

- 69

8



le jeune scientifique

PUBLICATION DE L'ACFAS



VOLUME 5
NUMÉRO 8
MAI 1967



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 rédaction

CONSEIL D'ADMINISTRATION

Réal Aubin

Jean-A. Baudot

Jean-M. Beauregard

Léo Brassard

Roger H. Martel

Jean-Louis Meunier

Gaston Moisan

Roland Prévost

Marcel Sicotte

COMITÉ DE RÉDACTION

Réal Aubin

Jean-R. Beaudry

Jean-Pierre Bernier

Michel Brochu

Raymond Cayouette

Louis-Philippe Coiteux

Pierre Demers

Jean-Paul Drolet

Jean-Guy Fréchette

Raymond-M. Gagnon

Guy Gavrel

Olivier Héroux

Edouard Kurstak

Jacques Labrecque

Serge Lapointe

Paul Lorrain

Alphée Nadeau

Paul-H. Nadeau

Raymond Perrier

Roland Prévost

Jean-René Roy

Madan Lal Sharma

Jacques Vanier

Volume V, no 8

mai 1967

SOMMAIRE

- 169 La grêle, sa structure et ses propriétés
- 172 La végétation des Everglades de Floride
- 176 Les ordinateurs électroniques, 2e article : comment résoudre une équation du second degré au moyen d'un ordinateur
- 180 Les bactéries: un monde qui nous entoure
- 182 La réussite d'une bactérie
- 188 Le moteur-fusée électrique
- 192 Actualité scientifique

En supplément : sommaire du Ve volume.

Photo-couverture: dans un laboratoire des sciences neurologiques du Département de physiologie de la Faculté de Médecine, à l'Université de Montréal, une technicienne prépare des sections de cerveau à l'intention des étudiants et des chercheurs. Les sections de cerveau coupées au microtome sont étalées sur des lames de verre et ensuite colorées pour pouvoir les examiner au microscope. On peut ainsi étudier la structure générale du cerveau ou les localisations particulières de structures stimulées. — Une importante subvention vient d'être accordée à un groupe de chercheurs des sciences neurologiques: voir la nouvelle en page 192 de ce numéro. (Photo de la Centrale de Photographie, Université de Montréal).

Tarif des abonnements

Abonnement annuel : Canada, \$3.00; Etranger, \$3.50. Abonnement annuel de groupe-étudiants, soit 15 abonnements et plus à une même adresse : \$2.00 chacun. Vente au numéro : 50 cents.

Adresse

Direction : case postale 391, Joliette, (Québec), Canada. (Collège de Joliette) Tél. : (514) 753-7466.

Abonnements : case postale 6060, Montréal 3, (Québec), Canada. Tél. : (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, 1967.

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.

Qu'est-ce que la grêle? Est-ce une simple pluie congelée ou de minuscules morceaux de glace? Avez-vous déjà examiné la coupe d'un "grêlon"?

La grêle, sa structure et ses propriétés physiques

par Michel FERLAND

La grêle captive l'imagination des gens depuis toujours. Le fait qu'elle se produise de façon si spectaculaire au cours d'orages violents en a fait à la fois un objet de crainte et de curiosité. Il y a longtemps qu'on a commencé à recueillir des grêlons et à les examiner pour en déterminer les propriétés. En coupant les grêlons pour les étudier, les chercheurs se rendirent compte que ce n'étaient pas des morceaux de glace quelconques, mais qu'ils étaient constitués de couches alternatives et plus ou moins concentriques de glace claire et opaque. Par le fait même, ils observèrent une différence de porosité entre ces deux types de glace, les couches opaques renfermant de très grandes quantités de petites bulles d'air. Or, le nombre et les dimensions de ces bulles sont les facteurs qui déterminent la densité de ces couches.

La densité et la forme des couches des grêlons en sont des aspects particulièrement importants, parce que révélateurs des conditions de croissance, de développement et de vie du grêlon, c'est-à-dire des phases transitoires qu'il a connues au cours de son existence atmosphérique. La connaissance des poids spécifiques est aussi importante pour les calculs de vitesse de chute des grêlons.

