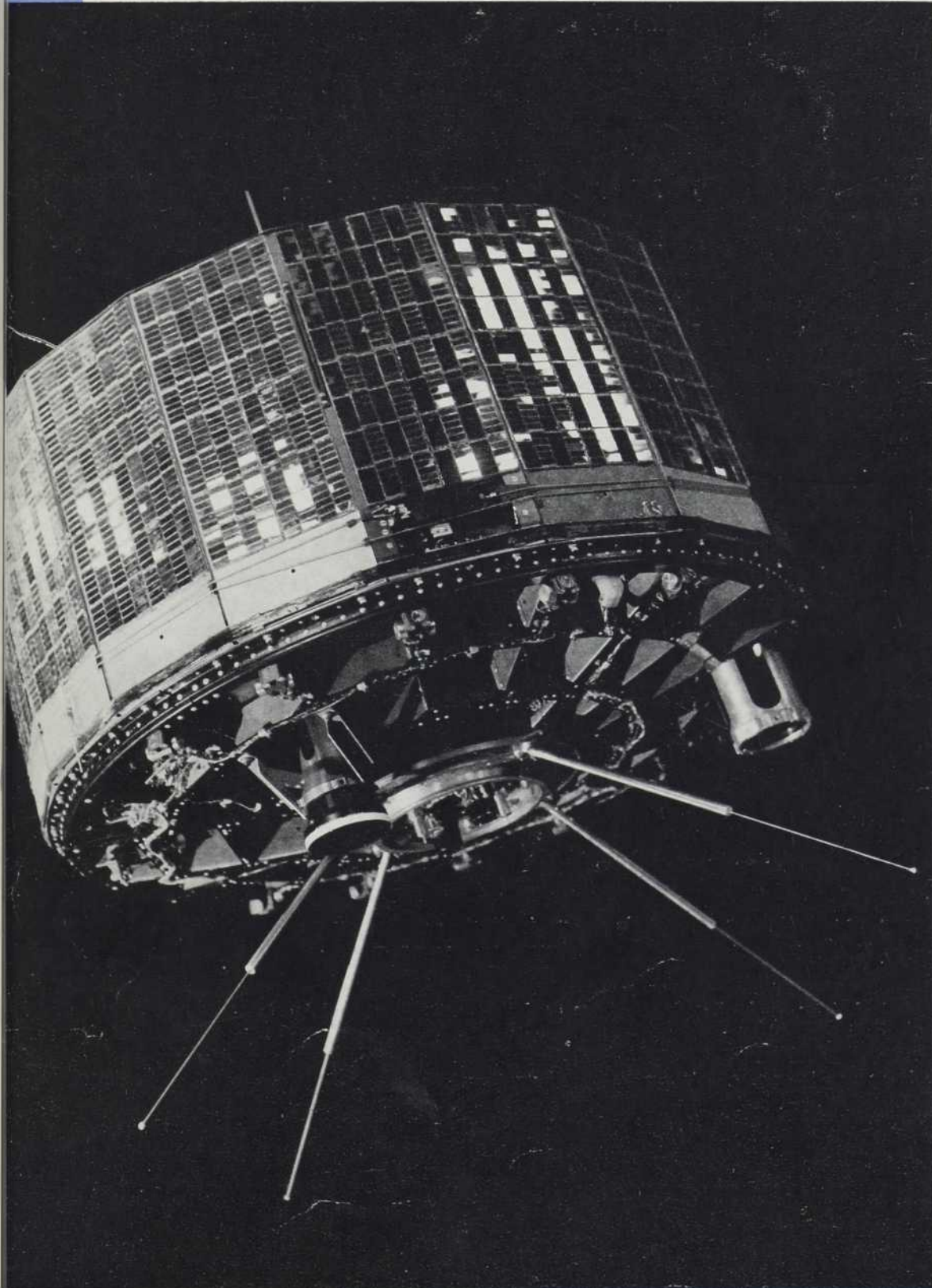


1



# le jeune scientifique

PUBLICATION DE L'ACFAS



VOLUME 4  
NUMÉRO 1  
OCTOBRE 1965



# le jeune scientifique

PUBLICATION DE L'ACFAS

Le Jeune Scientifique paraît huit fois par année, d'octobre à mai. C'est une revue de vulgarisation scientifique pour les jeunes publiée par l'Association canadienne-française pour l'Avancement des Sciences (ACFAS).

## RÉDACTION

Léo Brassard  
*directeur*  
Roger H. Martel  
*secrétaire de la rédaction*

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

Yves Desmarais  
*président*  
Réal Aubin  
Jean-M. Beauregard  
Léo Brassard  
Roger-H. Martel  
Guy Paquette  
Roland Prévost

## COMITÉ DE RÉDACTION

Réal Aubin  
Jean-R. Beaudry  
Jean-Pierre Bernier  
Raymond Cayouette  
Richard Cayouette  
Louis-Philippe Coiteux  
Pierre Couture  
Gérard Drainville  
Jean-Paul Drolet  
Jean-Guy Fréchette  
Olivier Garon  
Guy Gavrel  
Rosaire Goulet  
Olivier Héroux  
Serge Lapointe  
Michel-E. Maldague  
Alphée Nadeau  
Paul-H. Nadeau  
Raymond Perrier  
Jacques Vanier  
Léon Woué

Volume IV, no 1

octobre 1965

## SOMMAIRE

- 1 Présentation du quatrième volume
- 2 Les eaux souterraines, ressources inexploitées (1er article)
- 8 Le tricentenaire de la mort du mathématicien Pierre de Fermat
- 11 L'étude des oiseaux: deux récentes publications
- 12 Les satellites météorologiques : 1er article d'une chronique sur l'astronautique
- 17 Cohérence et Masers
- 23 Actualité : le Dr Selye parle aux étudiants
- 24 Actualité : un refuge d'oiseaux dans l'Arctique

Photo-couverture : le Tiros VI, le sixième satellite météorologique lancé avec succès par les Etats-Unis au cap Kennedy, le 18 septembre 1962. La description de ces satellites météorologiques est publiée dans ce numéro, aux pages 12 à 16, dans un premier article d'une chronique sur la conquête de l'espace. Photo de la *National Aeronautics and Space Administration* gracieusement fournie par le Service d'information des Etats-Unis, à Ottawa.

### Tarif des abonnements

Abonnement individuel, un an: \$3.00. Abonnement de groupe-étudiants, soit 15 abonnements et plus à une même adresse: \$2.00 chacun. Vente au numéro: individuel, 45 cents; groupe-étudiants, 35 cents. Abonnement à l'étranger: 3.50 dollars canadiens.

### Adresses

Direction: case postale 391, Joliette, Qué., Canada. (Collège de Joliette). Tél.: code régional 514 — 753-7466.  
Abonnements: case postale 6060, Montréal 3, Qué., Canada. Tél.: code régional 514 — 342-1411.

### 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, 1965.  
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 Montréal.

Imprimé aux ateliers de l'Imprimerie Nationale, Joliette.

Votre revue, LE JEUNE SCIENTIFIQUE, se présente de nouveau à tous ses fidèles lecteurs et lectrices, pour son quatrième volume. LE JEUNE SCIENTIFIQUE vous remercie à l'avance de votre amical accueil et il espère vous plaire avec ses huit numéros prochains, il souhaite pouvoir vous instruire des grandes lois des disciplines scientifiques en plus de vous informer des grandes étapes, du progrès étonnant de cette science contemporaine.

Mais votre revue n'a pas l'intention de vous présenter une « science au rabais », de vous raconter des faits non éprouvés, de vous entretenir l'imagination de fiction... Nous laissons ce programme à d'autres publications.

LE JEUNE SCIENTIFIQUE veut encore s'adresser aux étudiants et étudiantes qui désirent compléter leur information, enrichir les notions acquises lors des leçons scolaires, à ceux qui désirent ouvrir plus largement leur intelligence aux vastes champs des connaissances scientifiques, à ceux qui consentent à faire l'effort nécessaire pour mieux comprendre, pour explorer de nouvelles frontières. De leur part, nos dévoués collaborateurs s'engagent à simplifier autant que possible leur langage, à expliquer, à analyser méthodiquement les phénomènes en vue d'en faciliter la compréhension.

Mais nous ne prétendons pas, malgré tous ces moyens, tous ces efforts, rendre facilement accessibles ces connaissances devenues de plus en plus complexes. De plus en plus, un travail intelligent de compréhension devient nécessaire de la part des lecteurs, de la part surtout des étudiants encore au stade de l'initiation aux éléments des diverses disciplines scientifiques. Il demeure également qu'un travail d'adaptation exigeant s'impose aux travailleurs de la science qui désirent « vulgariser » honnêtement la science de cette seconde moitié du 20<sup>e</sup> siècle. Aux jeunes lecteurs revient le soin de lire attentivement, de relire pour mieux assimiler.

Toute cette introduction ne signifie pas que votre revue désire s'orienter vers des problèmes complexes de la science. Comme dans le passé, dans chacune de nos livraisons, nous nous efforçons constamment de vous présenter quelques textes, quelques articles plus simples, plus faciles d'accès.

Nous espérons donc avoir l'honneur de vous compter parmi nos lecteurs curieux, enthousiastes, avides d'apprendre; nous espérons que vous vous joindrez à chacun de nos rédacteurs pour explorer de nouveaux thèmes d'une science en marche, d'une science qui nous ouvre constamment des champs inattendus, dépassant même les limites de notre planète.

Léo BRASSARD, directeur.

BIBLIOTHÈQUE  
SAINT-SULPICE

# Les eaux souterraines, ressources inexploitées

par I. C. BROWN

1er article

Affirmer que les eaux souterraines constituent une ressource inexploitée peut paraître ridicule à ceux qui tirent des puits leur approvisionnement en eau; mais ceux-là connaissent-ils la quantité d'eau qu'ils peuvent extraire de la terre, la durée maximale du pompage à un certain débit, savent-ils comment l'eau parvient au puits, d'où elle vient, pourquoi elle est douce ou dure? Si de telles questions demeurent sans réponse, les vastes réserves d'eaux souterraines du Canada ne peuvent pas être utilisées à leur pleine valeur; et actuellement, les renseignements disponibles en ce domaine ne portent que sur un nombre limité de puits et de nappes aquifères.

## Un pays privilégié

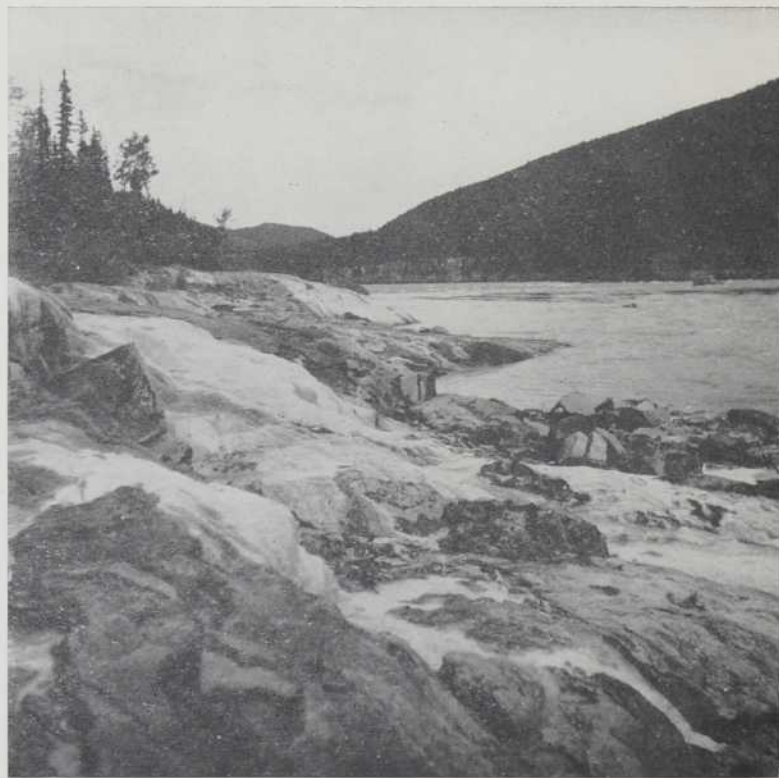
Le Canada est un pays privilégié, car il compte plus de lacs et de rivières qu'aucune autre région de superficie égale au monde. En raison de la présence de toute cette eau en surface, il pourrait sembler inutile de mettre en valeur des ressources hydriques en grande partie cachées, même si ces ressources sont plus importantes et mieux réparties. Une évaluation rapide révèle en effet qu'il y a environ trente fois plus d'eau sous terre que dans les lacs et les rivières. Cependant, même si le coût par pied d'un puits et d'un aqueduc est sensiblement le même,

il est plus économique de pomper de l'eau à quelques centaines de pieds de profondeur que de construire un aqueduc sur un mille ou plus de distance. De plus, la température et la qualité de l'eau souterraine sont plus constantes que celles de l'eau de surface; elle est moins sus-

ceptible d'être polluée et requiert ainsi moins de traitements coûteux. En conséquence, une ressource qui offre un meilleur produit à un coût moindre mérite d'être mieux connue.

## Le cycle de l'eau

Sur terre, l'eau accomplit un cycle sans fin, le cycle hydrologique, dont les eaux souterraines ne constituent qu'une phase. Il pleut sur la terre depuis que l'atmosphère s'est suffisamment refroidie pour que l'eau se condense. La première pluie tombe sur les roches nues, puis, plus tard, sur ces roches ainsi que sur les dépôts de gravier, de sable et de boue qu'elle avait contribué à former; il en fut ainsi pendant des milliards d'années. Une partie de la pluie s'écoulait, une autre s'évaporait, et le reste s'infiltrait dans les fissures des roches et des dépôts meubles pour former les nappes souterraines. L'avènement de la vie végétale, il y a trois cent cinquante à quatre cents



Sources d'eau chaude du Portage Brûlé sur la rivière Liard près de Coal River, au nord de la Colombie Britannique. Ces sources ont un débit de 5 à 10 gallons par minute à une température de 90 à 112 degrés Fahrenheit.

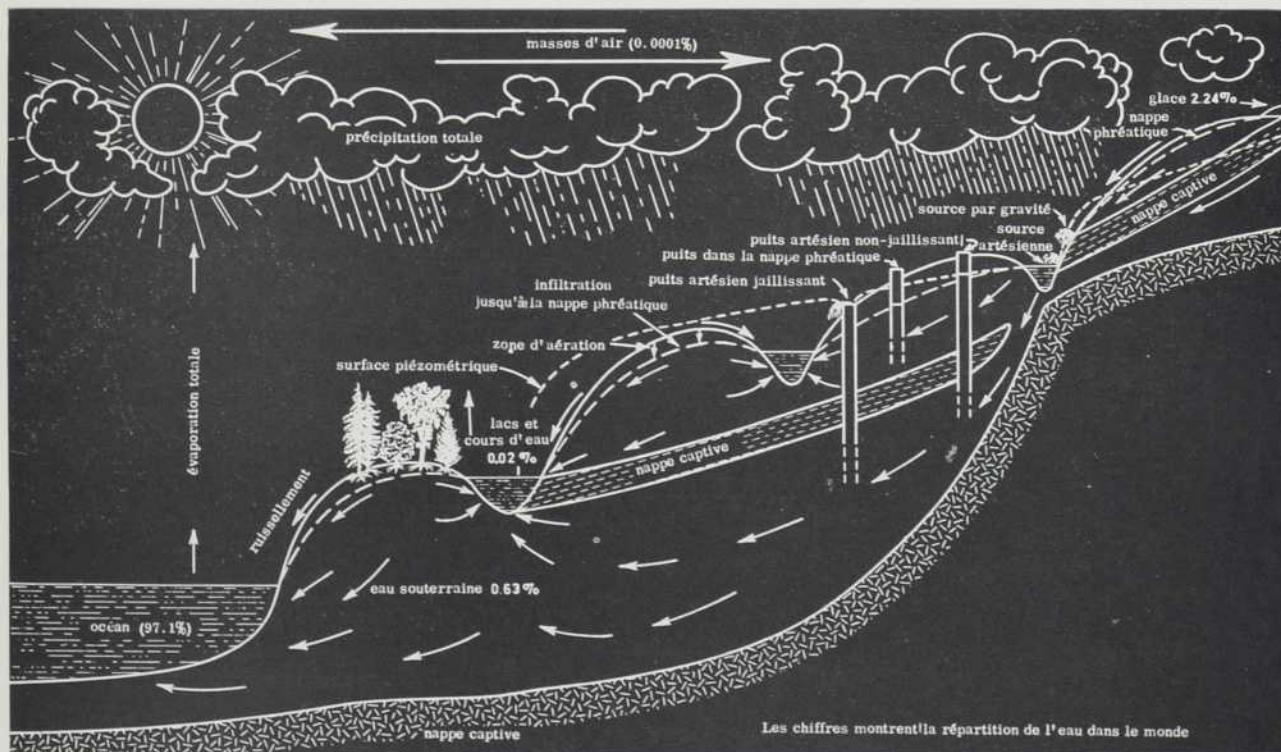
millions d'années, amena le développement des sols et compliqua le cycle hydrologique ; une plus grande partie de la pluie était retenue par le sol et s'évaporait lentement, ou bien était absorbée et exhalée par les plantes, mais le reste, néanmoins, descendait plus profondément et s'ajoutait aux nappes souterraines.

