

6

J-69



le jeune scientifique

PUBLICATION DE L'ACFAS



VOLUME 4
NUMÉRO 6
MARS 1966



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
Jean-Louis Meunier
Guy Paquette
Roland Prévost

COMITÉ DE RÉDACTION

Réal Aubin
Jean-R. Beaudry
Jean-Pierre Bernier
Michel Brochu
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

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, 1966.
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.

Volume IV, no 6

mars 1966

SOMMAIRE

- 121 Le télescope amateur à la portée de tous
- 125 L'Observatoire de radioastronomie du Parc Algonquin
- 126 Qu'est-ce que l'ionosphère?
- 129 Le Département de physique de l'Université de Montréal en 1966
- 132 Présentation et commentaires de cartes sur le Nouveau-Québec
- 138 La formation de la précipitation
- 142 Les vecteurs et la notion d'espace

Photo-couverture : au cours du printemps 1966, le radiotélescope de 150 pieds de diamètre (illustré en couverture) de l'Observatoire de radioastronomie du Parc Algonquin, en Ontario, entrera en service. Cette antenne est surtout destinée à l'observation de micro-ondes à des longueurs variant de 3 à 21 cm. D'autres renseignements sur cet observatoire sont donnés en page 125 de ce numéro. (Photo de l'Office national du Film, O.N.F., Ottawa).

Le télescope amateur

1er article

à la portée de tous

par Jacques LABRECQUE

Quand on songe aux progrès accomplis par l'astronomie au cours des derniers siècles, il nous vient immédiatement à l'esprit l'idée de grands télescopes abrités dans des coupôles imposantes et munis d'une multitude d'instruments auxiliaires empruntés aux domaines de l'optique et de l'électronique!

Il est vrai que d'imposantes découvertes ont été effectuées depuis le début du siècle avec la mise au point d'instruments géants, mais l'astronomie a tout de même continué d'évoluer avec l'aide de modestes instruments utilisés par des observateurs attentifs et patients. Plusieurs disciplines de l'astronomie sont redevables de leur succès à l'emploi intelligent de petits instruments qu'en ont fait des astronomes amateurs.

Il faut compter l'étude des étoiles variables, la recherche de comètes périodiques ou nouvelles, la cartographie lunaire (sélénographie), l'étude des surfaces planétaires, les occultations d'étoiles par la lune et combien d'autres!

La possession d'un instrument astronomique n'implique pas nécessairement des recherches spécialisées car il se passe dans le ciel un nombre imposant de phénomènes qu'il est intéressant d'observer dans le seul but de s'instruire et aussi pour le propre plaisir de la contemplation.

Les phases de la lune et quant à cela celles de Vénus deviennent des descriptions graphiques

des lois de la mécanique; les détails colorés visibles sur les surfaces des planètes Mars, Jupiter et Saturne sont les objets de beauté, ainsi en est-il des étoiles qui ont toutes leurs propres couleurs.

Tellement imposante serait l'énumération de tout ce qu'un instrument de modeste dimension peut nous faire apprécier qu'il est inutile de tout aborder ici. Il faut mettre au rancart l'idée que pour contempler le ciel l'homme doit paraître petit à côté de son instrument!

Nous allons nous borner à la description et à la construction d'un télescope de quatre à six pouces de diamètre à la portée d'un budget assez modeste. Mais avant d'entrer dans les détails de la construction, il est préférable de faire une excursion en optique afin de définir les termes utilisés quant aux différents genres d'instruments.

Lunettes et télescopes

Les lunettes astronomiques et les télescopes sont des instruments d'optique destinés à l'observation d'objets situés à de grandes distances ou à l'infini et qui servent à grossir ou à amplifier leurs dimensions angulaires apparentes. Il est d'observation courante qu'un arbre, par exemple, de dimension moyenne, placé à cent pieds de nous, paraîtra plus gros que s'il est

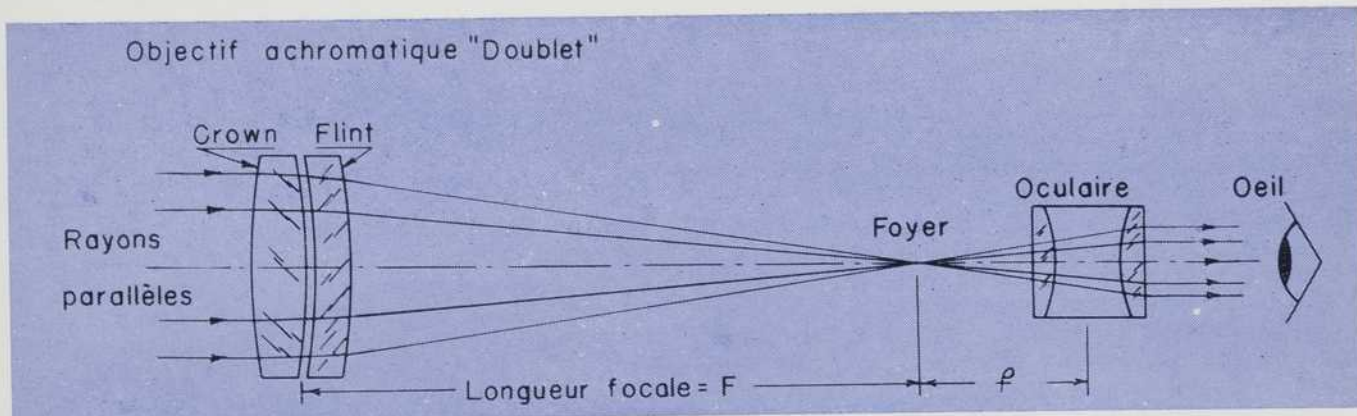


Figure 1 Schéma de la lunette astronomique. Il existe plusieurs variétés de doublets achromatiques; la forme représentée est la plus courante. La longueur focale de l'objectif est toujours très grande relativement à celle de l'oculaire. L'oculaire est toujours composé de plus d'une lentille.

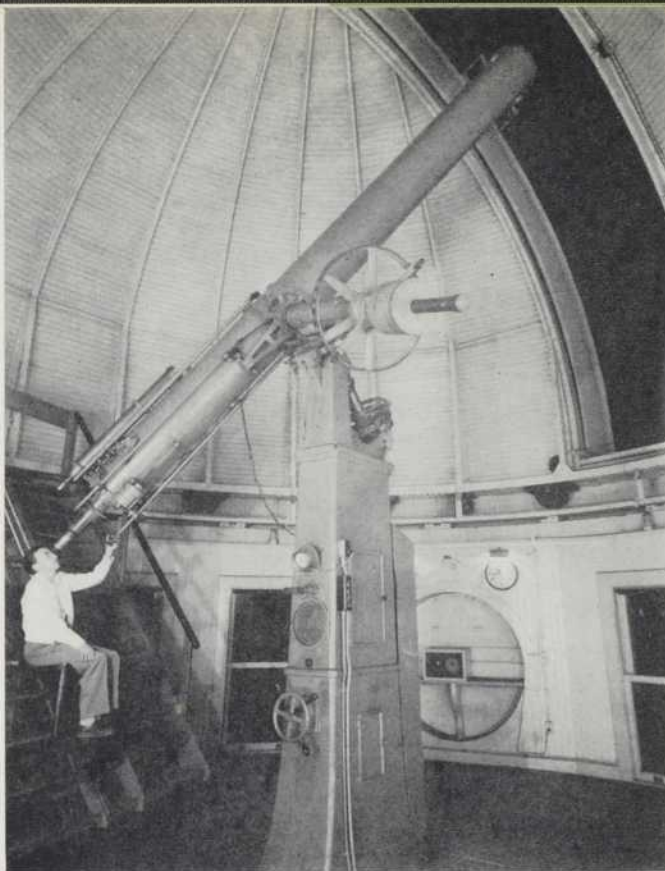


Figure 2

La grande lunette avec objectif de 15 pouces de l'Observatoire fédéral d'Ottawa.

La longueur focale de ce réfracteur est de 225 pouces. L'instrument est abrité sous un dôme que l'on peut tourner à volonté.

A remarquer la monture équatoriale et l'imposant pilier qui contient dans son enceinte le mouvement d'horlogerie destiné à faire suivre à la lunette le mouvement des astres.

placé à mille pieds. Lorsqu'il est proche nous pouvons remarquer beaucoup de détails de sa structure, ses feuilles, son écorce et ses branches. A mille pieds d'autre part, les petits détails auront disparu ne laissant entrevoir que la structure grossière, tronc et feuillage. Les feuilles individuelles auront disparu; ceci provient du fait que notre oeil ne peut résoudre ou séparer des détails trop petits lorsqu'ils sont projetés sur sa rétine. L'on dira que le pouvoir résolvant de l'oeil est insuffisant pour des détails trop peu séparés ou trop tassés. Si nous ne pouvons nous approcher de l'arbre et cependant que nous voulions étudier sa fine structure il faudra contourner la difficulté en faisant paraître l'arbre, par le truchement de l'optique, comme s'il était à cent pieds. L'instrument dont on se servira sera alors une lunette ou un télescope.

La lunette est composée d'une lentille frontale appelée « objectif », car dirigée vers l'objet, qui sert à former d'un objet infiniment éloigné une image « réelle » à son foyer. La distance du foyer à l'objectif est communément appelée distance ou « longueur focale » (L.F.). Plus cette distance sera grande, plus l'image le sera aussi. Nous arrivons au point crucial qui permet d'expliquer le grossissement de la lunette. L'image réelle aura cette qualité qu'elle pourra être placée près de l'oeil. Cependant si nous approchons l'oeil tout près nous ne pourrions rien voir car notre oeil fonctionne normalement pour des rayons parallèles ou légèrement divergents.

Mais si l'on interpose entre l'oeil et le foyer de l'objectif une lentille de courte distance focale

de façon à faire coïncider les deux foyers, les rayons issus de cette dernière lentille seront parallèles et l'oeil pourra s'y adapter facilement. Nous verrons alors une image agrandie de l'objet. (Figure 1).

Cette dernière lentille, appelée « oculaire », car elle est située normalement près de l'oeil (*oculus*) aura, pour ainsi dire, permis d'approcher comparativement l'oeil plus près de l'image réelle qu'il ne l'était de l'objet réel. Donc, l'objet est vu sous un angle plus grand qu'en réalité, tout comme s'il était rapproché: il y a grossissement.

Le grossissement pour un objet situé à une grande distance ou à l'infini, pour un astre, est donné par le rapport F/f , où « F » est la longueur focale de l'objectif et « f » celle de l'oculaire.

Par exemple, si l'objectif a une distance focale de 10 pouces et l'oculaire d'un pouce, le grossissement sera de dix fois (10X) et notre arbre à 1,000 pieds paraîtra être à 100 pieds avec tous les détails visibles que cette distance implique.

A part la notion de longueur focale, il faut considérer l'éclairement de l'image donnée par l'objectif. Plus le diamètre de ce dernier sera grand pour une longueur focale déterminée plus sa superficie le sera aussi et par conséquent il « collectera » plus de lumière.

La notion d'ouverture relative est communément employée pour désigner cette dernière qualité. Revenant à notre objectif de 10 pouces de L.F., s'il a un diamètre de 1 pouce on dira que son ouverture relative est de 1 sur 10, expression généralement écrite sous la forme $F/10$, c'est-à-dire, $L.F. \div 10 = 1$ pouce de diamètre. Si le même objectif avait un diamètre de 2 pouces, son ouverture serait de $F/5$ et l'éclairement de l'image serait quatre fois plus grand qu'à $F/10$: la superficie de l'objectif variant avec le carré du rapport de diamètre.

On verra plus loin qu'il y a un prix à payer pour avoir un objectif très ouvert, c'est-à-dire, à faible rapport focal !

Objectifs astronomiques

Il y a deux sortes d'objectifs astronomiques, la lentille achromatique et le miroir concave réfléchissant: les deux ont une puissance positive, c'est-à-dire, qu'ils sont convergents pour de la lumière incidente parallèle.

a) L'objectif achromatique

L'objectif achromatique ou doublet est composé de deux verres différents, l'un convexe et l'autre concave. Ces deux verres, *crown* et *flint*, sont nécessaires pour l'annulation des défauts dus à la couleur d'un verre simple, défauts appelés plus correctement « aberrations chromatiques » (*chroma* = couleur).

Ces types d'objectifs se trouvent autant dans les jumelles que dans les grandes lunettes astronomiques; exemple, l'objectif de 15 pouces de l'observatoire d'Ottawa. (Figure 2).

Une distinction est de mise ici pour éviter la confusion avec les termes anglais. Dans cette dernière langue, le mot « télescope » signifie tout instrument destiné à rapprocher les objets très lointains (*télé* = loin, *scopein* = voir): il englobe également les instruments avec objectifs à lentilles ou à miroirs. Mais, en français, si l'objectif est composé de lentilles l'on devra dire « lunette » et en astronomie « lunette astronomique ».

Le mot « télescope », très français d'ailleurs, est consacré par l'usage à l'instrument dont l'objectif est un miroir concave sphérique ou parabolique.

Nous allons nous occuper de l'étude et de la construction d'un télescope.

b) Objectif réflecteur — miroir concave.

Le télescope jouit d'un avantage en regard de son homologue, la lunette, en ce que son objectif ne requiert qu'une surface à tailler et à polir. Un faisceau de lumière parallèle (la lumière provenant d'un objet très éloigné ou d'un astre est parallèle) incident sur un miroir sphérique concave recouvert d'une couche d'argent ou d'aluminium est réfléchi et converge vers le foyer où il se forme une image réelle. La longueur focale d'un miroir est égale à la moitié de son rayon de courbure. En théorie, tout ce qu'il faut pour en faire un télescope est un oculaire disposé de façon à ce que les deux foyers coïncident tel qu'énoncé plus haut; c'est le télescope de Newton. (Figure 3).

Mais en pratique, il n'en est pas ainsi pour les raisons suivantes: le diamètre et la longueur focale du miroir, donc l'ouverture relative, entreront en jeu pour fixer l'importance de l'aberration de sphéricité du miroir. Voilà une nouvelle notion qui a une grande importance et que nous allons préciser.