Forme et dimensions des grêlons

La forme et les dimensions des grêlons servent à en déterminer les propriétés physiques, car elles influencent leur comportement aérodynamique et thermodynamique au cours de leurs chutes. On caractérise d'ordinaire les grêlons par les formes géométriques auxquelles ils s'apparentent le plus, tels des cônes, des sphères, des ellipsoïdes, des disques, etc. On a même trouvé des cas de deux ou plusieurs grêlons joints ensemble en agrégats.

Beckwith a calculé les distributions de fréquence des dimensions des plus gros grêlons ramassés dans la région de Denver, Colorado, de 1949 à 1955; il a trouvé 1.2 cm, comme diamètre

le plus fréquent. Macklin, Strauch et Ludlam ont étudié les dimensions des sections de 35 grêlons, amassés à sept stations, après un orage sur le sud de l'Angleterre le 9 juillet 1959; leurs diamètres allaient jusqu'à 5 cm. On a même trouvé à Hyderabad en Inde des grêlons pesant 7.5 livres. Toutefois, les observations sont souvent faussées par le fait que les observateurs sont naturellement enclins à remarquer les dimensions maximales et moyennes, mais peu souvent les plus petites.

Densité

Quelques études ont été faites sur la densité globale des grêlons entiers. Entre autres, List a publié des valeurs de densité allant de 0.8 à 0.9 g.cm⁻³; sa méthode était de peser les grêlons et de trouver leurs volumes en mesurant la poussée qu'ils subissent lorsque plongés dans le pétrole.

Pour leur part, Macklin, Strauch et Ludlam ont immergé des grêlons dans une série de liquides refroidis de diverses densités. En observant la vitesse de chute ou de remontée des grêlons, ils en ont évalué les densités avec une précision de ± 0.003 g.cm⁻³. Les densités de 169 grêlons, dont la masse allait de 0.1 à 17.3 g., et qui provenaient tous d'un même orage, s'échelonnaient de 0.875 à 0.912 g.cm⁻³.

Formation de la grêle et structure interne des grêlons

La grêle se forme dans les cumulonimbus ou nuages d'orage. Plusieurs de ces nuages peuvent contenir de la grêle à certaines étapes de leur formation, bien qu'elle puisse n'exister que dans des régions bien définies et qu'elle puisse fondre avant d'atteindre le sol. Effectivement, la région de formation des grêlons bien développés dans tout cumulonimbus est relativement restreinte. En outre, il ne semble pas y avoir de corrélation entre la durée d'une chute de grêle et la grosseur des grêlons.



Un nuage cumulonimbus avec formation de faux cirrus dans la partie supérieure. La grêle se forme dans les cumulonimbus appelés aussi nuages d'orage.

L'étape initiale de la formation du grêlon est la croissance d'un noyau glaçogène en un cristal de glace, par déposition, grâce à un transfert d'eau des gouttelettes surfondues vers les cristaux (processus Bergeron-Findeisen). On sait en effet que la tension de vapeur saturante par rapport à l'eau est plus élevée que par rapport à la glace, à une température donnée (inférieure à 0 degré C).

Puis, lorsque le cristal s'est suffisamment alourdi par déposition pour que sa vitesse limite de chute relative soit nettement supérieure à celle des gouttelettes, il croît par coalescence. La coalescence désigne l'agrégation résultant des collisions entre les gouttelettes d'eau surfondues (température inférieure à 0 degré C) et les cristaux. Le cristal est alors devenu une « boulette de neige ». Celle-ci, par coalescence avec des gouttelettes plus nombreuses et plus grosses, verra augmenter à la fois son volume et sa densité et se transformera en grésil. La particule de grésil, continuant à capter des gouttelettes surfondues, subit un grand accroissement de masse et volume et devient grêlon.

En fait, cinq processus entrent en jeu individuellement ou simultanément dans l'augmentation de masse des grêlons : la capture de gouttelettes liquides la plupart surfondues, la capture de cristaux de glace, la capture du mélange des deux phases (glace et eau), la déposition de vapeur d'eau et l'évaporation d'eau sur la surface du grêlon. Le processus naturel le plus fréquent est la capture d'eau surfondue combinée à l'évaporation de molécules d'eau sur la surface.