Les précipitations sur la terre varient de presque rien à plus de 100 pouces par an, et nous savons que même les déserts actuellement les plus secs furent jadis des régions à fortes précipitations. Au Canada, la moyenne annuelle est d'environ 20 pouces ; or, si nous estimons qu'un demi-pouce d'eau seulement par an s'infiltré dans le sol pour rejoindre les nappes souterraines, une période d'un million d'années suffit pour accumuler une nappe d'eau de huit milles d'épaisseur. Il est bien évident que toute cette eau ne peut disparaître en s'infiltrant dans le sol ; elle doit continuer à s'y mouvoir, tout en saturant les matériaux de l'écorce terrestre.

L'eau qui s'infiltré dans la terre remplit les fissures et les trous des roches, ainsi que les interstices entre les grains de gravier, de sable et d'argile. La partie supérieure de cette zone saturée porte le nom de niveau hydrostatique. Une certaine partie de l'eau s'évapore de cette surface et revient d'une manière ou d'une autre dans l'atmosphère. La configuration de ce niveau hydrostatique est, de façon générale, une image atténuée de la surface du sol.

Au-dessus du niveau hydrostatique, l'eau descend surtout par gravité, mais en-dessous, elle fait partie de la nappe phréatique et obéit aux forces de gravitation, aux pressions hydrostatiques et aux forces moléculaires. Une partie des eaux souterraines s'accroche par capillarité à la surface des matériaux et forme des réserves. Le reste suit paresseusement la voie de plus faible résistance, vers le haut, vers le bas, latéralement, vers l'endroit où son énergie potentielle est la plus faible, et finalement vers la mer.

Les réseaux de canaux qui traversent le sol sont extrêmement complexes et innombrables, et s'étendent à de grandes profondeurs. Par conséquent l'eau s'y déplace en général très lentement, par fortes quantités et parfois sur de grandes distances, mais, en fin de compte, elle doit trouver une sortie, sinon la terre entière en serait imbibée. Les eaux souterraines terminent leur phase du cycle au moment où elles sont déchargées par des suintements ou des sources à la surface du sol ou dans les ruisseaux, les rivières, les lacs ou les océans. Ce déchargement des nappes phréatiques permet aux rivières de couler pendant les longues périodes de sécheresse ; ainsi les rivières servent-elles de décharge à la fois aux ruissellements de surface et aux nappes souterraines. Enfin, au cours de longues périodes, le cycle reprend toujours son point d'équilibre. Les eaux souterraines constituent donc un système au débit continu, une ressource renouvelable, et, comme nous le verrons plus loin, une ressource ré-utilisable.



Le cycle hydrologique (d'après des diagrammes du U.S. Geological Survey).



Puits artésien jaillissant dans la vallée de la rivière Saskatchewan-Sud, près de Riverhurst, en Saskatchewan. L'eau jaillit à raison d'environ 100,000 gallons par jour. Il s'agit d'un ancien puits d'exploration de pétrole et de gaz; on voit d'ailleurs les bulles de gaz à la surface.

Si l'on songe à la superficie du Canada, il est évident qu'une très grande quantité d'eau est emmagasinée dans le sol, mais une partie seulement peut en être soutirée. Même sous forte pression, très peu d'eau peut se déplacer dans l'argile saturée. Dans le sable grossier et le gravier, l'eau peut au contraire s'écouler plus facilement. Toutes les gradations existent bien entendu depuis la roche non fissurée ou l'argile très compacte, jusqu'aux réseaux de dissolution et les graviers grossiers. Tout matériau dont on peut soutirer une quantité d'eau suffisante pour un besoin donné, à un coût raisonnable, s'appelle une nappe aquifère. Ainsi, l'adjectif aquifère n'est que relatif et une nappe aquifère réussissant à fournir de l'eau à quelques habitations isolées ne pourrait pas être considérée comme telle pour les besoins considérables d'une industrie.

L'étude des eaux souterraines suppose la connaissance de leur distribution géologique tridimensionnelle, ainsi que des réactions chimiques et physiques de ces eaux au contact des différents matériaux de l'écorce terrestre. L'étude de ces facteurs re-

quiert des géologues et des ingénieurs formés dans de nombreuses disciplines. Le Canada ne possède qu'un petit nombre de ces spécialistes; la plupart d'entre eux appartiennent aux services hydrologiques des gouvernements provinciaux et fédéral. Puisque les eaux souterraines sont considérées comme un minéral, les décisions administratives en ce domaine relèvent des provinces. La plupart d'entre elles possèdent des services hydrologiques bien établis qui aident activement à la mise en valeur des ressources hydrologiques. Cependant, il reste beaucoup à apprendre avant que nous puissions utiliser convenablement les eaux souterraines; bien que de nombreux renseignements aient été recueillis dans le passé, l'interprétation de ces données est incomplète et la recherche de base sur la répartition et les origines des eaux souterraines ne fait que commencer. Mais il s'agit d'un bon début.

Bien d'autres organismes gouvernementaux ou privés poursuivent des recherches et recueillent des données qui touchent directement ce sujet. Ces organismes s'occupent de géologie, d'exploitation minière, de mise en valeur du pétrole ou du gaz naturel, d'agriculture, de sylviculture, de santé publique, de forces hydrauliques, d'adduction d'eau et de travaux de génie. Il serait trop long de décrire la grande variété de travaux de recherche en cours; aussi, la suite de cet article portera-t-elle uniquement sur les buts de l'étude des eaux souterraines et sur la façon dont ces études nous permettront d'utiliser et de maîtriser complètement et intelligemment cette précieuse ressource.

### L'étude des eaux souterraines

Le premier souci de l'hydrogéologue, spécialiste des eaux souterraines, est de déterminer le parcours de ces eaux entre le moment où elles s'infiltrent dans le sol et celui où elles en sortent. Nous savons que les bassins de drainage des eaux souterraines qu'on trouve à de faibles profondeurs correspondent aux bassins de drainage de surface. Nous savons également qu'à une plus grande pro-



Eaux souterraines s'écoulant à raison de 1 million de gallons par jour d'une galerie qu'elles ont creusée dans le calcaire, près d'Atlin, en Colombie Britannique.

fondeur les formations géologiques jouent un plus grand rôle et que le système d'écoulement des eaux souterraines ne suit plus la configuration du bassin de drainage de surface. L'étude poussée d'un certain nombre de bassins de drainage typiques a permis de mettre au point des théories et des méthodes qui peuvent non seulement fournir des données sur d'autres bassins semblables, mais qui peuvent aussi s'appliquer aux études plus difficiles et plus coûteuses des systèmes d'écoulement en profondeur.

Les bassins actuellement à l'étude au Canada varient beaucoup en étendue. L'un des plus petits, celui du ruisseau Marmot, dans les contreforts des Rocheuses en Alberta, s'étend sur une superficie de 3½ à 4 milles carrés. Le Conseil des recherches de l'Alberta y poursuit avant tout une étude sylvicole, mais comme les arbres dépendent des ressources en eau, l'étude de la situation hydrogéologique s'impose. Par contre, la Commission géologique du Canada poursuit des recherches dans le vaste bassin de drainage de l'Assiniboine qui, lui, a une superficie de plus de 41,000 milles carrés. Il s'agit d'une étude d'une durée de dix ans dont l'objectif porte non seulement

sur la nappe phréatique dans un grand bassin de drainage soumis aux conditions climatiques de la prairie semi-aride, mais aussi sur la mise au point de méthodes et de techniques valables dans de telles conditions. Les méthodes utilisées pour l'étude des bassins plus petits à travers le Canada résultent de ces travaux commencés en 1962.

Une connaissance aussi complète que possible de la géologie locale, même à grande profondeur, constitue la première condition requise pour l'étude de tout bassin. Il est possible d'en reconstituer une image incomplète en recueillant les données existantes de toutes les sources possibles, telles que les cartes géologiques, les cartes pédologiques, les photos aériennes, les renseignements sur les puits, les données géophysiques et les dossiers sur les sondages au diamant effectués par les compagnies minières et pétrolières. En général, ces renseignements ont été recueillis par des spécialistes et ils sont dignes de foi. D'autres indications, telles que les données sur les puits, reposent largement sur les souvenirs des propriétaires, souvenirs qui datent parfois de trente ans. Elles doivent donc être scrutées avec soin.

On doit ensuite utiliser d'autres méthodes, dont la plus directe est l'étude des matériaux sur place et la mise en plan des territoires non cartographiés. Une partie de l'image est ainsi complétée, mais il est nécessaire d'y ajouter l'étude et la cartographie des formations souterraines. L'existence d'un grand nombre de puits de mines faciliterait naturellement l'étude des formations en profondeur. La seconde méthode, un peu moins bonne, consiste à forer des trous et d'en tirer le maximum de renseignements. Une carotte continue de grand diamètre fournit les données les plus exactes. Comme ce procédé s'avère assez coûteux, il faut avoir recours à d'autres méthodes qui donnent des renseignements moins précis, mais dont le coût est plus économique. Ces méthodes varient du carottage continu de petit diamètre à l'extraction d'échantillons par un courant d'eau.

L'eau souterraine contient toujours des matériaux dissous et elle

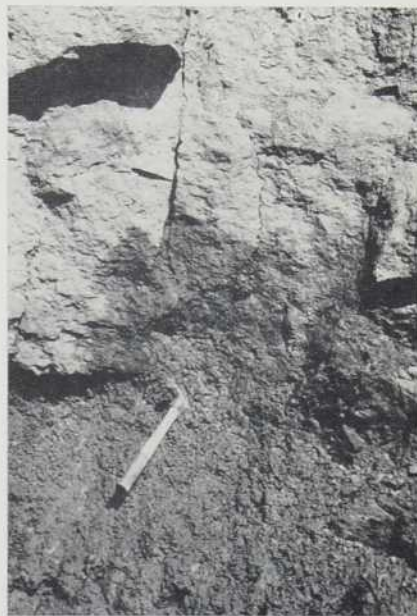
réagit sur les couches géologiques environnantes. En conséquence, ses propriétés électriques variées peuvent être mesurées par des sondes descendues dans les trous de forage. Ces sondes sont conçues de façon à mesurer les propriétés électriques naturelles, ou pour provoquer des courants artificiels et en mesurer les effets. On emploie également des détecteurs de radiations et des détecteurs ultrasoniques. Nombre de ces méthodes ont été empruntées à l'industrie pétrolière et donnent de nombreux renseignements sur la nature de la formation traversée, sa porosité, sa teneur en eau et la composition de cette dernière; elles donneront encore plus de résultats quand nous aurons appris à les utiliser à leur pleine mesure. Elles sont très utiles pour indiquer le passage d'une formation à une autre; d'abord identifiées par des carottes, les formations peuvent être ensuite localisées sur de grandes distances à l'aide de grumes électriques qui permettent d'en déterminer les caractéristiques, ce qui est beaucoup moins dispendieux.

Quoique les forages fournissent un bon profil-témoin à un endroit donné, il est beaucoup trop coûteux de forer à des intervalles suffisamment rapprochés pour permettre d'obtenir un tableau complet de la géologie, sauf lorsqu'il s'agit d'étudier en détail une aire restreinte. L'*Atomic Energy of Canada Limited* a dû poursuivre des études très détaillées du mouvement des eaux souterraines dans les zones d'élimination de déchets radioactifs à Chalk River, en Ontario, et a espacé ses forages de quelques dizaines de pieds, et même, à certains endroits, de quelques pieds. Le Conseil des recherches de la Saskatchewan, au contraire, espacé ses forages d'exploration de plusieurs milles au cours de ses travaux de reconnaissance géologique.

On a recours à plusieurs méthodes pour connaître la nature du sous-sol entre les aires déjà étudiées et pour déterminer les endroits qui se prêtent le mieux au forage. Si le genre ou l'âge de la formation est connu, les géologues peuvent souvent prévoir ce qu'ils trouveront, même à une grande distance de tout affleurement. On dispose aussi d'une multitude de méthodes géophysiques pour

mesurer, même du haut des airs, les diverses propriétés physiques des roches de l'écorce terrestre. Plusieurs de ces méthodes, toutefois, nous sont presque inconnues, soit à cause du secret militaire qui les entoure, ou parce qu'elles n'ont pas encore été expérimentées. Si elles s'avèrent efficaces, elles pourront sans doute révolutionner nos méthodes d'étude.

A faible profondeur, on a recours aux techniques sismiques qu'emploie depuis longtemps l'industrie pétrolière. Ces techniques dépendent de la rapidité de propagation de l'énergie sonore à travers le sol, soit par réfraction, soit par réflexion sur des couches plus denses. L'énergie utilisée dans les recherches sismiques sur les eaux souterraines peut provenir de la percussion d'un marteau ou d'un objet lourd sur le sol, méthode beaucoup plus convenable pour les régions habitées que le dynamitage pour l'exploration à grande profondeur. La Commission géologique du Canada a utilisé la technique du marteau au cours de travaux hydrogéologiques effectués dans la région de Vaudreuil, au Québec, en vue de délimiter une ancienne vallée enfouie de la rivière Outaouais.



Des eaux souterraines s'écoulant de fractures et de plans de stratification dans les grès rouges de la péninsule Tignish, Ile-du-Prince-Edouard.

On savait que cette vallée contenait des dépôts épais de sable et de gravier perméables et pouvait fournir d'excellents puits artésiens. On a découvert aussi qu'il était possible de déterminer assez exactement les divers genres de roche de fond gisant sous ces dépôts.

On peut mesurer la résistance des matériaux à diverses profondeurs en faisant passer un courant électrique dans le sol. Cette méthode a été employée dans les Prairies pour tracer le périmètre de vallées enfouies remplies de matériaux si semblables à celui des côtés des vallées que les techniques séismiques n'avaient pu servir. Elle a aussi été utilisée près de Winkler, au Manitoba, où une nappe aquifère de sable et de gravier a été localisée près de la ville et tracée sur plusieurs milles au nord à l'aide de sondage. Un levé expérimental qui consistait à mesurer la résistivité a permis non seulement de délimiter la nappe aquifère sous son toit d'argile imperméable, mais aussi d'indiquer le genre de matériaux qui la constituaient en divers endroits, bien qu'on n'ait pu déterminer s'il y avait de l'eau. Par la suite, des essais de pompage ont prouvé qu'elle contenait de fortes quantités d'eau.

Des méthodes gravimétriques, à l'aide desquelles on peut détecter les masses de matériaux légers ou pesants, ont été employées pour tracer les limites des vallées enfouies. Les dépôts remplissant ces vallées ne sont pas aussi consolidés que la roche de fond environnante et, par conséquent, leur densité est plus faible.

### Localiser les écoulements d'eau

Après avoir étudié la géologie tridimensionnelle, il faut ensuite y localiser les écoulements d'eau. D'une façon très générale, nous savons, par les indications de la surface hydrostatique, que l'écoulement se produit des régions hautes vers les régions basses; cette surface sert à indiquer sur les cartes la direction de l'écoulement des eaux souterraines. Ces cartes ne donnent qu'une première approximation, car elles n'indiquent

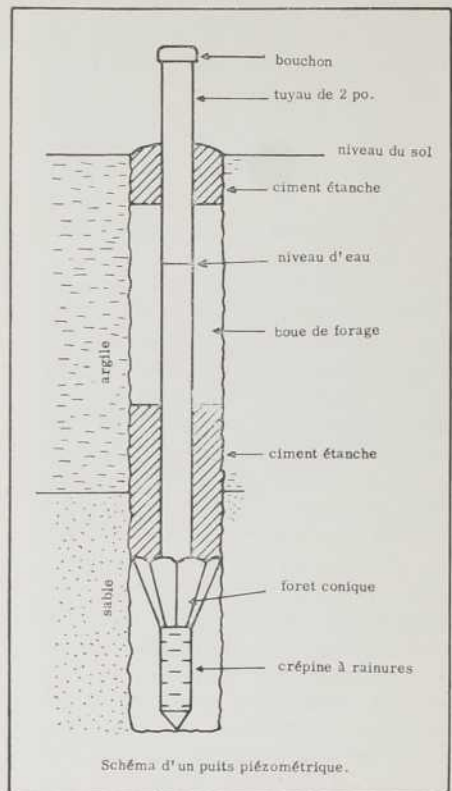
pas comment les eaux circulent en dessous du niveau hydrostatique, ni quel effet ont sur ces eaux les matériaux à travers lesquels elles coulent.

