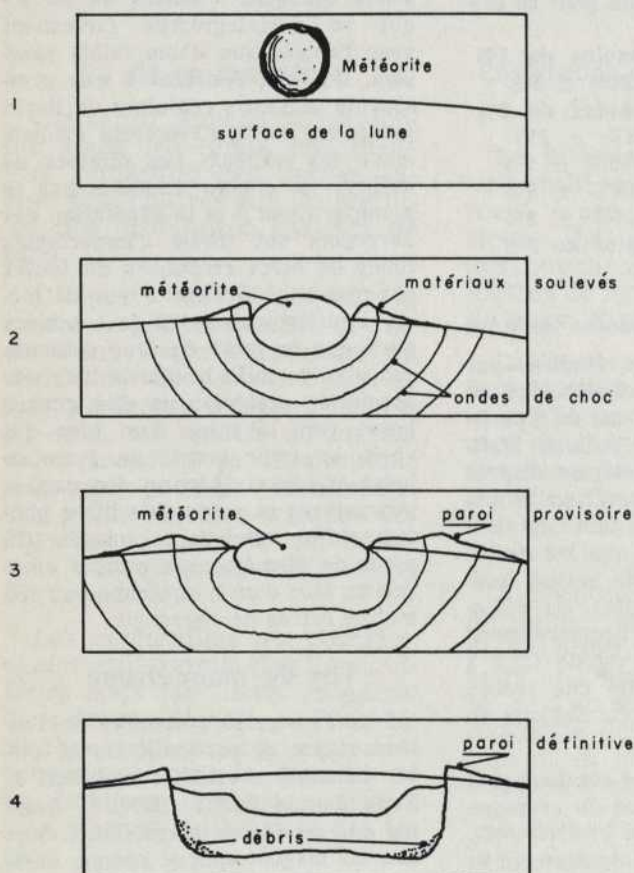
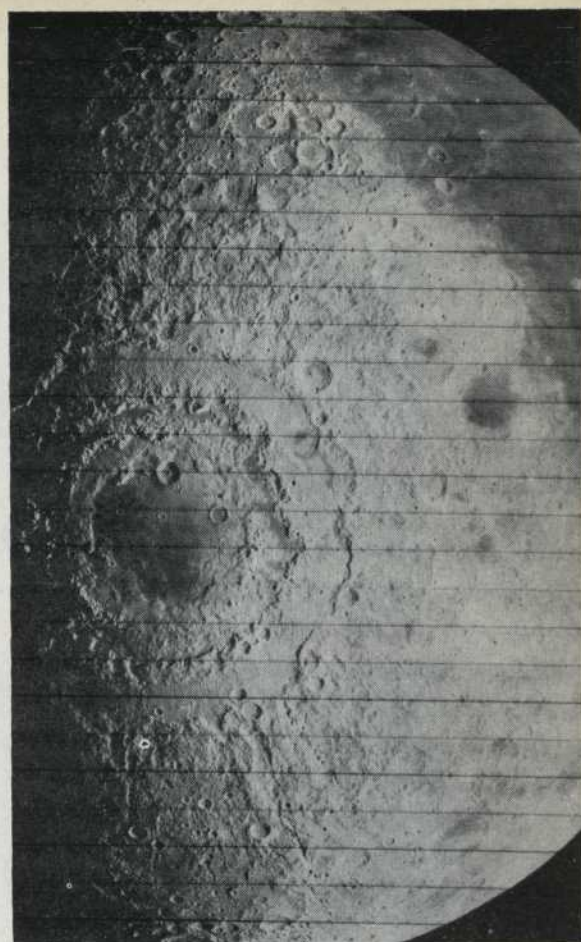
Les cratères: d'une grande popularité

Les cratères sont sûrement prépondérants dans le relief lunaire. Ils varient en diamètre de 180 milles pour le cratère Bailly, à quelques pouces pour les plus infimes photographiés par les satellites *Surveyor* et *Luna*. Ils sont 300 000 de plus d'un kilomètre de diamètre sur la seule face « visible ». Au total, il y en a des dizaines de milliards de toutes dimensions. L'hypothèse météoritique pour expliquer leur origine est sans doute la plus acceptée, quoique quelques cratères aux dimensions plus modestes puissent être d'origine volcanique (caldères, maars, volcans); mais ces derniers demeureraient plutôt exceptionnels.

Il faut remarquer que les cratères sont des dépressions dans le sol lu-

naire. Le cratère Newton est le plus profond avec une muraille surplombant de 30 000 pieds son fond; la hauteur moyenne des parois est d'environ 9 000 à 18 000 pieds pour les grands cratères; avec les plus âgés, qui présentent un fond uni et plat (rempli de laves), ce chiffre passe à 6 000 pieds; le cratère Platon illustre bien la classe de ces vétérans.

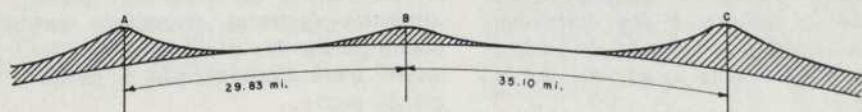
Quoique la Lune soit près de 50 fois plus petite que notre planète, ses montagnes se comparent avantageusement en dimension à nos Himalayas. Dans les régions polaires du sud, de grandes chaînes dominent; les monts Leibnitz culminent à 30 000 pieds d'altitude suivis des Doerfels à 20 000 pieds. Les Rocheuses lunaires situées dans le Bassin Oriental ont des pics variant de 16 000 à 26 000 pieds.



En haut: le Bassin Oriental photographié par « Lunar Orbiter 4 » en juin 1967, fait figure d'une véritable cible cosmique. Le cliché nous laisse voir le vestige d'un impact de météorite gigantesque. La ceinture extérieure est constituée par les monts Cordillères, l'une des plus importantes chaînes de montagnes de la Lune, et a une hauteur de 20 000 pieds; les Rocheuses forment un anneau interne d'un diamètre de 400 milles. Il semble que le Bassin Oriental, d'une largeur de plus de 600 milles, soit l'un des plus jeunes des grands bassins lunaires.

A gauche: formation d'un cratère lunaire par impact météoritique: 1. arrivée d'un météorite perpendiculairement à la surface; 2. la collision engendre des ondes de choc et les matériaux de surface sont écrasés et déplacés; 3. les murs du cratère se forment provisoirement; la chaleur engendrée par l'impact entraîne la fusion du sol et du bolide; 4. une bonne partie du mur du cirque s'est affaissée; les matériaux en fusion du météore recouvrent tout le voisinage et l'intérieur du cratère se solidifie.

En bas: coupe du cratère Théophile montrant qu'un cratère est beaucoup plus large que profond; les pentes des parois et du piton ont habituellement une inclinaison d'environ 30°.



Il faut éviter d'imaginer les montagnes de la Lune et les murs de cratères aussi abrupts qu'ils semblent apparaître sur les photos. Le relief est toujours exagéré par la projection d'ombres beaucoup plus longues que les objets qui les produisent; mais ceci a l'avantage de mettre en évidence de très petites structures. Les parois du cratère Copernic (diam. : 56 milles) hautes de 12 000 pieds, ont une inclinaison de 30°. Les chaînes de montagnes, comme vous l'avez remarqué, portent souvent des noms familiers comme Alpes, Apennins, Caucases, etc. Exception faite pour les Alpes, on retrouve généralement les chaînes en bordure des mers.

Le sol est aussi strié de plusieurs crevasses; plusieurs atteignent des centaines de milles de longueur. Avec les photos des *Rangers* et des *Orbiters*, on a pu vérifier que ces crevasses correspondaient souvent à l'alignement d'une multitude de petits cratères; il est possible que ces vallées soient associées à une activité volcanique quelconque.

"Rien de nouveau sous le soleil"?

« L'éruption » du 3 novembre 1958, aperçue par l'astronome soviétique Kozyrev, a donné naissance à une véritable polémique quant à la présence d'une certaine éruption dans le cratère Alphonse. On croit actuellement qu'il n'y a pas eu d'émission de gaz du piton central de ce cratère. Dû à la fluorescence d'un solide stimulé par des radiations, le phénomène demeurerait immobile, contrairement aux véritables émissions gazeuses qui se déplacent à la surface de la Lune comme nous allons le voir.

En 1963 et 1964, les astronomes américains J. A. Greenacre et E. Barr allaient observer un autre phénomène d'échappée de gaz; il s'agissait d'une grande tache rougeâtre de 12 milles de longueur sur un de largeur, couvrant la saillie du cratère Aristarche. Plusieurs autres observations antérieures datant de 1866 avec le cratère Linné comme vedette, ont intrigué les astronomes. Il semble maintenant certain qu'on ait réellement affaire à des émissions soudaines de gaz provenant de poches emprisonnées sous la surface de la Lune.

Enfin, une étude statistique intéressante menée par les savants soviétiques V. G. Fesenkov et G. G. Tyurk montre que les petits cratères paratitiques apparaissent en plus grand nombre sur les parois que dans le fond des grands cirques lunaires.

La nature du sol lunaire

Après les craintes de voir les engins spatiaux sombrer dans des centaines de pieds de poussière et l'échafaudage d'une foule d'hypothèses, les satellites *Luna* et *Surveyor* ont précisé la nature du sol de la Lune et garantit que l'homme pourra un jour y débarquer et y marcher dans une sécurité relative.

L'expérience de *Surveyor 5* par diffraction des particules alpha provenant d'une source radioactive de curium 242, a confirmé que les roches de la Lune étaient généralement typiques d'un basalte : roche volcanique très courante sur notre planète. La composition peut se présenter comme suit :

carbone	moins de 3%
oxygène	58% ± 5%
sodium	moins de 2%
magnésium	3% ± 3%
aluminium	6.5% ± 2%
silicium	18% ± 5%
soufre	13% ± 3%
fer, cobalt, nickel	plus de 3%
éléments plus lourds que le nickel	moins de 0.5%

Quoique les régions étudiées par les *Surveyors* soient très limitées, on accepte généralement que ce type de roche soit courant sur la Lune. D'ailleurs des études soviétiques d'après des mesures prises par *Luna 10* mis en orbite autour de la Lune en avril 1966, avaient suggéré que les roches de la Lune seraient de nature basique comme nos basaltes. La radioactivité induite par le bombardement des rayons cosmiques est de 1.5 à 2 fois supérieure à celle des roches terrestres d'après les conclusions de A. P. Vinogradov.

Après les exploits de ses deux prédécesseurs, l'expérience du creusage du *Surveyor 3*, lancé le 17 avril 1967, précisa beaucoup le comportement et la structure mécanique du sol lunaire. La surface est constituée d'une substance finement granulée; une bonne partie des grains ont un diamètre n'outrepasant pas 1 millième de pouce.

La surface semble recouvrir une structure plus dure située à une profondeur de plusieurs pieds. Quoique devenant plus solide au fond des premiers pouces de la tranchée creusée par *Surveyor 3*, le sol semble conserver les mêmes caractéristiques. Les matériaux de surface subissent une certaine cohésion ressemblant un peu en consistance à un champ récemment labouré. Les forces responsables seraient les très faibles forces de Van der Waals, qui à cause de l'absence totale d'atmosphère jouent un rôle inhabituel. On n'a pu constater aucune porosité du sol que des observations radioastronomiques et de radar semblaient prévoir. La densité en surface a été évaluée à 1.5 gr/cm³. La solidité du sol est suffisante pour porter des vaisseaux bien plus lourds que le *Lunar Excursion Module* (LEM) américain d'un poids de 14½ tonnes.