D'après List, le coeur du grêlon est une « boulette de neige » modifiée, résultant de déposition et coalescence sur un cristal de glace. Si une boulette de neige capte des gouttelettes d'eau qui ne se congèlent pas immédiatement à l'impact, ses interstices peuvent être partiellement ou même complètement emplies d'eau. Cette

phase liquide peut se congeler par la suite, ce qui donne de la glace transparente : le produit est du grésil.

Selon les conditions de glaciation, de la glace transparente ou des couches opaques peuvent se former sur un grêlon. Entre deux zones transparentes, il y en a une opaque. Cette phase intermédiaire, qui résulte des conditions de croissance, est constituée d'une couche de bulles d'air, qui se forme autour d'une zone transparente. Les limites d'une couche indiquent une forme antérieure du grêlon. Si les bulles d'air ne forment pas une couche fermée, c'est que la position de chute du grêlon était relativement stable à ce moment particulier; en d'autres termes, le grêlon ne subissait pas de rotation. Des bulles d'air alignées de façon radiale indiquent les directions de croissance locales.

Du point de vue thermodynamique, on peut distinguer trois types de dépôt sur les grêlons :

- a) la glace spongieuse, qui se forme quand le transfert total de chaleur avec le milieu ambiant n'est pas suffisant pour congeler toute l'eau qui se dépose. Cette glace est à la température de 0°C et a une densité comprise entre 0.915 (glace pure) et 1.000 g. cm⁻³. Ces couches de glace spongieuse sont difficiles à reconnaître parce que en général, on n'examine pas les grêlons immédiatement après leur formation, mais seulement après congélation en chambre froide;
- b) la glace compacte, qui se forme quand le transfert de chaleur est tout juste suffisant pour congeler tout le dépôt liquide, mais qu'il n'y a pas de perte de chaleur subséquente qui réduise la température des dépôts glacés à moins de 0°C. La densité de cette glace est à peu près celle de la glace pure (0.915 g.cm⁻³);

c) la glace poreuse, qui se produit quand tout le dépôt liquide se congèle et que la glace formée continue de se refroidir jusqu'à une température entre 0°C et la température du milieu ambiant. La densité est plus faible que 0.915 g.cm⁻³.

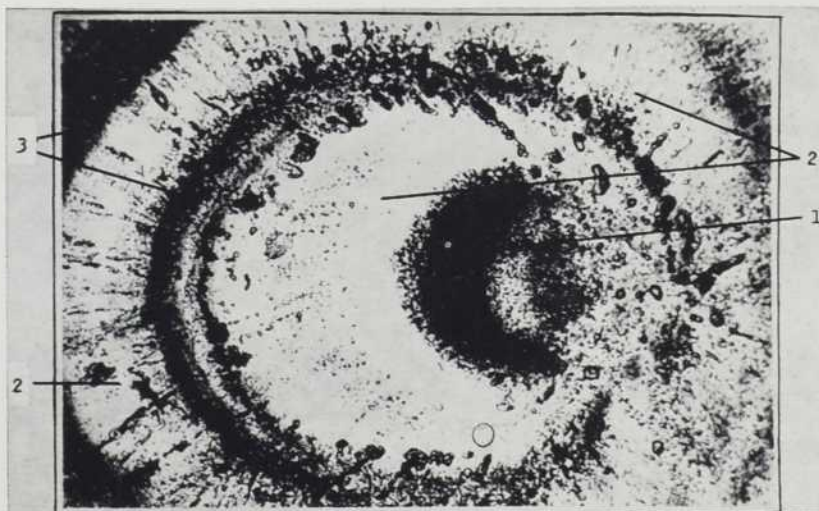
Dans une étude effectuée sur la température de 27 grêlons amassés à Denver, Colorado, Harrison & Beckwith ont trouvé que 19 des 20 grêlons ayant un centre opaque étaient constitués d'un nombre impair de couches, alors que cinq grêlons ayant un centre transparent étaient constitués d'un nombre pair de couches, de sorte que tous les grêlons, sauf un, avaient une couche extérieure transparente. La distribution de fréquence du nombre de couches dans ces grêlons montrait un mode à 5 et un cas extrême de 11 couches.