Il est possible d'obtenir une image plus exacte en mesurant les variations de la pression, bien qu'il s'agisse ici d'un écoulement diffus à travers un matériau poreux non uniforme. Après avoir déterminé la pression en de nombreux points du système, nous pouvons en dessiner des sections équipotentielles. L'écoulement des eaux doit se produire perpendiculairement à ces courbes.

Nous possédons de très nombreuses données sur les puits des Prairies, puits creusés à de grandes profondeurs, et il a été possible de dessiner des coupes montrant le mode d'écoulement de l'eau sous de grandes superficies de terrain. Ces sections montrent qu'en général l'eau passe des matériaux peu perméables près de la surface vers les couches sableuses plus perméables en profondeur, puis qu'elle s'écoule latéralement vers des régions plus basses d'où elle se dirige vers le haut et se déverse en surface. De telles études sont de caractère très général, car on ne peut préciser si la pression au fond du puits est réelle ou si elle est influencée par des fuites.

On peut obtenir des résultats plus exacts aux points piézométriques (lieu de mesure de la pression) en forant à différentes profondeurs des groupes de trois ou quatre trous de petit diamètre, très soigneusement étanchés pour qu'ils n'indiquent que la pression à leur propre fond. Les résultats indiquent que l'écoulement des eaux souterraines peut se produire bien plus profondément que prévu. La coupe d'un tel groupe foncé dans le lit de la rivière Saskatchewan-Sud, à une profondeur maximale de 860 pieds, indique que l'eau provient de profondeurs encore plus grandes pour dégorger dans la rivière.

On a eu recours à d'autres moyens pour voir s'il était possible de prévoir les profondeurs probables des réseaux d'écoulement, afin d'installer les piézomètres aux meilleurs endroits. On peut construire des ma-



Le niveau de l'eau dans le piézomètre indique la pression des eaux souterraines à la pointe de l'appareil. On obtient le niveau à l'aide d'une mesure à ruban ou d'une jauge électrique. Si l'eau déborde du piézomètre, on peut soit élever l'extrémité supérieure du tuyau, soit installer une jauge à pression.

quettes électriques pour reproduire les conditions naturelles sur une petite échelle. D'autres pays ont construit des maquettes plus complexes qui permettent d'obtenir, si on possède les données suffisantes, des renseignements plus exacts et même plus nombreux. Le Canada projette d'utiliser de telles maquettes qui s'avéreront très utiles quand nous posséderons des connaissances assez complètes pour prévoir les modifications produites dans les systèmes d'écoulement par les interventions humaines ou les processus naturels.

L'étude chimique de l'eau peut aussi nous renseigner sur son écoulement. Par exemple, l'eau s'écoulant à travers des calcaires et des dolomites aura une forte teneur en carbonate; celle qui traverse des roches renfermant du gypse contient

dra beaucoup de sulfate; et celle qui s'infiltré à travers des sables et des graviers propres ou des roches cristallines renfermera très peu de minéraux dissous. Des études menées dans d'autres pays indiquent que, dans les longs réseaux d'écoulement d'eaux souterraines, certaines caractéristiques chimiques de l'eau changent continuellement, quels que soient les matériaux traversés. L'eau de surface est d'abord une eau carbonatée; puis elle subit une série de changements qui lui donnent une haute teneur en chlorure comme dans l'eau de mer. Des études sur la composition chimique des eaux souterraines dans la vallée de la rivière Rouge, au sud de Winnipeg, indiquent que ces eaux artésiennes contenues dans la roche de fond de cette région proviennent de la région de la Réserve Sandilands Forest à plusieurs milles à l'est; en plus, il est possible de délimiter les zones de plus fort écoulement dans cette couche aquifère.

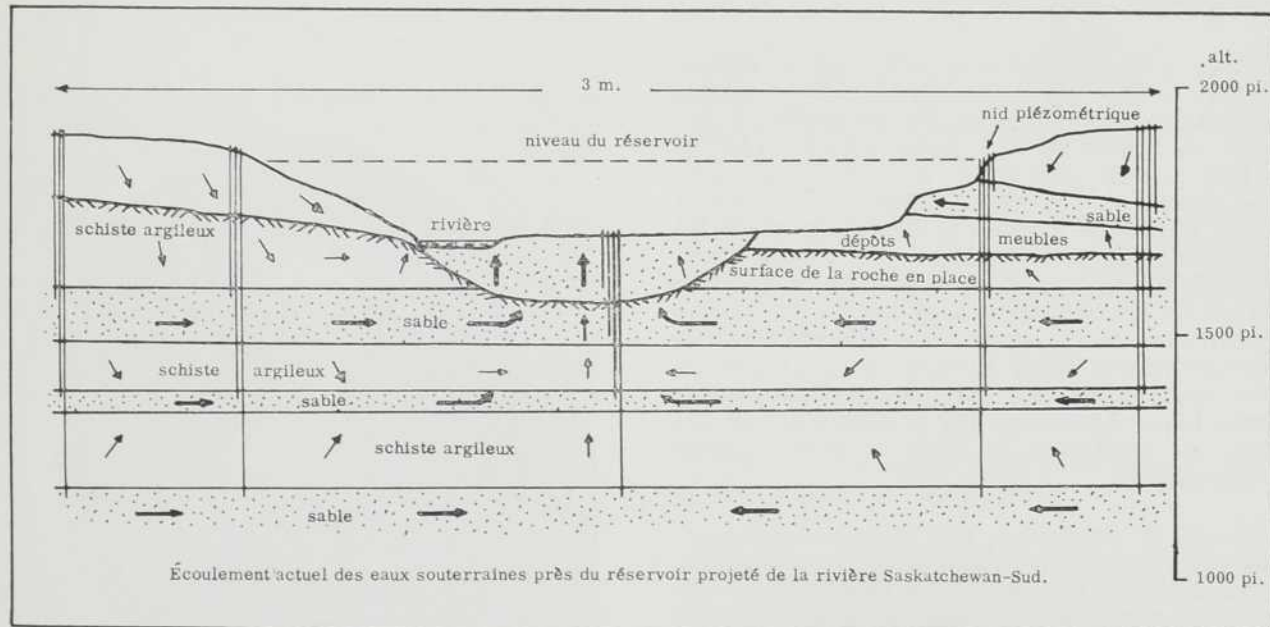
Des traceurs peuvent être mélangés aux eaux souterraines bien que

les différents produits chimiques et les colorants employés dans ce but tendent à réagir avec les matériaux traversés; de plus, les réseaux de circulation des eaux souterraines sont si complexes que les traceurs se diffusent rapidement à un degré tel qu'ils ne sont plus identifiables. L'Atomic Energy of Canada a employé des radio-isotopes dans les zones d'élimination de déchets radioactifs pour mener à bien des études extrêmement détaillées des écoulements d'eaux souterraines, et, au moyen de ces traceurs, a même montré que différentes strates d'un bassin ensablé peuvent guider l'eau dans différentes directions. L'eau d'une couche peut circuler dans une direction, et dans une autre strate quelques pieds plus bas, la nappe peut s'écouler dans une direction tout à fait différente.

Le tritium, un isotope radioactif de l'hydrogène qui est présent dans toute eau, constitue peut-être le meilleur traceur. Depuis l'avènement des bombes atomiques, les chutes de pluie au cours de certaines périodes

ont été particulièrement riches en tritium. Grâce aux renseignements que l'on possède sur ces périodes et sur la rapidité de désintégration du tritium, il est possible d'évaluer à trente ans près l'âge de l'eau. En comparant l'âge de l'eau en différents points, on en déduit la direction de l'écoulement. On peut également évaluer l'âge de l'eau par la méthode de datation au radio-carbone, puisque le carbone constitue un élément naturel de l'eau. Cette méthode n'est toutefois pas encore employée au Canada.

2e article: suite et fin, au prochain numéro.



Cette coupe montre sur un plan perpendiculaire le réseau de piézomètres de la rivière Saskatchewan-Sud, près de Riverhurst. Ils servent à l'étude des effets du remplissage du réservoir sur le niveau de la nappe phréatique. Les flèches indiquent la position des écoulements les plus importants. Dans quelques couches sableuses, la pression est suffisante pour hausser le niveau de l'eau dans les piézomètres presque au niveau du réservoir projeté. Dans les aires d'écoulement, ascendant, le niveau ou la pression de l'eau dans les piézomètres les plus profonds, est plus élevée que dans les piézomètres situés à faible profondeur.

1665 - 1965

# Le tricentenaire de la mort du mathématicien Pierre de Fermat

par N. T. GRIDGEMAN

Pierre de Fermat, célèbre mathématicien français du 17<sup>e</sup> siècle qu'on a appelé le « Prince des amateurs » naquit en 1601 à Beaumont-de-Lomagne dans le midi de la France. Il fit ses études dans une école franciscaine où il acquit une grande indépendance d'esprit. En 1631 il devint conseiller juridique à la Chambre des requêtes du Parlement de Toulouse, poste qu'il devait occuper jusqu'à sa mort en 1665. Au milieu des devoirs de sa charge il sut se créer des occupations littéraires (poésie, langues étrangères, etc.) et il étudia les mathématiques avec passion. Durant sa vie Pierre de Fermat voyagea peu mais il fut en correspondance suivie avec plusieurs savants français et étrangers comme Descartes, Pascal et Torricelli. Cette correspondance concernait surtout les mathématiques. Ses découvertes dans ce domaine lui valurent une grande notoriété dans toute l'Europe.

A une époque comme la nôtre où la valeur d'un scientifique semble dépendre du nombre des « papiers » qu'il publie chaque année, il est difficile de croire qu'on puisse devenir célèbre sans rien publier. Pourtant, à l'exception d'une courte étude sur la rectification de certaines courbes, Pierre de Fermat a connu la célébrité sans rien confier à l'imprimeur. Il n'avait semble-t-il, ni le temps ni l'envie de faire publier les résultats de ses recherches. Il négligeait même de consigner sur le papier les démonstrations de ses théorèmes. C'est ainsi qu'un grand nombre de ses travaux ont été perdus. Néanmoins, ses principaux écrits ont été publiés par son fils Samuel en 1697 sous le titre de *Varia Opera Mathematica*.

Fermat se préoccupa des premiers développements du calcul infinitésimal, de la géométrie analytique et de la théorie des probabilités. Cependant, le domaine qui l'intéressait le plus était celui de la théorie des nombres. On peut même dire qu'il a créé la théorie des nombres telle qu'elle existe encore aujourd'hui. Durant dix siècles, avant lui, aucune innovation notable ne s'était imposée dans ce domaine. Un ouvrage important que Fermat consultait souvent était une traduction latine de l'*Arithmetika* de Diofanté (Alexandrie, 3<sup>e</sup> siècle).

## Qu'est-ce que la théorie des nombres ?

Fondamentalement c'est l'étude des propriétés de la suite des nombres naturels : 1, 2, 3... particulièrement en ce qui concerne la divisibilité des nombres non premiers. Les nombres naturels, comme vous le savez, sont de deux sortes : il y a ceux que l'on peut décomposer en produits de facteurs (comme 4, 6 et 102), ce sont les *nombres non premiers* et ceux que l'on ne peut pas décomposer (comme 5, 7 et 83), ces derniers s'appellent *nombres premiers*. Tous les nombres non premiers sont des produits de nombres premiers, ce qui revient à dire que les nombres premiers constituent les éléments fondamentaux de tout le système numérique. Vous savez sans doute aussi que dans la suite des nom-



Figure 1. Portrait de Pierre de Fermat en robe de conseiller, gravure de François de Poilly.

bres il y a beaucoup plus de nombres premiers dans les petits nombres que dans les grands nombres. C'est ainsi que dans l'intervalle de 1 à 100 il y a 25 nombres premiers, alors qu'il n'y en a que 16 entre 1 001 et 1 100 et 5 seulement entre 100 001 et 100 100.

Cependant, il y a une infinité de nombres premiers. Nous sommes absolument sûrs qu'il en est ainsi parce qu'il y a 2 500 ans Euclide l'a démontré de façon simple et élégante. Euclide a raisonné ainsi : supposons que  $Z$  soit le plus grand de tous les nombres premiers et que nous ayons une suite limitée de nombres premiers  $(2, 3, 5, 7, \dots, Z)$ . Les nombres premiers, rappelons-le, sont les éléments fondamentaux du système numérique. Considérons le nombre obtenu en faisant le produit de tous les nombres premiers et en ajoutant 1. Ce nombre que nous appellerons  $M$  est donc égal à :

$$M = (2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13 \dots Z) + 1$$

Maintenant posons-nous la question suivante :  $M$  est-il un nombre premier ou non premier ? Il est évident qu'étant plus grand que  $Z$ , le plus grand nombre premier considéré comme possible,  $M$  doit obligatoirement être un nombre non premier. Quels sont donc ses diviseurs premiers ? Ils ne peuvent être aucun des nombres premiers de la suite  $2, 3, 5, 7, 11 \dots, Z$  parce que la division de  $M$  par n'importe lesquels de ces nombres laissera toujours 1. Il est donc impossible que  $M$  soit un nombre non premier. Cela constitue une contradiction absurde qui démontre que le nombre  $Z$ , considéré comme étant le plus grand nombre premier, ne peut pas exister.

Telles sont les préoccupations de ceux qui depuis des temps immémoriaux s'intéressent à la théorie des nombres. Ces préoccupations, me direz-vous, n'ont guère d'applications pratiques. Il n'en est pas moins vrai que la théorie des nombres constitue en quelque sorte la grammaire des mathématiques et qu'elle a retenu l'attention des mathématiciens de tous les temps. Les meilleurs d'entre eux, d'ailleurs, ont le « sens des nombres », je veux dire par là qu'ils ont une aptitude naturelle leur permettant de percevoir intuitivement les caractéristiques des nombres pris individuellement ou considérés dans des ensembles. Un célèbre théoricien des temps modernes, Srinivasa Ramanujan, était particulièrement doué à cet égard. Voici une anecdote qui en fera foi. Alors qu'il était confiné dans sa chambre pour cause de maladie, Ramanujan reçut la visite de son ami G. H. Hardy, le célèbre mathématicien anglais, qui lui dit : « Le numéro du taxi qui m'a amené ici ne présentait aucun intérêt : c'était 1729 ». Ramanujan réfléchit quelques instants, puis il répondit : « Ah non, je

# DIOPHANTI ALEXANDRINI ARITHMETICORVM LIBRI SEX, ET DE NVMERIS MVLTANGVLIS LIBER VNVS.

CVM COMMENTARIIS C. G. BACHETI V. C.  
& obseruationibus D. P. de FERMAT Senatoris Tolofani.

Accessit Doctrina Analytica inuentum nouum, collectum  
ex varijs eiusdem D. de FERMAT Epistolis.



TOLOSE,  
Excudebat BERNARDVS BOSCH, e Regione Collegij Societatis Iesu.  
M. DC. LXX.

Figure 2. Page du titre de Diophante d'Alexandrie avec notes imprimées de Fermat, édité par son fils Clément-Samuel en 1670. L'illustration est d'Orphée et l'inscription est de l'Enéide de Virgile, livre IV, ligne 646.

ne suis pas d'accord. C'est au contraire un numéro très intéressant. C'est le plus petit nombre qui soit la somme de deux nombres élevés au cube de deux façons différentes ». Car il réalisa rapidement que :

$$1^3 + 12^3 = 9^3 + 10^3 = 1729$$

et qu'aucun nombre plus petit ne pouvait être décomposé de cette façon.

Fermat aussi possédait cette mystérieuse intuition en ce qui concerne les nombres. Il était très conscient du don qu'il avait. N'a-t-il pas dit une fois : « J'ai de si grandes lumières ». Un de ses correspondants lui demanda un jour quels étaient les facteurs de 100 895 598 169. Il lui répondit aussitôt que ces facteurs étaient : 112 303 et 898 423. Si vous n'êtes pas impressionné par cette prouesse je vous suggère de décomposer en produits de facteurs le petit nombre suivant : 3 229 553.