La pelle de *Surveyor III* a aussi sondé quelques « mottes de terre » qui se désintègrèrent facilement avec l'application d'une faible pression. D'autres résistant à une pression de plusieurs centaines de livres par pouce carré, s'avèrent évidemment des cailloux. Les dizaines de milliers de clichés transmis par le pionnier *Luna 9* et la génération des *Surveyors* ont révélé d'importantes zones de blocs erratiques de toutes dimensions. L'*Orbiter 5* réussit même à photographier 20 de ces blocs ainsi que la trace de leur descente sur plus de mille pieds, le long des parois de cratères; un des clichés laisse voir la trace d'un bloc qui après en avoir heurté un autre se brisa en deux, chacune des parties poursuivant sa route. Les blocs photographiés atteignent jusqu'à 75 pieds de diamètre; on compte environ un bloc d'un mètre cube par 100 mètres carrés de superficie.

Pas de magnétisme

D'après plusieurs données de l'astronautique et particulièrement celles de *Explorer XXXV* (orbitant la Lune depuis juillet 1967), la Lune n'a pas de champ magnétique, donc pas de magnétosphère comme celle formée autour de la Terre par l'interaction du plasma solaire avec le champ magnétique terrestre. De plus, pas de ceintures de radiation ni évidence d'une ionosphère. La conductivité électrique du globe lu-

naire est faible; les modèles courants indiquent des températures internes inférieures à 1800°F, tandis que pour la Terre des modèles suggèrent jusqu'à 10 000°F au coeur de notre planète.

Bibliographie

- ALTER, D. *Pictorial Guide to the Moon*, Crowell, 1963, 183 p.
HIBBS, A. R. *The Surface of the Moon*, « Scientific American », mars 1967, pp. 60-72.
KOPAL, Z. *Physics and Astronomy of the Moon*, Academic Press, 1962.

- LEQUEUX, J. *Planètes et satellites*, coll. Que sais-je, P.U.F., 1964.
ROY, Jean-René. *L'artillerie cosmique*, « Le Jeune Scientifique » mars 1967, pp. 128-131.
SCOTT, R. F. *The Feel of the Moon*, « Scientific American », nov. 1967, pp. 34-43.

Les Cochenilles de nos pins

par M. L. SHARMA et P. MARTEL

La vie en miniature

Ceux qui aiment se promener dans les forêts ont peut-être remarqué des petites taches blanchâtres sur les aiguilles des différentes variétés de pins.

De près, ces taches ont la forme de petites écailles. A l'aide d'une loupe binoculaire ou d'un microscope, on découvre que ces taches d'aspect décoratif sont, en réalité, de minuscules insectes se dissimulant sous un bouclier blanchâtre. Ces petits insectes sont les *Cochenilles du pin* qui ne mesurent que quelques millimètres. Figures 1 et 2.

Les cochenilles ou coccides, également connus des horticulteurs sous les noms vulgaires de « Poux collants », « Poux de serres », « Kermès », etc., forment une grande famille de nombreuses espèces nuisibles aux plantes cultivées et des forêts.

Les stades de développement d'une cochenille

Le bouclier qui recouvre la cochenille est blanc et légèrement évasé à sa partie postérieure. La longueur moyenne des boucliers est de 2.7 millimètres de long sur 1 millimètre de large. Figure 3.

Les oeufs sont rougeâtres, de forme ovale, et ne mesurent que 0.24 mm de long sur 0.12 mm de large. On compte une moyenne de 30 à 40 oeufs par femelle. Ces oeufs sont déposés sous la partie postérieure du bouclier.

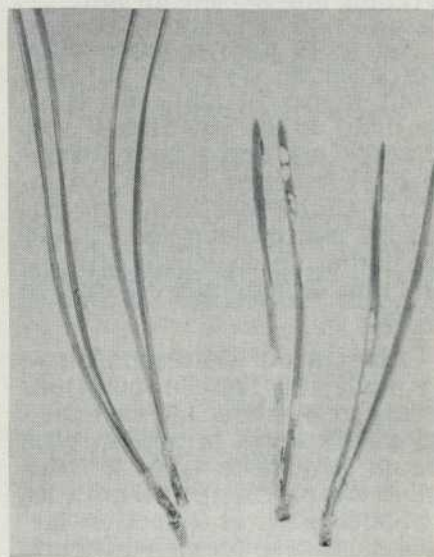
A l'éclosion, la larve mobile, de couleur rouge brique, possède des antennes, des pattes, des yeux et deux soies à l'extrémité de l'abdomen. La longueur moyenne des larves est de 0.3 mm et la largeur de 1.8 mm. Figures 4 et 5.

Lorsque la larve mobile s'installe et se fixe sur l'aiguille du



Fig. 1. (en haut). Photographie montrant, à gauche, un rameau de pin non infesté; à droite, un rameau infesté de cochenilles. Le pin attaqué perd ses aiguilles et ses rameaux prennent une apparence malade.

Fig. 2 (en bas). à gauche, des aiguilles intactes et, à droite, des aiguilles supportant de nombreuses cochenilles.



Les auteurs : M. Lal Sharma, D. Sc., est professeur au Département de Biologie, Université de Sherbrooke; Pierre Martel, M. Sc., prépare son doctorat en biologie au même département. Les photographies sont de Louis-Philippe Coiteux.

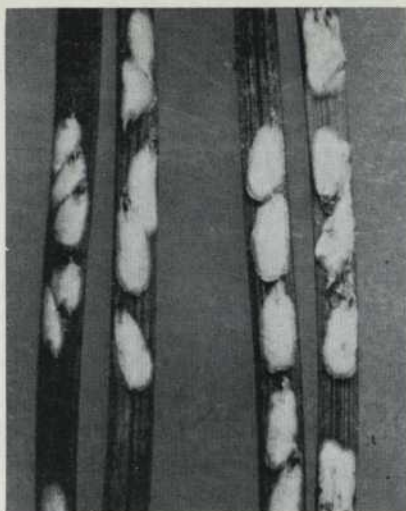


Fig. 3 Avec un fort grossissement, vue de quelques cochenilles sur des aiguilles de pin. A noter que les cochenilles sont fixées en majorité sur la face interne des aiguilles.



Fig. 4. Larves mobiles grossies. Remarquer la grosseur des larves par rapport aux boucliers et à l'aiguille.

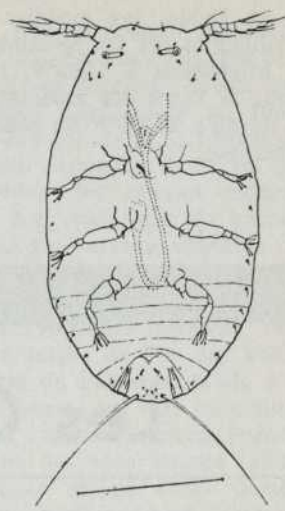


Fig. 5. Dessin d'une larve mobile. (D'après M. E. P. Cuming).

pin, elle s'aplatit dorso-ventralement et devient brun jaune; elle perd alors ses pattes, ses antennes et ses yeux et mesure alors en moyenne 0.45 mm de long sur 0.24 mm de large.

Fixée sur l'aiguille, la cochenille suce la sève du pin à l'aide de ses pièces buccales en forme de longs stylets qu'elle enfonce dans les tissus de l'hôte. La cochenille se nourrit et grandit aux dépens du pin.

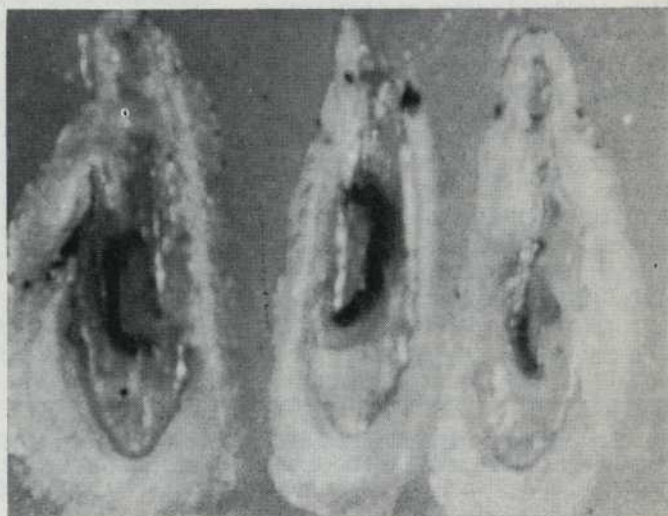
Ce petit insecte passe donc son cycle de vie sur le pin sauf pour le cas du mâle. En effet, le mâle adulte est ailé; il vole d'arbre en arbre pour féconder les femelles adultes. La femelle adulte mesure en moyenne 2.6 mm de long sur 1.0 mm de large. Le mâle ailé mesure 0.9 mm de long sur 0.3 mm de large.

Après avoir été fécondée par le mâle, la femelle pond ses oeufs sous le bouclier. La femelle meurt après la ponte et les oeufs hivernent sous le bouclier. Au printemps suivant, les oeufs éclosent et les petites larves mobiles se promènent d'une

aiguille à l'autre. Lorsque la larve a trouvé un endroit propice, elle insère ses stylets dans l'aiguille et elle s'installe. Elle commence alors à excréter une substance cireuse pour se couvrir le corps d'une membrane plutôt transparente au début.

Ces larves fixées croissent et vers la fin de leur développement elles sont recouvertes d'un bouclier blanchâtre. Les mâles vont donner des individus ailés qui iront féconder les femelles. Ces dernières fécondées, le cycle de vie recommence.

Fig. 6 Cochenilles femelles parasitées par un insecte Hyménoptère. A ce stade, il ne reste que la paroi externe de la cochenille. On peut voir la larve du parasite à l'intérieur.



Dégâts causés par la cochenille

Comme ces insectes pullulent, il existe des pins qui sont littéralement infestés de cochenilles. Au Québec comme dans les autres provinces du Canada ainsi qu'aux États-Unis, ces insectes existent en grand nombre. Ces insectes suçant la sève du pin, les aiguilles ont alors tendance à tomber plus tôt que prévu et ce n'est pas étonnant que les pins perdent alors leur beauté.

Des insectes semblables appelés *Matsucoccus* existent dans nombre de pays. Les ravages causés par les piqûres et la succion de la sève (y compris les toxines injectées par l'insecte) ont provoqué la mort de Pins maritimes en grand nombre. Actuellement, en France, les chercheurs ont lancé une campagne de lutte contre ces insectes.

Moyens de contrôle

Il existe heureusement quelques agents naturels de contrôle. Ces agents sont d'abord le climat rigoureux de l'hiver, puis les parasites qui se déve-

loppent aux dépens des cochenilles femelles et les tuent. Fig. 6. Leur nombre n'est cependant pas assez élevé pour que l'on puisse compter sur eux seuls. Nous sommes donc dans l'obligation de traiter les pins avec un insecticide, le *Malathion* 50% dilué dans l'eau (dosage: $\frac{1}{8}$ d'once dans un gallon d'eau).

Autres espèces de cochenilles

Outre les cochenilles du pin, il existe d'autres espèces de cochenilles. Mentionnons la Cochenille virgule du pommier, le Pou de San José, qui s'attaquent aux arbres fruitiers. De même la Cochenille du mûrier, la Cochenille du rosier, la Cochenille du poirier, etc. Comme nous pouvons le constater, les cochenilles s'attaquent à un grand nombre d'arbres et d'autres plantes, étendant par le fait même les dégâts causés par leur piqûre et la succion de la sève.

Conclusion

Lorsque vous retournerez en forêt, ne manquez pas l'occasion de constater la présence de ces minuscules cochenilles

sur les arbres et autres plantes. L'observation sera peut-être difficile au début, mais vous deviendrez bientôt familiers avec ce genre d'insectes qui échappent à la majorité des promeneurs en forêt.

Bibliographie

BALACHOWSKY, A. et L. MESNIL, 1935. *Les insectes nuisibles aux plantes cultivées*, Paris, Tome I: pp. 352-400.

DAVIAULT, L. *Cochenilles du pin*, Ministère des Terres et Forêts, Bureau d'entomologie, circulaire no 2, Québec.