Une récente étude par Browning soutient que les grêlons géants croissent selon un arrangement tridimensionnel de lobes congelés plus ou moins complètement et parfois séparés par des régions de glace spongieuse caractérisées par des lignes radiales de bulles. Les surfaces de croissance de ces lobes sont fortement convexes vers l'extérieur. Quand on regarde la surface extérieure de tels grêlons, on a la fausse impression que le grêlon géant est un agrégat de grêlons plus petits. La présence en surface de protubérances associées à ces lobes augmenterait l'efficacité de la perte de chaleur à la surface du grêlon. L'importance de cet effet est due au fait qu'il réduit la fraction d'eau non congelée qui est incorporée à un grêlon à croissance rapide, de sorte qu'un grêlon géant d'un diamètre de 8 cm pourrait ainsi croître sans devenir appréciablement spongieux.

Il reste donc que bien des points demeurent obscurs à propos de la formation et de la structure interne de la grêle, même si on peut formuler mathématiquement certains des effets observés. Nous n'avons abordé ici qu'un des nombreux aspects du phénomène de la grêle, soit celui de la formation et des caractéristiques physiques des grêlons. Et nous n'avons pas traité le problème de la structure cristallographique des diverses couches en rapport avec leur densité, point qui semble important d'après de récentes études. Des recherches intensives se poursuivent aussi actuellement sur les moyens de prévention de la grêle, sur les charges électriques dans les nuages en rapport avec la formation de la grêle, enfin sur la réflectivité au radar et le contenu en deutérium des grêlons.

Bibliographie

- BECKWITH, W.B. *Hail Observations in the Denver Area*. United Air Lines Met. Circ. No. 40, 1956.
- BROWNING, K.A. *The lobe structure of giant hailstones*. Quarterly Journal of the Royal Met. Society, Vol. 92, No. 391, Janvier 1966.
- FERLAND, M.G. *Density and Crystallographic Structure of Hailstone Shells*. Thèse de maîtrise. Département de Physique. Université de Toronto. Avril 1965.
- HARIHAN, P.S. *Sizes of Hailstones*. Indian Journal Met. Geophys. 1, p. 73, 1950.
- HARRISON, H.T., and W.B. BECKWITH. *A Re-examination of Hail Patterns over Western United States*. United Air Lines Met. Circ. No. 35, 1950.
- LIST, R. *On the Growth of Hailstones*. Wissenschaftliche Mitteilungen Nr. 33, Eidgenössische Kommission zum Studium der Hagelbildung und der Hagelabwehr, 1961.
- MACKLIN, W.C., E. STRAUCH, and F.H. LUDLAM. *The Density of Hailstones Collected from a Summer Storm*. Nubila 3, No. 1, 1960.



Cette coupe d'un grêlon de 3.0 cm montre :

- 1 — le coeur du grêlon;
- 2 — des couches de glace claire parsemées de bulles d'air;
- 3 — des couches de glace opaque contenant une multitude de bulles d'air.

(D'après R. List).

Un paysage naturel unique en Amérique du Nord qui constitue un véritable laboratoire de plein air