Les études relatives aux nombres premiers et à la divisibilité sont étonnamment difficiles et pendant des siècles elles ont obligé les spécialistes à faire d'énormes calculs, crayon en mains. Cependant, les calculs sont plus faciles maintenant que nous disposons des calculatrices électroniques. On peut se faire une idée de l'aide apportée par ces machines si l'on considère par exemple l'historique du nombre  $2^{257} - 1$ . Ce nombre très célèbre a été étudié pour la première fois par le mathématicien français Marin Mersenne (contemporain de Fermat et un de ses correspondants). Il faut 78 chiffres pour écrire ce nombre en entier. Mersenne déclara, pour des raisons qui nous échappent, que cet énorme nombre était un nombre premier. Durant deux siècles personne ne fut en mesure de vérifier l'étrange assertion de Mersenne. Cependant, vers 1920, Maurice Kraitchik étudia la question de très près. Après d'immenses calculs, il déclara que Mersenne s'était trompé et qu'en fait  $2^{257} - 1$  n'était pas un nombre premier. Malheureusement il perdit les feuilles sur lesquelles il avait fait ses calculs et il n'eut pas le courage de les refaire. Son résultat n'était donc pas démontré. Quelques années plus tard, le mathématicien américain D.H. Lehmer décida de refaire les calculs. Pendant une année complète il passa deux heures par jour à faire ses calculs avec une machine à calculer manuelle. En fin de compte il annonça qu'il était d'accord avec Kraitchik et que  $2^{257} - 1$  est bel et bien un nombre non premier. La recherche se termina de façon impressionnante vingt ans plus tard, en 1952, lorsque le Dr Lehmer constata au centre de calculs de l'Université de la Californie qu'une calculatrice électronique aboutit en 48 secondes au résultat qu'il avait lui-même obtenu en 700 heures dans sa jeunesse. Encore heureux que le résultat de la machine concordât avec le sien ! Bien que nous soyons sûrs maintenant que  $2^{257} - 1$  n'est pas un nombre premier, nous ne connaissons pas encore les facteurs qui le composent. Celui qui les établira le premier fera date dans l'histoire des mathématiques. Avis aux amateurs !

Mais revenons à Fermat. Ses découvertes dans le domaine de la théorie des nombres sont splendides et très nombreuses. Je n'en citerai que trois. Premièrement, le théorème des deux carrés. Tous les nombres impairs premiers se répartissent en deux catégories : ceux qui sont des multiples de 4 plus 1 (tels que 5, 13, 17 et 29) et les autres qui sont des multiples de 4 moins 1 (tels que 3, 7, 11, 19 et 23). Fermat a prouvé que tous les nombres de la première catégorie peuvent être décomposés en deux carrés alors que ceux de la deuxième catégorie ne le peuvent pas. C'est ainsi que  $5 = 1^2 + 2^2$ ;  $13 = 2^2 + 3^2$ ;  $17 = 1^2 + 4^2$ , etc. Quel beau théorème, n'est-ce pas !

Deuxièmement, je citerai le théorème de Fermat qu'on appelle le petit théorème et qui s'é-

nonce ainsi : tout nombre premier  $p$  est un diviseur exact de la quantité  $a^{p-1} - 1$  à condition que  $a$  ne soit pas un multiple de  $p$ . Voici quelques exemples de ce remarquable théorème :

$$\begin{aligned}(2^2 - 1)/3 &= 1 \\ (8^4 - 1)/5 &= 819 \\ (11^6 - 1)/7 &= 253\ 080\end{aligned}$$

Ce théorème est devenu l'un des théorèmes fondamentaux de la théorie des nombres et de nombreux mathématiciens ont étudié ses conséquences et développé ses applications.

Troisièmement je citerai le théorème de Fermat qu'on appelle le dernier théorème. L'adjectif « dernier » est trompeur dans le cas de ce théorème qui n'a certainement pas été la dernière innovation de Fermat puisqu'il a été établi 25 ans avant sa mort. Il faut dire, cependant, que le théorème en question a été rendu public après la mort de son auteur. C'est son fils Samuel qui a trouvé le théorème brièvement énoncé dans la marge d'un manuel. La substance des notes laissées par Pierre de Fermat dans cette marge est que l'équation

$$a^n + b^n = c^n$$

ne peut pas être résolue en nombres entiers si  $n > 2$ . Quand  $n = 2$  on a naturellement le célèbre théorème de Pythagore. Pouvoir dire avec confiance qu'aucune puissance supérieure à deux ne convient est stupéfiant. Pourtant Fermat était un homme très consciencieux qui n'avait pas l'habitude d'exagérer ni de conclure à la légère. D'ailleurs il a prétendu avoir démontré son théorème en ajoutant « cette marge est trop petite pour contenir ma démonstration ». Le fait est qu'il ne l'a jamais rédigée et que jusqu'à ce jour, trois siècles plus tard, personne n'a pu trouver cette démonstration. Il est à peu près certain, cependant, que le dernier théorème de Fermat est valable car il a été appliqué à des milliers de cas particuliers. Le cas général, néanmoins demeure chimérique.

Au cours des années plusieurs prix ont été offerts pour stimuler la recherche d'une solution. Des centaines de personnes intéressées ont voulu gagner ces prix. Malheureusement, la plupart des compétiteurs étaient des amateurs qui ne se rendaient pas compte de la difficulté réelle de ce problème simple en apparence et qui auraient eu besoin d'effectuer des études très poussées en mathématiques avant même d'aborder cette recherche.

Le plus grand prix de tous a été offert en 1908 par un riche professeur allemand. Ce prix évalué en devises canadiennes d'aujourd'hui à \$100,000. attira beaucoup d'amateurs. Pour ac-

cuser réception des nombreuses et mauvaises solutions reçues, Edmund Landau, l'éminent mathématicien qui présidait le concours, fit imprimer ce qui suit sur des cartes postales : « Monsieur, Madame — Nous avons bien reçu votre démonstration du dernier théorème de Fermat. Votre première erreur se trouve page . . . ligne . . . » Des étudiants gradués étaient chargés de lire les démonstrations et d'envoyer les cartes postales. Personne ne gagna le prix qui perdit sa valeur en 1920 lors de l'inflation du mark allemand.

Fermat mourut lors d'une visite qu'il fit à Castres dans la vallée de la Garonne en sa capacité de Conseiller juridique du Parlement de Toulouse. C'est à Castres qu'il fut enterré. Cependant, 10 ans plus tard son corps fut transféré dans le caveau de sa famille à l'église des Augustines à Toulouse. Ce caveau fut détruit durant la révolution de 1789. On peut voir au musée de Toulouse une épitaphe du 18<sup>e</sup> siècle ainsi rédigée :

« A la pieuse mémoire de  
M. Pierre de Fermat, membre du  
Parlement de Toulouse.

« Très versé dans les belles-lettres, dans la connaissance des langues, des mathématiques et de la philosophie, il se mon-

tra jurisconsulte si éminent et remplit sa charge avec tant de distinction qu'il semblait avoir concentré sur l'étude des lois toutes les forces de son esprit, bien qu'il les divisât entre les spéculations les plus ardues. Ennemi d'un vain étalage, il négligea de livrer ses travaux à l'impression; plus grand encore par le dédain que par la production, il lut sans orgueil dans les livres d'autrui la glorification de ses oeuvres. Aujourd'hui parvenu, comme ses vertus nous donnent le droit de l'espérer, à contempler la vérité éternelle et à mesurer toutes choses, grandes et petites, à la clarté d'un rayon céleste, il semble, de son tombeau, adresser au passant ce précieux conseil de morale chrétienne :

« Veux-tu ne pas ignorer ce qui est utile? Aime d'être ignoré. »

Au-dessous de cette élogieuse épitaphe on peut lire :

Mort le 12 janvier 1665  
à l'âge de 57 ans.

Cette inscription est ironique car Fermat étant né en 1601 il avait 64 ans et non 57 lorsqu'il mourut en 1665. Ainsi l'épitaphe de l'un des plus grands mathématiciens du monde comporte une erreur de calcul !

## L'étude des oiseaux: deux publications récentes

Ceux qui s'intéressent à l'étude des oiseaux seront sans doute heureux d'apprendre que le ministère du Nord canadien et des Ressources nationales vient de publier un ouvrage sur les Marmettes.

Dans ce livre intitulé « **Les Marmettes** », l'auteur, Leslie M. Tuck, expose les moeurs et les conditions de vie de ces étranges oiseaux marins. Il en évalue l'importance écologique et économique et présente un tableau détaillé de leur répartition. Avec de nombreuses explications précises, il conduit le lecteur depuis l'oeuf et le poussin des Marmettes jusqu'aux migrations des immenses populations à travers les glaces du Nord.

Les Marmettes appartiennent à la famille des Alcédés. Elles ont ceci de remarquable qu'elles volent sous l'eau, à la recherche de leur nourriture. Les Marmettes nichent en grandes colonies sur des falaises escarpées en bordure de la mer; elles ne pondent qu'un seul oeuf et pourtant leurs populations dépassent en nombre celles de tout autre oiseau de mer des régions arctiques.

Il est fascinant de suivre les déplacements collectifs de ces oiseaux du nord, spécialement les « danses sur l'eau » et les « vols de joie » qui accompagnent la parade pré-nuptiale.

L'ouvrage de L. M. Tuck fourmille de renseignements nouveaux et étonnants. Abondamment illustré, il renferme aussi plusieurs tableaux et de nombreuses figures. Il se complète d'une bibliographie et d'un index. C'est le premier volume d'une série qui sera publiée sous le grand titre « Faune du Canada ».

On peut se procurer « **Les Marmettes** » au prix de \$3., chez l'Imprimeur de la Reine, à Ottawa, ou encore dans les librairies du gouvernement fédéral, à Ottawa, à Toronto ou à Montréal.

### « NICHOURS A OISEAUX »

« L'aménagement de nichoirs constitue un moyen efficace d'attirer les oiseaux pour les photographier, étudier leur cycle de vie ou tout simplement jouir de leurs coloris et de leurs gracieuses évolutions ».

Ainsi se présente cette élégante brochure, une récente édition du Service canadien de la Faune, ministère du Nord canadien et des Ressources nationales, Ottawa.

Rédigée par William H. Carrick, cette brochure de grand format, comprenant 12 pages et 15 illustrations de qualité, « **Nichours à oiseaux** » mérite d'être connue de tous les jeunes naturalistes et même de leurs maîtres. On y trouve la liste des oiseaux « ayant une propension reconnue à faire leurs nids dans des nichoirs ou d'autres abris », des mesures de nichoirs convenant aux espèces communes, des illustrations et plans pour la construction d'abris et de nichoirs, des renseignements sur l'entretien de même que sur la tenue d'un registre d'observations. Les magnifiques photographies reproduites dans cette publication invitent les lecteurs à entreprendre la construction et l'installation des « nichoirs ».

La brochure « **Nichours à oiseaux** », par W. H. Carrick, du Service canadien de la Faune, est en vente chez l'Imprimeur de la Reine, à Ottawa, au prix de 35 cents l'unité.

## La conquête de l'espace

1er article

# Les satellites météorologiques

par Alphée NADEAU

Depuis longtemps déjà, les météorologistes savent que la connaissance de la température en haute altitude de même que la distribution des masses d'air et des nuages leur est indispensable pour arriver à prédire correctement la température locale. Depuis plusieurs années, on sait que l'évolution de la température dans une autre partie de notre hémisphère peut avoir de regrettables effets sur notre climat local.

C'est pour cette raison que tous les moyens disponibles furent mis à contribution par les météorologistes pour aller recueillir sur place les renseignements indispensables à une prédiction efficace de la température locale. Parmi ces moyens, on trouve le ballon-sonde, l'avion et la fusée.

Mais avec la venue des satellites artificiels, une nouvelle source de renseignements est apparue : le satellite météorologique. Ce satellite entre dans la catégorie des satellites techniques, catégorie qui a connu un développement intense dernièrement aux Etats-Unis. Ne connaît-on pas, en effet, trois sortes de satellites techniques :

1. les satellites météorologiques ;
2. les satellites de télécommunication (Echo, Telstar, Oiseau matinal) ;

### 3. les satellites de navigation.

Nous les appelons satellites techniques parce qu'au lieu d'avoir un but purement théorique, ils sont construits, bien au contraire, dans un but humanitaire et pratique, chacun étant utile soit au commerce, soit à l'industrie, soit à l'agriculture ou à l'information, etc. En d'autres mots, leurs effets sont immédiats et bénéfiques pour tous et chacun.

Il ne fallut que très peu de temps aux météorologistes pour se rendre compte de l'utilité des satellites dans leur domaine. Ces appareils nouveaux, véritables laboratoires flottants, jouissent d'une immense supériorité sur tous les appareils qui les ont précédés. Ils montent en effet plus haut, demeurent en altitude plus longtemps et accomplissent des tâches que les appareils classiques ne peuvent en aucun cas accomplir. Parmi ces tâches, la plus importante est sans contredit celle de photographier la surface de la terre et sa couche de nuages.

### Tiros I

Tel est le cas de Tiros I, premier satellite météorologique, lancé du Cap Canaveral (maintenant Cap Kennedy), le premier avril 1960, par

Avec cet article, nous avons le plaisir de vous présenter les premières pages d'une chronique entièrement consacrée à la conquête de l'espace ou à l'astronautique. Notre collaborateur, Alphée NADEAU, a bien voulu accepter notre invitation et donner un aperçu aussi exact que possible des grandes réalisations de l'astronautique, depuis le lancement du premier satellite jusqu'aux plus récents succès.

Au nom de tous nos lecteurs, nous remercions notre distingué rédacteur scientifique de même que les responsables des services d'information de la NASA, Washington (National Aeronautics and Space Administration), qui nous fournissent des textes et des illustrations d'excellente qualité.

Nous invitons tous les amis du JEUNE SCIENTIFIQUE à suivre attentivement cette chronique. Nous lui assurons, de notre part toute notre attention pour en faire une série instructive et agréable.

La Rédaction.

une fusée Thor-Able (1). Sur l'ensemble des photos prises par Tiros I, plusieurs seront d'un intérêt particulier (2) :

**1er exemple :** Un vaste complexe nuageux est photographié, le 9 avril, au large de l'Australie : il offre l'aspect remarquable d'une spirale de 1000 milles de diamètre.

**2e exemple :** Le 19 mai, Tiros I photographie une formation brillante, presque carrée et de 100 milles de largeur environ, seule au milieu du ciel, à 50 milles seulement au nord de Wichita Falls dans le Texas.

Pour la première fois, on venait de photographier la structure génératrice d'une tornade.

**3e exemple :** Une autre photographie permet de découvrir que des systèmes cycloniques larges de plusieurs milliers de milles sont reliés entre eux par de fins filaments nuageux.

(1) Pour obtenir plus de renseignements sur les fusées, lire : *Les satellites artificiels — Comment fonctionne une fusée ?* par Paul Lorrain, *Le Jeune Scientifique*, Vol. 1, no 7, p. 145.

(2) *Weather Satellites*, par Morris Neiburger et Harry Wexler, dans *Scientific American*, Vol. 205, no 1, livraison de juillet 1961, pp. 80-94.

Finalement, après avoir réalisé 1302 orbites et envoyé 22,952 photographies, Tiros I cessait ses radio-transmissions aux environs de minuit le 29 juin 1961. Evidemment, devant de si remarquables résultats, il était à prévoir que d'autres satellites météorologiques du même type suivraient. C'est ainsi qu'entre le 1er avril 1960 et le 1er juillet de cette année (1965), dix satellites météorologiques du type Tiros furent placés sur orbite. De plus, le 28 août 1964, un satellite météorologique d'un type nouveau voyait le jour. Il s'agit de NIMBUS I.

### Caractéristiques des Tiros

Les satellites du type TIROS ont tous la forme d'une boîte à chapeau de 22 pouces de hauteur et de 21 pouces de rayon (largeur maximum: 42 pouces). Leurs côtés et leur sommet sont recouverts de 9,000 piles solaires qui servent, lorsqu'elles sont exposées au soleil, à recharger les 63 batteries du satellite (3).