CUMING, M. E. P., 1950. A Study of the Pine needle scale, *Phenacaspis pinifoliae* (Fitch). Master's Thesis, Univ. of Saskatchewan, Saskatoon, Sask.

SHARMA, M. L. et R. LAVIOLETTE, 1967. Répartition et dommages causés aux pins par la cochenille du genre *Phenacaspis* dans les Cantons de l'Est. *Phytoprotection*, 48 (3). Sous presse.

MARTEL, P. et M. L. SHARMA, 1967. Quelques précisions sur la biologie et l'écologie de la cochenille, *Phenacaspis pinifoliae* (Fitch), (Homoptera: Diaspididae), dans le Québec. *Phytoprotection*, 48 (3). Sous presse.

L'étude des sols canadiens

La participation du Gouvernement fédéral aux programmes destinés à favoriser la conservation des sols et des ressources hydrauliques du Canada a commencé avant le début du siècle. Depuis ce temps, le ministère fédéral de l'Agriculture n'a cessé de se développer. Les différents services qu'il offre à la population sont innombrables. Parmi ceux-ci, il en est un qui, avec la venue du printemps, prend une importance capitale dans l'économie agricole du pays.

L'Institut de recherches sur les sols, logé dans l'édifice K. W. Neatby, à Ottawa, groupe des spécialistes de diverses disciplines et comprend les

services suivants: fertilité des sols, genèse et classification des sols, minéralogie des sols, matière organique du sol, chimie et physique du sol, cartographie et Bâtiment des parcelles et Serre. La concurrence croissante qui s'exerce dans le domaine de l'utilisation des terres a convaincu le gouvernement de la nécessité d'en estimer la nature et d'appliquer ces informations aux programmes d'exploitation de ces ressources. Les relevés effectués à travers le pays depuis 1935 sont l'oeuvre conjointe des pédologues des gouvernements fédéral et provinciaux et des universités. Les cartes et les rapports publiés constituent une mine de renseignements fondamentaux sur les sols canadiens. Destinés d'abord aux besoins de l'agriculteur, les relevés

fournissent néanmoins des données pouvant servir à l'évaluation de la capacité agrologique des terres pour diverses utilisations de rechange.

Un deuxième type de classification des terres, d'après leur utilisation actuelle, a été effectué sur une bonne partie du territoire canadien, notamment au moyen du programme de cartographie commencé en 1950 par la Direction de la géographie du ministère fédéral de l'Energie, des Mines et des Ressources. Le Bureau fédéral de la statistique, la Division de l'économie du ministère de l'Agriculture et les Services statistiques des provinces fournissent aussi des renseignements sur les facteurs sociaux et économiques de l'utilisation des terres.

La RHÉOLOGIE

une science
qui permet
de connaître
le comportement
des matériaux

par Paul H. LeBLOND

L'eau coule, mais pas la glace. Pas besoin d'être scientifique pour s'en apercevoir. Chacun sait que l'eau est un liquide et la glace un corps solide, et le bon sens populaire a depuis toujours distingué ces deux formes de la matière selon un critère très simple: le liquide coule, le solide ne coule pas. Cette distinction est à la base de la « rhéologie ». Pour mieux comprendre ce qu'est cette science que nous définirons bientôt de façon plus précise, examinons de plus près la différence entre le comportement des solides et celui des fluides. (Sous le terme plus général de « fluide » on inclut à la fois les liquides et les gaz : on s'aperçut en effet assez tôt que ces derniers aussi coulaient, comme les liquides).

Au prix d'une certaine déformation un solide résiste, plus ou moins obstinément selon sa rigidité, aux tensions qu'on lui impose. Des tensions internes se développent à la suite de cette déformation et s'opposent à la force appliquée : le solide cède jusqu'à ce qu'un équilibre statique soit établi entre les tensions internes et la force appliquée (on suppose bien entendu que cette dernière n'a pas de résultante nette). Un bloc de caoutchouc collé à un plan incliné penchera certes un peu vers le bas de la pente (figure 1), mais cette déformation gardera une valeur finie, exactement suffisante pour que les tensions internes (élastiques) balancent le couple gravité-adhésion.

L'auteur du texte et des figures, Paul H. LeBlond, Ph. D., est professeur à l'Institut d'Océanographie, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver.

Un fluide, d'autre part, s'il offre quelque résistance à la compression, ne peut empêcher que des forces agissant parallèlement à sa surface ne le déforment sans limites. Un volume de fluide sujet aux mêmes conditions que le bloc de caoutchouc ci-haut dévalera la pente jusqu'en bas. Les tensions internes qui se développent à l'intérieur du fluide sont de telle nature que seul un équilibre dynamique peut être établi avec les forces agissantes. Il n'y aura donc pas, pour un fluide soumis à une force tangentielle, de déformation maximum, mais seulement une vitesse maximum.

On trouve donc par expérience directe une différence essentielle entre le comportement des solides et celui des fluides sous l'action des mêmes forces agissantes. On serait tenté, sans aller plus à fond, de ranger tous les corps, selon leur comportement, dans l'une ou l'autre de ces catégories. On verra plus loin que ceci est impossible, qu'il existe des corps dont les propriétés sont intermédiaires entre celles des solides et celles des fluides. Il faudra donc créer des catégories plus générales et encore ne pourra-t-on décider si tel corps tombe dans telle ou telle catégorie qu'en en déterminant le comportement de façon expérimentale. Voilà l'objet de la rhéologie : de déterminer ce comportement et de tirer les conclusions qui en suivent quant aux déformations et au mouvement des corps. On définira donc de façon plus succincte la rhéologie comme étant « cette branche de la mécanique qui s'intéresse à la façon dont les corps se déforment sous l'action des forces auxquelles on les soumet ». A bien noter qu'il ne s'agit pas d'expliquer ces déformations à partir d'une théorie détaillée de la structure moléculaire des corps: la rhéologie reste une science macroscopique, comme la thermodynamique, et ne s'intéresse, du moins sous sa forme classique, qu'aux propriétés des corps « en gros ».

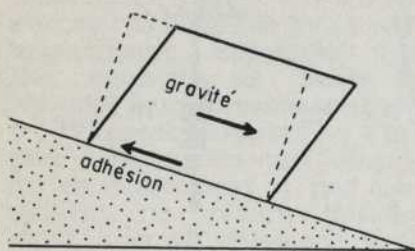


Fig. 1. Déformation — fortement exagérée — d'un bloc élastique sous l'action de la composante de la gravité, parallèle au plan incliné auquel il adhère.

La rhéologie a donc pour but d'établir, d'habitude de façon empirique, une relation entre la déformation et la tension interne qui en résulte. Voyons d'abord les plus simples de ces relations.

1— Les corps élastiques

Des expériences très simples, exécutées pour la première fois par le physicien anglais Hooke (XVIIe siècle), montrent que la plupart des métaux se comportent, lorsque soumis à de faibles tensions, comme des ressorts. Un fil de métal s'étire, et cet étirement est proportionnel à la tension appliquée; de plus, une fois soustrait à la tension, le fil de métal retrouve sa longueur première. Ce comportement est dit « élastique », et nous l'illustrerons de façon symbolique par un ressort. La tension appliquée, T , produit un allongement, x , qui lui est proportionnel : $T = k x$, où k est une constante élastique (figure 2a).

2— Les liquides newtoniens

C'est encore au XVIIe siècle que Newton, intéressé à l'écoulement des fluides, postula qu'une force, F , appliquée le long de la surface d'une couche de fluide serait contrebalancée

par la friction entre les parties adjacentes du fluide. La vitesse du fluide atteindrait donc une valeur maximum à la surface d'application de la force, pour décroître en profondeur. La résistance opposée par la friction au mouvement dépend de la vitesse relative entre couches limitrophes, c'est-à-dire de la dérivée de la vitesse en profondeur, et on a la relation suivant-

te pour la tension interne due à la friction : F (friction) = $f \frac{du}{dz}$. f est un coefficient de friction, ou de viscosité (figure 2b). Dès que la friction visqueuse telle qu'écrite ci-haut a atteint en quelque endroit du fluide (en général au fond) une valeur égale à celle de la force appliquée, un équilibre dynamique est atteint et le fluide n'accélère plus.

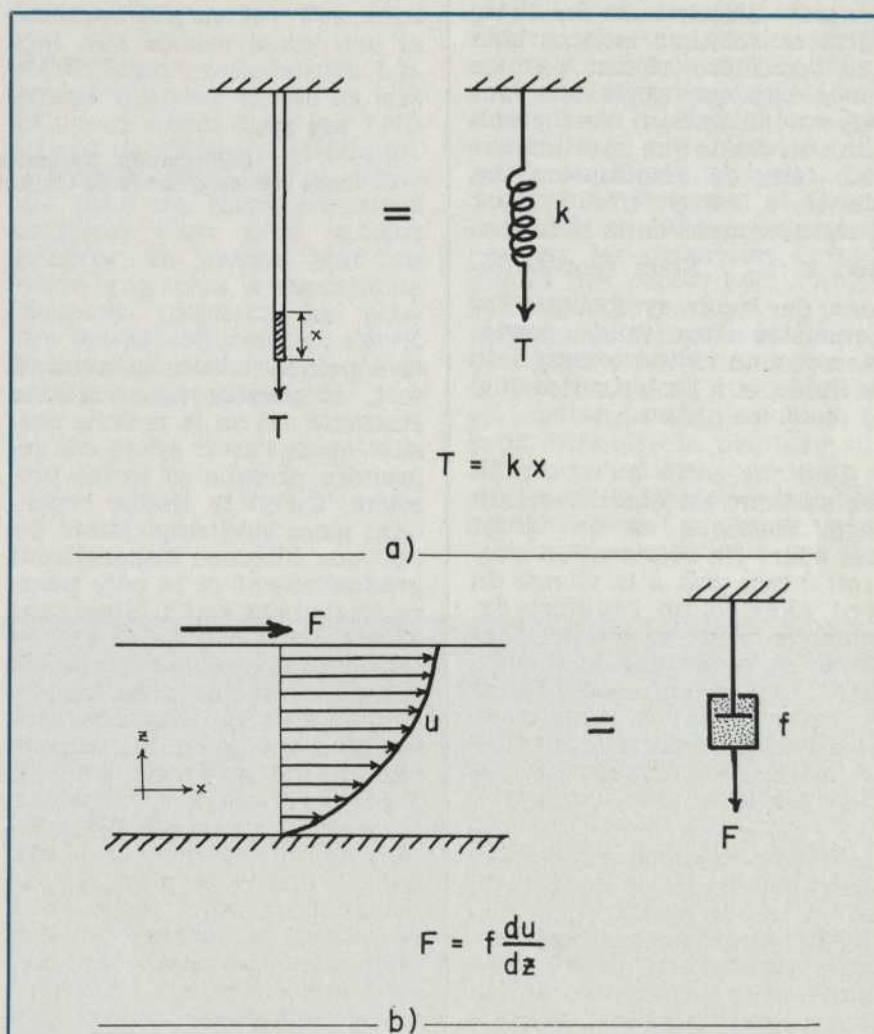


Fig. 2a, b.

a) L'étirement, X , (fortement exagéré) d'un fil de métal est proportionnel à la tension, T . Le comportement élastique peut être représenté symboliquement par un ressort.

b) Ecoulement d'une couche de fluide sous l'action d'une force tangentielle, F , et le symbole employé pour représenter le comportement d'un fluide newtonien (explications dans le texte).