Si nous nous référons à la figure 4, nous remarquerons que les trois rayons lumineux incidents sur le miroir sphérique ne se rencontrent pas sur l'axe optique au même point: ils sont étalés. Le rayon marginal M qui touche le bord du miroir est réfléchi plus fortement et rencontre l'axe du miroir en un point situé plus près de son sommet que les rayons zonal Z et paraxial P. C'est là une propriété inaltérable de

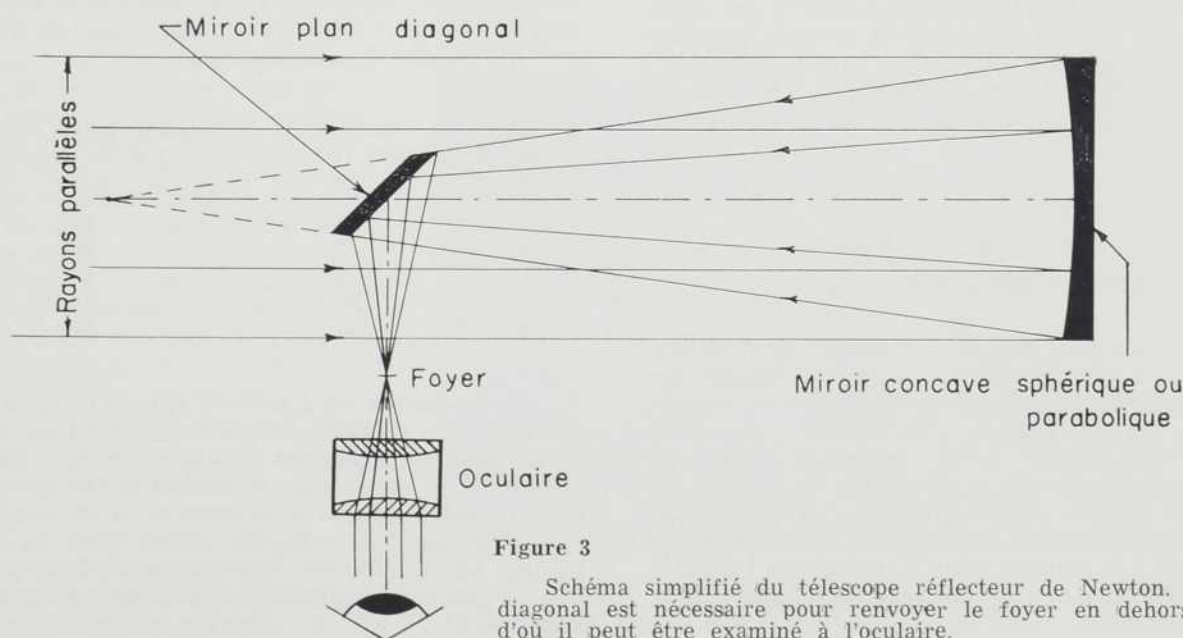


Figure 3

Schéma simplifié du télescope réflecteur de Newton. Le miroir diagonal est nécessaire pour renvoyer le foyer en dehors du tube d'où il peut être examiné à l'oculaire.

la sphère pour un faisceau parallèle; elle manque suffisamment de courbure pour diriger les rayons zonaux et paraxiaux au point M d'intersection du rayon marginal.

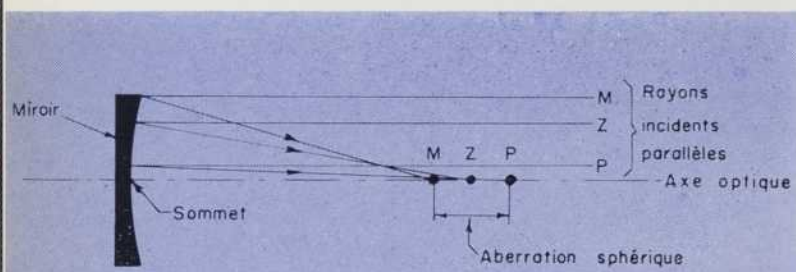


Figure 4

Le défaut qui en résulte est appelé « aberration de sphéricité » et très souvent, mais à tort, aberration sphérique. Il faut bien comprendre qu'une aberration, terme abstrait, ne peut être sphérique, mais on s'entend ! La distance axiale MZP est l'aberration sphérique longitudinale et il est facile de comprendre que si elle est grande l'image d'une étoile sera étalée et qu'il n'y aura aucun plan bien défini de mise au point. L'image floue et incertaine ne pourra être agrandie par un oculaire.

Cette dernière aberration ainsi que l'aberration chromatique sont toutes deux très nuisibles à la qualité d'une image; heureusement que dans le cas du miroir il n'y a pas de dispersion des couleurs et par conséquent, aucune aberration chromatique.

Il est vrai que le doublet, c'est-à-dire, l'objectif à lentille, corrige simultanément ces deux aberrations, mais il est composé de deux lentilles chacune ayant deux surfaces à tailler et à polir, ce qui demande quatre surfaces en tout contre une pour le miroir; d'où la popularité du télescope.

Ouvertures relatives pour usage astronomique

Nous venons de voir que l'aberration de sphéricité pose une limitation à la qualité de l'image du miroir concave. Cette aberration, pour une longueur focale donnée, croît avec le carré du diamètre du miroir. Ainsi, pour un miroir de quatre pouces de diamètre et de 40 pouces de longueur focale, c'est-à-dire, d'ouverture relative F/10, elle sera de .0125 pouce. Si le diamètre est doublé à 8 pouces, sans changer de L.F. elle devient .0500 pouce et l'ouverture relative F/5, évidemment.

On peut en tirer une loi simple, juste au premier ordre, que l'aberration sphérique varie inversement avec le carré du nombre d'ouverture, ce qui s'exprime mathématiquement par la relation suivante:

$$\left(\frac{F/5}{F/10}\right)^2 = \left(\frac{10}{5}\right)^2 = \frac{\text{Aberration sphérique à } F/5 \text{ } .0500''}{\text{Aberration sphérique à } F/10 \text{ } .0125''}$$

Il est donc utile de se rappeler l'avantage d'un rapport d'ouverture assez faible, c'est-à-dire, d'une grande longueur focale relativement au diamètre pour un miroir sphérique afin d'obtenir le minimum d'aberration.

Cependant, jusqu'ici, rien ne nous indique si la quantité d'aberration elle-même, .0125'' ou .0500'', soit tolérable dans la formation d'une image de qualité.

Il existe, en optique, des tolérances qui spécifient si une aberration quelconque sera tolérable dans la performance d'un système. Ces tolérances sont basées sur des études effectuées par Lord Rayleigh en prenant en considération la nature ondulatoire de la lumière. Il est inutile de rappeler cette théorie compliquée, mais le résultat pratique est que si le front d'onde émergeant du miroir ne s'écarte pas d'une sphère par plus d'un quart de longueur d'onde lumineuse, la performance de l'objectif sera parfaite. Ceci revient à dire que la surface du miroir, où l'erreur est doublée par réflexion, doit être précise à un huitième de longueur d'onde, soit 1/400,000 de pouce.

Il est possible d'élargir cette tolérance dans le cas d'une surface très régulière, c'est-à-dire, où il n'y aurait pas de défauts zonaux. Le tableau suivant indique les diamètres, ouvertures relatives et longueurs pour lesquels il est permis de se servir d'un miroir sphérique et d'obtenir des résultats satisfaisants.

Diamètre (pouces)	Ouverture relative (F/D=m)	Longueur focale minimum (L.F. en pouces)
D	m	L.F.
3"	8	24"
4"	9	36"
5"	9.6	48"
6"	10.2	61.2"
8"	11.2	89.6"

On remarque qu'à mesure que D croît la longueur focale croît encore plus vite, de telle sorte, qu'au delà de 8 pouces de diamètre elle devient excessive. Il est donc préférable de se limiter à un diamètre de 3 à 6 pouces et à la longueur focale minimum indiquée. Ainsi pour un diamètre de 4 pouces, un rapport d'ouverture m = F/10 serait idéal et pour 6 pouces on choisirait F/11.

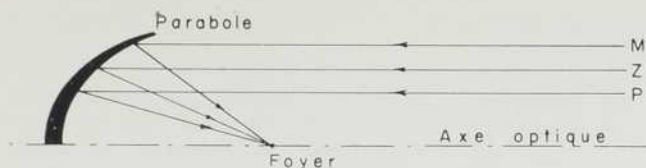


Figure 5

Pour des ouvertures inférieures à celles indiquées, cas du miroir populaire de 6" à F/8, la sphère ne suffira pas à converger les rayons au foyer car l'aberration n'est plus négligeable; il devra être parabolique. Cette dernière courbe, (Figure 5), employée dans les grands miroirs de télescope, est la seule qui puisse faire converger en un seul point (sans aberration sphéri-

que) des rayons incidents parallèles. Elle est plus difficile à obtenir et n'est pas recommandée pour un amateur à son premier miroir.

Toute chose égale d'ailleurs, un bon miroir sphérique est assez difficile à réaliser sans compliquer les choses; d'autant plus qu'ayant épuisé la réserve de tolérance (si on suit fidèlement les dimensions du tableau), il devra être achevé sans bord rabattu, sans zones surélevées ou abaissées et asymétrie !

Dans un prochain article nous verrons comment réaliser la taille d'un miroir sphérique de 4 à 6 pouces et comment vérifier l'exactitude de sa courbure. Les détails seront nécessairement abrégés mais une bibliographie permettra à quiconque intéressé sérieusement à la construction d'un télescope de se procurer le ou les volumes de base.

L'Observatoire de radioastronomie du Parc Algonquin

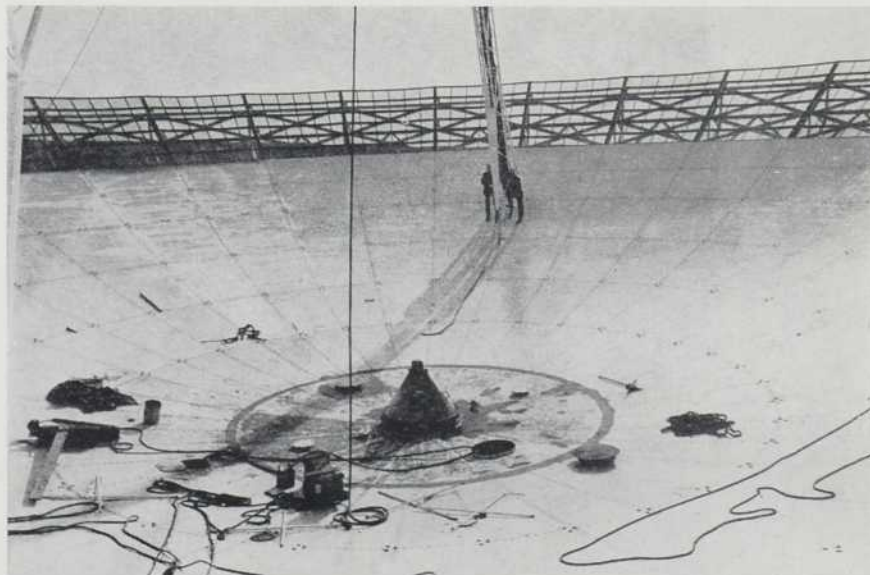
L'astronomie élargit sans cesse son champ d'activité au Canada depuis l'établissement du premier observatoire à Frédéricton, au Nouveau-Brunswick, en 1851. La recherche astronomique moderne au Canada se fait surtout dans les universités et certains organismes fédéraux. L'Observatoire fédéral d'Ottawa, Ontario, et l'Observatoire fédéral d'astrophysique de Victoria (C.B.) forment une Direction du ministère des Mines et des Relevés techniques. Le Conseil national de recherches, par l'entremise de sa Division de radiotechnique et de génie électrique, s'occupe activement de radioastronomie. L'Observatoire Dunlop de l'Université de Toronto est à la fois un centre de recherches en astronomie et une institution d'enseignement au sein du département d'astronomie de l'Université. Parmi les universités possédant des installations de recherches astronomiques moins considérables, il convient de mentionner l'Université Queen's et l'Université Western en Ontario.

La plus récente réalisation canadienne dans le domaine de la radioastronomie est à se terminer à l'Observatoire de radioastronomie Algonquin, au lac Traverse, en Ontario. Cet observatoire comprendra trois grands instruments qui serviront à la radioastronomie générale. Un ra-

diotélescope parabolique de précision, de 33 pieds de diamètre, fonctionne depuis 1963. Le principal instrument de l'Observatoire, une réalisation de la Division de radiotechnique et de génie électrique du Conseil national de recherches, comprend une antenne parabolique de 150 pieds de diamètre dont la construction sera terminée au printemps de cette année 1966. Cette antenne est surtout destinée à l'observation

de micro-ondes à des longueurs d'onde variant de 3 à 21 cm. La grosseur et la précision de cet instrument permettront d'établir la cartographie détaillée d'un grand nombre de régions intéressantes, y compris l'étude de plusieurs radio sources faibles.

L'antenne succède donc au traditionnel télescope, ou plutôt, elle vient compléter l'instrument optique en permettant une plus large exploration des corps célestes. L'astronomie, comme toute autre discipline actuelle, subit des transformations et étend toujours son champ d'action, grâce à la science, à la technique et au génie inventif de l'homme.



La courbure du réflecteur du nouveau radiotélescope est un hommage au génie humain. Elle doit demeurer constante à $\frac{1}{8}$ de pouce près, sur la totalité des 12,800 pieds carrés de sa surface.

La conquête de l'espace

Cette étude de l'ionosphère sera suivie d'un article sur les satellites canadiens « Alouette », dans le prochain numéro. Elle aidera à mieux comprendre le rôle de ces satellites spécialement conçus pour l'étude de l'ionosphère.

C'est au 17^e siècle que l'on entreprit pour la première fois l'étude de l'atmosphère. Torricelli (1608-1647) devint l'initiateur de cette étude lorsqu'il inventa le baromètre en 1643. Quatre années seulement devaient s'écouler avant que Blaise Pascal (1623-1662) ne découvrit l'effet de la pesanteur d'une colonne d'air. A compter de cette date on fit de nombreuses recherches pour arriver à connaître la constitution de cette couche d'air qui environne la Terre et sans laquelle aucune vie ne serait possible.

Avec les années, on découvrit ainsi des régions de l'atmosphère qui différaient notablement les unes des autres. Aujourd'hui ces régions sont connues sous les noms de *tropo-*

Qu'est-ce que l'IONOSPHERE ?

par Alphée NADEAU

sphère, stratosphère, mésosphère et ionosphère selon qu'elles sont à des altitudes de plus en plus grandes.

La découverte de l'ionosphère fut le résultat direct de la tentative de Marconi (1874-1937) de relier l'Europe avec l'Amérique par radio-téléphonie ou télégraphie sans fil. En effet, les calculs des experts démontraient que l'onde radio ne pouvait avoir une portée suffisante pour relier deux points du globe aussi distants que l'Europe et l'Amérique.

Pourtant l'expérience du 12 décembre 1901 n'en fut pas moins un succès au grand étonnement de tous les scientifiques de l'époque. Il fallait trouver une explication. Ce fut la suivante : les ondes radio avaient dû

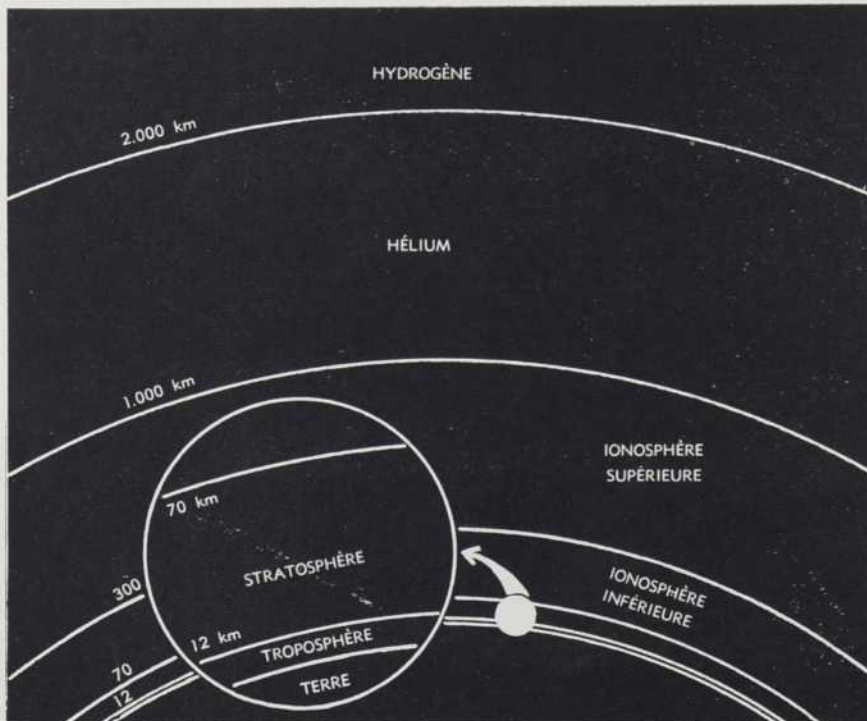
être réfléchies par l'ionosphère, dite alors « couche de Heaviside-Kennelly », une couche d'électrons située dans la haute atmosphère. Grâce à cette couche électronique, l'impossible s'était produit, l'Europe écoutait l'Amérique, l'Amérique entendait l'Europe.