La végétation des Everglades de Floride

par M. M. GRANDTNER

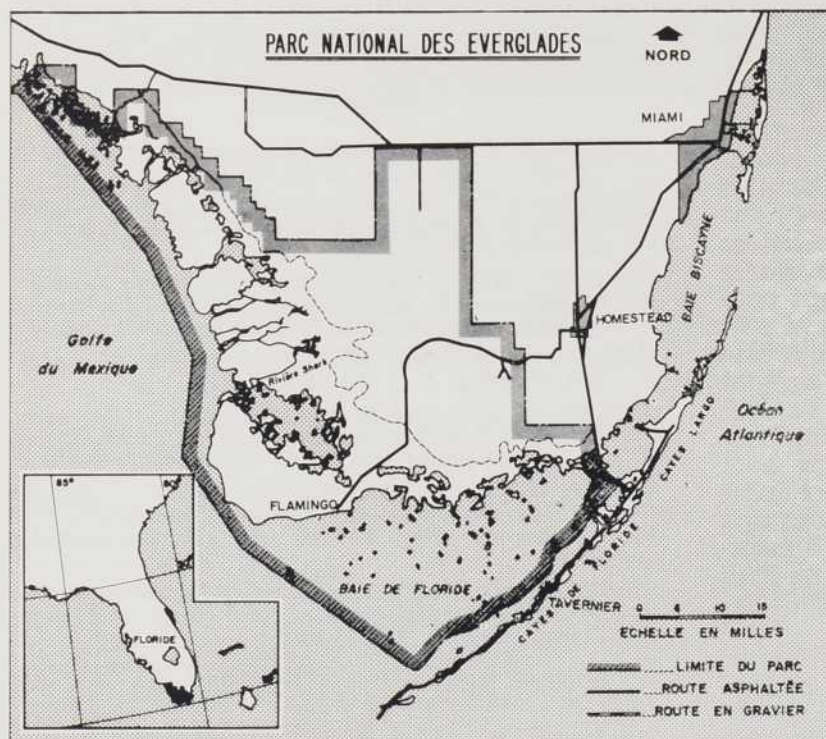
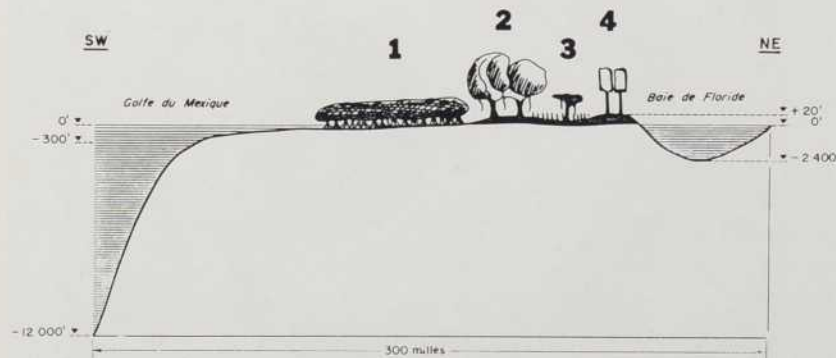


Figure 1. Limites du Parc National des Everglades. En pointillé, la limite nord de la mangrove. (D'après un dépliant du Service des Parcs Nationaux du Ministère de l'Intérieur des Etats-Unis).

Figure 2. Profil transversal du sud de la Floride (d'après Robertson, 1959) et principaux types de végétation naturelle: 1—la mangrove; 2—le « hammock »; 3—la prairie marécageuse; 4—la pinède.



Un paysage végétal unique

Le paysage végétal des Everglades est unique en Amérique du Nord. Situé à l'extrémité sud-ouest de Floride, aux confins de la zone tempérée chaude et de la zone subtropicale, il frappe le voyageur par son immensité, sa beauté sauvage et la luxuriance de sa riche flore. De cet immense territoire, composé d'une mosaïque d'eau et de terre ferme difficilement accessible, plus de 2 100 milles carrés furent placés, en 1947, sous la protection du gouvernement des Etats-Unis et déclarés « Parc National des Everglades » (figure 1). C'est de ce dernier que proviennent la plupart des données de ce texte.

La topographie actuelle et les glaciations

L'une des principales caractéristiques de cette région de Floride est son absence de relief. En effet, le point le plus élevé du parc atteint une altitude dérisoire de 10 pieds au-dessus du niveau de la mer. Cette absence de dénivellation est en relation étroite avec le passé géologique de cette contrée. La topographie actuelle date de l'époque des dernières glaciations. La Floride n'a évidemment pas subi de glaciation directe. Il n'y avait même pas de glaciers flottants à proximité de ses côtes. Néanmoins, ce sont les glaciations ou, plus

précisément l'alternance des glaciations et des périodes interglaciaires plus chaudes et l'oscillation du niveau de la mer qui en résultait, qui ont joué le rôle le plus important dans l'aplanissement de son relief.

L'assise géologique qui apparaît actuellement près de la surface fut déposée lors de l'invasion de la troisième mer interglaciaire, il y a environ 100 000 ans. Elle est formée de deux sortes de calcaires :

1) un vieux récif de corail qui forme aujourd'hui les Cayes de Floride;

2) un calcaire poreux qui affleure sur la côte orientale de la péninsule, passe sous la baie de Floride pour émerger, de nouveau, sous forme d'îlots éparpillés, aux environs de Caye Ouest.