Si cette relation d'équilibre semble si différente de celle que nous avons écrite plus haut pour l'étirement d'un fil de métal, c'est tout simplement que nous avons soumis le fluide à une force appliquée de façon différente. Qu'on soumette aussi un cube de métal à une tension, T , dirigée le long de sa face supérieure, tout en gardant sa face inférieure bien ancrée; à l'équilibre, on aura $T = m \frac{dx}{dz}$ (figure 2c). m est un autre coefficient élastique, en général différent de k . Cette dernière relation montre bien que l'équilibre atteint par un corps élastique après une certaine déformation n'est établi dans un fluide que pour un certain taux de déformation. La vitesse, u , est en effet le taux d'accroissement de la déformation x : $\frac{dx}{dt}$. Nous représenterons de façon symbolique les propriétés d'un fluide newtonien par un cylindre rempli de ce fluide, et à l'intérieur duquel se meut un piston.

Ajoutons enfin qu'un équilibre statique est établi dans un corps élastique en un temps très court (la déformation s'accroît à peu près à la vitesse du son) alors qu'un équilibre dynamique n'est atteint dans un fluide qu'après que le mouvement a eu le temps de diffuser à travers toute la couche de fluide. Plus la viscosité du fluide est petite, plus la période d'accélération sera longue.

Si tous les corps se comportaient soit en fluide newtonien, soit en solide élastique, la discussion serait close et la rhéologie sans grand intérêt. Un coup d'oeil rapide nous apprend qu'il n'en est pas ainsi. Nombre de substances familières ne satisfont aux critères de définition ni de l'une ni de l'autre de ces catégories. La crème dentifrice, par exemple, ne coule que lorsque soumise à une pression assez haute, mais cesse de couler aussitôt que cette pression disparaît, et ne retrouve pas sa configuration originale. La pâte

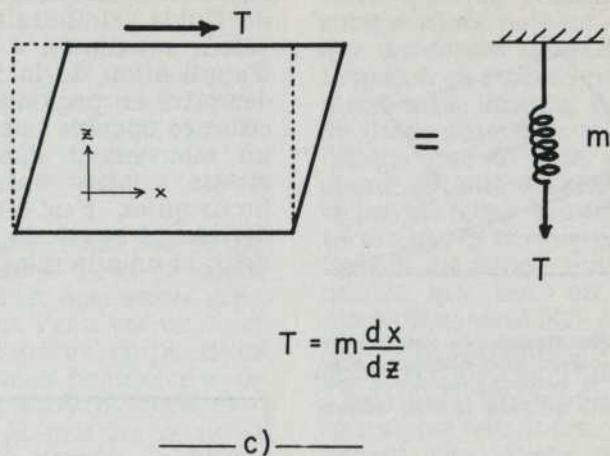


Fig. 2 c.

c) Déformation (fortement exagérée) d'un corps élastique sous l'action d'une force tangentielle et représentation symbolique.

à pain ne s'étire qu'avec effort, et possède une certaine élasticité : si on la relâche aussitôt après l'avoir étirée elle reprendra presque sa forme première. Qu'on la tienne cependant assez longtemps étirée, les tensions internes disparaîtront graduellement et la pâte pourra finalement rester étirée sans devoir être soumise à aucune tension. Encore un exemple : la gomme à mâcher cède un peu comme un corps élastique, sous les tensions qu'on lui impose, mais garde sa forme nouvelle après le retrait de ces tensions. Ce dernier genre de déformation est dit « purement plastique » : un corps plastique ne manifeste aucune tendance à reprendre sa forme première. Même les métaux, élastiques sous faible tension, acquièrent une déformation plastique lorsque soumis à des tensions assez fortes : on peut, par exemple, plier des tuyaux de cuivre sans qu'ils nous rebondissent au visage aussitôt mis en place. Aucune des substances ci-dessus n'est un fluide newtonien, aucune un corps élastique; leurs propriétés rhéologiques sont plutôt intermédiaires à celles

de ces deux catégories de corps.

Beaucoup de substances semblent donc un peu fluides et un peu élastiques à la fois. Il devrait donc être possible de représenter leur comportement rhéologique par une combinaison appropriée d'éléments visqueux et d'éléments élastiques. Comme nous en avons convenu, nous illustrerons symboliquement les éléments élastiques par des ressorts, les éléments fluides par des pistons se mouvant à l'intérieur de cylindres remplis de fluide newtonien.

3— Les fluides visco-élastiques, ou de Maxwell

Ce modèle fut imaginé au siècle dernier par Maxwell (le père de l'électromagnétisme) pour expliquer le comportement rhéologique de substances telles que la pâte à pain. Il consiste en un arrangement en série d'un élément visqueux et d'un élément élastique (figure 3a). Les substances décrites par

le modèle de Maxwell sont dites fluides parce que la moindre force y produit des déformations sans limites. La vitesse s'accroît toutefois de façon non-newtonienne. Supposons que l'on soumette un fluide de Maxwell à une tension constante; l'élément visqueux ne s'oppose à la tension que lorsqu'il est en mouvement et, par conséquent, ne présente initialement aucune résistance à la tension: le système semblera d'abord élastique. A mesure que le mouvement devient plus rapide, une part de plus en plus grande de la tension totale est contrebalancée par la friction visqueuse, et de moins en moins grande par l'élément élastique. Le ressort devient de plus en plus détendu; l'élasticité décroît avec le mouvement et le fluide de Maxwell coule à grandes vitesses comme un fluide newtonien. En deux mots, c'est un fluide difficile à partir.

Que l'on impose d'autre part une déformation fixe à un fluide de Maxwell (plutôt que de le soumettre à une tension donnée); la tension sera d'abord élastique: si on le relâche tout de suite, le fluide de Maxwell retournera à sa forme première. Pourtant, le mouvement dû à l'élément visqueux diminue à chaque instant l'extension relative et la tension qu'a à supporter l'élément élastique; lorsque le fluide a enfin coulé jusqu'à la limite de la déformation imposée la tension disparaît complètement. La tension nécessaire pour maintenir le système étiré diminue donc graduellement jusqu'à finalement disparaître. La pâte à pain exhibe le même comportement. Plus on garde le système étiré longtemps, plus le retour vers la longueur initiale sera petit lorsqu'on le soustraira à la tension appliquée.

Le mouvement unidirectionnel d'une mince couche de fluide visco-élastique est donné par une relation qui combine les caractéristiques du fluide newtonien et du corps élastique:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dz} \right) = \frac{T}{f} + \frac{1}{m} \left(\frac{dT}{dt} \right)$$

T est la tension, x l'étirement et f et m les coefficients de viscosité et d'élasticité.

4— Les solides élastico-visqueux, ou de Voigt

Il s'agit cette fois d'un arrangement en parallèle d'un élément visqueux et d'un élément élastique (figure 3b). Ces corps sont dits solides parce que la déformation y reste bornée. L'élément visqueux exerce ici une influence retardatrice sur l'étirement de l'élément élastique: l'étirement final est le même que pour un corps purement élastique, mais n'est atteint qu'après un temps plus ou moins long selon la viscosité de l'élément visqueux. La relation tension-déformation s'écrit maintenant, sous les mêmes conditions que plus haut:

$$T = m \left(\frac{dx}{dz} \right) + f \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dz} \right)$$

Une éponge, par exemple, se comporte un peu comme un solide de Voigt. Après avoir été pliée ou écrasée, elle reprend sa forme initiale assez lentement pour qu'on puisse noter « de visu » l'effet de retardement.

5— Les plastiques de Bingham

Dans un corps plastique, aucune tension interne ne se développe tendant à ramener le corps à sa forme première. La gomme à mâcher, par exemple, cédera sous une tension suffisante et continuera à se déformer aussi longtemps que la tension lui est appliquée; une fois soustraite à cette tension, elle garde sa forme nouvelle. Les Américains Bingham et Green menèrent en 1919 des expériences sur les propriétés rhéologiques des peintures à l'huile, et ils découvrirent que ces peintures ne se comportent comme des fluides newtoniens que si la tension qu'on leur applique est suffisante. On peut étendre sans difficulté la peinture sur un mur vertical; par contre, elle ne coule pas toute jusqu'au plancher avant de sécher parce que la tension fournie par son

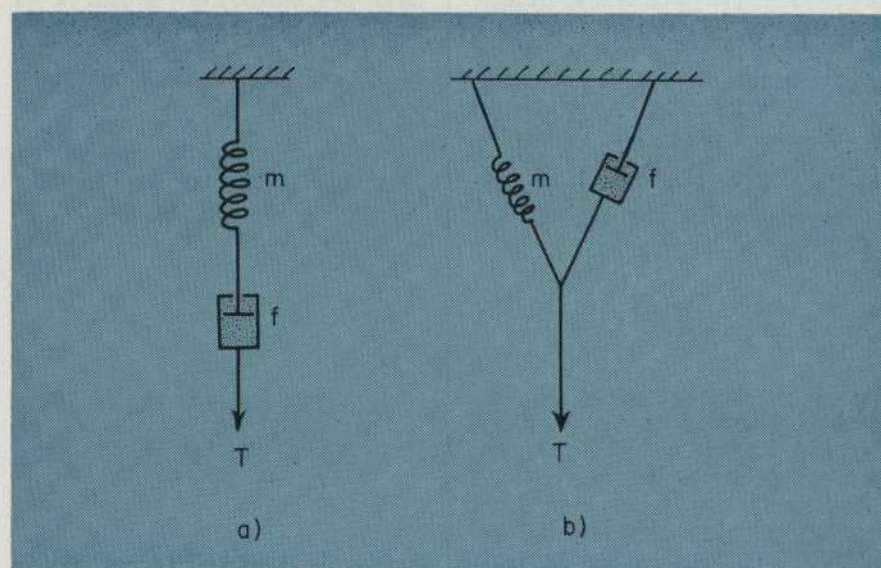


Fig. 3 Modèles mécaniques de comportement rhéologique. a) Le fluide visco-élastique de Maxwell; b) le solide élastico-visqueux de Voigt.

propre poids ne suffit pas à la mettre en mouvement. Ce comportement est aussi dit plastique : il n'y a mouvement qu'à partir d'une tension minimum, et aucune tension interne ne tend à ramener le corps à sa configuration primitive. Un modèle mécanique très simple peut être construit pour représenter le comportement des plastiques de Bingham (figure 4a); il consiste en un élément visqueux en parallèle avec un bloc solide reposant sur une surface rugueuse. Un tel système ne démarrera pas aussi longtemps que la tension qu'on lui applique est inférieure à la force de friction statique entre le bloc et la surface sur laquelle il repose. On peut alors écrire pour le mouvement

$$T - T_0 = f \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dz} \right) \geq 0$$

T_0 est la tension minimum à laquelle il faut soumettre le système pour qu'il coule. La crème dentifrice se comporte aussi de cette façon.

6— Les corps élastiques à tension minimum

Par analogie avec le modèle précédent, on peut aussi imaginer un corps élastique qui ne céderait que sous des tensions suffisamment élevées. Le modèle mécanique sera le même que ci-dessus, sauf que l'élément visqueux sera remplacé par un élément élastique (figure 4b). La relation déformation-tension s'écrira

$$T - T_0 = m \left(\frac{dx}{dz} \right) \geq 0$$

Un tel comportement de la croûte terrestre est probablement à l'origine de la violence des tremblements de terre. L'écorce terrestre se déforme si lentement sous faibles tensions qu'elle ne peut atteindre un état d'équilibre qu'après des dizaines de milliers d'années (au moins) : sous tension inférieure à T_0 l'écorce est un solide de

Voigt super-retardé. Si la tension appliquée croît plus rapidement que l'écorce peut se déformer, la tension pourra finalement atteindre une valeur égale à celle de la tension minimum, T_0 , et l'écorce cédera de façon brusque et catastrophique.

Il serait naïf de croire qu'avec les modèles mécaniques esquissés plus haut et les relations tension-déformation qu'on peut en tirer on puisse expliquer le mouvement de tous les matériaux qui existent. On peut bien sûr former des modèles plus compliqués en combinant de diverses façons plusieurs modèles simples; cette méthode a connu quelque succès dans l'étude de la rhéologie des polymères et d'autres substances formées de longues molécules. Il reste toutefois des effets importants qui ne peuvent être inclus dans de tels modèles.