Nul besoin de dire que l'on entreprit une étude poussée de cette nouvelle région de l'atmosphère. C'est ainsi que l'on découvrit que les radiations du Soleil sont absorbées par l'ionosphère. Ce faisant, celle-ci libère des ions positifs de même que des électrons. Ces particules proviennent de la scission des molécules d'air sous l'effet des radiations solaires. L'ionosphère devient alors un conducteur électrique qui possède la propriété de réfléchir les ondes radio.

Structure de l'ionosphère

Il est prouvé aujourd'hui que la réflexion, l'absorption et la réfraction des ondes radio par l'ionosphère sont directement reliées à la densité électronique, c'est-à-dire au nombre d'électrons contenus dans cette partie de l'atmosphère. Mais comme les électrons sont produits par l'absorption des radiations du Soleil, les propriétés de l'ionosphère dépendent finalement des éruptions solaires.

Une des découvertes de ces dernières années, réalisées grâce aux fusées et aux premiers satellites artificiels, démontre que la densité électronique n'est pas constante dans l'ionosphère mais varie avec l'altitude. L'ionosphère est en quelque sorte stratifiée. Elle comprend quatre régions différentes : les régions D, E, F₁ et F₂.



La région D

Cette région de l'ionosphère est la plus près du sol. Elle se situe entre 50 et 85 kilomètres d'altitude. Sous l'effet des rayons X et des rayons cosmiques, plusieurs ions différents y sont formés. Entre autres on y trouve de l'oxyde nitrique (NO^+) et de l'oxygène moléculaire (O_2^+). On ne peut facilement mesurer la quantité d'électrons formée sous l'effet de ces radiations mais les derniers résultats obtenus donnent une concentration maximale de 1000 électrons par centimètre cube à une altitude d'environ 80 km.

La principale caractéristique de la région D est sa disparition à peu près complète durant la nuit. C'est-à-dire que le nombre d'électrons tombe pratiquement à zéro au cours de la nuit pour réaugmenter durant le jour. Il en résulte que l'absorption nocturne des ondes radio est moins grande que l'absorption diurne dans cette couche ionosphérique.

La région E

Située entre 85 et 140 kilomètres, cette région de l'ionosphère possède deux sources principales d'ionisation : les rayons X et les rayons ultra-violet du Soleil (170-1027 Å). On sait maintenant que les rayons ultra-violet forment la plus importante source d'ionisation dans cette partie de l'ionosphère et que sa concentration électronique dépend surtout de l'ionisation de l'oxygène moléculaire (O_2^+). On y trouve aussi de l'oxyde nitrique (NO^+) et de l'oxygène monoatomique (O^+).

La densité électronique maximale se situe aux environs de 150,000 électrons par centimètre cube à une altitude de 105 km. C'est là une concentration typique vers midi, lorsque le cycle solaire est à son minimum. On peut actuellement prédire avec une assez bonne précision les variations de la densité électronique laquelle dépend de l'heure, du jour, de la saison, de la latitude et du cycle solaire.

Cette région de l'ionosphère connaît elle aussi une concentration diurne plus grande que sa concentration nocturne. Les variations saisonnières laissent apparaître pour leur part une concentration électro-

nique maximale durant l'été et minimale durant l'hiver. Enfin, lorsque le cycle solaire atteint son maximum, la densité électronique augmente de 50% environ.

Les régions F₁ et F₂

D'abord considérée comme une région unique, la région F, la troisième et la plus élevée des régions de l'ionosphère, se subdivise maintenant en deux sous-régions, les régions F₁ et F₂. Bien évidente durant le jour, la région F₁ disparaît toutefois la nuit pour se confondre avec la région F₂. L'ionisation dans ces deux régions provient des rayons ultra-violet (170-910 Å) du Soleil.

A la base de la région F, c'est-à-dire dans la région F₁, l'oxygène moléculaire (O_2^+) et l'oxyde nitrique (NO^+) prédominent. Vers le milieu de la région F, l'ion prédominant devient l'oxygène monoatomique (O^+). Ce dernier ion prédomine ainsi jusqu'à une hauteur de 1000 km en période maximale d'activité solaire. Toutefois, la concentration maximale en électrons se situe habituellement vers 170 km (250,000 électrons par cm^3) pour la région F₁.

Par contre, c'est 1,000,000 d'électrons par cm^3 que l'on rencontre habituellement comme concentration maximale dans la région F₂ et cela à une hauteur de 320 kilomètres. De récentes expériences spatiales ont démontré que l'ion le plus abondant au-dessus de 1000 km était l'ion hélium (He^+). Finalement, si l'on monte encore plus haut, c'est l'ion d'hydrogène (H^+) qui prédomine.

La région F₁ se distingue en plus de la région F₂ par le fait que durant la nuit sa concentration en électrons tombe bien en dessous de 10,000 électrons par cm^3 et qu'alors elle devient indistincte de la région F₂. Comme dans le cas de la région D, c'est vers midi que sa concentration électronique est maximale. Cette dernière varie aussi avec les saisons : maximum l'été, minimum l'hiver.

La région F₂, pour sa part, se voit soumise à des variations très brusques au coucher du Soleil de même qu'à son lever, à des variations saisonnières et latitudinales. Sa concentration augmente en plus d'une façon constante à mesure que l'activité du Soleil croît. Finalement, durant la nuit, la hauteur de la concentration électronique maximale varie considérablement.

Un coup d'oeil sur les graphiques et sur le Tableau I accompagnant cet article vous permettra de mieux voir les énormes progrès réalisés depuis le 17e siècle. Devant cette description on pourrait croire qu'il ne reste plus rien à apprendre sur l'ionosphère. Pourtant, la réalité est toute autre. Pour le prouver, qu'il me suffise de rappeler que l'on ne peut encore expliquer à fond ni prévoir les différentes perturbations dont l'ionosphère est l'objet. Bien plus, nous verrons plus loin que l'on s'interroge encore aujourd'hui sur la limite supérieure de l'ionosphère.

Le « black out » polaire

Parmi les perturbations ionosphériques, la plus importante au point

TABLEAU I
Les trois couches de l'ionosphère : comparaison

Couches	D	E	F
Altitude (km)	50 — 85	85 — 140	140 et plus
Principales radiations ionisantes	rayons X rayons cosmiques	rayons X rayons ultra-violet	rayons ultra-violet
Principaux ions	(NO^+) (O_2^+)	(O_2^+) (NO^+) (O^+)	partie inf.: (O^+) (NO^+) partie méd.: (O^+) partie sup.: (He^+) (H^+)
Densité électronique maximale	1,000 élec./ cm^3 à 80 km	150,000 élec./ cm^3 à 105 km	250,000 élec./ cm^3 à 170 km (F ₁) 1,000,000 élec./ cm^3 à 320 km (F ₂)

de vue des communications est sans contredit le « *black out* » polaire, ou une sorte de rupture, d'interruption de la réflexion sur l'ionosphère. Durant une telle perturbation, aucune réflexion radio n'est possible sur l'ionosphère. En conséquence, les ionogrammes (mesures de la densité électronique en fonction de la hauteur) ne peuvent plus être enregistrés. Mais, ce qui est plus grave encore, cette perturbation entraîne l'interruption complète de toute transmission par radio. Cette perturbation serait due, croit-on, à un phénomène d'absorption dans la région D de l'ionosphère. De tels « *black out* » polaires commencent assez lentement, durent plusieurs jours et ne disparaissent que graduellement.

La tempête ionosphérique

Une seconde sorte de perturbations de l'ionosphère porte le nom de « tempête ionosphérique ». Cette dernière se produit d'une façon générale dans le grand Nord canadien, dans la zone des aurores boréales. Elle est caractérisée par une instabilité générale des conditions ionosphériques, une diminution dans la quantité maximale d'ionisation et une augmentation de l'absorption. Durant de telles tempêtes, la fréquence radio la plus élevée encore utilisable tombe beaucoup plus bas que la fréquence habituelle et l'intensité de l'émission radio fluctue rapidement. Aussi n'est-il pas rare de voir les avions cloués au sol et les postes éloignés complètement isolés du reste du monde.

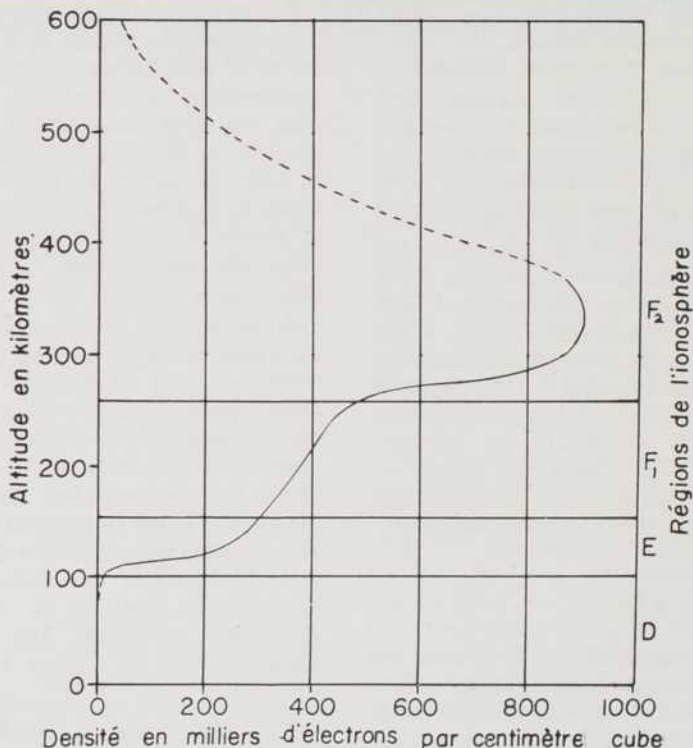
Il faut donc pousser l'étude de l'ionosphère

Il va de soi que si l'on parvient à prédire les « *black out* » polaires et les tempêtes ionosphériques, il y aura déjà un grand pas de fait. Mais, surtout, il serait nécessaire d'en arriver à prévoir quelle fréquence radio donnera un rendement maximum dans de telles occasions, quelle autre fréquence il serait préférable d'utiliser dans d'autres circonstances et ainsi de suite. Pour le moment, la prédiction des tempêtes comme des autres perturbations ionosphériques est peu satisfaisante parce que basée sur des informations incomplètes.

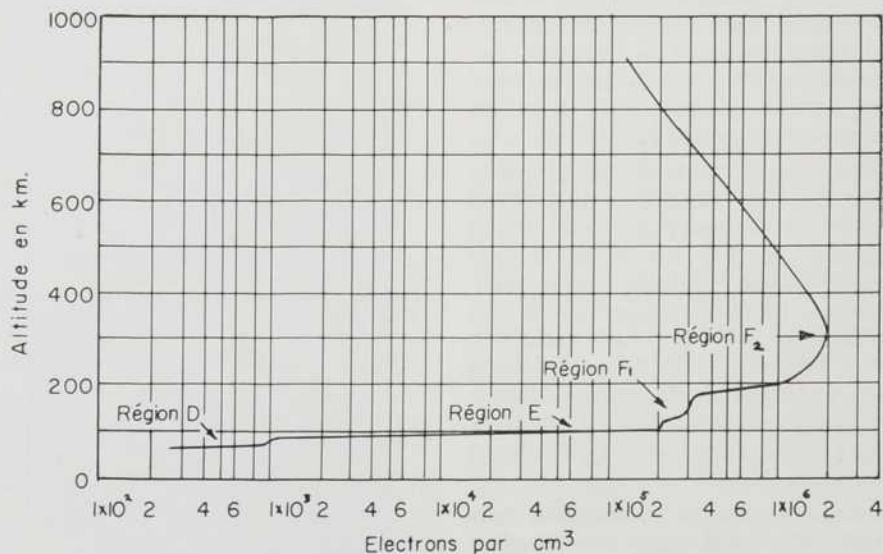
Les « ionosondes »

Le procédé actuel pour prédire la meilleure fréquence à utiliser pour les communications radio consiste à effectuer des observations à l'aide

d'ionosondes. Ce sont des appareils émetteurs qui permettent de connaître la densité électronique de l'ionosphère par réflexion d'ondes sur ses différentes couches. Les renseignements ainsi obtenus furent ju-



Graphique montrant les régions de l'ionosphère et leur densité ou les milliers d'électrons par centimètre cube.



Ce graphique montre la concentration électronique « moyenne » dans l'ionosphère pour une journée d'été. (D'après King-Hele et Townsend, *Science*).

gés suffisamment importants pour que l'on établisse un réseau de 150 ionosondes dans le monde afin de prédire les conditions ionosphériques. Toutefois, ce nombre de stations est bien insuffisant et, de plus, les ionosondes souffrent d'un défaut chronique capital: ils ne permettent de mesurer la densité électronique que dans le premier tiers ($\frac{1}{3}$) de l'ionosphère et par conséquent n'en donnent pas une image en profondeur. Or une telle étude en profondeur s'avère de plus en plus nécessaire comme le laisse voir cette question posée par Sydney Chapman¹ en 1959:

«...There is even reason to believe that the atmosphere may

¹ Sydney Chapman: article cité dans la bibliographie, à la fin de ce texte.

envelop the moon, though the atmospheric gas would obviously be extremely thin at this distance. Where, indeed, can the earth's atmosphere (ionosphère) be considered to end and the sun's begin? »

Ainsi, l'ionosphère, au lieu de s'arrêter à quelque 1000 kilomètres d'altitude, s'étendrait-elle jusqu'à la Lune et même au delà pour se confondre finalement avec l'atmosphère du Soleil?

C'est afin de vérifier de telles hypothèses et de perfectionner notre capacité de prédiction des perturbations ionosphériques que l'on a de plus en plus recours aux satellites artificiels pour sonder cette partie de l'atmosphère.

Dans un prochain article nous verrons ce que le Canada entend faire dans ce domaine grâce à ses deux satellites « *Alouette* ».

Bibliographie

CHAPMAN, Sydney. *The Earth in the Sun's Atmosphere*, *Scientific American*, vol. 201, no 4, oct. 1959, pp. 64-71.

DAVIES, Frank T. *Alouette I & II*, *Physics in Canada*, vol. 21, no 4, Summer 1965, pp. 5-14.

KING-HELE, Desmond. *Satellites and Scientific Research*, Dover Publications, New York, 1962, pp. 100-140.

REEVES, Hubert. *L'Atmosphère*, *Le Jeune Scientifique*, vol. I, no 4, février 1963, pp. 73-75.

WRIGHT, Sir Charles. *The Antarctic and the Upper Atmosphere*, *Scientific American*, vol. 207, no 3, sept. 1962, pp. 74-83.

NASA, Washington, D.C. *From Here, Where? A space mathematics supplement for secondary levels*, 1965, pp. 137-145.

Le Département de physique de l'Université de Montréal en 1966

par Paul LORRAIN

En septembre 1966 le département de physique de l'Université de Montréal aura atteint la majorité. En effet, c'est en septembre 1945 que le professeur Marcel Rouault arrivait de Paris pour fonder un département de physique à l'Université de Montréal.

Il est intéressant maintenant de faire le point et de mesurer le chemin parcouru.

La tâche du professeur Rouault n'était pas facile. Il n'existait à ce moment aucun physicien canadien-français possédant le doctorat ès sciences et l'Université de Montréal n'avait aucune tradition, aucun programme, à peu près aucun appareillage valable dans ce domaine.

Douze ans plus tard, lorsque le professeur Rouault rentra à Paris, le département n'avait fait, en apparence, qu'assez peu de progrès. Le plus important était toutefois accompli: le mouvement était engagé et la période la plus difficile était passée.