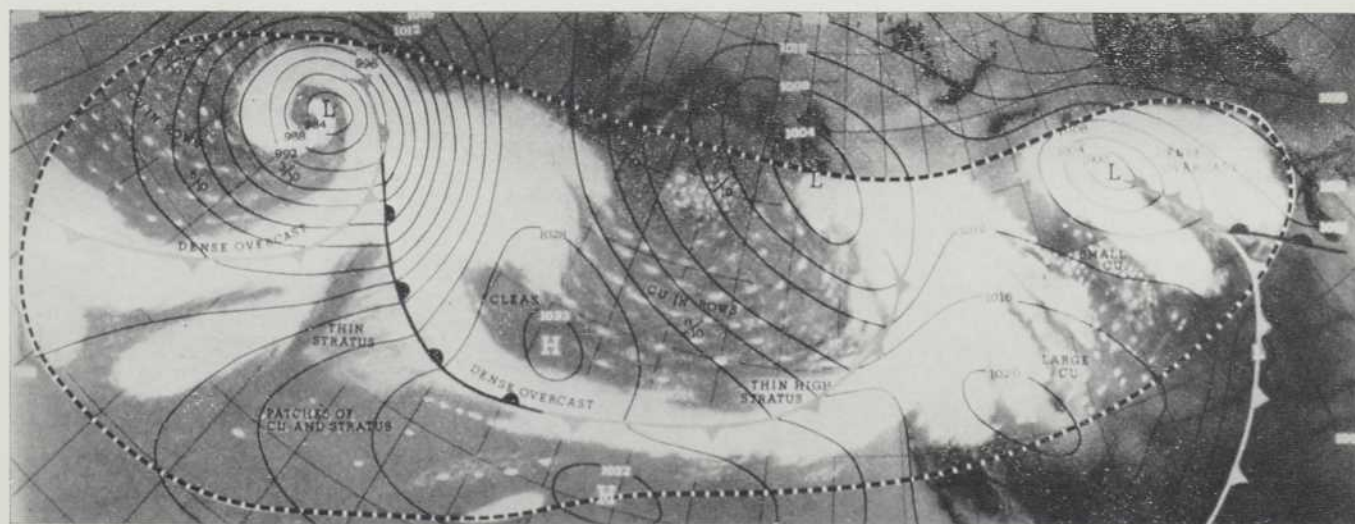
Chaque Tiros contient deux caméras de télévision placées sous le satellite et qui peuvent opérer, soit in-

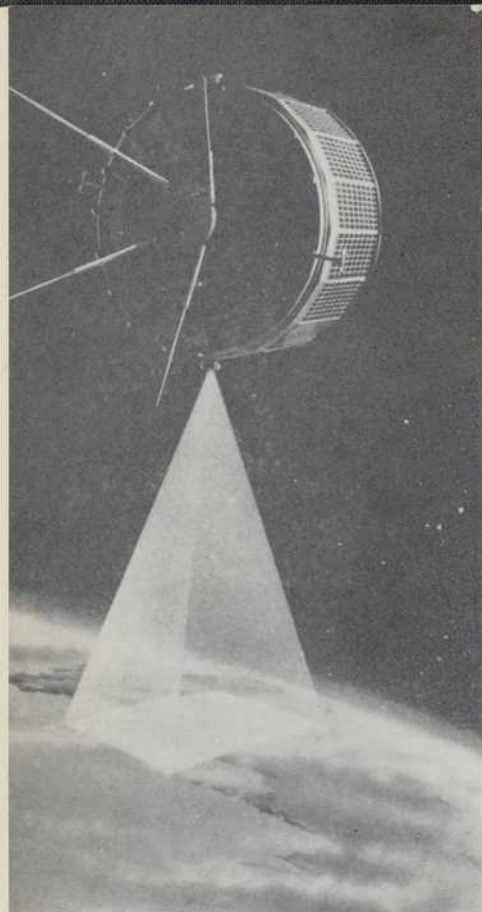
dépendamment l'une de l'autre, soit simultanément. Les photographies prises par ces caméras sont retransmises subséquemment à la terre grâce à 4 antennes émettrices de 22 pouces chacune et placées à 90 degrés

(3) Les étudiants désireux de mieux connaître les piles solaires peuvent demander à leur professeur qu'il obtienne pour eux l'ensemble du Téléphone Bell sur ce sujet. Ils apprendront ainsi à construire (eux-mêmes) une pile solaire et à en tirer profit pour actionner un petit moteur, par exemple, ou faire fonctionner un radio simple à construire.



Grâce à un ensemble de photographies prises par un satellite américain Tiros (photo ci-haut), il a été possible aux météorologistes de reconstituer une carte météorologique. Cette carte montre nettement les formations de nuages d'une tempête. C'est ainsi que ces satellites ont permis, pour la première fois, de photographier la structure générale d'une tornade.





tribuées aux personnes intéressées. Cela impliquait évidemment une perte de temps énorme.

Avec les satellites Tiros VIII et IX, on a corrigé cet état de chose. Maintenant chaque groupe de savants intéressé à recevoir « en direct » les images transmises par les Tiros peut le faire à condition d'investir la modique somme de \$30,000 pour l'achat d'un poste de réception automatique. Ces postes sont tels que quiconque possède la permission de la NASA peut, lorsque le satellite météorologique est dans un rayon de 500 milles au maximum, recevoir automatiquement les photos prises par le Tiros en question lors de son passage

au-dessus de sa région. Cela implique évidemment un gain énorme de temps dans la réception et l'interprétation des différentes photographies prises par les satellites météorologiques dans une région donnée.

Une autre amélioration, beaucoup plus importante celle-là, est apparue avec la mise sur orbite de Tiros IX, le 22 janvier de cette année. Il devint alors possible de photographier la terre sur la majorité de l'orbite du satellite. On se rappellera que les premiers Tiros ne permettaient qu'une couverture de 25% de cette orbite. Voilà certes une amélioration sensible!

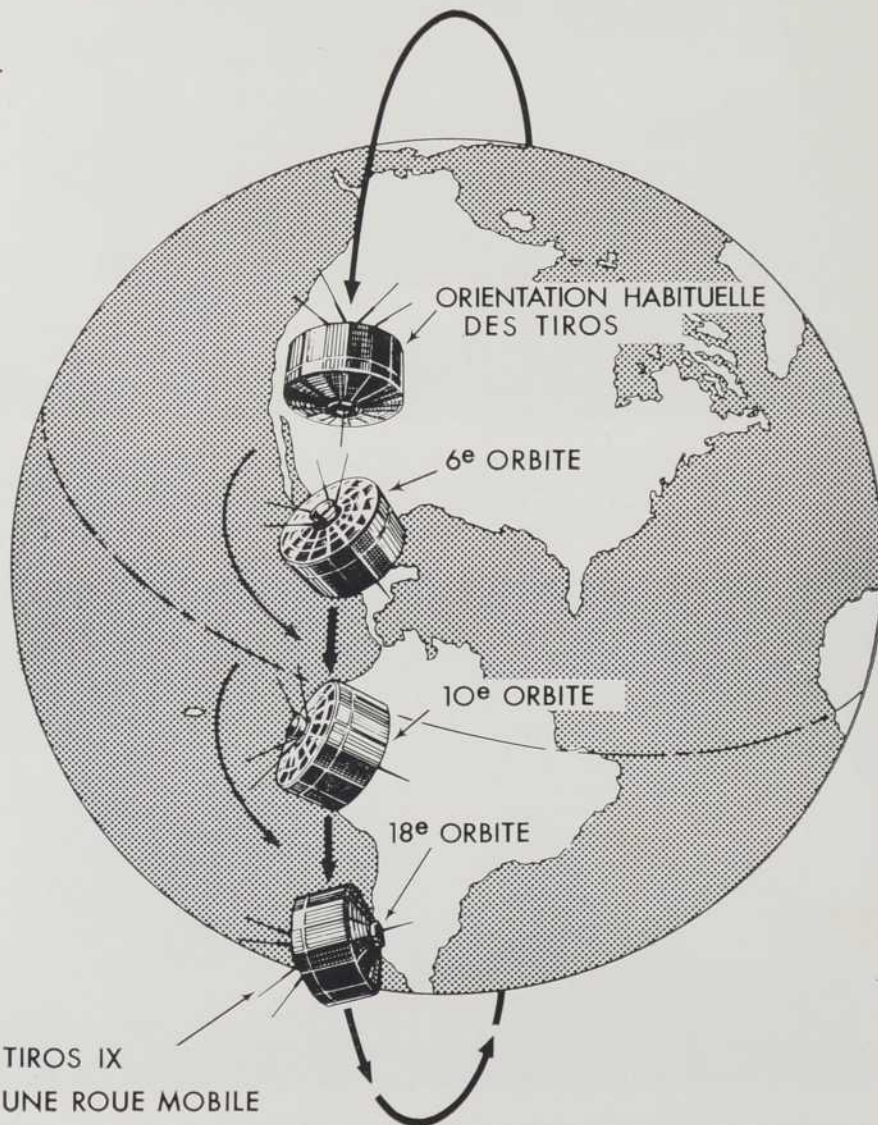
En haut, à gauche : le Tiros IX, une véritable roue mobile qui fait le tour de la terre douze fois en une période de 24 heures. On peut en obtenir jusqu'à 1,200 photos à l'heure. En bas, reconstitution du lancement du Tiros IX.

l'une par rapport à l'autre, sous le satellite.

Une antenne réceptrice de 18 pouces située sur le sommet du satellite permet aux stations terrestres de télécommander les émissions du satellite et d'obtenir ainsi, quand bon leur semble, des renseignements sur la température et la pression intérieures du satellite, sur sa vitesse de rotation, etc. On peut aussi faire en sorte que les caméras de télévision ne photographient que les régions de la terre qui nous intéressent.

### Les défauts des Tiros — Leur correction

Dans les premiers Tiros (1 à VII), ces photographies de nuages étaient transmises seulement aux stations de repérage de la NASA où elles apparaissaient sur des écrans de télévision spéciaux pour être ensuite enregistrées sur pellicule 35 mm et dis-



C'est que les premiers Tiros, évoluant à une hauteur de 400 milles au-dessus de la terre, n'étaient pas conçus de façon à ce que leurs caméras pointent constamment vers celle-ci. Il en résultait une impossibilité de photographier plus de 25% de l'orbite du satellite. Les savants américains ont trouvé moyen de corriger cet état de chose d'une manière très ingénieuse.

### Tiros IX, une roue mobile

Un nouveau progrès fut accompli en changeant les caméras de télévision de place. Du dessous du satellite, où elles étaient antérieurement, on les plaça sur les côtés du satellite, l'une et l'autre à l'extrémité d'un même diamètre. Une fois rendu sur son orbite, des jets auxiliaires permirent de faire tourner Tiros IX sur le côté et lui procurer un mouvement de rotation sur lui-même. Il devint alors une sorte de roue mobile tournant sur une piste imaginaire autour de la Terre. Comme la vitesse de rotation du satellite sur lui-même est de 12 tours à la minute et que les caméras peuvent photographier chaque fois qu'elles pointent vers la Terre, on peut obtenir ainsi, au maximum, une photo à toutes les trois secondes, c'est-à-dire 1200 photos à l'heure.

Normalement, Tiros IX ne prend que 16 photos par orbite à 128 secondes d'intervalle, chaque photo couvrant 550,000 milles carrés de surface. L'intervalle est parfois réduit à 64 ou même à 32 secondes ce qui permet aux photos de former une suite ininterrompue d'images se recouvrant les unes les autres.

Par ailleurs, les premiers satellites en passant à intervalles réguliers dans l'ombre de la terre ne pouvaient y prendre de photographies. Aussi la NASA (National Aeronautics and Space Administration) décida-t-elle de synchroniser l'orbite de Tiros IX sur le Soleil. De cette façon, ses caméras pointent toujours vers une région éclairée de la terre et il devient alors possible de couvrir l'orbite du satellite au maximum.

Mais on voulait mieux que cela! C'est la terre elle-même que l'on vou-



Une photo du golfe Saint-Laurent prise le 3 avril 1962 par le Tiros IV. On aperçoit nettement la péninsule de Gaspé, l'île d'Anticosti de même que l'île-du-Prince-Edouard entourée de glaces.

lait photographier au complet. Ceci fut rendu possible en modifiant l'orbite du dernier Tiros. D'une orbite est-ouest pour les Tiros antérieurs, on est passé à une orbite nord-sud pour les derniers. Comme la terre tourne elle-même de l'ouest vers l'est, le résultat en est que les nouveaux Tiros ne passent jamais deux fois de suite au-dessus de la même région et qu'après 24 heures il a ainsi couvert toute la surface de la terre.

### Nimbus I, une innovation en tant que satellite météorologique

Cependant, il restait une énorme lacune à corriger: le fait que les satellites météorologiques ne photographiaient jamais que le côté éclairé de la terre. C'est pour vaincre cette difficulté qu'est né un nouveau type de satellite météorologique: le NIMBUS.

Nimbus I, en effet, lancé le 28 août 1964 sur une orbite nord-sud,

avait pour mission de prendre des photographies de la terre durant la nuit en plus des photos conventionnelles de jour. Des appareils perfectionnés enregistrent les faibles variations dans l'émission infra-rouge de la terre (chaleur) et les transmettent aux stations de repérage. Sur réception des signaux, d'autres appareils les transforment en images. Ces images sont plus ou moins claires suivant que la région ainsi photographiée émet plus ou moins de chaleur (radiations infra-rouges).

Par exemple, les océans, les lacs et les rivières apparaissent noirs parce que l'eau perd moins rapidement sa chaleur. Le sommet des montagnes, qui sont froides, donne par ailleurs des points blancs. La terre apparaît en diverses teintes de gris, devenant plus claires avec l'élévation. De la même façon, suivant que les nuages sont plus ou moins élevés, leurs images sont plus ou moins brillantes. Nous avons donc là un moyen d'obtenir des renseignements en trois dimensions sur les nuages: non seulement leur largeur et leur longueur, mais aussi et surtout leur hauteur.

## Economie de 7 milliards de dollars

Grâce à cet ensemble complexe de satellites météorologiques, cinq ans exactement après le lancement du premier Tiros, on avait obtenu plus d'un demi-million de photos dont 90% (450,000) utiles aux météorologistes.

C'est ainsi qu'au mois de septembre 1961, 350 000 personnes purent fuir devant l'ouragan Carla annoncé par Tiros III. C'était la première fois qu'une évacuation aussi massive avait lieu aux Etats-Unis. Tiros III permit donc de sauver des milliers de vies humaines.

Depuis lors, on a calculé que la prédiction exacte de la température, cinq jours à l'avance, grâce aux satellites météorologiques, économisait par année:

- 2 milliards et demi de dollars à l'agriculture;
- 45 millions à l'industrie des pâtes et papiers;
- 100 millions à l'industrie du transport;
- 75 millions aux détaillants;

4 milliards aux aménagements hydroélectriques.

La conclusion s'impose, les satellites météorologiques, en plus d'être une formidable source d'informations pour les météorologistes, s'avèrent très économiques.

## Bibliographie

Au début de ce 4e volume du *Jeune Scientifique*, il est bon, croyons-nous de vous rappeler les différents articles antérieurs ayant trait à l'astronautique. Les voici donc dans l'ordre de parution:

Serge Lapointe, *La conquête de l'espace*, 1(2): 37-39.

Sa position devant l'aspect scientifique et social de la conquête de l'espace; réflexion sur le peu d'intérêt des Canadiens envers la science.

Gaston Lapointe, *Le Canada scrute l'espace, avec le satellite Alouette*, 1(3): 71-72.

Photo-reportage de l'Office national du film. Quelques détails intéressants sur le satellite Alouette et les expériences qu'il réalise.

Paul Lorrain, *Les satellites artificiels*, 1(5): 108-111.

On explique l'attraction gravitationnelle de même que la manière de lancer un satellite.

Claude Frémont, *Une merveille technique, le Mariner II*, 1(6): 121-123.

Une analyse du voyage de Mariner II lequel passa à 21 000 milles de Vénus.

Paul Lorrain, *Les satellites artificiels, 2e article, comment fonctionne une fusée*, 1(7): 145-148.

Explication du principe et applications. Caractéristiques des fusées américaines: Scout, Delta, Thor-Agena B, Atlas D, Atlas-Agena B.

Alphée Nadeau, *A quoi sert cette conquête de l'espace?* II(4): 76-80.

Avec des caractéristiques de quelques fusées américaines.

Réal Aubin, *Le dossier de l'exploration spatiale, 1er article, 1957-1961*, II(6): 130-131; *2e article, 1962-1963*, II(7): 166-168.

Cette liste contient les lancements les plus importants réussis du 4 octobre 1957 à la fin de 1963.

TABLEAU DES SATELLITES MÉTÉOROLOGIQUES, AU 22 JANVIER 1965

Noms	Lancé le	Caméras cessent de fonctionner après ...	Inclinaison en degrés	Nombre de photos prises
Tiros I	1er avril 1960	2½ mois	48	22,952
Tiros II	23 novembre 1960	10 mois	48	36,156
Tiros III	12 juillet 1961	4½ mois	48	35,033
Tiros IV	8 février 1962	4½ mois	48	32,593
Tiros V	19 juin 1962	10½ mois	58	58,226
Tiros VI	18 septembre 1962	13 mois	58	66,674
Tiros VII	19 juin 1963	(1)	58	95,573
Tiros VIII	21 décembre 1963	(1)	58	66,444
Nimbus I	28 août 1964	26 jours	82	27,000
Tiros IX	22 janvier 1965	(1)	81.6	(2)
Tiros X	1er juillet 1965	(1)	81.4	(2)
Total				440,631

(1) Ces satellites météorologiques photographiaient toujours la terre au moment d'écrire cet article.

(2) Au moment de ce calcul, mi-janvier, Tiros IX et Tiros X n'étaient pas encore en orbite.

*Les "Masers" et "Lasers" ont fait leur entrée dans la physique contemporaine et leurs applications ne cessent de se multiplier en plusieurs domaines. Comment expliquer ces merveilleux "instruments"?*

# Cohérence et Masers

par Jacques VANIER

## L'onde électromagnétique

Lumière, radio, télévision, rayons X, radioactivité, téléphonie sans fil, tous ces phénomènes qui font partie intégrante de notre vie ont un élément en commun : la transmission d'ondes électromagnétiques.