Nous n'avons considéré jusqu'ici que des situations où la déformation est strictement parallèle à la force qui la produit. En général, une tension peut produire des déformations dans d'autres directions que la sienne. Le fil de métal qu'on étire, par exemple, s'amincit en s'allongeant : il y a donc déformation perpendiculairement à la tension. Le rapport entre les déformations normales à la tension appliquée et le déplacement

en direction de cette tension dépend des coefficients rhéologiques d'un corps donné. Les relations tension-déformation décrites plus haut devront donc être généralisées pour tenir compte des possibilités de déformations en trois dimensions.

Il existe de plus quantité de corps qui ne sont pas *isotropes*, c'est-à-dire dont le comportement sous l'action d'une force donnée dépend de l'orientation de cette force. L'exemple le plus familier d'un corps *anisotrope* est le bois : on peut fendre une bûche d'un seul coup de hache en la frappant le long du grain, parallèlement aux fibres ligneuses alors qu'il faudra des efforts répétés pour la couper perpendiculairement aux fibres. Beaucoup d'autres matériaux sont anisotropes : cristaux, alliages, matières organiques... Il ne faut pas confondre *anisotrope* et *inhomogène*. Un corps est dit *inhomogène* lorsque ses propriétés ne sont pas les mêmes partout. Le comportement local dépendra de l'endroit où la force s'exerce, mais non de son orientation. Citons comme exemples nombre de substances familières : conglomerats rocheux, chocolat aux noix, gâteau aux fruits. Il existe enfin des corps qui ne sont ni isotropes ni homogènes; par exemple, un rondin dont un bout serait immergé et l'au-

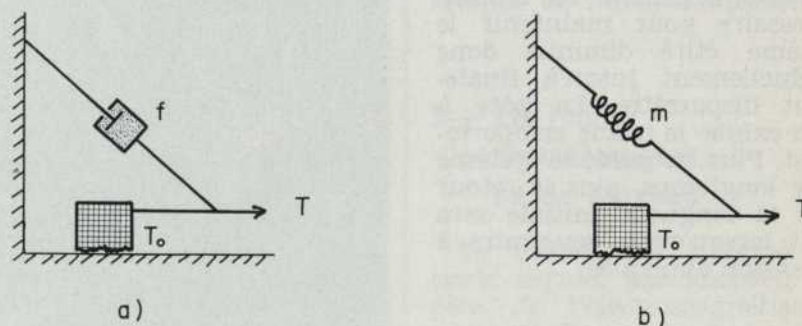


Fig. 4. Modèles mécaniques de comportement rhéologique. a) Un plastique de Bingham; b) un corps élastique à tension minimum.

tre à sec aura des propriétés rhéologiques qui varieront d'un bout à l'autre selon le contenu en eau.

Une autre catégorie rhéologique comprend des substances dont les propriétés varient dans le temps. C'est-à-dire que sous l'action d'une force donnée les propriétés rhéologiques de ces substances changent à mesure que le mouvement progresse. Si l'ajustement de ces propriétés aux conditions de mouvement plus ou moins rapide se fait de façon presque instantanée, on parle de substances « pseudo-plastiques » ou de substances « dilatantes » selon que la viscosité décroît ou augmente avec le mouvement. Ces substances se comportent un peu comme des fluides newtoniens dont la viscosité dépendrait de la valeur de la force appliquée. Beaucoup de suspensions, de matières colloïdales et de polymères de grande complexité, comme les dérivés de la cellulose, se comportent de cette façon. On peut écrire la relation tension-déformation sous la forme

$$T = f \left(\frac{du}{dz} \right)^n$$

Lorsque l'exposant n est égal à un on retrouve la relation pour un fluide newtonien; quand n est plus grand que un la viscosité croît avec le taux de déformation, et quand n est plus petit que un, elle décroît.

Chez d'autres substances, l'ajustement aux conditions de mouvement plus ou moins rapide ne se fait que graduellement, et les propriétés rhéologiques dépendent non seulement du taux de déformation, mais aus-

si de l'intervalle de temps où le fluide est soumis à ce taux de déformation. Ces corps sont souvent appelés « fluides à mémoire » parce qu'ils semblent se rappeler de leur état passé (ce terme s'applique aussi aux fluides de Maxwell, et pour la même raison). On distingue les corps *thixotropes*, dont la viscosité décroît avec accroissement du taux de déformation, et les corps *rhéopectiques*, qui exhibent un comportement inverse. Si l'on brasse une substance thixotrope elle deviendra graduellement moins visqueuse et une fluidité maximum sera atteinte après un certain temps; si on agite de façon encore plus vigoureuse une fluidité encore plus grande pourra être atteinte. Au contraire, les fluides rhéopectiques deviendront de plus en plus pâteux. Ces conditions sont réversibles: une fois le brassage terminé, ces corps recouvrent graduellement leurs propriétés initiales.

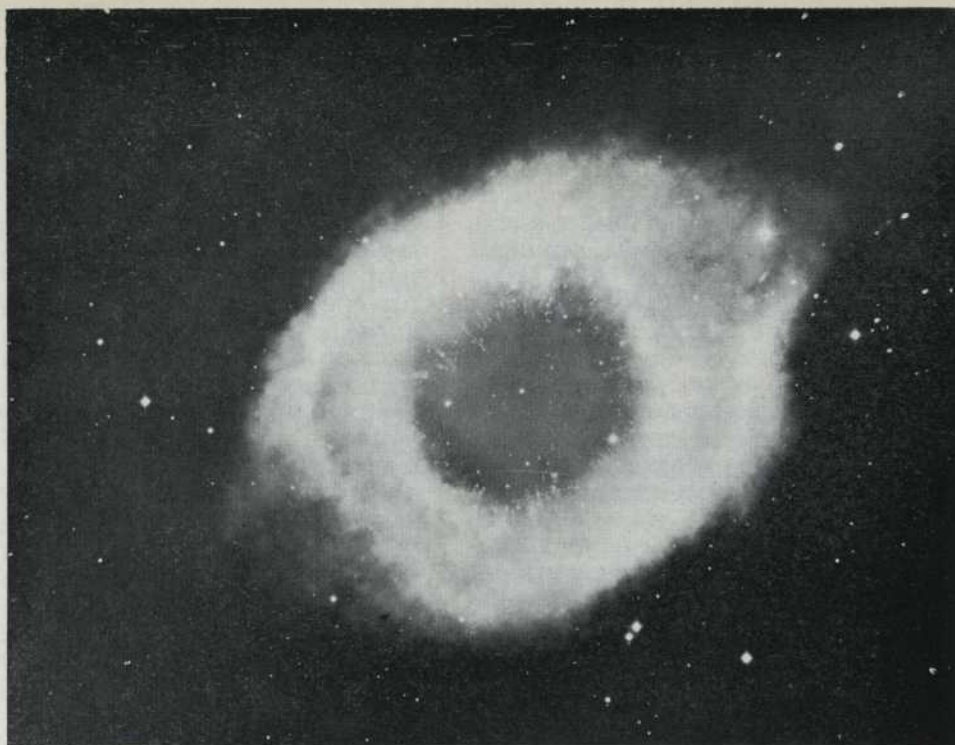
Les glissements rapides de terrains glaiseux, fréquents en Suède et Norvège, et dans les vallées du Saint-Laurent et de ses affluents, sont certainement les exemples les plus spectaculaires de comportement thixotrope. Ces glaises, agrégats naturels d'eau et de particules minérales très petites, sont susceptibles d'être mises en mouvement, surtout lorsque le sol est très humide, par des secousses apparemment insignifiantes: microsecousses sismiques, explosions, coups de marteau-pilon. Aussitôt que le mouvement est déclenché, il s'amplifie, en vertu des propriétés thixotropes de la glaise. C'est ainsi que le 12 novembre 1955, dans la province de Qué-

bec, une partie de la ville de Nicolet s'effondra dans la rivière du même nom; une école (l'Académie Commerciale), un garage et plusieurs maisons furent emportés. Le glissement fut complet en moins de sept minutes et laissa derrière un trou de 600 pieds de long, 400 de large et de 20 à 30 pieds de profondeur. Un glissement semblable se produisit en 1929 sur les pentes sous-marines au sud du Grand Banc de Terre-Neuve, à la suite d'un tremblement de terre. Douze câbles sous-marins furent endommagés.

La recherche sur le comportement rhéologique des sols sur lesquels nous vivons ne manque pas, on le voit, de justification pratique. La floraison de matériaux nouveaux issus des travaux de la chimie moderne a aussi accru l'importance des recherches rhéologiques. L'utilisation de ces substances nouvelles suppose que l'on connaisse leur comportement rhéologique. L'on s'imagine assez facilement la déconfiture de l'ingénieur distrait qui aurait recommandé l'installation d'un marteau-pilon sur une couche inclinée de glaises thixotropes; ou qui tenterait de faire couler sous pression dans un tuyau une substance fortement rhéopectique.

Références

- KERR, Paul F. *Quick Clay*, « Scientific American », vol. 209, no 5, nov. 1963.
- WILKINSON, W. L. *Non-newtonian Fluids*, Pergamon Press, New York, 1960.



Etant donné certains déséquilibres, une étoile peut rejeter violemment dans l'espace son atmosphère et une bonne partie de ses couches externes. Les gaz éjectés forment une couronne ou « nébuleuse planétaire » telle que montrée sur le cliché. L'étoile centrale au moment de son explosion, peut fournir un flux de neutrons suffisamment puissant pour bâtir les atomes plus lourds que le bismuth 209.

*comment se fabriquent, au coeur des étoiles, les éléments qui constituent
l'univers et forment jusqu'au moindre tissu de notre corps*

L'origine des éléments

par Jean-René ROY

Le philosophe Auguste Comte (1798-1857) affirmait il y a déjà près d'un siècle qu'il y avait certaines choses que l'homme n'arriverait jamais à connaître; comme exemple, il mentionnait la composition chimique des étoiles. Le pauvre ! Cinquante ans plus tard, la spectroscopie stellaire était pleinement florissante. Aujourd'hui non seulement nous connaissons la composition des étoiles situées à un milliard d'années-lumière, mais de plus nous pouvons décrire le processus qui conduit à la formation des divers éléments. Les raies noires d'absorption qui strient les spectres du Soleil et les étoiles dévoilent de façon irréductible les secrets de leur composition aux Sherlock Holmes de la spectroscopie.

Un des grands promoteurs des théories relatives à la formation des éléments dans les étoiles fut le physicien Hans Bethe qui, en automne 1967, recevait le prix Nobel de physique pour son célèbre *cycle du carbone* élaboré en 1938; ce processus montre comment l'hydrogène se convertit en hélium tout en utilisant le carbone comme catalyseur nucléaire.

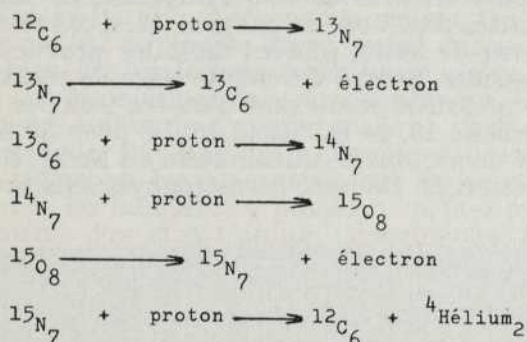
Abondance des éléments

Toute théorie visant à expliquer la fabrication des atomes doit tenir compte tout d'abord des larges inhomogénéités de composition que l'on retrouve dans l'univers, et, ensuite, de l'abondance relative des éléments qui est fort loin de ressembler à celle de la croûte terrestre; elle se rapproche beaucoup plus de celle du Soleil dont nous donnons la composition. Voir le Tableau I. On remarque que l'hydrogène et l'hélium se taillent la part du lion avec plus de 98% de la masse de tous les atomes du Soleil et de l'univers. Dans une étoile normale, les $\frac{2}{3}$ de la masse sont de l'hydrogène et $\frac{1}{3}$ de l'hélium. Le carbone, l'azote et l'oxygène constituent à peu près les 2% qui restent. Les autres éléments ne sont qu'un détail infime dans l'univers. Au-delà du zinc, qui occupe le no 30 dans le tableau de Mendéléev, les éléments ne représentent que quelques parties par milliard face à l'hydrogène.