C'est durant les cinq ou six années suivantes que le département put atteindre la « masse critique » et en arriver à ce taux de croissance étonnant que les graphiques suivants nous montreront. Au fait, ce taux de croissance est tel qu'il n'est pas possible de le représenter convenable-

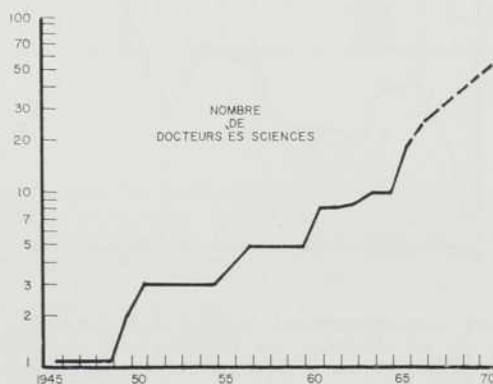


Fig. 1

ment sur un graphique ordinaire et il nous faudra utiliser une échelle logarithmique en ordonnée.

Au total, le département de physique compte maintenant 30 professeurs, boursiers post-doctoraux et chargés d'enseignement, dont 18 docteurs ès sciences. De ces 18 docteurs ès sciences, 17 possèdent un doctorat d'une université autre que l'Université de Montréal (Figure 1).

Ces 30 personnes sont assistées par un personnel non-enseignant de 20 personnes.

Actuellement, 43 étudiants poursuivent des travaux au département de physique en vue d'obtenir la maîtrise ou le doctorat (Tableau I).

Tableau I. Etudiants en recherche au département de physique de l'Université de Montréal.

	Candidats à la maîtrise	Candidats au doctorat	Totaux
Diplômés de l'Université de Montréal	17	4	21
Diplômés d'autres universités	17	5	22
Totaux	34	9	43

On voit que la moitié de ces étudiants sont des diplômés d'autres universités. Parmi ceux-ci, 16 sont des Français.

En plus, 17 diplômés de l'Université poursuivent des travaux de doctorat en physique dans d'autres universités.

Les travaux de recherche au département de physique se font principalement dans les deux domaines suivants: physique nucléaire et physique des plasmas. Dans les deux cas les travaux sont à la fois théoriques et expérimentaux. Pres-



Fig. 2

Le taux d'accroissement moyen des candidats à la maîtrise ou au doctorat au Département de physique a été de 25% par an à l'Université de Montréal, alors que le même taux pour ces degrés augmente de 15% par an au Canada.

que tous les travaux se font en équipe par deux ou plusieurs physiciens assistés de quelques étudiants.

Les travaux d'astrophysique, de géophysique et d'ionographie sont reliés à ceux de physique nucléaire et de physique des plasmas.

Un groupe conjoint biologie-physique effectue des travaux de biophysique sur les effets biologiques des radiations. Ces travaux sont également liés à ceux de physique nucléaire.

Au *Laboratoire de physique nucléaire* on utilise toujours le petit accélérateur Cockroft-Walton de 500 kv construit au département il y a une douzaine d'années, mais le laboratoire sera doté d'ici un an d'un tandem EN pouvant accélérer des protons jusqu'à 15 MeV (millions d'électron-volts) et d'un injecteur de 4 millions de volts à courant élevé.

Ces deux accélérateurs pourront être utilisés, soit indépendamment, soit l'un à la suite de l'autre, pour fournir des faisceaux de protons de 1 à 19 MeV, ou des faisceaux d'ions lourds ayant des énergies allant jusqu'à 100 MeV et même plus.

Le laboratoire sera également doté d'un puissant ordinateur en ligne CDC-3100 pour l'analyse des données expérimentales.

Un bâtiment spécial ayant une superficie de plancher d'environ 65,000 pieds carrés est actuellement en construction à l'arrière du bâtiment principal, côté ouest, et sera terminé l'été prochain.

Le laboratoire de physique nucléaire se développe donc rapidement sous l'impulsion de René Lévesque, directeur intérimaire, assisté de Roch DesRochers, ingénieur physicien.

L'équipe de physique nucléaire compte, au total, 31 personnes.

Le département de physique dispose aussi d'un important *Laboratoire de physique des plasmas* comportant, en particulier, un solénoïde de 300 kilowatts pouvant produire un champ magnétique de 15,000 gauss sur un volume cylindrique de un mètre de longueur et 16 centimètres de diamètre. Cette installation est unique au Canada.

Ce laboratoire a été entièrement réalisé par Gilles Cloutier, qui en est le directeur. L'équipe de physique des plasmas compte 22 personnes au total.

Parmi les expériences en cours au laboratoire de physique des plasmas, signalons un montage qui servira à mesurer la répartition d'énergie des électrons en très haute altitude. Ce montage, qui a été conçu par Gilles Cloutier, sera installé sur un des satellites canadiens de la série ISIS.

Le professeur Pierre Demers dirige au département de physique un *Laboratoire d'ionographie* qui s'est acquis depuis longtemps une réputation internationale. On y poursuit des travaux sur les émulsions nucléaires qui servent à observer les particules ionisantes.

Jusqu'à présent, les physiciens du département ont écrit six ouvrages et 256 articles scientifiques.

Le budget pour la recherche provient du Conseil national de recherches, de la Commission de contrôle de l'énergie atomique, du Conseil des recherches pour la défense et aussi de l'Université (Figure 3).

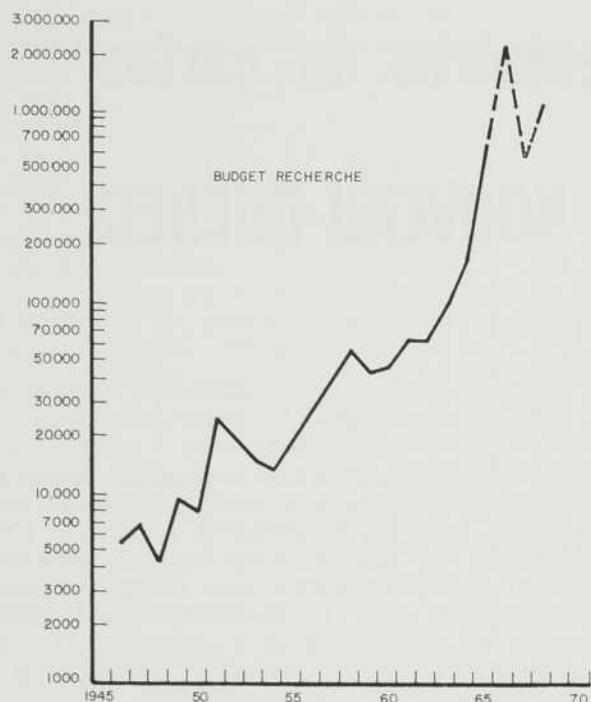


Fig. 3

Le budget pour la recherche a été accru à un rythme moyen d'environ 25% par an. Ce budget subit actuellement une brusque augmentation avec l'installation du Laboratoire de physique nucléaire. (Ce graphique ne tient pas compte du coût de la construction du Laboratoire de physique nucléaire).

Ce budget subit actuellement une brusque augmentation avec l'installation du Laboratoire de physique nucléaire. Il s'élève cette année à \$690,000, et il atteindra un sommet de \$2,250,000, l'an prochain. Ces chiffres ne tiennent pas compte du coût de construction du nouveau laboratoire.

Finalement, le nombre de bacheliers ès sciences formés chaque année au département de physique a été longtemps irrégulier, mais il monte maintenant en flèche au rythme de 80% par an! (Figure 4).

Environ la moitié de ces étudiants font le baccalauréat-physique approfondie et les autres font le baccalauréat-physique générale.

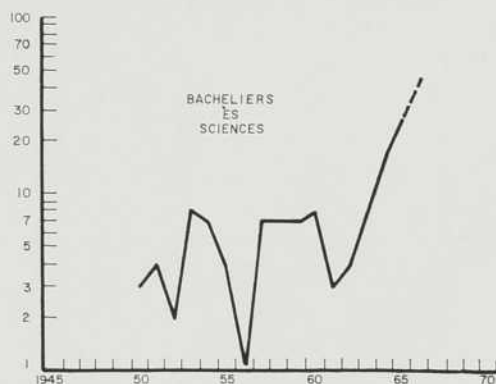


Fig. 4

Le nombre de bacheliers ès sciences formés chaque année au Département de physique a été longtemps irrégulier, mais il monte maintenant en flèche au rythme de 50% par année.

L'an dernier notre département se classait quatrième au Canada quant aux inscriptions en quatrième année de physique générale et approfondie (Figure 5), mais le taux d'accroissement à Montréal dépasse largement les taux d'accroissement dans les autres universités canadiennes et il est tout probable que Montréal se classera en deuxième place d'ici deux ans.

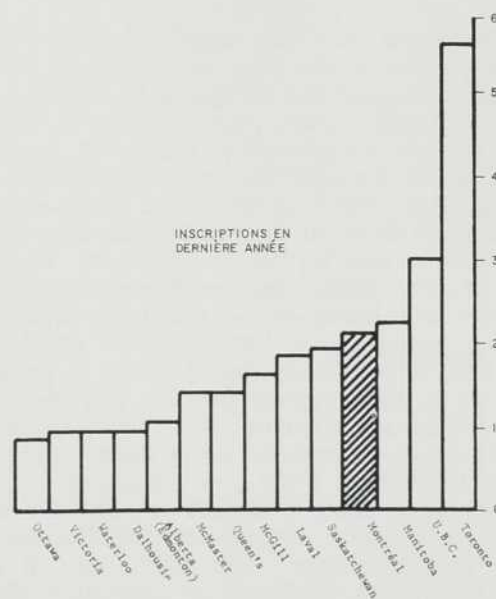


Fig. 5

L'an dernier le Département de physique se classait quatrième au Canada quant aux inscriptions en quatrième année, mais le taux d'accroissement à Montréal dépasse largement celui des autres universités canadiennes et il est tout probable que Montréal se classera en deuxième place d'ici deux ans.

La physique est en bonne voie au Québec... il était temps!

Présentation et commentaires de cartes sur le NOUVEAU-QUÉBEC

par Michel BROCHU

L'immense territoire appelé Nouveau-Québec mérite ce nom d'une part, en raison du fait qu'il n'a été politiquement rattaché au Québec qu'en 1912, et, d'autre part, parce que cette région, à cause de son éloignement même et de la précarité ou du manque de moyens de communication est la dernière du Québec à avoir été explorée et parcourue de façon approfondie surtout à l'intérieur des terres. Je parle ici, naturellement, d'exploration par les Blancs, puisque les premiers occupants de ce territoire d'une part, les Esquimaux qui se sont installés sur le pourtour littoral du Nouveau-Québec, à partir du Nord de la baie James jusqu'à l'entrée du détroit d'Hudson, d'autre part, les Cris sur les terres du bassin versant de la baie James et du Sud de la baie du Nord (ou d'Hudson), et enfin les Nascopies dans le bassin versant de la baie d'Ungava, avaient, depuis des millénaires selon toute vraisemblance, découvert ce pays, s'y étaient installés et l'avaient parcouru en tous sens (des recherches archéologiques l'attestent), à la recherche du gibier. Il convenait que par cette remarque, faite dans un esprit d'équité envers les premiers Québécois, fussent rétablies, en quelque sorte, la vérité et la réalité des faits que les Blancs ont tendance à fausser en faisant souvent commencer à eux l'Histoire d'un pays ou d'un territoire.

Cette série de six cartes a pour but fonda-

mental de faire connaître les grands traits du Nouveau-Québec, dans le domaine des sciences naturelles mais en fonction de l'Homme: Cris, Esquimaux ou Blancs. C'est ainsi que seront successivement présentés des cartes et leurs commentaires sur: 1) l'Hydrologie; 2) la Géologie; 3) les côtes et les eaux littorales; 4) l'utilisation des sols et des forêts; 5) la chasse et la pêche; 6) la recherche scientifique.

Ces cartes qui, toutes, touchent à un ou plusieurs domaines des sciences de la nature sont présentées de façon synthétique, en traitant de la Zoologie, de la Botanique, de la Géologie ou de la Pédologie, en fonction de l'utilisation que l'Homme en tire ou pourrait en tirer. C'est ainsi que la carte sur l'utilisation des sols et des forêts montre, à la fois, les grandes zones pédologiques et de végétation du Nouveau-Québec avec une mise en parallèle l'utilisation qui est faite de la forêt (bois de chauffage, bois de construction) et l'état de l'agriculture, si peu importante soit-elle au Nouveau-Québec. Dès lors, on ne trouvera pas, dans cette série, certaines cartes physiques, botaniques ou zoologiques générales ou encore des cartes détaillées sur une espèce de plante ou d'animal où apparaît le Nouveau-Québec et qui ont été publiées à diverses échelles, notamment, dans l'*Atlas du Canada*, ministère des Mines et des Relevés techniques, Ottawa (édition de 1957).

Cartes du Nouveau-Québec

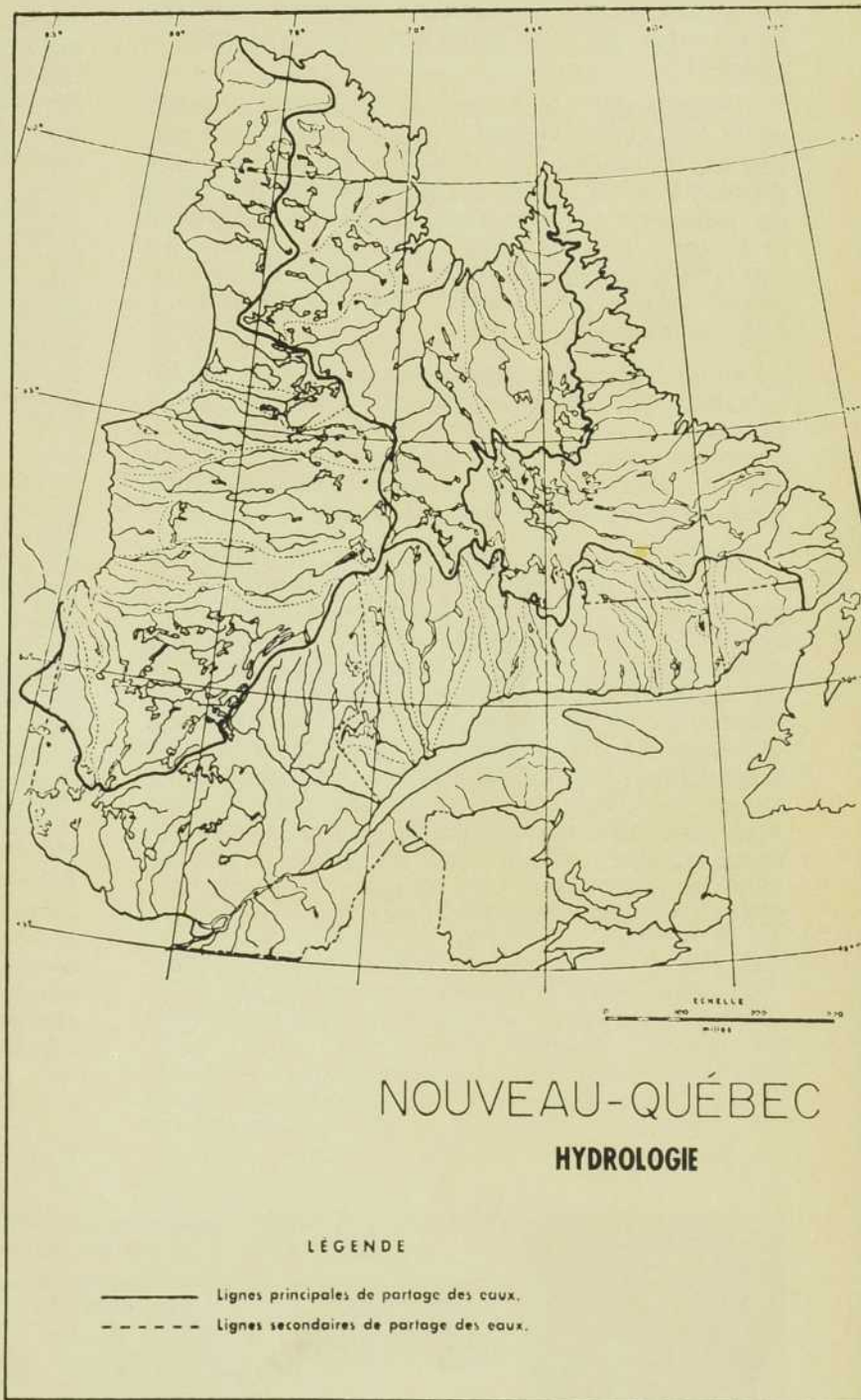
Connaissez-vous la physionomie générale ou les grands traits physiques de l'immense territoire nordique de la province de Québec ? Si oui, vous aurez l'occasion d'en revoir un aperçu général; si non, vous en connaîtrez sûrement les grandes caractéristiques en lisant cette série d'articles qui commence dans ce numéro.