Avant d'aborder la description de la nature de l'onde électromagnétique, examinons quelques phénomènes plus familiers, par exemple, l'ondulation qui apparaît sur l'eau lorsqu'on en trouble la surface. Nous y voyons des creux et des crêtes qui se déplacent à une vitesse spécifique. Cet ensemble régulier forme ce qui en langage scientifique s'appelle « onde ». Celle-ci est caractérisée par une amplitude «  $a$  » et une longueur d'onde  $\lambda$  qui est la distance entre deux maxima voisins telle qu'illustrée sur la figure 1.

L'onde sur l'eau se déplace dans la même direction jusqu'à ce qu'elle rencontre un obstacle sur lequel elle se réfléchisse. Elle revient alors en sens inverse et s'additionne ou se soustrait à l'onde première pour former une onde stationnaire. (Figure 2). Si on examine bien la surface du liquide il ne semble plus y avoir de déplacements dans une direction donnée mais simplement des mouvements de haut en bas avec des points immobiles en des endroits précis. De plus l'amplitude du mouvement est deux fois plus grande si l'onde n'est pas réfléchi.

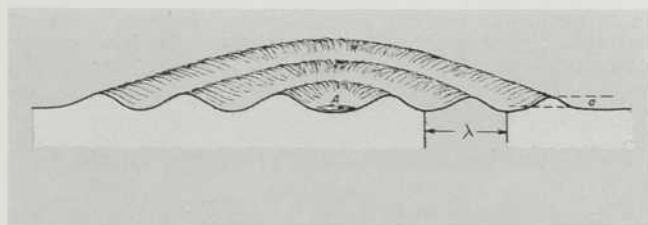


Figure 1.

La surface de l'eau a été troublée au point A. Une onde se forme et se propage vers l'extérieur avec une vitesse bien définie. On peut définir une amplitude  $a$  ainsi qu'une longueur d'onde  $\lambda$  qui est la distance entre deux crêtes.

Dans les phénomènes sonores nous sommes en présence de mouvements similaires. Ici l'air est comprimé en certains endroits, raréfié en d'autres de sorte qu'on assiste à un défilé de perturbations se déplaçant à quelque 1300 kilomètres à l'heure.

Dans ces deux exemples, il est évident qu'il faut un milieu supporteur si on veut que le phénomène ondulatoire prenne place ou en d'autres termes que l'onde se propage : dans le premier exemple, l'eau, dans le second, l'air qui nous entoure.

Les ondes électromagnétiques que nous avons mentionnées au début sont déterminées par un mouvement symétrique tel que décrit plus haut. Elles diffèrent toutefois des deux exemples d'ondes mentionnés par le fait qu'elles n'ont pas besoin de milieu supporteur : les ondes électromagnétiques se propagent dans le vide. L'idée d'un milieu supporteur appelé éther et remplissant tout l'espace florissait autrefois chez certaines classes de scientifiques. Il va de soi à présent que cette idée ne trouve à peu près plus d'adeptes. Des expériences ont démontré l'absence d'un tel milieu.

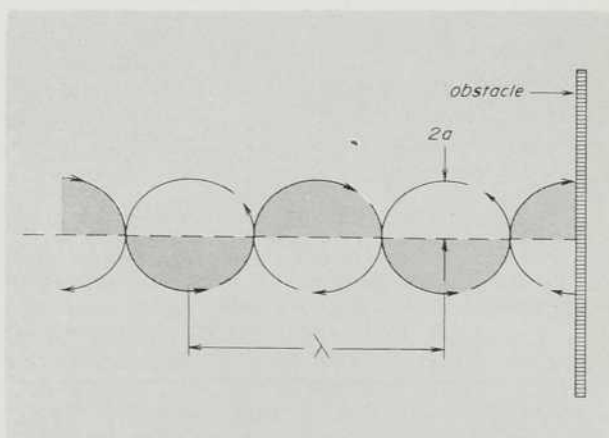


Figure 2.

Onde stationnaire. Si l'onde frappe un obstacle elle est réfléchi et s'additionne ou se soustrait à l'onde incidente. Un appareil photographique dont l'obturateur demeurerait ouvert enregistrerait l'image plus haut.

Une onde qui n'a pas besoin d'un milieu supporteur...! Pour saisir une telle notion, il faut d'abord se rendre familier avec les concepts de champ électrique et de champ magnétique. Une charge électrique peut être positive ou négative. Par exemple, l'électron est négatif, le proton est positif. Ces deux opposés s'attirent. Pour expliquer cette attraction, on dit que le noyau produit un champ électrique dans lequel l'électron se déplace. Il en est de même de l'électron: on peut également le concevoir comme produisant un champ électrique de signe inverse à celui du noyau. Le champ électrique est donc une entité qui décrit les forces qui s'exercent entre les particules chargées d'électricité. D'un autre côté, si une charge est en mouvement, elle est capable d'orienter l'aiguille aimantée de la boussole ce que la charge électrique au repos ne peut faire: il y a donc création d'une autre entité appelée « champ magnétique ».

Nous arrivons maintenant au problème même: une charge électrique oscillant sur elle-même entre deux points de l'espace produit en même temps un champ électrique E et un champ magnétique H, qui se déplacent à travers l'espace à une vitesse très bien définie. Ces deux champs oscillent au même rythme que la charge et forment l'onde électromagnétique telle qu'illustrée sur la figure 3. Cette onde est donc comme celle qui existe sur la surface de l'eau caractérisée par une amplitude et une longueur d'onde.

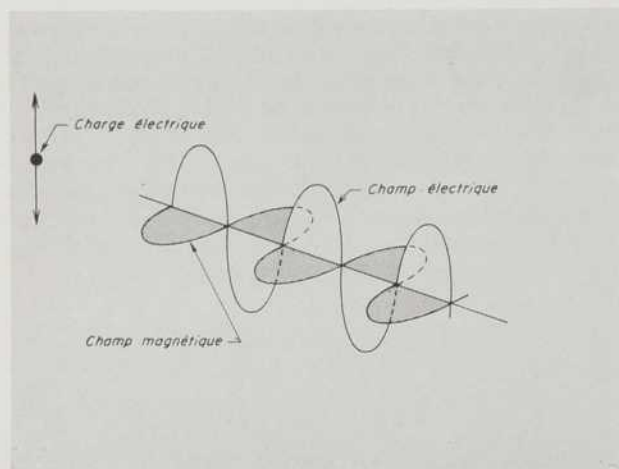


Figure 3

Une charge électrique en état d'oscillation produit un champ électrique E et un champ magnétique H. Tous deux se déplacent sous forme d'onde sans milieu supporteur aux confins de l'espace. La vitesse de propagation est 300.000 kilomètres à la seconde.

On peut également parler de la fréquence (F) de l'onde qui n'est autre que le taux de répétition d'un maximum en un endroit donné de l'espace. Il existe une relation simple entre fréquence (F) et longueur d'onde ( $\lambda$ ):

$$(F)\lambda = C$$

La vitesse (C) est une constante des plus importantes et apparaît dans la description de beaucoup de phénomènes physiques. Cette vitesse dans le vide est égale à 300 000 kilomètres à la seconde, de sorte que, pour une longueur d'onde de quelques centimètres, la fréquence est de l'ordre du milliard de cycles à la seconde. Les champs électrique et magnétique changent donc de sens un milliard de fois pendant cette courte durée. Les ondes de radio ont une fréquence de l'ordre d'un million de cycles à la seconde; la longueur d'onde est donc d'environ 300 mètres.

Les phénomènes énumérés au début ne diffèrent que par leur longueur d'onde ou leur fréquence. La figure 4 montre bien où sont situés sur l'échelle des longueurs d'onde ces phénomènes variés. La lumière visible n'occupe dans le spectre qu'une place très minime.

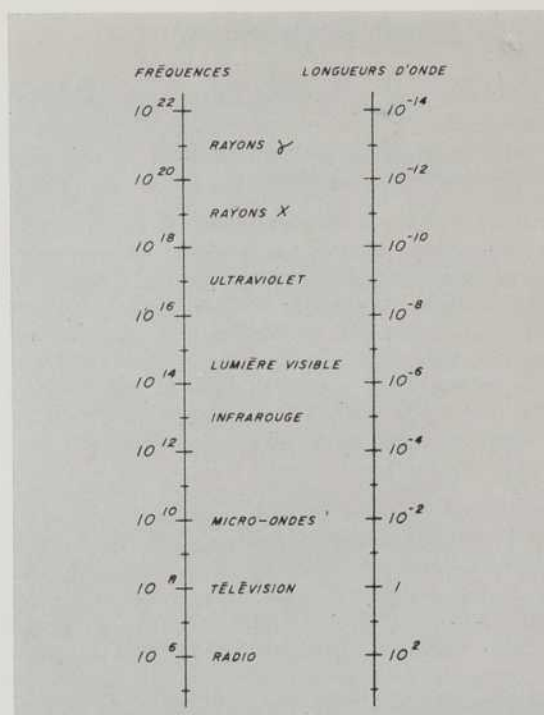


Figure 4

Le spectre électromagnétique. Un nombre indiquant la fréquence tel que  $10^{15}$  est un symbole pour le nombre 1 suivi de 15 zéros. La lumière visible n'occupe qu'une place minime dans le spectre.

### Création d'ondes électromagnétiques

Avant d'énoncer tous les avantages du Maser qui constitue le sujet de cet article, il faut d'abord se familiariser avec la production et l'amplification des ondes électromagnétiques. Plusieurs méthodes sont possibles. Pour des ondes radio, télévision jusqu'aux micro-ondes de l'ordre du millimètre on se sert du mouvement d'électrons dans les conducteurs et les tubes à vide.

Dans une antenne d'émission, les électrons qui existent à l'état libre sont mis en oscillation par un appareil électronique appelé oscillateur. L'antenne émet donc une onde qui est caractéristique au mouvement des électrons : l'oscillateur est ordinairement un tube à vide capable de produire des variations de courant très rapides. Il est à noter que dans le poste récepteur nous assistons au phénomène inverse ; l'onde produite par le poste émetteur induit en oscillation les électrons de l'antenne du poste récepteur. Le tube à vide sert dans ce cas à amplifier la très faible tension développée par le mouvement des électrons aux bornes de l'antenne de réception.

Ce procédé de production et de détection fonctionne bien aux longueurs d'ondes relativement longues. Pour les fréquences très élevées comme celles de la lumière les dimensions des tubes à vide ne sont plus compatibles avec la longueur d'onde. Un autre procédé est employé : on recourt directement au mouvement d'oscillation des électrons dans les atomes. Ici, toutefois, le principe de base est entièrement différent. Il est vrai que l'électron, dans son voyage autour du noyau, est en état continu d'oscillation : celui-ci est cependant un état naturel, stable de l'atome ; il n'y a pas d'onde électromagnétique émise. L'atome toutefois peut exister sous différents états d'oscillation. On peut alors produire une onde électromagnétique en provoquant des changements d'états à l'intérieur de l'atome.

En terme physique on dit que l'atome peut exister dans différents états d'énergie. Il émet de l'énergie s'il passe d'un niveau supérieur à un niveau inférieur : cette quantité d'énergie, appelée *photon*, n'est autre qu'une onde électromagnétique. On peut à l'aide de l'atome produire les longueurs d'onde les plus longues jusqu'aux longueurs d'onde les plus courtes. On notera

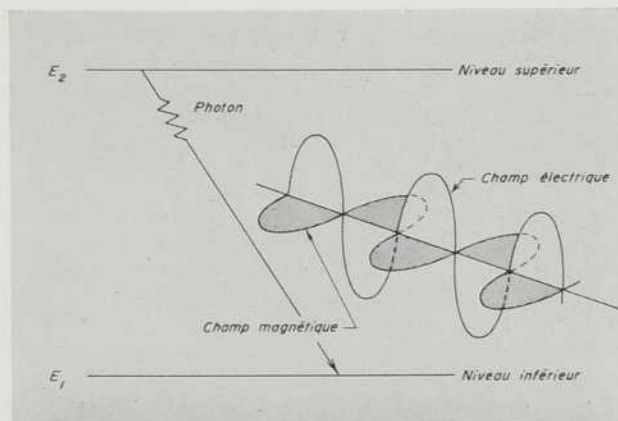


Figure 5

L'atome ne peut exister que dans certains états particuliers d'oscillation. Le physicien représente ces états des niveaux d'énergie dont la différence correspond à l'énergie contenue dans le photon émis. La fréquence de

$$\text{l'onde correspondante est donnée par } F = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

où  $h$  est la constante célèbre de Planck.

l'apparition ici du mot *photon* qui rappelle la notion de particule. Le physicien emploie les notions de particule et d'onde à tour de rôle selon le problème à étudier. Elles sont complémentaires.

## Cohérence

L'émission électromagnétique par les atomes est bien illustrée dans les enseignes utilisant des tubes au néon. Dans ces derniers les atomes sont envoyés par une décharge électrique dans un état d'oscillation supérieur à l'état normal de l'atome ; ils reviennent spontanément dans leur état naturel en émettant une onde électromagnétique qui est propre au néon. L'oeil détecte une couleur rosée. Chaque atome toutefois émet sa quantité d'énergie au hasard ; c'est-à-dire qu'il n'émet pas une onde en même temps que son voisin : il n'y a pas cohérence entre les ondes produites. De plus les atomes n'émettent pas tous sur la même fréquence. Une certaine bande de fréquence est possible parce que les niveaux d'énergie décrits plus haut ne sont pas infiniment étroits. Les ondes produites sont donc complètement indépendantes les unes des autres. Ce phénomène est très bien illustré par l'exemple du son produit par un groupe de violonistes essayant de rendre la même note. Il est évident que les cordes des violons ne vibrent pas toutes à la même fréquence et n'ont pas commencé à vibrer au même instant ; par conséquent elles ne sont pas en parfait accord. Le son produit par chacune d'elles ne s'additionne pas directement au son des autres. Il en est ainsi de la lumière. Les ondes émises par chacun des atomes ne s'additionnent pas directement : on dit que les ondes ne sont pas en phase, c'est-à-dire que les creux et les crêtes de chacune des ondes ne coïncident pas exactement.

Dans le cas des ondes radio produites à l'aide d'un tube oscillateur, les électrons dans les conducteurs vibrent tous au même rythme. Ils émettent en chœur une seule onde électromagnétique ; on peut dans ce cas parler de cohérence : la phase du mouvement de chaque électron est la même que celle de tous les autres. Il en résulte une seule onde électromagnétique.

On saisit bien toutefois ici que l'onde produite possède les caractéristiques des tubes électroniques et circuits qui contiennent les électrons. Ceux-ci sont libres et l'onde n'est en rien reliée à un phénomène intratomique. Elle reflète donc toutes les imperfections qui peuvent caractériser un tube électronique ou un conducteur métallique. La fréquence de l'onde est fonction des dimensions physiques de l'appareil qui la produit et par conséquent de la température, de la pression et de beaucoup d'autres facteurs physiques. Il va de soi que l'onde obtenue n'est pas parfaite ; par exemple sa fréquence ou son amplitude pourra varier d'un instant à un autre. On donne généralement à ces variations le nom de bruit. Plus celui-ci est intense plus il est difficile de définir la fréquence ou l'amplitude de l'onde. Il en est de même dans le cas des tubes amplificateurs ; le mouvement des électrons dans le tube produit un bruit de fond. Il peut être facilement détecté dans le cas des amplificateurs haute fidélité à gain élevé.

On verra dans les lignes suivantes comment le Maser produit en même temps cohérence et absence de bruit.

## Le Maser

Nous avons vu plus haut qu'un atome dans un état excité peut émettre un photon qui trahit la nature interne de l'atome. Ce photon nous l'avons vu est émis au hasard. Qu'arrive-t-il toutefois à une onde électromagnétique qui passe dans une région de l'espace occupée par ce même atome ? Albert Einstein a répondu mathématiquement à cette question en 1917. Si la fréquence de l'onde incidente est la même que celle de l'onde caractéristique de l'atome, il y a interaction. Si l'atome est dans son niveau d'énergie inférieur, il peut absorber le photon incident et se retrouver dans un état excité. Si l'atome est dans un niveau d'énergie supérieur, il peut alors émettre un photon et tomber dans son état fondamental : il a été stimulé à émettre un photon. L'onde émise est en phase avec l'onde incidente et s'y additionne directement : elle est donc cohérente avec l'onde incidente. C'est le principe de base du Maser.

Le mot Maser est formé des premières lettres de *Microwave* (ou *Molecular*) *Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. L'atome est utilisé à la façon d'un amplificateur ; il additionne à l'onde incidente une autre onde en phase et par conséquent l'amplifie par émission stimulée de radiation.