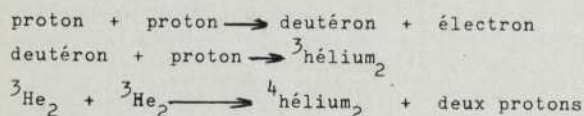
Le four stellaire

Il semble que les éléments se forment principalement dans le cœur des étoiles de type *géantes rouges*; celles-ci éjectent lentement par leur atmosphère dans l'espace interstellaire, les matériaux formés dans leur centre. Les « géantes rouges » sont 50 à 1 000 fois plus brillantes que le Soleil et leur température de surface varie de 2 200° F à 5 000° F; le Soleil (une étoile moyenne de la branche principale du diagramme Hertzsprung-Russell) est une étoile jaune avec une température de surface d'environ 10 000° F.

Les éléments se forment par bombardement des divers noyaux atomiques par des protons (noyaux d'atomes d'hydrogène), des neutrons ou des particules alpha (noyaux d'atomes d'hélium). Les éléments lourds requerront pour se former des températures de l'ordre du milliard de degrés. Dans les températures de l'ordre de 20 millions de degré, le « cycle de Bethe » (capture de protons) prédomine :



La réaction totale peut se résumer ainsi : quatre atomes d'hydrogène (protons), s'unissent pour former un atome d'hélium ainsi que deux électrons et libérer de l'énergie. Dans le Soleil, 85% de l'énergie serait produite par le cycle de Bethe et 15% par le processus « H de Critchfield » qui dirige les opérations de la grande fabrique d'atomes aux températures inférieures. Dans le dernier cas, la transformation de l'hydrogène en hélium s'opère sans l'aide des catalyseurs nucléaires (carbone, azote et oxygène) du processus de Bethe :



Ce cycle est prépondérant dans les étoiles rouges où règnent les basses températures. A chaque

Tableau I. Composition du Soleil

Elément	Poids atomique	Abondance	
		par nombre	par masse
H (hydrogène)	1	1000.0	1000
He (hélium)	4	80.0	320
C (carbone)	12	0.1	1
N (nitrogène ou azote)	14	0.2	3
O (oxygène)	16	0.5	8
Ne (néon)	20	0.5	10
Mg (magnésium)	24	0.06	1
Si (silicium)	28	0.03	1
S (soufre)	32	0.02	1
A (argon)	40	0.05	2
Fe (fer)	56	0.02	1

Tableau II. Variation du contenu métallique avec l'âge de l'étoile (d'après M. Schwarzschild, 1958)

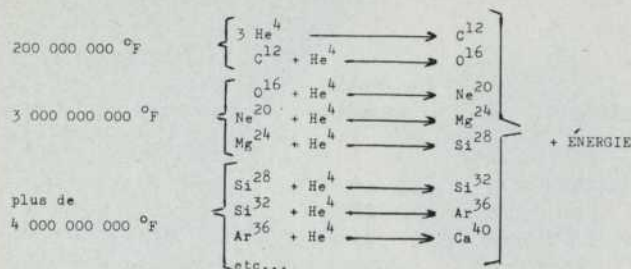
Population	Abondance des éléments très lourds (par masse)
Population I, jeune	0.04
Population I, intermédiaire	0.03
Population I, âgée	0.02
Population II, moyenne	0.01
Population II, très âgée	0.003

Pour les astrophysiciens, la Population II a précédé la Population I.

seconde, le Soleil transforme 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium; la balance de 4 millions de tonnes se « volatilise » en énergie selon la célèbre relation $E = mc^2$. D'après cette équation due à Einstein, un gramme de matière équivaut à 25 000 000 kw-heure. Enfin, signalons que le processus de Bethe est très lent; en moyenne il faut un million d'années à un atome pour parcourir ce cycle; certaines étapes durent quelques minutes, d'autres des centaines de milliers d'années.

Avec la croissance des températures à l'intérieur du four stellaire, nous assistons aux réactions suivantes qui nous permettent d'avan-

cer dans le tableau Mendéléev : c'est le *processus alpha*, c'est-à-dire capture d'un noyau d'hélium.



Il ne faut pas se faire d'illusion; le schéma ci-haut est en réalité beaucoup plus complexe et cette cuisine stellaire a énormément plus de recettes. L'apparition de certains éléments modifie bien des réactions; la masse, la composition originale et la température sont des composantes très importantes dans l'évolution d'une étoile dont tous les théoriciens ont à tenir compte. Néanmoins, nous pouvons nous faire une idée grossière et relative de ce qui se déroule dans ces « fours » inaccessibles.

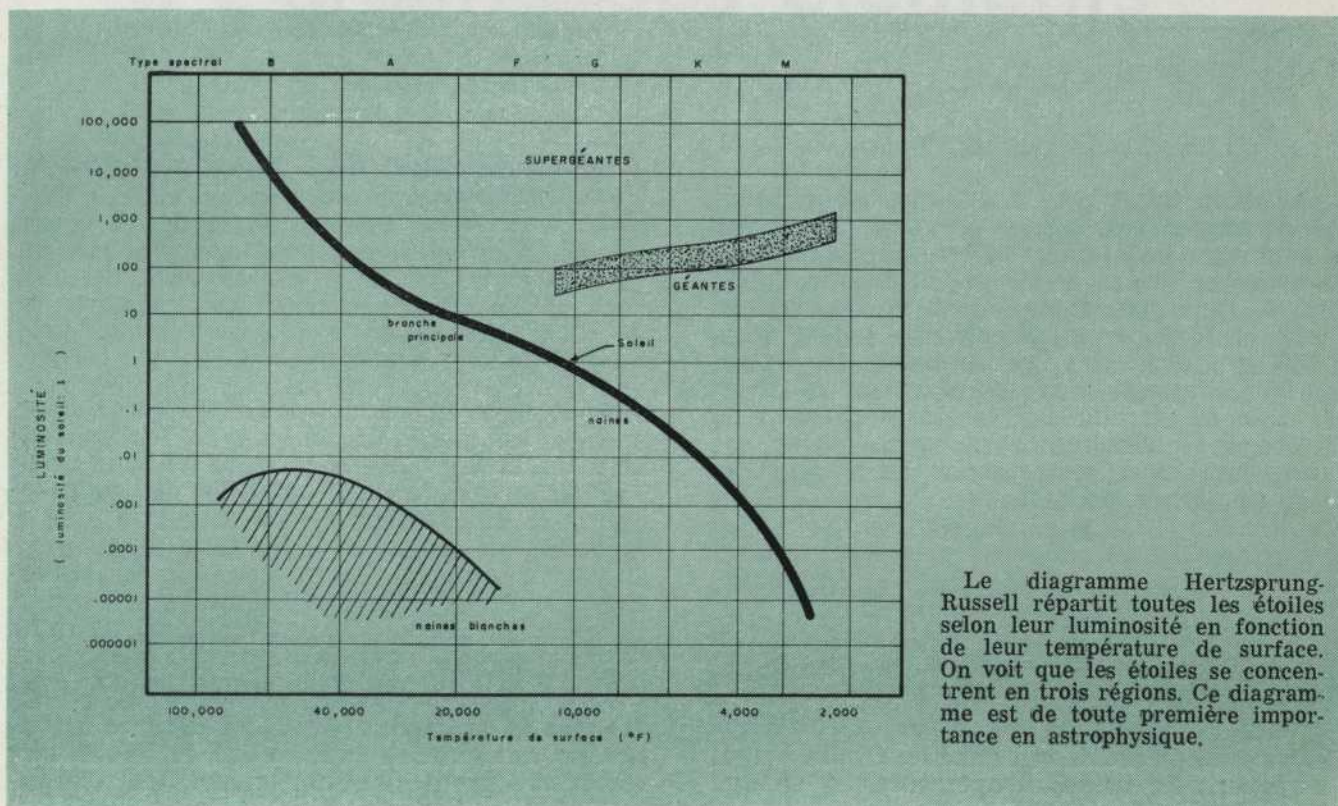
Après le calcium 40 (Ca^{40}), disons que le « processus alpha » se poursuit jusqu'à la formation du fer 56. Mais cet élément étant très stable, les bombardements subséquents n'aboutissent qu'à des éléments radioactifs qui s'empres- sent de se désintégrer spontanément en fer

ou d'autres éléments moins lourds. La machine thermonucléaire refuse d'aller plus loin; le processus alpha semble donc s'embourber avec la formation du fer. Pour poursuivre, il nous faudra une nouvelle « convention collective », un nouveau processus.

Les générations ne se ressemblent pas

Les réactions que nous venons de décrire s'appliquent pour des étoiles primitivement constituées uniquement d'hydrogène; cela va pour la première génération d'étoiles qui s'est formée à partir de nuages de gaz interstellaires composés exclusivement d'hydrogène au tout début de l'histoire de notre galaxie. Avec les générations postérieures qui ont surgi des nappes de gaz et de poussières du plan galactique, alimentées incessamment par les débris des *supernovae* et des éjections de matériaux des étoiles aînées, la composition primitive s'avère plus hétérogène. Le processus d'évolution de ces étoiles cadettes devient plus complexe.

Ainsi une étoile de seconde génération, ayant accaparé en plus de son hydrogène, de faibles quantités d'hélium, de carbone 12, d'oxygène 16 et ainsi de suite, puisées dans les productions ancestrales, pourra devenir le siège de réactions intermédiaires produisant d'autres isotopes, tels le carbone 13, 14 et l'azote 15. Le néon 20 bombardé de protons se transmutera en Ne 21, Ne 22 et sodium 23. De plus, les astrophysiciens savent

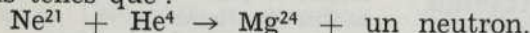


Le diagramme Hertzsprung-Russell répartit toutes les étoiles selon leur luminosité en fonction de leur température de surface. On voit que les étoiles se concentrent en trois régions. Ce diagramme est de toute première importance en astrophysique.

depuis longtemps que les étoiles faisant partie des générations récentes ont un contenu métallique plus élevé que les vieilles étoiles rouges du noyau de notre galaxie ou des amas globulaires âgés de plus d'une dizaine de milliards d'années.

Ruée vers l'or

Mais comment se forment les éléments plus lourds que le fer ? Pour suppléer au processus alpha, ce sont les neutrons qui prennent la vedette; ceux-ci sont produits au cours des réactions telles que :



Les « captures neutroniques » successives peuvent alors permettre la formation des éléments lourds jusqu'au bismuth 209. A ce point, on assiste à une nouvelle trêve; les neutrons ne peuvent produire d'atomes plus lourds stables à moins d'un flux neutronique extrêmement puissant, disponible seulement lors des foudroyantes explosions stellaires que sont les « supernovae », ou à moins grande échelle, les « novae ».

Il semble donc que les matériaux lourds comme l'or et l'uranium, économiquement très importants sur la planète Terre, soient dus au fait que bien des matériaux constituant notre planète ont été cuisinés dans une supernova, il y a plusieurs milliards d'années quelque part dans une galaxie. Sur une autre planète située dans une région où les supernovae ont été plus fréquentes, les habitants y possèdent peut-être des gisements d'or et d'uranium incalculables. Mais en sont-ils plus heureux ? ... Il semble que le taux de production d'éléments plus lourds que le bismuth soit en corrélation avec le rythme des explosions de supernovae tel que calculé pour notre région galactique. Il y aurait 10 000 000 de ces cataclysmes par milliard d'années dans notre galaxie.