Nous sommes heureux de publier une série de cartes et leurs commentaires préparés par un géographe réputé, spécialisé sur cette région du Québec. Le géographe Michel BROCHU, Docteur de l'Université de Paris, est attaché au Centre de Recherches sur le Nouveau-Québec à l'Institut d'Economie appliquée de l'École des Hautes Etudes commerciales de Montréal et chargé de mission au Nouveau-Québec par le ministère des Affaires culturelles du Québec. Il est également l'auteur de plusieurs études sur le sujet.

Cette série présentera et analysera successivement ces cartes: 1- *l'Hydrologie*; 2- *la Géologie*; 3- *les côtes et les eaux littorales*; 4- *l'utilisation des forêts et des sols*; 5- *la chasse et la pêche*; 6- *la recherche scientifique*. L'introduction et les deux premières cartes sont publiées dans ce numéro et les autres paraîtront dans nos prochaines livraisons.

Cette documentation est extraite d'un article paru dans la revue *L'Actualité économique*, Institut d'Economie appliquée, École des Hautes Etudes commerciales de Montréal, numéro 4 de la 40e année, janvier-mars 1965, pages 691-759, sous le titre « Présentation et commentaires de cartes sur le Nouveau-Québec ». De cet article, nous empruntons seulement les cartes et commentaires traitant des aspects physiques ou naturels du Nouveau-Québec. Nous mentionnons également que l'auteur a bien voulu adapter certaines parties de son texte et ajouter quelques explications à l'intention de nos lecteurs. Nous disons toute notre reconnaissance au géographe Michel Brochu ainsi qu'à la direction de *L'Actualité économique* pour leur bienveillante collaboration.

La Rédaction.



On notera, en outre, qu'il ne s'agira pas non plus de la présentation d'un texte suivi, où les cartes ne viendraient qu'à l'appui de celui-ci; au contraire, une importance égale est accordée aux cartes et aux commentaires afférents à celles-ci.

Pour éviter, toutefois, de surcharger indûment les cartes, certaines données qui, pour des raisons d'espace et de clarté, n'ont pu être présentées sur les cartes mêmes, ont été groupées en tableaux qui viennent étayer et compléter et le texte et les cartes. Cependant, toutes les fois que la chose a été possible sans nuire à la clarté d'une carte, des données statistiques y ont été incorporées.

Cette série de cartes, par les textes et les tableaux qui les accompagnent, constitue donc un essai de synthèse des aspects les plus marquants du Nouveau-Québec, dans le domaine des sciences naturelles, dans une perspective de l'utilisation de la nature par l'Homme.

Au terme de cette introduction, puis-je émettre le voeu que, entre autres, la carte et son commentaire sur « la recherche scientifique » suscitent chez plusieurs jeunes scientifiques québécois, le goût de participer, dans le cadre de leur future spécialité, à la découverte si passionnante de notre territoire du Nouveau-Québec; car, dans le domaine de la recherche scientifique, un véritable devoir est imparti aux Québécois d'assumer eux-mêmes cette lourde mais enlevante responsabilité, afin de n'être pas dans l'avenir comme c'est en partie le cas en 1966, les tributaires et les témoins de découvertes faites chez nous par des étrangers.

Carte 1 : l'Hydrologie

La carte 1 montre l'extraordinaire densité du réseau hydrographique du Nouveau-Québec. Ces rivières peuvent en principe, être utiles à deux fins en particulier: d'une part, la navigation et, d'autre part, les aménagements hydro-électriques.

En ce qui concerne la navigation, sauf naturellement pour ce qui est des embarcations très légères comme le canot indien, les grandes rivières du Nouveau-Québec ne présentent pas d'intérêt. Il faut toutefois excepter l'embouchure ou l'estuaire de quelques-unes au sud de la baie d'Ungava, mais même dans ce cas, l'amplitude de marées atteignant ou dépassant 20 pieds (6 m.), la force des courants de marée et les irrégularités de leur lit rendent l'accès de ces embouchures difficiles et délicates aux navires; quant aux rivières qui se jettent dans les eaux de la baie et du détroit d'Hudson, elles sont barrées par des chutes ou des rapides à quelques milles seulement en amont de leur embouchure; celles de la baie James ont leurs premières chutes ou rapides souvent à plus de 6 milles (10 km) en amont de leur embouchure, dont le lit est peu profond et encombré de bancs de sable qui se déplacent d'année en année, ce qui cause des ennuis aux quelques navires à destination des postes indiens de cette région.

Par contre, les fortes dénivellations des rivières du Nouveau-Québec qui naissent sur de hauts plateaux dont l'altitude moyenne est comprise entre 1,000 et 2,000 pieds (300 et 600 m) et sont alimentées par de nombreux lacs, et par d'abondantes précipitations sous forme de neige ou de pluie, sont entrecoupées d'innombrables chutes et rapides qui en font incontestablement une des régions les plus riches du globe en éner-

TABLEAU I — Grands bassins versants de rivières qui font l'objet d'études de débit et qui ont des stations de jaugeage. (1)

Baie James	Baie d'Hudson	Baie d'Ungava
Rivière Eastmain Grande Rivière	Grande Rivière de la Baleine Petite Rivière de la Baleine	Rivière Arnaud Rivière à la Baleine Rivière Caniapiscou Rivière aux Feuilles Rivière au Mélèzes
21 stations de jaugeage		13 stations de jaugeage
Total : 34 stations de jaugeage		

1. Source : Ministère des Richesses naturelles, *Rapport annuel*, 1962-1963, p. 77.

gie hydro-électrique. Les rivières qui ont le potentiel électrique le plus considérable sont celles du bassin de la baie James, d'une part, et celles de la baie d'Ungava, d'autre part. Il n'y a que quelques rivières du bassin de la baie d'Hudson qui soient d'un intérêt véritable pour un aménagement hydro-électrique; une des raisons est que la ligne de partage des eaux entre la baie d'Hudson et la baie d'Ungava se rapproche, à plusieurs endroits, à moins de 120 ou 150 milles (200 ou 250 km) du littoral de la baie d'Hudson; de ce fait, les rivières de ce secteur sont courtes et ont un faible débit. Le bassin versant du détroit d'Hudson ne présente pas de rivière susceptible d'un aménagement hydro-électrique rentable autre qu'à l'échelle locale, en raison de ses rivières trop courtes bien que plusieurs aient une dénivellation nettement supérieure à 2,000 pi. (600 m).

Il n'est pas inutile de souligner à quel point le Québec est privilégié de posséder cet extraordinaire potentiel hydro-électrique dans la partie nord de son territoire, si l'on compare ce territoire au bassin versant de l'ouest de la baie d'Hudson, et à celui de l'océan Arctique, où il existe de grandes et même de très grandes rivières au débit puissant, mais dont la dénivellation vers la mer est trop faible pour que les sites d'aménagement y soient nombreux et rentables. Malgré les prodigieuses réserves hydro-électriques que recèle le Nouveau-Québec, aucun aménagement d'envergure n'a encore été réalisé par l'Hydro-Québec; il existe, cependant, deux petits aménagements au sud de Schefferville qui alimentent ce centre minier en électricité.

Il semble que les premiers aménagements hydro-électriques d'Etat qui seront mis en oeuvre au Nouveau-Québec seront réalisés dans le bassin de la baie James, un peu au nord du 51e parallèle, qui est la limite de ce territoire suggérée par l'auteur. Il faut, en tout cas, retenir que le potentiel hydro-électrique du Nouveau-Québec est immense, encore inutilisé, et qu'il représente, pour le Québec, une source de revenus possibles de millions de dollars par année.

Carte 2 : la Géologie

Imaginons qu'un territoire grand comme deux France ne soit constitué, au point de vue géologique, pour plus de 95 p.c. de sa superficie, que de formations précambriennes (ou antécambriennes, selon les auteurs), avec des lacunes comportant pratiquement toutes les formations du Primaire (ou Paléozoïque), du Secondaire (ou Mésozoïque) et du Tertiaire (ou Géozoï-

que), et, reposant directement sur les formations archéennes et protérozoïques du Précambrien avec un hiatus géologique et chronologique de 1 milliard à 2.6 milliards d'années, un placage plus ou moins important, selon les régions, de formations meubles quaternaires sous forme principalement de gravier, de sables, mais aussi, des formations plus grossières, mais plus rarement, d'argiles et de limons. Or, c'est précisément l'image que nous présente le Nouveau-Québec sur la carte 2.

La masse de roche qui forme le substratum du Nouveau-Québec est surtout d'origine sialique; elle est rattachée au sud de la baie James au Bouclier canadien qui constitue l'ensemble de roches précambriennes (qui caractérisent les boucliers) le plus grand du globe.

Si, au Nouveau-Québec, la plus grande partie des roches est d'origine intrusive ou magmatique, quant à leur mode de mise en place et sialique ou acide, c'est-à-dire à prédominance silice (quartz) quant à leur nature lithologique très générale, on peut diviser, selon l'âge, le Nouveau-Québec en deux grandes régions, datant du Précambrien inférieur et qui sont séparées par la Fosse du Labrador. La région plus vaste, située à l'ouest de la Fosse a, d'après les dernières approximations, un âge de 2.2 à 2.6 milliards d'années et a été marquée par l'orogène du Keewatin. Elle est constituée principalement de roches granito-gneissiques minéralisées en plusieurs endroits.

Au nord de cette zone, il existe, dans l'axe des monts d'Youville (ou Povungnituc), de la baie d'Hudson au détroit d'Hudson (entre le 61° et 60° 51' de latitude nord) une bande de territoire minéralisée datant du Précambrien supérieur, d'une très grande richesse minière, où l'on trouve, entre autres, de l'amiante, du nickel et du cuivre. Depuis 1960 on poursuit des recherches intensives sur ces gisements. A l'ouest, sur les rives de la baie d'Hudson et autour du lac Guillaume-Delisle, il y a une enclave de terrains protérozoïques (Précambrien supérieur) de nature sédimentaire et métamorphisée avec de nombreuses intrusions basiques: c'est une zone qui, pour n'être pas très considérable en superficie est, cependant, minéralisée et on y trouve du cuivre et du plomb en gisements, semble-t-il, assez riches.

La région située à l'est est relativement plus jeune que la première, l'âge qui lui est attribué étant de 1.5 à 2.2 milliards d'années: elle semble peu minéralisée et aucun gisement d'importance n'y a encore été repéré. Du point de vue lithologique, les roches appartiennent principalement au cortège granito-gneissique, avec plusieurs pointements importants de roches intrusives basiques.

La Fosse du Labrador qui sépare les deux grandes régions précitées a plus de 600 milles (960 km) de long, et en moyenne 40 milles (64 km) de large. Cette Fosse comprend essentiellement des formations sédimentaires d'âge protérozoïque ou précambrien supérieur (0.8 à 0.5 milliard d'années) dont plusieurs couches sont caractérisées par la présence de minerai de fer dont la teneur est plus ou moins riche selon les secteurs. Le tableau II donne les types de minerai dominants et leur teneur en fer.

Il y a trois régions d'exploitation en activité dans cette zone : Schefferville, Labrador City (région du lac Wabush), lac Jeannine avec Gagnon comme ville minière; l'exploitation du minerai de fer a donné lieu, comme indispensable corollaire, à la construction de deux chemins de fer. Le premier, par ordre d'importance comme par ordre chronologique de construction, relie les 4 mines de la région de Schefferville à Sept-Iles; il est long de 300 milles (486 km) et a été déchargé à Sept-Iles, mais, en 1962, la construction d'une usine de concentration du minerai à Pointe-Noire, située immédiatement à l'ouest de la baie de Sept-Iles, a été décidée. Les expéditions par ce second port commençaient en 1964.

Le minerai de la région de Wabush est évacué depuis 1962, grâce à un embranchement de 40 milles (64 km) qui relie ce gisement à l'axe principal de la voie ferrée; le second grand chemin de fer relie le centre minier Gagnon au nouveau point de déchargement de Port-Cartier. Ce second axe ferroviaire a 193 milles (310 km) de long et il est entré en service en 1961.

Les formations quaternaires auxquelles nous avons fait allusion plus haut se présentent sous forme de sédiments meubles : des sables surtout dans les grandes vallées; des graviers, des blocs, et, d'une façon générale, des sédiments hétérométriques (divers types de moraine) recouvrent le substratum précambrien du Nouveau-Québec. Ces formations peuvent avoir une puissance nulle sur les affleurements rocheux, à 330 pieds (100 m) ou plus, en général des sables bien triés, dans certaines vallées, mais l'épaisseur moyenne, ou médiane, est très faible soit de l'ordre de 3 à 30 pieds (1 à 10 m), et, semble-t-il, beaucoup plus près de 3 pieds que de 30, ce qui est, évidemment, insignifiant par rapport à l'épaisseur des couches précambriennes dont la puissance est de l'ordre de 1 mille, de 10 milles et même plus.