S'il existe plusieurs atomes voisins semblables tous excités dans leur niveau d'énergie supérieur ils peuvent alors tour à tour être stimulés par les photons ainsi créés et produire une onde électromagnétique très intense. Si la quantité d'atomes disponibles est suffisamment grande et si on possède un moyen externe d'exciter les atomes dans leur niveau d'énergie supérieur on peut même créer ainsi un oscillateur ; c'est-à-dire que, un seul photon incident sur un des atomes peut entraîner une réaction en chaîne stimulant l'émission par tous les autres atomes. Le premier photon nécessaire peut être émis spontanément par un des atomes.

On comprend toutefois qu'après avoir émis tour à tour leur énergie, les atomes se trouvant dans leur état fondamental deviennent inactifs. Si on veut une onde continue, il faut sans cesse remettre les atomes dans leur état d'énergie supérieur. (C'est tout comme si on voulait emplir d'eau un seau percé.) C'est un des problèmes qui concernent les chercheurs au plus haut degré. Des solutions variées, dépendant des circonstances ont été apportées au problème. Quelques-unes de ces solutions sont très simples ; mais d'autres sont tellement complexes qu'elles démontrent l'incroyable capacité de l'outil mathématique que la science moderne a découvert et qui s'appelle la Mécanique Quantique.

## Quelques types de Masers

Le premier Maser à fonctionner continuellement a été construit par des physiciens de l'université Columbia : C.H. Townes, H.J. Zeiger et J.P. Gordon. Ce Maser

n'emploie pas un atome dans le sens décrit plus haut mais plutôt un composé, une substance tout à fait commune, l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ). Dans ce composé les niveaux d'énergie en jeu sont entièrement reliés à la disposition et au mode de vibration des atomes d'hydrogène par rapport à l'atome d'azote ; ce sont ces modes de vibration qui sont à la base du principe de fonctionnement de ce Maser.

Pour illustrer le principe de fonctionnement du Maser nous en examinerons plutôt un qui emploie le plus simple de tous les éléments : l'hydrogène. Ce type de Maser a été inventé par N.F. Ramsey en 1960 ; c'est celui qui produit l'onde la plus parfaite jamais obtenue en laboratoire. En fait, l'onde obtenue ne dévie de la perfection que par une partie dans dix trillions.

Le Maser à hydrogène fonctionne de la façon suivante. (Figure 6). L'appareil consiste en un dissociateur qui divise l'hydrogène moléculaire pur en hydrogène atomique. Nous savons que l'atome d'hydrogène est composé d'un proton et d'un électron. Cet électron produit à l'endroit du proton un champ magnétique. Nous avons vu dans un article précédent (1) que lorsque le proton est dans un champ magnétique il entre en précession autour de la direction du champ ; il peut s'orienter soit dans le même sens que ce champ soit dans un sens opposé. Ces deux situations correspondent à deux états d'énergie différents. Le photon qui peut être émis ou absorbé correspond à une onde de fréquence bien définie soit :

$$(F) = 1\ 420\ 405\ 751.80$$

Pour obtenir dans un même endroit de l'espace des atomes qui sont dans leur état d'énergie supérieur on se sert d'un champ magnétique intense créé par l'aimant A. La symétrie de ce champ est telle qu'il dévie vers l'extérieur tous les atomes dans l'état d'énergie inférieur. Ceux qui sont dans un état d'énergie supérieur sont concentrés sur l'axe. On les fait alors pénétrer à l'intérieur d'un ballon d'accumulation par un petit orifice. Les parois du ballon sont revêtues d'une couche de téflon très inerte de sorte que les atomes peuvent y rebondir quelque dix mille fois sans être dérangés de leur état. Toutefois cette situation n'est pas suffisante pour obtenir un amplificateur ou un oscillateur pratique.

L'amplitude de l'onde électromagnétique qui est émise par un atome n'est pas suffisamment grande pour stimuler les atomes voisins à émettre leur énergie. On obvie à cette difficulté en faisant rebondir l'onde sur les parois tout comme dans l'exemple de l'eau. Elle est confinée à l'intérieur de la cavité C et son amplitude est augmentée par le fait qu'elle revient sur elle-même et passe au même endroit avec la même phase. Les atomes sont par conséquent stimulés à émettre leur énergie plus facilement. L'oscillation produite par les atomes aidés de la cavité est couplée hors de l'appareil par la boucle B.

(1) Jacques Vanier, *La résonance magnétique nucléaire*, dans *Le Jeune Scientifique*, vol. 3, no 5, p. 108, livraison de février 1965.

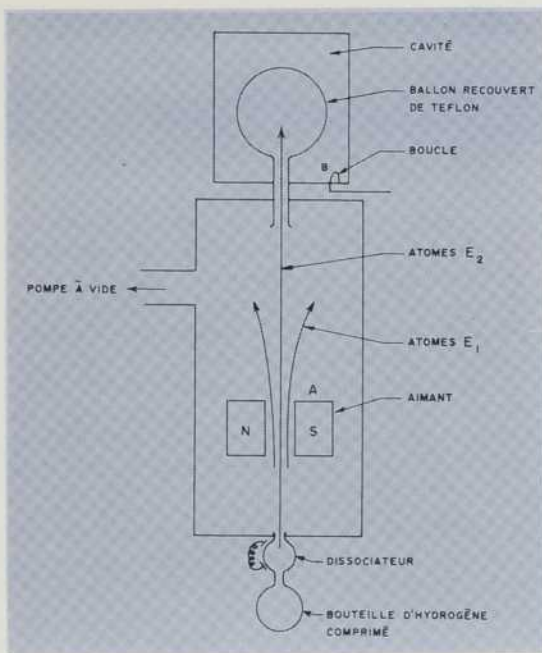


Figure 6

Maser à hydrogène. Les atomes sont produits dans le dissociateur, sélectionnés par l'aimant A et pénètrent dans le ballon d'accumulation où se produit une oscillation. Celle-ci est détectée par la boucle B.

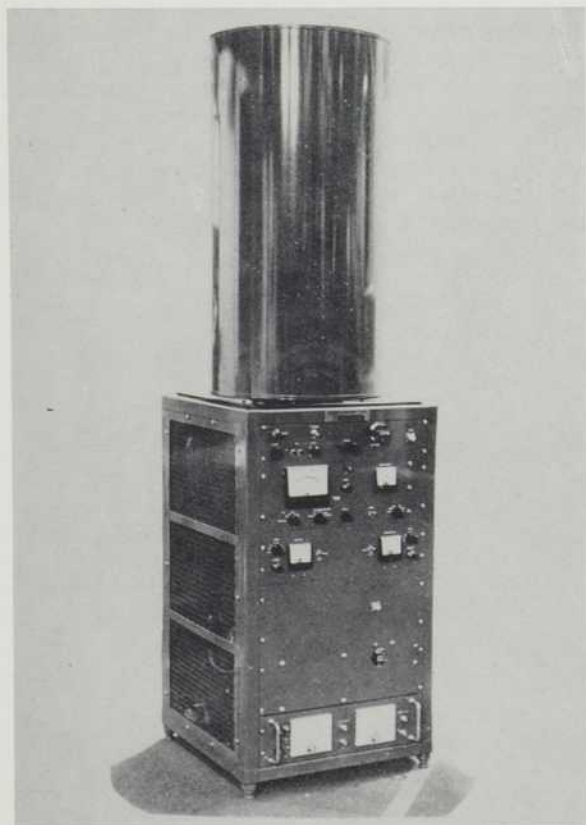


Figure 7

Un Maser à hydrogène. (Permission de Varian Associates, Beverly, Mass.)

Le Maser employant l'ammoniac fonctionne à peu près de la même façon sauf que le ballon d'accumulation n'est pas présent et que les atomes passent directement au travers de la cavité.

Le principe de base d'opération du Maser se résume donc à trois conditions essentielles :

- possibilité d'exciter les atomes dans leur niveau d'énergie supérieur. Dans le Maser à hydrogène ceci est accompli en séparant physiquement les atomes.

- possibilité de maintenir pour un certain temps ces mêmes atomes dans leur niveau d'énergie supérieur. (Ballon d'accumulation à parois inertes dans le Maser à hydrogène).

- accroissement de l'interaction de l'onde électromagnétique elle-même avec les atomes par un procédé externe (cavité résonnante).

Il est évident que l'onde étant émise par l'atome est des plus parfaite. En fait une des plus grandes imperfections introduites est créée par la contribution de la cavité à l'amplitude de l'onde. C'est cette imperfection qui est présentement le facteur limite de stabilité ; celle-ci est de l'ordre de une partie dans dix trillions. Ce type de Maser forme donc l'horloge la plus stable qui existe : un Maser à hydrogène, dans 300 000 ans n'aura pas avancé ou retardé de plus d'une seconde.

Nous avons vu ici un type particulier de Maser, celui qui emploie un faisceau d'atomes. Il en existe beaucoup d'autres qui utilisent soit un gaz enfermé dans un ballon, soit un solide. Ils fonctionnent tous en accord avec les trois principes de base énumérés plus haut. On peut les utiliser soit comme oscillateurs soit comme amplificateurs (2).

Nous avons tous assisté aux transmissions sensationnelles de télévision à l'aide du satellite Telstar. L'instrument essentiel de réception était un Maser utilisant un cristal de rubis refroidi à quelque  $-270^{\circ}\text{C}$  et amplifiant le signal de télévision à son arrivée.

## Les Lasers

Les Lasers tirent leur nom de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Ils sont semblables aux Masers quant aux principes de base. Une des différences particulières vient de la longueur d'onde utilisée. Dans les Masers les longueurs d'onde sont ordinairement de l'ordre d'un ou de plusieurs centimètres. Dans les Lasers, elles sont de l'ordre du cent millièbre de centimètre.

Il existe ici aussi beaucoup de sortes de Lasers. Le plus spectaculaire est certes celui qui utilise les propriétés du rubis. Ce dernier n'est autre qu'un saphir avec formule chimique  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et dans lequel les atomes d'aluminium ont été remplacés par des atomes de chrome dans une proportion d'environ un à cinq mille.

(2) Un oscillateur est un amplificateur dont le gain est infini.

Ce rubis est taillé en forme de bloc cylindrique avec les faces extrêmes, parfaitement parallèles. Ces faces sont revêtues d'une couche d'argent très réfléchissante. Ce genre de Laser fonctionne de la façon suivante. Les niveaux d'énergie de l'atome de chrome sont illustrés sur la figure 8. On n'a présenté ici que trois niveaux. Il en existe beaucoup d'autres mais ils n'entrent pas dans le fonctionnement du Laser décrit ici. Les atomes de chrome sont ordinairement tous dans le niveau d'énergie inférieur  $E_1$ ; c'est l'état normal de l'atome. Si toutefois on illumine le cristal avec de la lumière violette dont la longueur d'onde correspond à la différence d'énergie entre les niveaux  $E_1$  et  $E_3$ , il y a absorption des photons incidents; ceci se produit jusqu'à ce que ces deux niveaux soient également remplis. Toutefois les atomes ainsi excités dans le niveau  $E_3$  tendent immédiatement à redescendre dans leur état normal qui est le niveau d'énergie inférieur. Ils le font cependant en passant par le niveau intermédiaire  $E_2$ . La différence d'énergie est transformée en chaleur, c'est-à-dire en vibration du réseau cristallin. Le niveau d'énergie  $E_2$  est un niveau métastable, c'est-à-dire que les atomes s'y arrêtent pour un temps relativement long (de l'ordre de un centième de seconde). Ce laps de temps est suffisant pour permettre d'accumuler dans ce niveau un très grand nombre d'atomes et ainsi d'inverser la population des niveaux  $E_1$  et  $E_2$ . Ceci veut dire que le niveau  $E_2$  contient maintenant plus d'atomes que le niveau  $E_1$ , ce qui est une situation instable. La présence d'une onde dont la fréquence correspond à la différence d'énergie entre les niveaux  $E_1$  et  $E_2$  stimule les atomes à passer au niveau inférieur  $E_1$  et par conséquent à émettre un photon qui s'additionne directement à l'onde première. L'onde produite se réfléchit sur les miroirs, repasse dans le cristal et stimule l'émission chez d'autres atomes: c'est une avalanche libérant la grande quantité d'énergie emmagasinée dans les atomes de chrome. On extrait cette énergie par un des miroirs qui est légèrement transparent.

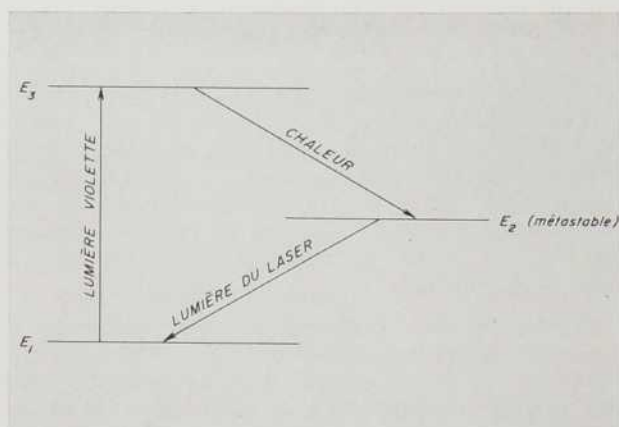


Figure 8

Niveaux d'énergie du chrome. Les atomes sont d'abord excités vers le niveau  $E_3$ . Dans leur descente vers leur état normal  $E_1$  ils passent dans le niveau  $E_2$  où ils y demeurent un temps suffisamment long pour produire l'effet « Laser ».

Le Laser se distingue surtout par les trois caractères suivants :

1. Cohérence de la lumière émise. Les atomes émettent une onde en phase avec l'onde déjà présente. Une conséquence immédiate est que la lumière produite est monochromatique, c'est-à-dire qu'elle ne contient qu'une seule couleur très bien définie.

2. Intensité de la lumière émise. La lumière produite est la plus intense connue. Il est plus facile de comprendre la portée de cet énoncé en comparant l'intensité de la lumière du Laser à celle du soleil. Le Laser employant le rubis peut produire une impulsion lumineuse de 100 000 000 de watts; le soleil produit dans la bande de couleur du Laser et dans le même cône de radiation une puissance de 0,000 001 watt... L'impulsion lumineuse du Laser est suffisamment intense pour traverser une lame de rasoir et y laisser un orifice.

3. Parallélisme des rayons lumineux. Les miroirs aux extrémités de l'échantillon du rubis agissent comme un filtre de direction. Une onde avec origine à l'intérieur et ne se propageant pas parallèlement à l'axe sera réfléchi par les miroirs à un certain angle; elle s'échappera alors par les côtés du rubis. Seule l'onde qui se propage parallèlement à l'axe est amplifiée et émerge par le miroir semi-transparent. Pour certains types de Lasers à une distance d'un mille le diamètre du faisceau lumineux n'a pas élargi de plus de cinq pouces.

On a déjà trouvé beaucoup d'emplois aux Lasers. Par exemple un Laser peut servir à souder des pièces de métal sans entrer en contact avec ces dernières. Une récente victoire de la médecine a été de pratiquer la chirurgie à l'intérieur de l'oeil avec un Laser. On constate aussi que les cellules cancéreuses dégénèrent sous l'effet de la radiation cohérente émise par le Laser. Enfin la météorologie en a trouvé déjà un emploi dans la détermination des propriétés des gouttelettes d'eau contenues dans les brouillards.

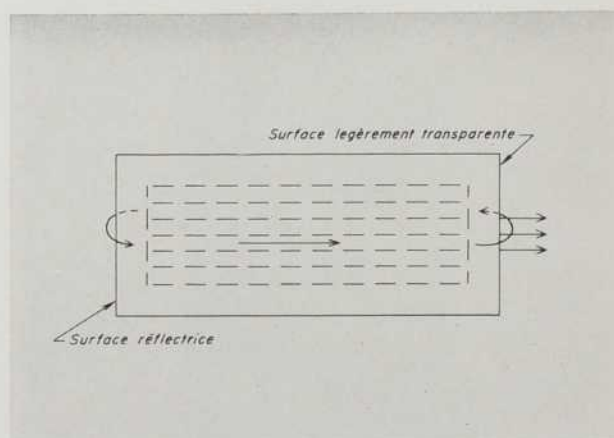


Figure 9

Dans le Laser, seule l'onde se propageant parallèlement à l'axe du cristal est amplifiée. Une onde se réfléchissant sur les miroirs, à un certain angle s'échappera par les côtés du cristal.

L'avenir nous réserve certes d'autres exploits. Certains physiciens parlent de la possibilité d'utiliser la puissance du Laser pour transmettre de l'énergie aux satellites artificiels: ce serait une « ligne de transmission Laser ». D'autres physiciens parlent de créer un système de transmission téléphonique radio ou autre. L'avantage du Laser sur les autres modes conventionnels de transmission serait la bande fréquence disponible ou en d'autres termes, le nombre de conversations possibles en même temps.

Il semble donc encore que la science moderne a su mettre dans les mains de l'homme un autre outil qui ne saura qu'améliorer son mode de vie.