« La recherche sur le cerveau et le comportement humain »

La recherche sur le cerveau et le comportement humain, tel est le thème d'un colloque international organisé au siège de l'UNESCO à Paris, du 11 au 15 mars de cette année. C'est en coopération avec l'Organisation internationale de recherches sur le cerveau (IBRO) que l'Unesco a préparé cette rencontre de 78 personnalités éminentes dont six prix Nobel. Venus de 22 pays, ces hommes de science appartiennent aux disciplines les plus variées : neurophysiologie, biochimie, philosophie, pédagogie, linguistique, psychologie, pharmacologie, sciences sociales. Tout en soulignant l'importance des recherches sur le cerveau dans la société moderne, ils vont s'attacher à mettre en évidence les rapports existant entre ces recherches et celles qui s'effectuent dans d'autres domaines.

Le colloque sera présidé par le professeur Carlos

Le Soleil, âgé de 5 milliards d'années, est de génération intermédiaire. Ceci entraîne que bien des éléments qui le composent ont déjà été à l'intérieur d'autres étoiles qui sont maintenant dégénérées en *naines blanches*. Il est plutôt bizarre d'imaginer que le calcium de nos os a été formé dans l'une des étoiles géantes rouges il y a des milliards d'années par le « processus alpha » décrit plus haut. Ainsi en est-il pour le fer de notre sang, le carbone, l'azote et l'oxygène constituants de tous nos tissus. Peut-être seul l'hydrogène de nos molécules peut avoir eu quelque chance d'échapper à cette cuisine ? Où se retrouvera le calcium de nos os dans 20 milliards d'années ? Peut-être sera-t-il devenu de l'uranium et entrera-t-il dans le combustible du réacteur nucléaire d'une quelconque civilisation aux antipodes de notre galaxie ?

Tous les atomes de l'univers, la spectroscopie le démontre, sont absolument identiques à leurs compatriotes d'ici. Même s'il vagabonde à 50 ou 10 milliards d'années-lumière, l'atome de fer est identique à celui des structures du pont Jacques-Cartier. C'est l'un des triomphes de l'astrophysique d'avoir démontré cette universalité des éléments.

Bibliographie

- ADLER, I. *L'Univers de l'atome*, Edit. Gérard, Verviers, 1965.
DAUVILLIER, A. *La physique cosmique*, Flammarion, Paris, 1957.
GAMOW, G. *Matière, terre et ciel*, Dunod, Paris, 1961.
ROY, Jean-René. *Voyage aux confins de notre galaxie*, « Le Jeune Scientifique », vol. 5, no 7, avril 1967, pp. 156-161.
PAGE, T. *Etoiles et Galaxies*, Marabout Université, 1966.
(Pour un tableau complet de l'abondance relative de tous les éléments dans l'univers, cf. NEWMAN, J. R., *Harper Encyclopedia of Science*, Harper and Row, 1963, p. 385).

Chagas, désigné par le Directeur général de l'Unesco pour diriger les travaux du comité préparatoire chargé d'établir le programme détaillé de cette réunion.

Les travaux du colloque se dérouleront de la manière suivante. Les matinées seront consacrées à des tables rondes très spécialisées, les après-midis à des séances plénières de caractère plus général et multidisciplinaire. Enfin, deux séances publiques seront organisées en soirée à l'intention d'un auditoire cultivé mais non spécialisé; le langage employé sera de ce fait moins technique.

Voici quelques thèmes du calendrier des réunions : les états fonctionnels du système nerveux, les fonctions du cerveau aux différentes étapes de la vie, besoins et motivations, apprentissage et mémoire, les incidences de la recherche cérébrale sur l'enseignement, les effets de la nutrition et du milieu sur les fonctions cérébrales, les facteurs susceptibles de perturber le comportement humain, la contribution de la recherche sur le cerveau à la promotion de la paix, etc.

Quelques traits du milieu québécois

par Fernand GRENIER

Dans cet article, nous exposons quelques vues sur les caractéristiques globales du milieu québécois, sur l'immensité de l'espace et la rigueur des conditions climatiques. Nous évoquons également les principales « solutions » qui ont été trouvées à ces problèmes au cours des années.

Etendue du territoire

La superficie officielle de la province, évaluée à 594 860 milles carrés (non compris le Labrador), fait de Québec la première province canadienne avec 15.4% du territoire total. Cette superficie dépasse celle de tous les pays européens, sauf l'U.R.S.S., de tous les états africains, sauf le Congo, la Lybie et le Soudan, et de bien d'autres états.

L'étendue se traduit par des dimensions précises: 1 200 milles du sud au nord, c'est-à-dire depuis le 45^e parallèle, frontière avec les Etats-Unis d'Amérique, jusqu'au détroit d'Hudson, à la latitude 62° 40'. De l'est à l'ouest, dans sa plus grande largeur, la province atteint approximativement 1 600 milles depuis la longitude 57° 07' au détroit de Belle Isle jusqu'à 79° 33' 20" ouest à la frontière ontarienne. Au total donc, près de 18 degrés de latitude et plus de 22 de longitude.

Le territoire du Québec est largement ouvert sur de vastes étendues océaniques, maritimes, lacustres et fluviales. De toutes les provinces canadiennes, le Québec possède de loin la plus grande longueur de côtes ma-

ritimes sur l'estuaire du Saint-Laurent, sur le golfe du Saint-Laurent, sur l'Atlantique, sur la baie d'Ungava et sur la mer d'Hudson. La massivité du territoire québécois se trouve ainsi atténuée par ces voisinages maritimes qui animent beaucoup de paysages et assurent l'interpénétration de l'eau et de la terre.

Le Saint-Laurent

Long de 2 100 milles depuis ses sources du Minnesota jusqu'à Gaspé, le Saint-Laurent est un fleuve énorme. Son estuaire, large de plusieurs dizaines de milles en plusieurs points, possède des caractéristiques maritimes bien connues: salinité des eaux, marées importantes, brouillards, agitation des eaux variées par leurs températures, leurs profondeurs, leurs salinités, etc. Large voie de pénétration, dégagant des rivages fort contrastés au nord et au sud de son cours jusqu'à la hauteur de Québec, le Saint-Laurent apparaît comme un fleuve unique qui draine la moitié du territoire québécois, reçoit des affluents aux dimensions fluviales comme le Saguenay et constitue l'une des principales articulations géographiques du territoire de la province. Au demeurant, fleuve qui donne des caractéristiques essentielles non seulement au Québec mais à tout l'Est du Canada et à l'ensemble de l'Amérique du Nord.

En amont de Québec, le Saint-Laurent, plus étroit, reste un fleuve à gros débit mais régulier, traversant lacs et rapides, recevant encore des

affluents de taille fort respectable comme l'Outaouais, le Saint-Maurice, le Saint-François, la Chaudière. Cette section du Saint-Laurent est la plus domestiquée, celle où l'on entretient des chenaux pour la navigation, celle où se trouvent les plus grands ports, les villes importantes et les grandes concentrations industrielles, celle, enfin, où les travaux de canalisation ont permis de relier efficacement l'intérieur de l'Amérique du Nord localisé autour des Grands Lacs au reste du monde en passant par la partie québécoise du fleuve.

Le Saint-Laurent a joué un rôle humanisant extraordinaire, en fixant le peuplement et en assurant les relations, et il a ainsi, malgré sa propre immensité, contribué très efficacement à la victoire sur la massivité du pays.

Les lacs

Il faut aussi mentionner le nombre incalculable de lacs qui parsèment l'intérieur du territoire et « habitent » en quelque sorte la plupart des paysages intérieurs du Québec. Ces lacs, dont la plupart sont d'origine glaciaire, se trouvent à la tête des nombreuses rivières et des fleuves ou bien viennent former des renflements en plusieurs points du tracé des cours d'eau.

Entourés des collines boisées des Appalaches ou du Plateau laurentien, ces lacs, ronds ou étirés, aux limites bien définies quelquefois mais aussi souvent imprécises et se confondant avec des zones marécageuses plus ou moins étendues, forment un élément essentiel des paysages québécois de l'intérieur. Utilisés pour le tourisme et la pêche dans le sud de la province, ils servent à emmagasiner le bois coupé pendant l'hiver dans les zones les plus forestières. Souvent même, les barrages naturels qui les ferment vers l'aval ont été utilisés pour de puissants aménagements hydroélectriques. Tous ces lacs jouent donc un rôle économique considérable. Dans les régions non boisées du nord du Québec, ces vastes et nombreux lacs éclatent de lumière en été, à travers les espaces rocheux et dénudés, ils conservent plus longtemps que la terre environnante les plaques de neige du printemps. Eté comme hiver, ils servent de piste aux avions et hydravions.

L'auteur, Fernand Grenier, docteur en géographie, est doyen de la Faculté des Lettres à l'Université Laval, Québec. M. Grenier a aimablement consenti à modifier une étude d'abord destinée aux responsables du pavillon du Québec à l'Exposition internationale et universelle de Montréal, 1967.

Le Plateau laurentien

L'immensité du territoire québécois est encore traduite par la vaste étendue du Plateau laurentien qui couvre 90% de la superficie de la province. Appartient à cette vaste portion du Bouclier canadien tout ce qui se situe au nord du Saint-Laurent, depuis l'Atlantique jusqu'au Cap Tourmente, dans Charlevoix, et au nord de la bordure des Laurentides depuis la Côte de Beaupré jusqu'à la rivière des Outaouais. Plateau de moins de 1 000 pieds en moyenne dans la région des Laurentides et se relevant graduellement jusqu'à plus de 2 000 pieds d'altitude moyenne vers le Labrador. La bordure sud du plateau est relevée et entaillée par les puissants cours d'eau coulant vers le Saint-Laurent. Est ainsi créé un paysage de montagnes aux formes molles et ondulées mais se dressant quelquefois brusquement de près de 3 000 pieds sur les bords immédiats du Saint-Laurent ou dans le massif du parc des Laurentides et dans le « nord » de Montréal.

Les forêts

La moitié méridionale du Plateau laurentien constitue un vaste domaine boisé où se retrouvent la plupart des forêts commerciales du Québec. Les peuplements forestiers, relativement homogènes, sont constitués de résineux où dominent les pins, les épinettes et les sapins presque toujours accompagnés des bouleaux. Dans presque tous les bassins tournés vers le Saint-Laurent, l'exploitation forestière constitue le trait fondamental de l'économie des régions.

Une association géographique étroite existe ainsi entre la végétation, le réseau hydrographique, les sites d'installation hydroélectrique et les points littoraux où se localisent les usines de sciage, de fabrication de pâte et papier dans des centres urbains aux fonctions industrielles et portuaires. Trois-Rivières et Baie-Comeau sont de beaux exemples.

Les ressources minières

Le Plateau laurentien est aussi remarquable par les roches qui composent son sous-sol. Autant les sols sont maigres ou inexistantes, autant le sous-sol est varié et riche. Les roches qui



Office du Film du Québec.

le composent sont anciennes et dures; ce sont, en fait, les plus vieilles roches connues sur la terre. Roches qui, au cours de leur évolution, ont subi toutes sortes de transformations physiques et chimiques de nature à favoriser la minéralisation. Aussi les gneiss et les granites renferment-ils des filons qui ont donné lieu à diverses exploitations minières: cuivre, or, zinc, plomb, etc. Des découvertes géologiques récentes ont permis de repérer un vaste géosyncli-

nal constitué de roches sédimentaires fini-précambriennes et fort riches en oxydes de fer de diverses teneurs. Ainsi sont nées les exploitations de Schefferville et de Gagnon. La zone minéralisée du géosynclinal se poursuit jusque sur la rive occidentale de la baie d'Ungava et sans doute également à l'intérieur de la péninsule d'Ungava. De vastes horizons sont ainsi ouverts à l'exploitation minière et à la mise en valeur des immenses étendues nordiques du Québec.