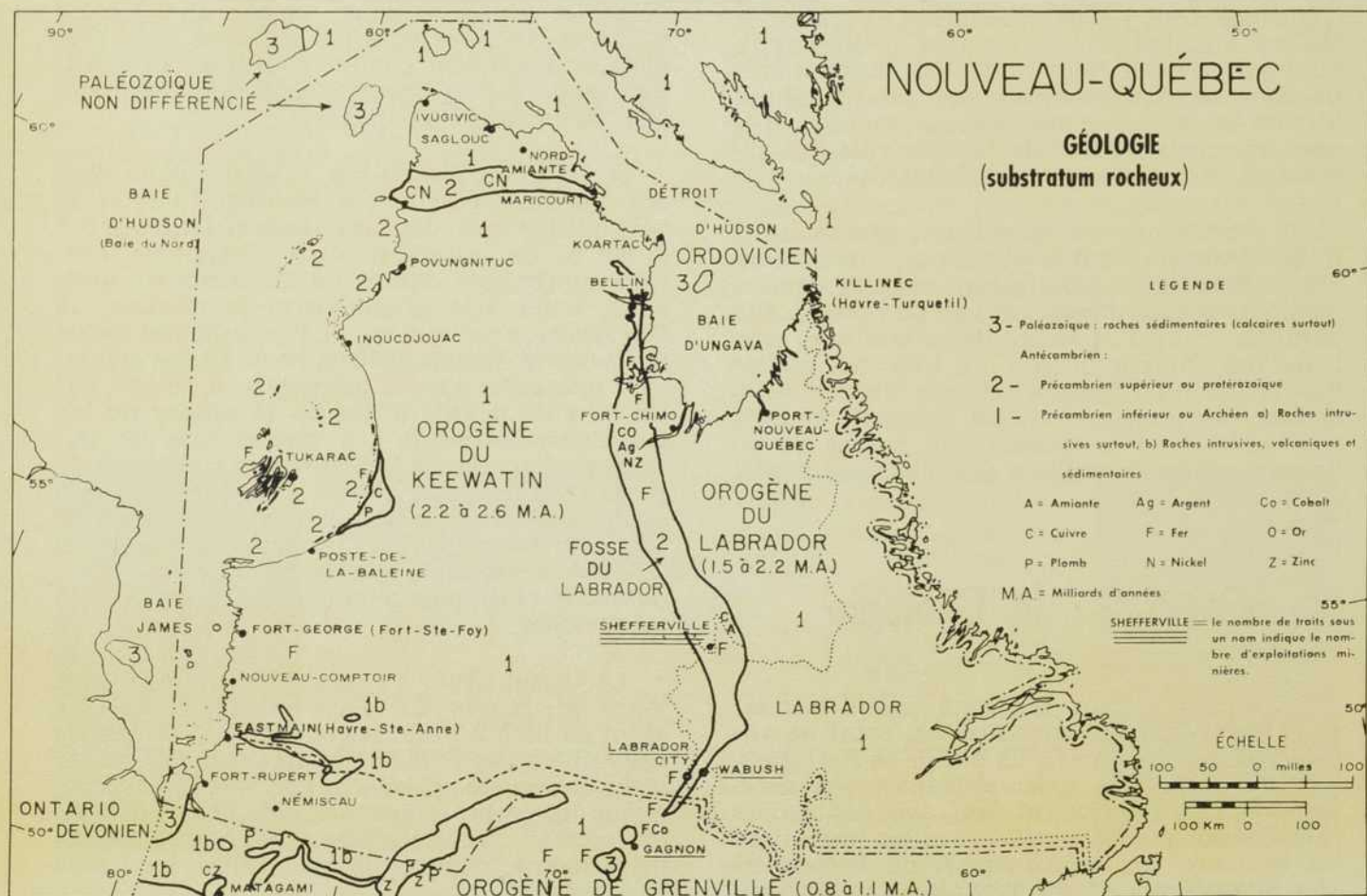


TABLEAU II

Gisements de minerai de fer exploités, Nouveau-Québec et régions situées immédiatement au sud. (2)

Schefferville (partie) (4 mines) y compris le territoire censément terreneuvienn	Hématite goethite (Fe = 53.08%)
Gagnon (lac Jeannine)	Hématite concentrée (Fe = 64.4 %)
Labrador City, Wabush	Hématite concentrée (Fe = 64.5 %)

2. Source : Benoit Brouillette, *Courants commerciaux de quelques produits canadiens*, étude no 14, Institut d'Economie appliquée, Ecole des Hautes Etudes commerciales, Montréal, 1964.

On trouve donc très peu de grandes séries quaternaires n'est pas essentiellement différente de bec. La nature pétrographique des dépôts quaternaires n'est pas essentiellement différente de la nature du substratum précambrien, puisqu'il s'agit de dépôts qui en procèdent directement, soit par décomposition chimique aux époques antérieures aux glaciations, soit par désagrégation mécanique (alternances gel-dégel).

Ainsi, les dépôts quaternaires ne sont-ils généralement, à l'exception notable des tourbes et des argiles, dans la partie sud du Nouveau-Québec et dans la région de la baie James, que les éléments dissociés (quartz, feldspaths et micas) des roches prédominantes du substratum rocheux. Les fragments de la taille supérieure aux sables (granules, galets, blocs) proviennent aussi du substratum précambrien, encore que l'on puisse observer, sur les côtes, une faible proportion de blocs allogènes, calcaires ou autres qui ont été apportés des îles du large ou d'autres régions par les inlandsis ou par les glaces flotantes.

Au sud des deux grandes régions précitées et de la Fosse du Labrador s'étend une autre province précambrienne mais plus jeune encore que les deux précédentes, puisque l'âge qui lui est attribué est de 0.8 à 1.1 milliard d'années; elle a été individualisée par l'orogène Grenville. Cette région qui touche la partie sud de la carte est caractérisée par plusieurs intrusions de roches magmatiques souvent très minéralisées comme c'est le cas en Abitibi.

Malgré l'activité des recherches et malgré aussi la présence de gisements très riches de cuivre, de nickel et d'amiante au Nouveau-Québec et malgré l'existence de minerai de fer à haute teneur à proximité même de la baie d'Ungava, il n'y a encore aucun gisement en exploitation à la pointe nord du Nouveau-Québec, c'est-à-dire au nord de Schefferville, non plus que dans la région de la baie James et de la baie d'Hudson. Cela tient à plusieurs raisons, dont les principales sont le prix exorbitant des travaux de recherches dans ces régions, le prix de la nourriture qui, en grande partie, doit venir par avion, et les salaires très élevés, assortis de primes d'isolement, qu'il faut payer aux ou-

vriers; à cela s'ajoute l'extraordinaire difficulté d'accès des côtes, non pas tant en elles-mêmes (sauf, pour la baie James) mais en raison de la présence, du mois de novembre au mois de juillet, de la glace de banquise qui prend de part en part les fjords et les embouchures de rivières et des glaces de mer deux ou trois fois plus épaisses que celles du Saint-Laurent, au point de rendre ces régions inaccessibles par voie de mer durant plus de la moitié de l'année.

Pour que la partie nord du Nouveau-Québec prenne un essor minier solide et durable, il faudra que soient réunis plusieurs facteurs: en premier lieu, une richesse des gisements tout à fait hors de l'ordinaire pour justifier les frais eux aussi hors de l'ordinaire qu'entraînera l'exploitation des futures mines dans ces régions; à ce premier facteur favorable doit, évidemment, s'ajouter une demande de minerai forte et stable pour autant que l'on puisse le prévoir, ce qui ne va pas nécessairement de pair sur le marché mondial. En 1964, le marché de l'amiante et du minerai de fer, qui sont relativement abondants à la surface du globe (et la concurrence, pour ce qui est du fer notamment, est assez forte), ne semblait pas présenter de garanties suffisantes pour que leur exploitation ait été encore rentable au Nouveau-Québec, au nord du 55e parallèle. Il faudra trouver une solution, la plus économique et la plus pratique possible, pour évacuer le minerai qui sera extrait de ces futures exploitations et pour les approvisionner en nourriture et en marchandises de toutes sortes. Il est possible que la solution qui sera trouvée la meilleure soit par voie de terre (route ou chemin de fer) plutôt que par voie maritime; le capital immobilisé sera, sans doute, plus important mais les exploitations minières seront au moins assurées de transports réguliers et efficaces, facteur primordial de succès d'une entreprise commerciale.

Le percement en cours des deux axes routiers respectivement de Matagami vers Fort-Rupert et du barrage no 5 sur la Manicouagan vers Gagnon laissent prévoir que la solution des grands axes de transport terrestres jusqu'aux gisements miniers situés au delà du 60e parallèle, pourra devenir une réalité relativement prochaine.

La formation de la précipitation

par Raymond-M. GAGNON

Dans des articles précédents, monsieur R. Perrier a décrit le processus de formation des nuages. (*Le Jeune Scientifique*, déc. 1965, janv. 1966). Ce processus nécessitait, présents dans l'atmosphère: a) de l'humidité, b) un mécanisme de refroidissement et c) des noyaux de condensation. Ce processus n'a cependant contribué qu'à former des gouttelettes dont le rayon moyen est de sept (7) microns. Ces gouttelettes sont en suspension dans l'air grâce aux courants verticaux ascendants toujours présents dans l'atmosphère nuageuse.

La pluie tombe cependant des nuages et le rayon des gouttes de pluie varie de 200 à 3,000 microns. De plus, la pluie qui tombe ne semble aucunement altérer le nuage lui-même. Le nuage est toujours là sans changement apparent quoiqu'il puisse donner jusqu'à deux (2), trois (3), voir même jusqu'à cinq (5) pouces de pluie en 24 heures sur une assez vaste étendue. Il faut donc deux (2) mécanismes qui viennent s'ajouter aux mécanismes formateurs de nuages pour produire la précipitation. Le premier est un mécanisme de croissance des gouttelettes du nuage et le second, un mécanisme d'apport d'humidité si on veut conserver le nuage inaltéré indépendamment de la pluie qui tombe.

Nous décrirons ces deux mécanismes producteurs de précipitation. Nous verrons d'abord les différents facteurs jouant un rôle dans le mécanisme de croissance et jugerons ensuite de leur efficacité. Puis, nous traiterons de l'apport d'humidité extérieure au nuage. Finalement, nous verrons en conclusion quels facteurs sont importants dans la production des différentes formes de précipitation.

Croissance de gouttelettes

La croissance des gouttelettes du nuage est possible de différentes façons. La façon la plus simple qu'on puisse imaginer est la continuation du processus de condensation déjà responsable

de la formation des gouttelettes du nuage. Un tel processus devrait se produire sur toutes les gouttelettes à la fois. Cependant, la condensation de toute la vapeur d'eau présente dans le nuage ne réussirait qu'à doubler le rayon moyen des gouttelettes qui était au départ de sept (7) microns. Les gouttelettes ne réussiraient même pas à acquérir une vitesse de chute (Bricard, 1953).

Nous avons déjà mentionné que les plus petites gouttes de pluie ont un rayon de l'ordre de 200 microns. Il faut donc que certaines gouttelettes s'accroissent au détriment des autres. En conséquence, il existe une discrimination dans la croissance des gouttelettes.

Condensation sélective de la vapeur d'eau

Cette discrimination entre les gouttelettes résulte d'un principe général assez simple: la vapeur d'eau se condense toujours sur un objet (en l'occurrence les gouttelettes d'eau) où, en surface, la tension d'équilibre de la vapeur d'eau est la moindre. Énoncé en fonction de la température, ce principe général devient: « Dans une enceinte à température non uniforme, la tension d'équilibre maximale d'une vapeur est égale à celle que cette vapeur aurait à la température la plus basse ». C'est le principe de Watt, illustré par la condensation de la vapeur d'eau sur les fenêtres d'une habitation en hiver.

Dans l'atmosphère, on rencontre trois (3) modes d'application de ce principe général.

Premier mode :

Les gouttelettes qui forment le nuage n'ont pas toutes le même rayon; il peut varier de trois (3) à 100 microns (Weickman et Aufm Kampe, 1953) ayant une valeur moyenne de sept (7) microns. Le graphique numéro 1 montre la distribution relative des gouttelettes dans un *cumulus congestus* en fonction de leur rayon.

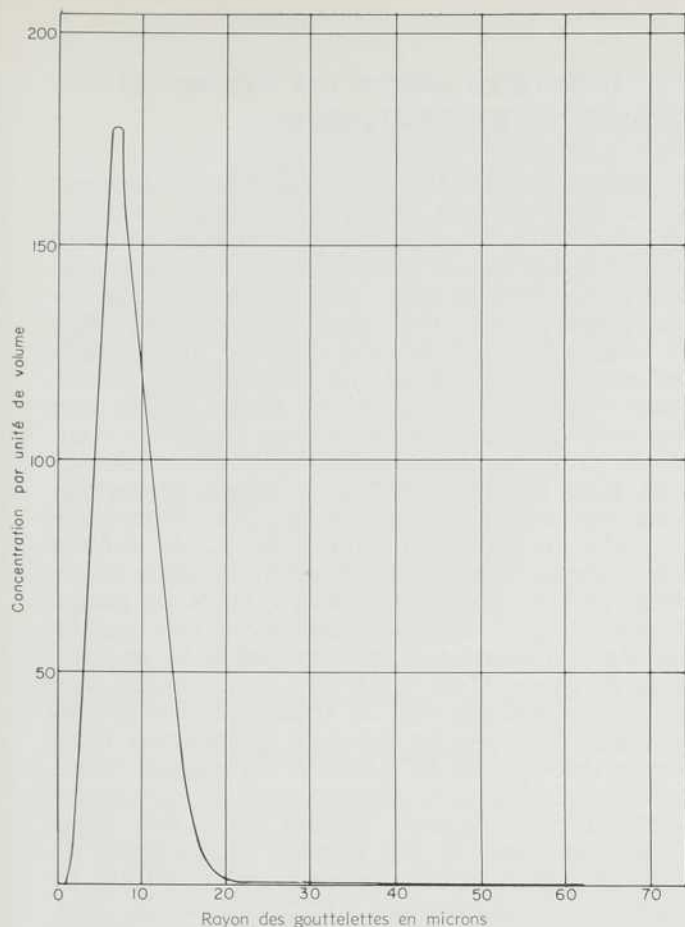


Figure 1

La concentration moyenne des gouttelettes d'eau en fonction du rayon des gouttelettes dans un *Cumulus congestus*. On remarquera que la plupart des gouttelettes ont un rayon compris entre 2 et 20 microns. Au delà de 20 microns, la distribution devient asymptotique à l'axe, montrant une très faible concentration. (D'après Diem, Met. Rundschau, 1 (1948), 261).

Or, il arrive que la tension d'équilibre de vapeur d'eau d'une gouttelette dépende de son rayon de courbure. En général, plus une goutte est petite, plus sa tension d'équilibre est grande et, inversement, si la goutte est plus grosse. Donc, suivant le principe général énoncé, si deux gouttelettes de différentes grosseurs viennent assez rapprochées, la grosse gouttelette croîtra au détriment de la petite qui s'évaporerà.

Deuxième mode :

Les gouttelettes d'un nuage n'ont pas toutes exactement la même température. L'atmosphère n'est pas un corps homogène et il s'y trouve des différences de température significatives. Entre les gouttelettes très rapprochées, ces différences peuvent être de l'ordre du centième ou même du dixième de degré. Or, comme en témoigne le graphique 2 montrant la tension d'équilibre de la vapeur d'eau en fonction de la température, plus la température est basse, plus la tension d'équilibre est faible. Il s'ensuit que, suivant le principe énoncé, les gouttelettes les plus froides s'accroîtront au détriment des plus chaudes.

Troisième mode :

Les trois (3) phases de l'eau peuvent être présentes dans un nuage même si ce nuage est à une température inférieure au point de congélation, c'est-à-dire que dans de l'air nuageux à une température plus basse que zéro degré centigrade, il peut exister: a) de la vapeur d'eau (phase gazeuse de l'eau), b) des cristaux de glace (phase solide de l'eau) et c) des gouttelettes d'eau surfondue (phase liquide). L'analyse des constituants d'un nuage a révélé, en effet, que l'existence de gouttelettes d'eau est possible jusqu'à des températures de -40 degrés centigrades. Ces gouttelettes d'eau existant sous le point de congélation ont reçu le nom de « gouttelettes d'eau surfondue ». Le graphique numéro 3 montre comment la tension d'équilibre de la vapeur d'eau varie, en fonction de la température, en présence d'eau surfondue d'une part, et en présence de glace d'autre part. Si on consulte ce graphique, on voit qu'à une même température, la tension d'équilibre par rapport à la glace est beaucoup plus faible que par rapport à l'eau. On conçoit facilement que, dans un même nuage où sont présents des cristaux de glace et des gouttelettes d'eau surfondue, les cristaux de glace s'accroîtront au détriment des gouttelettes d'eau.