## Bibliographie

M. BROTHERTON, *Masers and Lasers*, McGraw-Hill Book Co., 1964.

# Le Dr Hans Selye parle aux étudiants...

par Roland PRÉVOST

« Les très grandes découvertes médicales ont toujours été faites par accident », déclarait récemment le Dr Hans Selye, directeur de l'Institut de médecine et de chirurgie expérimentales de l'Université de Montréal, devant les étudiants en optométrie. Il a rappelé le mot de Claude Bernard: « seul un esprit bien préparé peut se servir d'une observation accidentelle ». On ne peut donc pas, d'ajouter le Dr Selye, solliciter des fonds de recherche en disant que « l'on veut faire une découverte importante », car toute planification dans ce sens est impensable. On cherche quelque chose et on arrive souvent à un but tout à fait inattendu.

La logique formelle n'a rien à voir ici. C'est après, lorsque la découverte a été faite, qu'il faut planifier, organiser soigneusement les expériences qui confirmeront ou infirmeront la découverte et, si possible, qui conduiront aux applications.

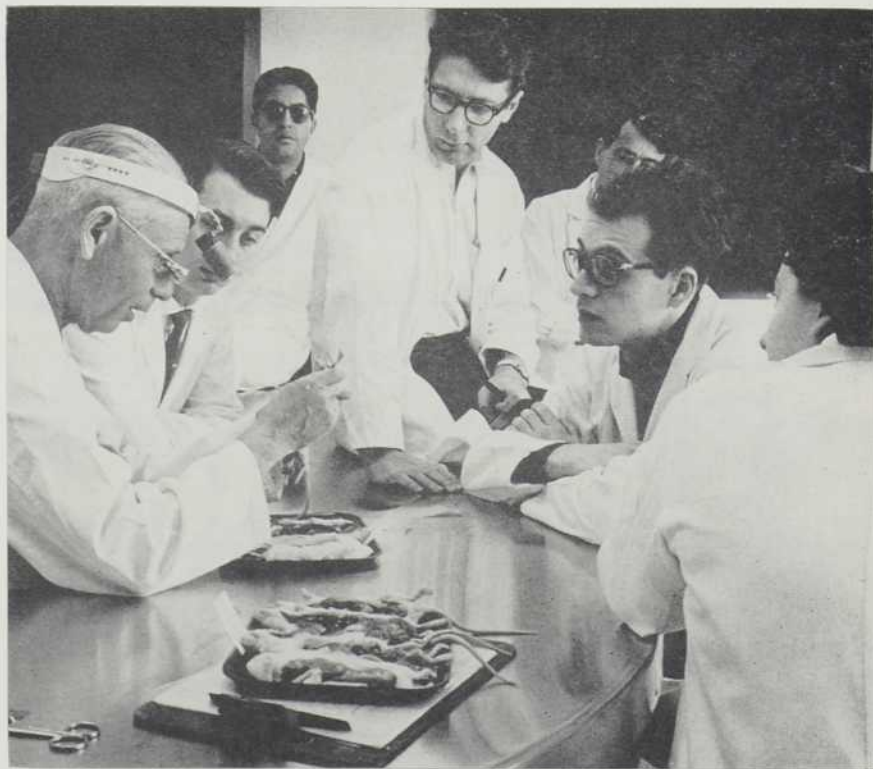
Comme il est difficile d'analyser l'évolution d'une idée qui a conduit à une observation nouvelle, seul le chercheur qui a vécu un tel moment saura le raconter adéquatement. C'est pourquoi le Dr Selye s'en est tenu à deux découvertes personnelles: le concept de stress et la « calciphylaxie ».

C'est en 1936 qu'il faisait paraître son premier article sur le stress; depuis, au moins 40.000 articles ou communications ont été publiés sur le

sujet, par de nombreux auteurs, dans le monde entier.

Sans le définir et sans lui donner un nom, le Dr Selye avait eu l'intuition du syndrome de stress pendant ses études de médecine à Prague, c'est-à-dire d'un état général se manifestant chez toute personne mala-

de, quelle que soit la maladie. Vers 1936, dans le département de biochimie de l'Université McGill, le Dr Selye cherchait une nouvelle hormone ovarienne qui, supposait-il, aurait des propriétés différentes des autres: tous les extraits de ces hormones produisaient le même syndrome, une constellation de phénomènes. En



Chaque matin, le docteur Selye donne son cours. Cette période est sacrée. Ici, on le voit, en compagnie de quelques élèves, étudier une série de rats sur lesquels on a tenté de provoquer certaines réactions.

bonne logique, il devait exister une hormone encore inconnue qui agissait dans tous les cas de façon identique. Pourtant, après de nombreuses expériences, il fallut admettre que rien de tel n'existait puisqu'on arrivait aux mêmes effets avec des médicaments toxiques. C'est alors que le Dr Selye se rappela l'idée de ses années universitaires. En somme, une expérience ratée le conduisit à une découverte puis à la démonstration que le « stress » est l'usure qui se produit inévitablement dans tout organisme vivant et qui mesure la vitalité d'un individu.

Plus tard, c'est également par hasard qu'il a constaté que le stress pouvait provoquer l'infarctus du myocarde. A l'aide de différents produits chimiques et de conditionnements, il cherchait l'effet du stress sur le rein. Malgré de nombreuses expériences, on ne trouvait aucun dommage de ce côté. Mais un jour il s'avisa d'examiner de nouveau des cadavres de ses animaux rejetés: tous avaient développé un infarctus du myocarde. Observation qui est le point de départ de recherches cliniques en réalisation dans plusieurs pays. C'est aussi à partir de là qu'il a observé dans ces cas que les animaux avaient une déficience de potassium et que, si l'on donne du potassium à un animal « stressé », il n'y a pas d'infarctus du myocarde.

La « calciphylaxie » ou accumulation de calcium est le mécanisme le plus extraordinaire que j'aie ren-

contré, a déclaré le Dr Selye. Cela aussi nous l'avons trouvé par hasard.

« Nous avons donné à de jeunes rats certaines substances dérivées du groupe de la vitamine B, en vue de produire des lésions cardiaques chez ces animaux soumis à des stress. Seuls les sujets n'ayant reçu que la substance chimique DHT devinrent très malades et l'un de mes assistants s'aperçut qu'ils perdaient leurs poils dans le cou et sur la tête. En y regardant de près, on voyait qu'à ces endroits la peau était devenue dure. J'arrachai quelques poils sur le dos, pour examiner la peau: or, 24 heures plus tard, la peau était calcifiée uniquement à l'endroit de l'épilation. La sensibilisation au DHT avait été telle qu'il avait suffi d'un traumatisme aussi léger pour provoquer l'accumulation de calcium. Cette fois encore, une expérience ratée nous avait conduits à quelque chose de très intéressant ».

Il serait trop long de relater toutes les expériences de calciphylaxie localisée volontairement. Voici cependant comment ces recherches furent amorcées. On avait injecté une certaine substance dans le sang d'animaux sensibilisés à la vitamine B. Trois jours après, une laborantine accourt, surexcitée: toutes les femelles sont en gestation avancée! Comment expliquer cela puisqu'il n'y avait aucun mâle dans le laboratoire? On se hâte d'autopsier les animaux: pas de gestation, mais c'est l'estomac qui est fortement dilaté. Le Dr Selye

prend sa loupe et découvre sur un muscle de petites taches de calcification; un examen plus attentif révèle ensuite que la substance injectée avait accumulé du calcium dans les muscles, par ailleurs.

Avant de clore sa conférence, le réputé professeur traçait un portrait de l'homme adonné à la recherche scientifique. D'abord, pourquoi se lance-t-on dans cette carrière? Pour le bien de l'humanité? Motif rare, il faut l'admettre. Il y a plutôt une passion innée; on l'a en soi, comme on a un vice ou autre chose. Le choix du sujet, c'est l'affaire la plus difficile pour le jeune chercheur qui serait tenté de faire des recherches « planification ». « Il faudrait, dit le Dr Selye, encourager l'approche intuitive d'un problème, et aussi habituer l'esprit à la synthèse, question trop négligée dans l'éducation ». Faut-il entretenir des préjugés? Certainement, pourvu qu'ils soient contrôlés: si on ne juge pas avant de tenir une preuve solide, on risque de ne rien faire. Et qu'on se garde bien d'une fausse modestie: les savants en sont fort dépourvus, autrement ils n'auraient confiance ni en eux-mêmes ni en leur intelligence.

#### LE STRESS

Les lecteurs intéressés à s'instruire davantage sur cette question comme à suivre les propos fort attachants du Dr Selye pourront lire cet ouvrage: « *Le Stress de la Vie* », par le Dr Hans Selye, édité chez Gallimard, Paris, 1962, 1-147 pages; numéro 40 de la collection « L'avenir de la science ».

LA REDACTION

### Un refuge d'oiseaux dans l'Arctique

Le ministre du Nord canadien et des Ressources nationales, M. Arthur Laing, annonçait récemment que l'île Bylot au large de la côte nord de l'île Baffin, était déclarée refuge d'oiseaux migrateurs.

L'île Bylot est le principal lieu de reproduction de la Grande Oie blanche qui passe l'hiver dans les eaux côtières s'étendant de la baie de Chesapeake à la Caroline du nord. Chaque automne, la chasse à cet oiseau se pratique uniquement dans la région du cap Tourmente, à l'est de Québec. C'est la seule étape importante, au printemps et à l'automne, à l'occasion des migrations entre les

lieux d'hivernage et la région de reproduction.

L'île Bylot se trouve à proximité d'une grande venue de minéral de fer récemment découverte au nord de l'île Baffin, mais l'exploration minière de même que toute autre activité qui pourrait déranger les oiseaux sont interdites dans le refuge durant la saison de nidification. Les Esquimaux auront quand même le droit de porter des armes à feu et de faire le piégeage des animaux à fourrure dans le refuge. Les chiens de traîneau seront aussi admis dans l'île, mais il sera interdit de les laisser courir en liberté lorsque les oiseaux migrateurs s'y trouveront.

Le Service canadien de la faune, chargé de l'exécution de la Loi sur la Convention concernant les oiseaux migrateurs, a recommandé l'établis-

sement de ce refuge d'oiseaux. C'est le quinzième refuge de ce genre à être établi dans l'Arctique canadien.

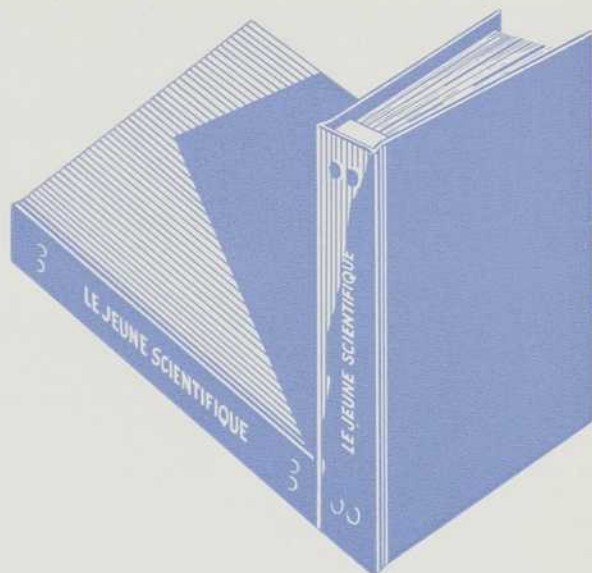
Au cours de l'été, l'île Bylot qui a une superficie de quelque 4,200 milles carrés, abrite environ 60% de la population mondiale des Grandes Oies blanches. Elle est également fréquentée par de fortes colonies de marmettes et de mouettes tridactyles. Une calotte glaciaire recouvre en permanence le tiers de l'île au nord, mais des carex et de nombreuses autres plantes croissent en abondance dans la région sud-ouest fréquentée par les oies.

Ce refuge d'oiseaux de l'île Bylot porte à 43,887 milles carrés l'étendue globale des refuges d'oiseaux au Canada, dont 42,922 milles carrés sont situés dans les Territoires du Nord-Ouest.

## Pour conserver votre volume

Le 3e volume du *Jeune Scientifique* se terminait avec le numéro de mai 1965. Conservez la collection des 8 numéros, ceux du 3e et ceux des 1er et 2e volumes, en vous procurant les reliures mobiles.

La « reliure-cartable » est préparée spécialement pour retenir ensemble, sous une même couverture solide, les 8 numéros de chaque volume. Chaque numéro ou brochure peut ensuite se détacher facilement pour la consultation. Cette reliure-cartable est en vente, au bureau de la revue, à \$2.00 l'unité plus les frais d'envoi.



## Les auteurs de ce numéro

### Rédacteurs :

#### Pages

- 1 Présentation du quatrième volume, par Léo Brassard, c.s.v., directeur du *Jeune Scientifique*.
- 2 Les eaux souterraines, ressources inexploitées, 1er article, par Ira C. Brown, Commission géologique du Canada, Ministère des Mines et des Relevés techniques, Ottawa. Avec la permission spéciale de l'éditeur, reproduit du *Canadian Geographical Journal*, vol. LXIX, no 6, livraison de décembre 1964.
- 8 Le tricentenaire de la mort du mathématicien Pierre de Fermat, par N. T. Gridgeman, statisticien, Division des Sciences biologiques, Conseil national de Recherche, Ottawa. Traduction française de Guy Gavrel, rédacteur scientifique au Conseil national de Recherches, Ottawa.
- 11 L'étude des oiseaux: deux récentes publications, par Léo Brassard, c.s.v., directeur du *Jeune Scientifique*.
- 12 Les satellites météorologiques, 1er article d'une chronique sur l'astronautique, par Alphée Nadeau, B. Sc., professeur au Collège Sainte-Anne, La Pocatière, Qué.
- 17 Cohérence et Masers, par Jacques Vanier, Ph.D., physicien, *Varian Associates (Quantum Electronic Devices)*, Beverly, Massachusetts, E.-U.

#### Pages

- 23 Le Dr Selye parle aux étudiants, par Roland Prévost, journaliste à *La Presse*, Montréal.
- 24 Un refuge d'oiseaux dans l'Arctique, communiqué du Ministère du Nord canadien et des Ressources nationales, Ottawa.

### Photographes, dessinateurs :

- 2-7 Les eaux souterraines, ressources inexploitées, photos et diagrammes de la Commission géologique du Canada, Ministère des Mines et des Relevés techniques, Ottawa; page 3: le cycle hydrologique d'après un diagramme du *U.S. Geological Survey*.
- 8-9 Photos du mathématicien Fermat gracieusement obtenues de N. T. Gridgeman, division de la biologie, Conseil national de Recherche, Ottawa.
- 13-15 Les satellites météorologiques, photos de la *National Aeronautics and Space Administration*, gracieusement fournies par le Service de l'information des Etats-Unis, Ottawa.
- 17-22 Cohérence et Masers, dessins de Rosaire Goulet, Québec, d'après les diagrammes de Jacques Vanier, Ph.D.; page 21: un maser à hydrogène, photo de *Varian Associates, Q.E.D.*, Beverly, Mass., U.S.A.
- 23 Photo du Dr Selye fournie par Roland Prévost.

# Participerez-vous à la campagne d'abonnements du JEUNE SCIENTIFIQUE ?

Au début de cette année scolaire 1965-66, votre revue réclame l'aide de ses jeunes amis pour atteindre son objectif d'abonnements au 4e volume.

L'abonnement peut être adressé à un responsable de groupe ou à une personne en particulier.

L'abonnement de « groupe-étudiants » comprend 15 abonnements ou plus à une même adresse; le responsable bénéficie alors d'un escompte de 5% sur chaque abonnement.

Chaque abonnement de groupe coûte \$2.00 tandis que l'abonnement individuel coûte \$3.00.

---

Si vous êtes lecteur assidu du JEUNE SCIENTIFIQUE, pourquoi n'en devenez-vous pas un propagandiste actif? Pourquoi ne pas recruter une quinzaine d'abonnements parmi vos amis, vos compagnons, pourquoi ne pas réunir un « abonnement de groupe » et participer de cette façon à la présente campagne d'abonnements?

Participez à la diffusion d'une revue qui se propose uniquement la vulgarisation des sciences dans les écoles et collèges d'expression française du Québec.

---

Avec ce numéro, LE JEUNE SCIENTIFIQUE commence sa 4e année d'existence. Il a déjà publié 24 numéros ou brochures d'information scientifique, soit une série de trois volumes de 192 pages chacun, contenant plus de 60 articles abondamment illustrés, rédigés par des spécialistes des sciences naturelles et exactes.

---

Ecrivez dès aujourd'hui, demandez des formules d'abonnements ainsi que la « Liste des publications ». Adressez votre demande :

*Le Jeune Scientifique, case postale 6060, Montréal 3.*



**le jeune  
scientifique**  
PUBLICATION DE L'ACFAS

Case postale 6060, Montréal 3, P.Q.