Essai d'un bilan

Après avoir essayé de traduire en quoi consiste l'immensité du territoire québécois et après avoir fourni des exemples significatifs, nous voudrions maintenant chercher à évaluer en quelque sorte le bilan de cette immensité. Dans tout bilan, il y a un actif et un passif...

A l'actif, il ne fait pas de doute que Québec tire des avantages considérables de l'étendue de son territoire. Sans développer les divers points, énumérons seulement quelques aspects:

— certaines ressources sont à l'échelle même du territoire; c'est le cas des forêts, fort étendues, qui donnent une grande capacité de production et de vastes réserves; il en va de même pour les richesses minières;

— le domaine agricole est finalement fort étendu; dans le contexte d'une agriculture plus spécialisée et plus intensive, la province pourrait bénéficier d'une augmentation importante du peuplement agricole;

— l'étendue du territoire favorise l'importance des cours d'eau, de leurs vallées, de leurs débits, et donc, finalement, de la possibilité d'utilisation massive de l'énergie;

— le territoire ouvre le Québec sur les régions nordiques, sur l'Atlantique-nord, commercialement si important, et sur les Etats-Unis; l'immensité est ainsi un facteur de voisinage fort important.

On pourrait continuer cette énumération, mais voyons plutôt quelques aspects apparemment négatifs où l'étendue peut constituer un obstacle ou imposer un poids assez lourd:

— création et maintien d'un réseau de communications adéquat pour relier les diverses parties d'un territoire inégalement habité et développé;

— les transports sur de grandes distances viennent augmenter les prix des matières premières, de l'énergie et des divers biens de consommation dans les districts moins favorisés, éloignés des grands centres; à la longue, ces inconvénients introduisent graduellement le déséquilibre régional, le sous-développement régional, le marginalisme et tous les problèmes qui y sont reliés.

Sous cette rubrique aussi, il serait possible de continuer... Mais là ne doivent pas s'arrêter les considérations. Il faut en effet mettre l'accent sur la stimulation créatrice engendrée par cette étendue. Vaincre la distance a toujours été l'une des ambitions de la population qui a accepté les frais encourus par la création d'un système routier très développé. Les besoins économiques ont amené l'établissement de voies ferrées en direction de l'Abitibi, du centre du Québec (Schefferville, Gagnon), ainsi que l'aménagement de quais et de ports sur presque tous les littoraux. L'avion est venu au vingtième siècle et a permis de vaincre définitivement l'immensité du territoire. Il a permis de pousser très loin vers l'intérieur l'aménagement de villes pionnières sur des sites miniers et sur des sites d'intérêt militaire et stratégique ou simplement de villages indigènes.

Le « rang » dans le peuplement rural

Dans un pays aux vastes horizons, les premiers habitants français ont introduit un système de peuplement rural par le « rang » qui se caractérise non seulement par l'alignement géométrique de l'habitat mais également par son caractère extensif. Sur des lots très profonds, en général de trente arpents, se sont établies des séries de maisons plantées en position frontale et rigoureusement parallèles au chemin de service ou « chemin de rang ». Ce système original est grand consommateur d'espace et il se traduit par l'isolement des populations et par les faibles densités du peuplement. Aux dépens de la forêt défrichée, le rang s'est propagé dans tout le Québec, non seulement dans les seigneuries mais aussi dans les « townships » arpentés après l'immigration loyaliste et dans les cantons plus récents. Comme le Hollandais fait des polders, ainsi le Canadien français fait du rang, mode de peuplement rural qui sied bien à un pays neuf où l'on devait, suivant l'expression, « faire de la terre ».

Le climat et ses implications

Il est un peu abusif de parler « du » climat de la province de Québec. Bien entendu, tout le Québec ap-

partient au domaine des climats continentaux froids, mais cela ne saurait faire oublier les variétés régionales. Dans l'ensemble, tous les climats du Québec sont froids, plus ou moins. L'humidité va en diminuant vers le nord et les vents dominants varient suivant les lieux mais sont, en général, des vents venant du nord (« nordet, norois » sont des expressions bien connues).

Le système climatique du Québec repose fondamentalement sur les faits suivants:

1— la position d'une partie du territoire située au voisinage immédiat du Cercle polaire;

2— la position et le mouvement des masses d'air polaires, venant du nord, et des masses d'air tropicales, venant du sud. Les masses d'air polaires recouvrent tout le territoire pendant l'hiver et effectuent une certaine retraite pendant les mois d'été. Le front de ces masses peut cependant se déplacer apportant ainsi des périodes froides en été ou plus tièdes pendant l'hiver;

3— les précipitations plus ou moins abondantes qui dépendent de la position des masses d'air et des fronts; en général, sous la masse d'air polaire le temps est sec et il est plus humide sous les masses d'air tropicales;

4— l'efficacité des courants océaniques froids engendrés par la fusion de la banquise polaire et descendant le long des côtes du Labrador et s'engageant aisément dans le golfe du Saint-Laurent. Ce fait explique partiellement l'opposition des deux façades continentales de l'Atlantique à des latitudes égales. Les côtes de Norvège et l'ensemble du territoire des îles britanniques sont, à latitude égale, bien mieux pourvues sur le plan climatique que les territoires côtiers et intérieurs du Québec. On peut ici faire de très intéressantes comparaisons: Narvik est un port ouvert à longueur d'année et même Mourmansk. A position latitudinale comparable à la baie d'Ungava, l'Europe possède plusieurs de ses grandes villes: Oslo, Stockholm, Helsinki et Leningrad, par exemple... L'Europe bénéficie des bons effets des courants chauds de l'Atlantique alors que le Québec est surtout soumis aux effets des courants froids labradoriens.

5— au nord-est de l'Amérique du Nord, le Québec se trouve en quelque sorte coincé entre un Atlantique froid et le reste de l'Amérique du Nord dont l'extension continentale est considérable. Cela place le Québec en plein coeur, en quelque sorte, de la continentalité — quelque chose de comparable à l'intérieur sibérien.

Si on reprend maintenant pour les examiner les principaux facteurs climatiques, on arrive aux observations suivantes:

A—Les températures

Villeneuve a signalé un écart absolu de 146 degrés dans les températures; l'écart moyen pour l'ensemble du Québec se situe entre 70 et 80 degrés. On pourrait multiplier les exemples: dans le sud de la province les moyennes varient entre 0 et 70 (donc écart des moyennes: 70 degrés); dans le centre du Québec, entre —15 et 60 (écart = 75), dans la péninsule d'Ungava entre —25 et 50 (écart = 75 degrés F).

On peut signaler également les écarts entre les saisons, entre les mois voisins et les plus éloignés, entre les jours d'un même mois, entre le jour et la nuit à chacune des saisons; etc. L'ensemble révélera que les écarts fréquents sur de courtes périodes sont la règle générale en toutes saisons.

Dans le sud du Québec, cela a une conséquence immédiate sur les activités économiques et sur l'agriculture, en particulier. Le nombre de jours sans gel permettant d'évaluer les principales possibilités agricoles est, dans l'ensemble, assez limité: entre 80 et 100 jours sur la Côte Nord et en Abitibi, entre 90 et 100 jours dans la Gaspésie, le Bas-Saint-Laurent, les régions appalachiennes du sud et la bordure des Laurentides, entre 130 et 150 jours autour de Québec et dans la plaine de Montréal.

Au plan des températures, il faut noter que l'hiver est de loin la saison la plus longue. Entre l'été et l'hiver, au sens climatique, il n'existe, en général, que de très courtes

saisons de transition: automne et printemps.

Les températures donnent aux climats du Québec le caractère de rigueur. L'adaptation aux conditions rigoureuses des températures illustre bien le fait que les températures dominent le tableau des conditions climatiques. Ne dit-on pas ici couramment « température » lorsque l'on veut parler du temps ou du climat? Cette confusion linguistique peut fort bien avoir des racines profondes dans la psychologie des gens.

Les principales adaptations se retrouvent du côté des habitations dont il a fallu faire de véritables forteresses contre le froid. Les autres adaptations se retrouvent du côté du vêtement et de l'alimentation, mais aussi du côté des activités saisonnières: artisanat, travail en forêt.

B—Les précipitations

Dans l'ensemble, le Québec appartient aux régions du monde relativement bien arrosées: pas de régions véritablement sèches ni de régions excessivement humides. Les précipitations varient entre 35 et 40 pouces dans le sud et 15 pouces ou moins dans l'Ungava. Le maximum connu semble se situer dans le parc des Laurentides avec un total annuel de 55 pouces.

L'originalité du système des précipitations réside dans le fait que, suivant les régions, entre le quart et le tiers de la précipitation tombe sous forme de neige: 112 pouces à Montréal, 123 à Québec, etc. (On calcule environ 10 pouces de neige pour un pouce d'eau, dans les statistiques, ce qui est approximativement exact).

On peut dégager plusieurs conséquences économiques de ces observations:

1—Les sports d'hiver et d'été sont toujours plus ou moins menacés car les conditions des précipitations ne sont pas stables et des variations importantes se produisent fréquemment.

2—Le problème des vacances d'été est difficile à résoudre: quelle sera

la meilleure période? Beaucoup de problèmes autour de ce thème.

3—La neige pose de redoutables problèmes à la circulation dans les grandes villes et sur les grandes routes et augmente considérablement les coûts d'entretien.

4—Le régime des précipitations a des conséquences directes sur l'hydrologie: la plupart des rivières ont des maxima de printemps et des étia-ges de fin d'été et d'automne.

5—Les aménagements hydroélectriques doivent tenir compte des précipitations et de l'hydrologie; les étia-ges signifient des productions réduites à cause des faibles débits. De grands réservoirs doivent être aménagés pour régulariser les débits.

5—Même l'industrie forestière s'est adaptée et a su tirer parti des conditions climatiques dans les régions où les rivières servent encore au transport du bois: la coupe se fait en hiver, le bois est placé sur les lacs et rivières gelés et il descend vers l'usine au printemps.

On voit donc que les conditions climatiques jouent un rôle fondamental dans la fixation d'un certain nombre de traits humains du Québec. Le peuplement, les genres de vie, l'habitat, l'oekoumène agricole, la circulation, l'industrie, le tourisme, les sports sont autant de domaines où l'adaptation au climat s'est effectuée et se poursuit. Disons, en terminant, que les difficultés liées au climat sont créatrices et engendrent toutes sortes de solutions. On a trouvé moyen de construire des maisons en hiver; on circule sur toutes les routes en hiver; la navigation sur le Saint-Laurent pendant l'hiver est déjà une réalité.

L'architecture nouvelle fait semblant d'ignorer l'hiver: les fenêtres s'élargissent et le verre sert de plus en plus à fabriquer les murs... Les intérieurs sont envahis par des plantes de toutes sortes, tropicales et exotiques bien souvent: autant de façons de se prouver qu'après tout le climat n'est pas si rigoureux. Et pourtant!

Tous les étudiants

*intéressés à l'étude des sciences
connaissent-ils l'existence
de la revue LE JEUNE SCIENTIFIQUE?*

*Les professeurs de sciences
les bibliothèques, les dirigeants des écoles
s'intéressent-ils à la diffusion du JEUNE SCIENTIFIQUE?*

*La série des huit brochures d'un volume annuel
commence en octobre et présente un ensemble de 192 pages
traitant des sciences naturelles et exactes*

*Si vous réunissez un groupe de quinze abonnements,
à une même adresse,
vous bénéficiez du prix spécial de \$2.00
pour chaque abonnement.*

*Participez personnellement à la vulgarisation des sciences
en multipliant les abonnés à votre revue*

*LE JEUNE SCIENTIFIQUE, case postale 391,
JOLIETTE, P.Q.*