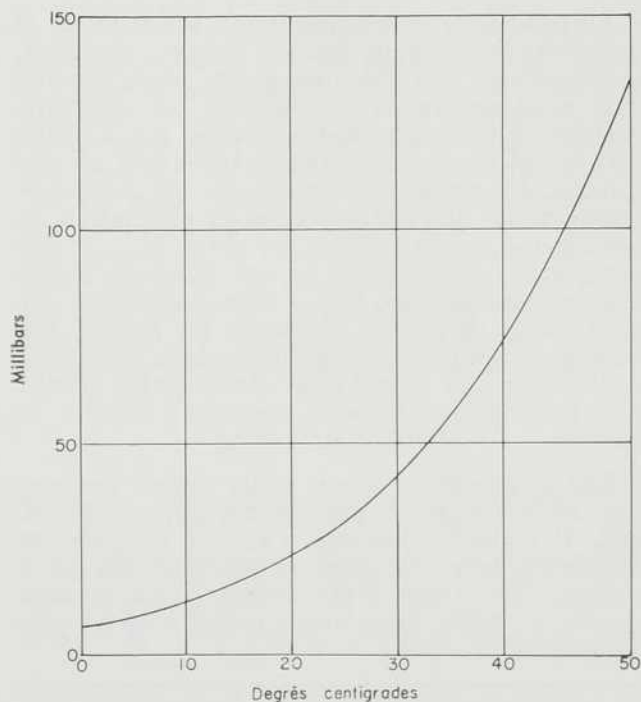


Figure 2

Pression de saturation de la vapeur d'eau (millibar) en fonction de la température (degré centigrade).

Cette courbe montre clairement que plus la température est froide plus la tension d'équilibre de la vapeur d'eau est faible.

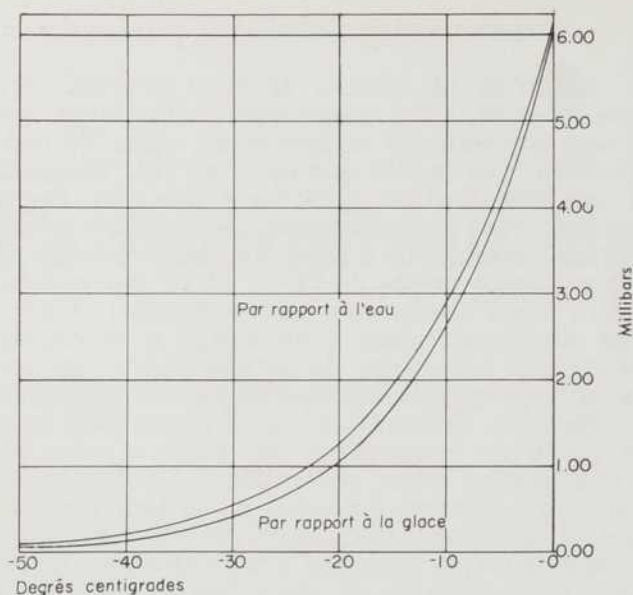


Figure 3

Pression de saturation de la vapeur d'eau (millibar) en fonction de la température (degré centigrade).

La courbe de saturation par rapport à la glace est plus basse que celle se rapportant à l'eau. D'où la moindre tension d'équilibre pour le cas de la glace.

Coalescence

Le processus de condensation sélective de la vapeur d'eau produit, dans le nuage, des gouttelettes d'eau de différents poids, assez lourdes pour contrebalancer et vaincre les courants ascendants présents dans le nuage. Il y a chute relative ou vraie des gouttelettes d'eau ou des cristaux de glace dont la masse est suffisamment grande. Un autre processus peut alors intervenir. La chute relative ou vraie de la grosse gouttelette ou du cristal se fait dans un nuage de fines gouttelettes. Il y a nécessairement collision entre les divers éléments du nuage. Ces collisions produisent l'agglomération des fines gouttelettes à la grosse gouttelette ou au cristal. C'est le processus de « coalescence » illustré en figure 4.

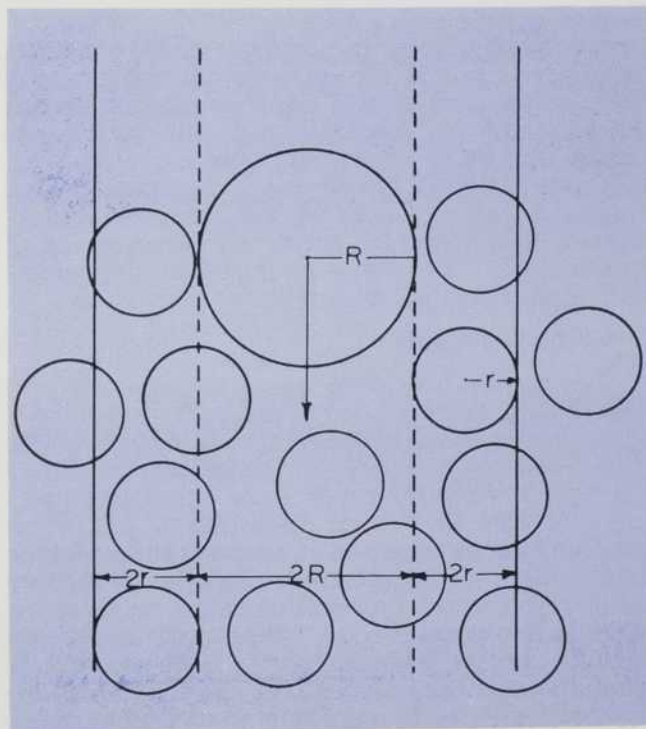
Les gouttelettes d'eau d'un nuage peuvent donc accroître leurs masses de quatre (4) façons. Il y aurait encore d'autres facteurs de croissance, telles la charge électrique des gouttelettes, leur force d'attraction hydrodynamique, etc... Mais, nous avons mentionné les plus importants.

Figure 4 (à droite) : Principe de la coalescence.

La grosse goutte de rayon R pourra entrer en collision avec toutes les gouttelettes de rayon r qu'elle rencontrera et qui seront comprises dans le cylindre de rayon $(R + 2r)$. Les collisions résulteront en une agglomération de plus petites gouttelettes à la plus grosse. C'est là l'essentiel du principe.

Importance relative des mécanismes d'accroissement

De ces quatre (4) processus d'accroissement, quels sont les plus importants? Diverses théories ont cours. Cependant, toutes sont d'accord pour donner une première importance au mécanisme de condensation au début de la croissance des gouttelettes, alors que le mécanisme de coalescence ne devient efficace que lorsque les gouttelettes ont atteint une certaine masse. Dans toutes ces théories, les seules différences viennent du choix du processus considéré comme le plus important mécanisme de condensation. Sous nos latitudes, la théorie la plus généralement admise pour la formation de la pluie est celle de Bergeron-Findeisen. Cette théorie suppose que le nuage producteur de pluie ou de neige doit d'abord passer par le stade de nuage mixte, i.e. qu'il doit nécessairement être constitué de gouttelettes d'eau surfondue et de cristaux de glace. C'est donc dire qu'au moins une partie des nuages doit se trouver à des températures inférieures au point de congélation. Sous nos latitudes, ceci est possible été comme hiver, puisque le niveau de température de zéro degré centigrade ne dépasse jamais les 15,000 pieds et que le sommet des nuages producteurs de pluie se situe ordinairement entre 20,000 et 40,000 pieds au-dessus du niveau de la mer. Cependant, dans les régions équatoriales où les nuages producteurs de pluie ont des températures ordinairement supérieures au point de congélation, il faut alors donner la préséance à d'autres processus de condensation.



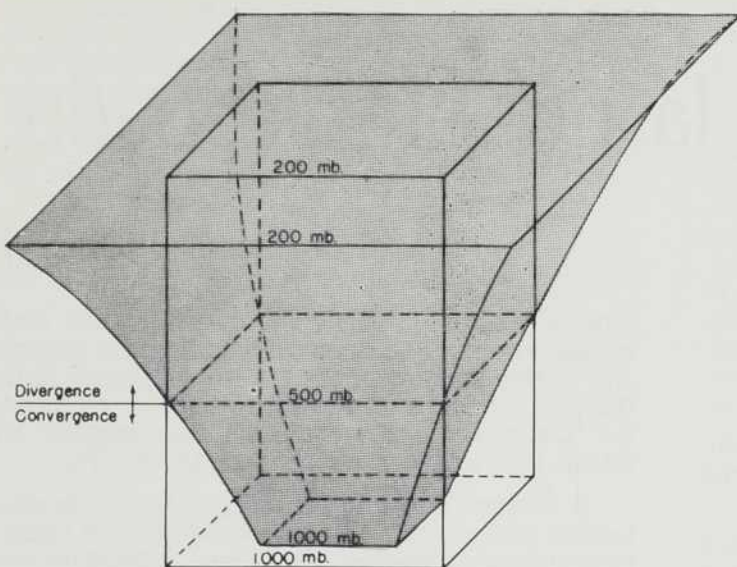


Figure 5

Cette figure montre la déformation que subit une colonne d'air sous l'effet de la divergence et de la convergence. Le prisme représente le volume initial et le volume ombré, le volume final. La zone de convergence se situe ordinairement entre la surface (1,000 millibars ou mb.) et le niveau de 20,000 pieds (500 mb.). La zone de divergence est en haut de 20,000 pieds et s'étend jusqu'à 50,000 pieds soit le niveau de la tropopause (200 mb.). Il y a contraction de volume dans les basses couches de l'atmosphère et dilatation dans les couches élevées.

Apport d'humidité

Il faut maintenant tenir compte du fait qu'un nuage peut donner jusqu'à deux (2), trois (3) et même cinq (5) pouces de pluie sans paraître visiblement changé. C'est un mécanisme d'accumulation d'humidité qui en est responsable. Pour la formation du nuage, il a fallu un bon courant ascendant vertical pour permettre à l'air de se refroidir et provoquer ainsi la condensation. Ce mécanisme d'ascension de l'air doit nécessairement se continuer si on veut que le nuage persiste. Cependant, l'ascension de l'air provoque un vide qui est immédiatement comblé par l'air avoisinant. Le processus d'ascension continue toujours et on se trouve donc en présence d'un apport horizontal et ininterrompu d'humidité. C'est ce qu'on appelle la « convergence ».

A cette convergence de l'air et de l'humidité en surface correspond un phénomène contraire en altitude. L'air qui monte continuellement trouve sa place en repoussant l'air qui s'y trouve déjà; il y a donc un courant horizontal d'éloignement de l'air appelé « divergence ». La figure 5 montre les modifications que subit une colonne d'air au cours d'une averse. Plus ces modifications sont grandes, plus la précipitation est abondante; plus elles sont rapides, plus la précipitation est intense.

Sommaire et conclusion

Nous avons décrit les principaux éléments producteurs de précipitation. Les processus de condensation ont amorcé le processus de coalescence. Nous avons ensuite mentionné comment ces différents facteurs s'inscrivent dans les théo-

ries de la formation des précipitations. Enfin, la convergence explique les quantités et les intensités de la précipitation. Ce sont les principaux processus responsables de la production des diverses formes de précipitation.

Il y aura de la neige si l'air où tombe la précipitation est au-dessous ou tout près du point de congélation, i.e. si elle n'est pas assez chaude pour permettre aux cristaux de glace de fondre complètement. Il y aura de la pluie si l'air où se forme la précipitation se trouve au-dessus du point de congélation ou, si on accepte la théorie de Bergeron-Findeisen, il y a, sous le nuage, une couche d'air assez épaisse et suffisamment chaude pour permettre aux cristaux de glace de fondre. Il y aura de la grêle si les mouvements ascendants et la convergence sont assez forts pour permettre la construction de très grosse boules de glace qui peuvent difficilement fondre dans les 10 à 15 milles pieds qui les séparent du niveau du point de congélation à la surface.

BIBLIOGRAPHIE

- BRICARD, Jean. *Physique des nuages*, Presses Universitaires de France, Paris, 1953.
- DIEM, M. *Messungen der Grösse von Wolkelementen II*, Met. Rundschau, I, p. 261, 1948. (Cité d'après Mason).
- MASON, B. J. *The Physics of Clouds*, Clarendon Press, Oxford 1957.
- WEICKMAN, H. et Aufm KAMPE, H. J. *Physical Properties of Cumulus Clouds*, Journal of Meteorology, 10, p. 204, 1953. (Cité d'après Mason).

Les vecteurs et la notion d'espace

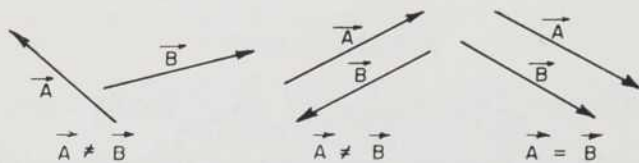
par Raoul DUCHESNE

Les vecteurs, ces quantités montées en flèche...

Ce qui peut prêter à double interprétation, mais qui est aussi vrai dans un sens que dans l'autre.

Il y a des grandeurs qu'un simple nombre suffit à définir : l'âge d'une personne, le prix d'une marchandise. On les appelle *scalaires*. En revanche, d'autres grandeurs comme les forces en mécanique, les vitesses, les déplacements, etc., qui comportent une orientation bien définie, ne sauraient être représentées adéquatement que par des vecteurs. Le vecteur fut à l'origine ce symbole monté comme une flèche pour représenter certaines grandeurs particulières, une origine qui ne remonte pas bien loin dans l'histoire des mathématiques.

Dans un langage plus formel, le *vecteur* est défini comme étant un *segment de droite orienté de longueur fixe*. Deux éléments bien distincts caractérisent cet « être » mathématique : la longueur ou module et l'orientation. Deux vecteurs de même module ne sont pas égaux pour autant ; il faut de plus qu'ils aient même orientation. Il ne suffit pas qu'ils soient parallèles, mais en plus de ce parallélisme, il faut qu'ils soient *fléchés* dans le même sens, comme le font voir les figures. Cette égalité un peu spéciale porte le nom d'*équipollence*.



Ces nuances rigoureuses n'ont pas été inventées pour le plaisir de compliquer les choses. C'est probablement grâce à cette rigueur que ce symbole tout simple et sans prétention est en passe de devenir un « modèle » mathématique de toute première valeur, un de ces outils indispensables pour soutenir les démarches de l'esprit dans le jeu des disciplines abstraites. Un peu comme les diagrammes de Venn pour la logique et la théorie des ensembles. Il est en

effet à prévoir, si l'on en croit les grands maîtres de l'heure, que dans un avenir assez rapproché toutes les disciplines d'analyse géométrique fassent l'unité autour des méthodes vectorielles. On pourra parler alors d'une montée en flèche des vecteurs au sens métaphorique.

Il va sans dire que l'enseignement de la géométrie devra subir le contrecoup de ces transformations. L'édifice euclidien, chef-d'oeuvre d'une civilisation remarquable, tient le coup contre vents et marées et fournit encore à la mathématique d'aujourd'hui son vocabulaire fondamental. Mais ce serait une fidélité mal comprise que de tenir mordicus à n'y rien changer.

Une notion entre autres qui demeure assez floue même après avoir couvert un manuel « traditionnel », si tant est que cela se pratique encore, c'est la notion d'espace. Ce mot qui est sur toutes les lèvres à l'heure actuelle, ne serait-ce que pour vanter la soi-disant conquête de l'espace par nos cosmonautes, qu'est-ce qu'il signifie au juste ? L'étudiant moyen n'y voit que du feu même s'il a pu rêver un jour sur la « majesté des espaces infinis » dont parle Chateaubriand. La définition du dictionnaire : « L'étendue indéfinie qui contient les êtres étendus » pourra peut-être satisfaire les amateurs de mots-croisés, mais on admettra facilement qu'elle laisse un mathématicien sur son appétit. Ce serait déjà mieux de dire que l'espace c'est l'étendue d'un lieu par rapport à un nombre convenu de dimensions. Encore que dans cette définition il reste à préciser la notion de dimension.

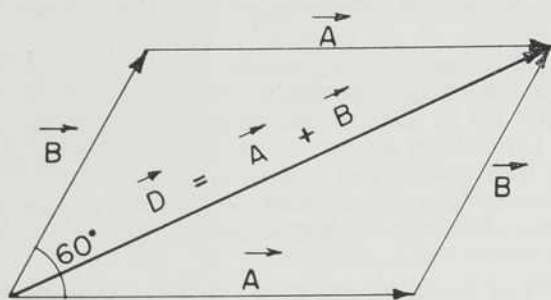
Sans faire appel au formalisme de la structure d'espace vectoriel, mais simplement au moyen de la somme géométrique ou vectorielle, je voudrais tenter d'apporter quelques précisions sur le sujet.

La somme géométrique

La somme géométrique ne correspond pas au banal « deux et deux font quatre » que le profane nous lance à la figure toutes les fois qu'il est question de mathématiques. En ce sens qu'une somme géométrique ne dépend pas uni-

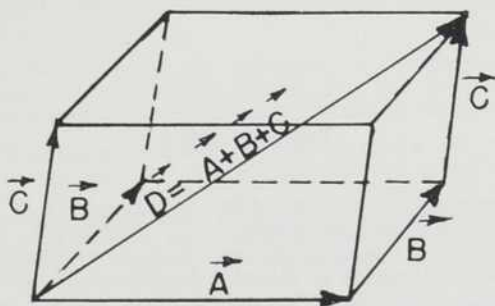
quement des grandeurs absolues mais également de la position des vecteurs mis en cause. En fait, lorsqu'il s'agit de la somme de deux vecteurs non parallèles, elle correspond à une des diagonales du parallélogramme construit sur ces vecteurs; plus précisément la diagonale qui joint l'origine de l'un des vecteurs à l'extrémité de l'autre.

$\vec{D} = \vec{A} + \vec{B}$, comme le fait voir la figure :



Ainsi, par exemple, s'il s'agit de composer deux forces A et B formant un angle de 60° , il ne suffira pas d'additionner leur intensité, mais bien de calculer la longueur et la direction de la diagonale du parallélogramme construit sur les vecteurs qui représentent les forces A et B.

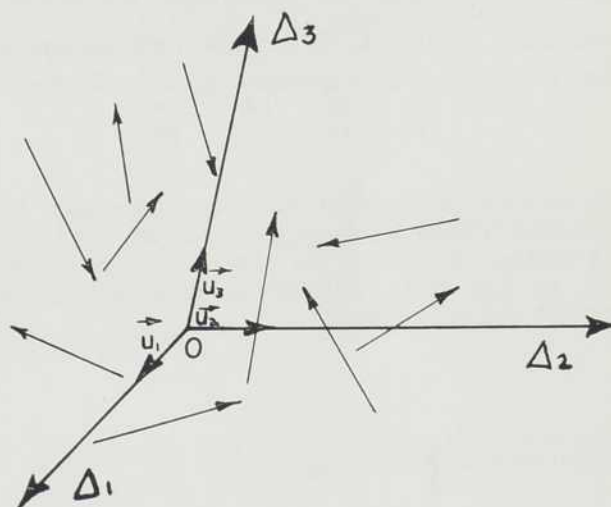
Dans le cas de trois vecteurs non situés dans le même plan, c'est-à-dire formant l'angle solide qu'on appelle un trièdre, la somme géométrique $\vec{D} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ sera la diagonale du parallélépipède ayant comme arêtes les vecteurs \vec{A} , \vec{B} et \vec{C} .



La figure obtenue est une figure solide, c'est-à-dire une figure étendue dans l'espace suivant trois directions différentes qui peuvent correspondre aux arêtes du bloc massif défini comme un parallélépipède. Nous dirons qu'une telle fi-

gure est mesurable sur trois dimensions, précisément parce qu'elle s'étend dans l'espace suivant trois directions bien différentes et irréductibles à un même plan.

Pour serrer davantage la notion d'espace, parallèlement aux arêtes de ce solide construisons un système d'axes Δ_1 , Δ_2 et Δ_3 issus d'un même point O et prolongés indéfiniment chacun dans sa direction. Cette figure d'allure vectorielle nous donne un schéma de l'espace à trois dimensions que nous pouvons même nous imaginer rempli d'étoiles filantes, c'est-à-dire d'une infinité de vecteurs de tous modules et de toutes directions. Ce qui nous justifie de l'appeler un modèle de l'espace.

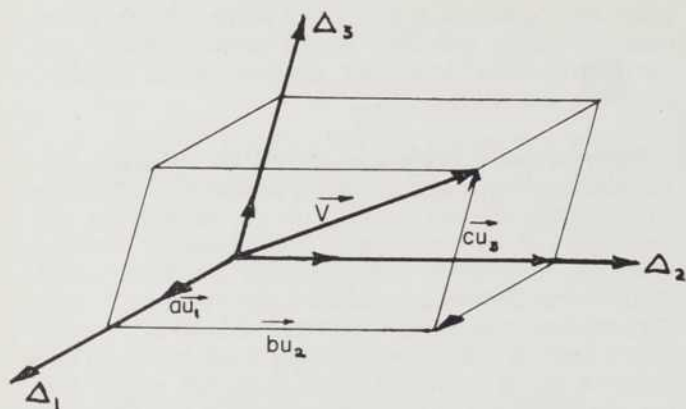


Si, sur chacun des trois axes, nous choisissons une mesure unitaire, les vecteurs \vec{u}_1 , \vec{u}_2 et \vec{u}_3 respectivement, la relation:

$\vec{D} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ devient $\vec{D} = a\vec{u}_1 + b\vec{u}_2 + c\vec{u}_3$ les nombres a, b et c étant convenablement choisis, nous dirons alors que les vecteurs \vec{u}_1 , \vec{u}_2 et \vec{u}_3 constituent une base des vecteurs

de l'espace, en ce sens que tout vecteur \vec{V} pourra être ramené à l'origine et pourra être considéré comme la diagonale d'un parallélépipède formé par des arêtes étendues suivant les axes; il sera exprimé par une somme géométrique telle que:

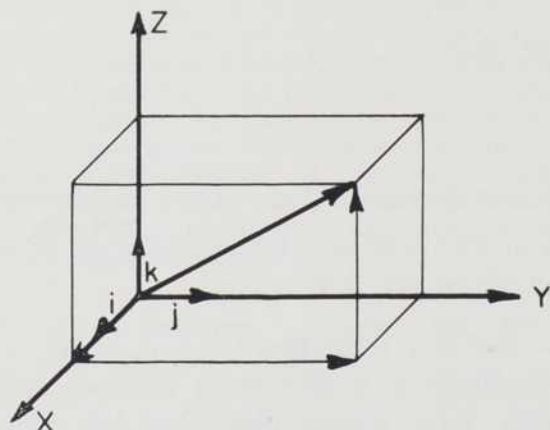
$$\vec{V} = a\vec{u}_1 + b\vec{u}_2 + c\vec{u}_3$$



Comme base des vecteurs de l'espace, les manuels utilisent de préférence les vecteurs unitaires \vec{i} , \vec{j} et \vec{k} du repère orthonormé où les vecteurs sont exprimés sous la forme:

$$\vec{V} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

Ce schéma de l'espace, parce que constitué d'un système d'axes rectangulaires, a sur tout autre l'avantage d'utiliser les projections orthogonales, ce qui prête, comme on sait, à d'intéressantes simplifications.



L'espace et les espaces

L'espace à trois dimensions que nous venons de cerner tant bien que mal par des méthodes vectorielles est appelé l'espace euclidien, non en vertu de ce que nous pourrions appeler une fidélité sentimentale, mais parce qu'il suffit à la description et à la mesure des corps palpables et tangibles, objet de la géométrie d'Euclide.

Lorsqu'il est question de moins de trois dimensions, nous dirons plutôt que nous avons affaire à un sous-espace. C'est le cas, par exemple, du sous-espace des vecteurs d'un plan, où la décomposition des vecteurs est obtenue au moyen d'une base à deux dimensions, la base

des deux vecteurs \vec{i} et \vec{j} du repère orthonormé entre autres, pour ce qui est du plan cartésien XOY. Nous pouvons même parler du sous-espace des vecteurs d'une direction donnée, donc d'un sous-espace à une seule dimension, comme c'est le cas des vecteurs portés par un même axe.

En somme, nous avons des espaces à une, deux et trois dimensions suivant que la base axiale ou la base de décomposition des vecteurs est constituée de un, deux ou trois vecteurs. Ce qui n'empêche pas l'espace à trois dimensions d'être le seul espace réel, au sens où nous pouvons y évoluer en toute liberté.

Pouvons-nous parler d'espaces à plus de trois dimensions? Rien ne s'y oppose en principe. Nous savons que pour leur part les physiciens ont franchi le mur des trois dimensions. En mathématiques, nous pouvons prendre la liberté d'écrire :

$$\vec{V} = a\vec{u}_1 + b\vec{u}_2 + c\vec{u}_3 + \dots + x\vec{u}_n$$

Cette fois nous sommes en dehors de l'univers euclidien, en ce sens que nous ne pouvons pas représenter géométriquement la décomposition d'un vecteur dans une base de plus de trois vecteurs. Mais nous ne pouvons pas dire pour autant que l'expression soit dénuée de sens. Nous pouvons même affirmer entre autres choses qu'il s'agit d'un espace abstrait à « n » dimensions.

La théorie de ces espaces abstraits a connu, ces dernières années de merveilleux développements. C'est à croire que « la majesté des espaces infinis » a également séduit les mathématiciens.

Bibliographie

GATTEGNO, C., J. PIAGET, E. W. BETH, J. DIEUDONNE, A. LICHNEROWICZ, G. CHOQUET. *L'enseignement des mathématiques, nouvelles perspectives*, Editions Delachaux & Niestlé, Neuchatel, Suisse, 1955.

DIEUDONNE, Jean. *Algèbre linéaire et géométrie élémentaire*, Hermann, éd., 115, boul. Saint-Germain, Paris, 1964.

GLICKSMAN, Abraham M. *Vectors in three dimensional Geometry*, National Council of Teachers of Mathematics, 1201 Sixteenth St, N. W., Washington, D.C., 1961.

SCHUSTER, Seymour. *Elementary Vector Geometry*, John Wiley & Sons, 1962.

Jeunes EXPLOS

étude des sciences naturelles

Les JEUNES EXPLOS organisent actuellement leur douzième saison d'étude. Ils invitent les étudiants intéressés à l'étude de la nature à se rendre au Cap Jaseux, sur les rives du Saguenay, à l'une des trois quinzaines de leur programme d'été 1966.

L'étude des oiseaux, des insectes, des plantes, de même que l'inventaire biologique d'un lac, l'étude des poissons et invertébrés marins du fjord du Saguenay s'inscrivent de nouveau parmi les principaux thèmes de la prochaine saison. Des professeurs d'expérience guident les jeunes explorateurs dans leurs excursions comme dans leurs analyses en laboratoire.

Si vous avez terminé votre 8e année en juin prochain et si ces études de sciences naturelles conviennent à vos intérêts, demandez immédiatement tous les renseignements à propos de cette école d'été. Ecrivez : *Les Jeunes Explos, case postale 391, JOLIETTE, P. Q.*

Les auteurs de ce numéro

Rédacteurs :

- 121 Le télescope amateur à la portée de tous, par Jacques Labrecque, astronome à l'Observatoire fédéral, Ottawa, Ontario.
- 125 L'Observatoire de radioastronomie du Parc Algonquin, texte d'un photo-reportage de l'Office national du Film, Ottawa, par Gaston Lapointe.
- 126 Qu'est-ce que l'ionosphère ?, par Alphée Nadeau, B.Sc., professeur au Collège Sainte-Anne, La Pocatière, P.Q.
- 129 Le Département de physique de l'Université de Montréal, par Paul Lorrain, Ph. D., directeur du Département de physique, Université de Montréal.
- 132 Présentation et commentaires de cartes sur le Nouveau-Québec, par Michel Brochu, géographe, Docteur de l'Université de Paris, attaché au Centre de Recherches sur le Nouveau-Québec, Ecole des Hautes Etudes commerciales de Montréal. Article (modifié) extrait de *L'Actualité économique*, Montréal, vol. 40, numéro 4, janvier-mars 1965, pages 691-695 et 701-707, publié avec la bienveillante autorisation de l'auteur et de la direction de la revue.
- 138 La formation de la précipitation, par Raymond-M. Gagnon, M. Sc., météorologiste, Service de Météorologie, ministère des Richesses naturelles, Québec.

- 142 Les vecteurs et la notion d'espace, par Raoul Duchesne, c.s.v., B. Sc., professeur de mathématiques au Collège de Joliette.

Photographes, dessinateurs :

- 121-124 Le télescope amateur : p. 122, photo de l'Observatoire fédéral, Ottawa; graphiques : esquisses de Jacques Labrecque, dessinées par Claude Forest, Joliette.
- 126-128 Qu'est-ce que l'ionosphère ? : p. 126, dessin de Réal Aubin, c.s.v., M. Sc., Collège de Joliette; p. 128, esquisses de Alphée Nadeau, dessinées par Claude Forest, Joliette.
- 129-131 Le Département de physique de l'Université de Montréal : graphiques fournis par l'auteur, Paul Lorrain, Ph. D.
- 132-136 Présentation et commentaires de cartes sur le Nouveau-Québec : pp. 133, 136, cartes préparées par l'auteur, Michel Brochu, géographe, Docteur de l'Université de Paris.
- 138-141 La formation de la précipitation, graphiques fournis par Raymond-M. Gagnon, M.Sc., dessinés par Claude Forest, Joliette.
- 142-144 Les vecteurs et la notion d'espace, graphiques fournis par Raoul Duchesne, c.s.v., B.Sc., dessinés par Claude Forest, Joliette.



Quatre volumes d'information scientifique

Le 4e volume de votre revue LE JEUNE SCIENTIFIQUE est en cours et ses trois premiers volumes sont encore disponibles, à quelques exemplaires seulement. Certains numéros sont même épuisés. Hâtez-vous donc de les commander, si vous désirez compléter votre collection de ces précieux albums traitant des sciences naturelles et exactes.

Depuis octobre 1962, LE JEUNE SCIENTIFIQUE a déjà édité 24 brochures d'information scientifique, soit 3 volumes complets à 8 numéros chacun. Le 4e volume présente actuellement sa 6e livraison, avec ce numéro de mars 1966.

Si cette revue vous intéresse, participez à sa diffusion, présentez-la à vos amis, à vos compagnons, à vos élèves... Prenez part à la propagande d'une revue de vulgarisation scientifique destinée aux étudiants d'expression française.

Si vous recrutez une quinzaine d'abonnements, à une même adresse, vous bénéficiez d'un *tarif spécial*, vous économisez un dollar pour chacun de ces quinze abonnements.

Ecrivez dès maintenant au bureau des abonnements, à l'adresse qui figure au bas de cette page, et demandez la nouvelle « *liste des publications* ». Vous pourrez obtenir les numéros antérieurs disponibles, certains numéros spéciaux de la revue « Le Jeune Naturaliste » (1950-1962), de même que des tirés à part d'articles parus dans Le Jeune Scientifique.

LE JEUNE SCIENTIFIQUE doit pouvoir compter sur une équipe d'éducateurs actifs, sur une population nombreuse de lecteurs et lectrices pour pouvoir continuer son oeuvre d'enseignement des sciences. Inscrivez-vous dès maintenant parmi ses amis, ses propagandistes.

LE JEUNE SCIENTIFIQUE, case postale 6060, MONTRÉAL 3.