Les zones physiographiques et botaniques

J'ai mentionné plus haut que le sud de Floride est presque complètement dépourvu de relief. En fait, le pays n'est pas absolument plat. Un examen approfondi du profil transversal de la péninsule révèle, en réalité, l'existence de quatre zones physiographiques dis-

tinctes auxquelles se trouvent reliés cinq types différents de végétation (figure 2). Ce sont du sud-ouest au nord-est :

1) une première zone, représentée par une pente très faible, — elle descend à peine de 5 pouces au mille, — inclinée vers le sud-ouest, donc vers le golfe du Mexique et colonisée par une forêt marécageuse extrêmement dense et toujours verte : la *mangrove*; cette première zone est suivie

2) d'une zone légèrement plus élevée et par conséquent moins humide, occupée par la forêt feuillue toujours verte appelée *hammock*, à laquelle succède

3) une zone déprimée, inondée d'eau douce pendant la plus grande partie de l'année et où l'on trouve les *everglades* proprement dites, c'est-à-dire une sorte d'immense prairie marécageuse parsemée de cyprès et de palmiers et, enfin,

4) une zone plus élevée recouverte de sols secs et pierreaux, occupée par les *pinèdes*.

Nous allons examiner brièvement la physionomie et la composition de la végétation de ces quatre zones.

La mangrove à palétuviers

La mangrove est une forêt de sols salins marécageux (figure 3). Elle s'avance loin dans la mer et les marécages d'eau salée. Les espèces qui la composent sont des palétuviers : *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* et *Conocarpus erectus*. Ce sont de véritables pionniers tropicaux capables de s'établir en plein dans l'eau et de supporter une très forte salinité.

Le sud de la Floride n'est pas l'unique endroit où on trouve la mangrove. Des forêts semblables se retrouvent le long des côtes tropicales du monde entier. Mais ce serait dans l'embouchure de la rivière Shark, à l'entrée du golfe du Mexique, que se trouverait, selon les auteurs américains, la mangrove la plus vaste et la mieux développée.

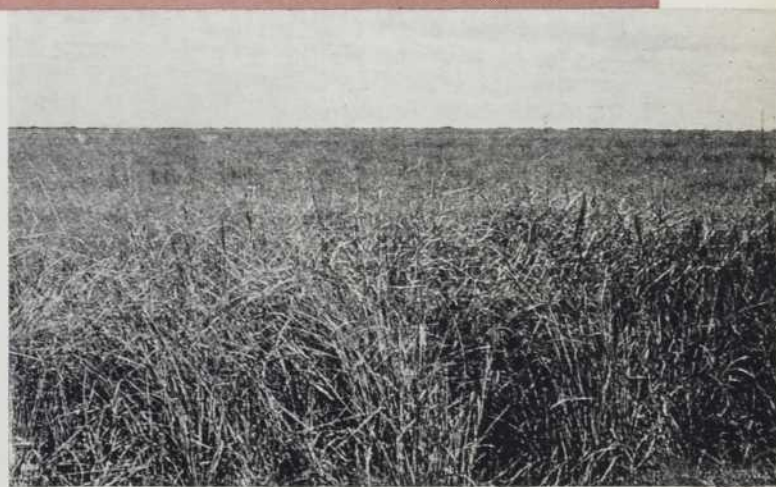
La prairie marécageuse à cladium

Quand les gens du sud parlent d'Everglades, ils pensent aux pays des marécages à cladium (*Cladium jamaicense*). D'immenses superficies de cette cypéracée constituent le paysage typique du centre de

Figure 3. La mangrove à palétuviers, dont on voit ici les nombreuses racines-échasses, est une forêt de marécages salés.



Figure 4. D'immenses superficies de la prairie marécageuse à cladium constituent le paysage typique des Everglades.



la péninsule (figure 4). Cette prairie marécageuse qui semble composée d'une seule espèce, contient, en réalité, un grand nombre de plantes aquatiques et semi-aquatiques. Les plus communes d'entre elles appartiennent aux familles des arums et des nymphéas.

La prairie marécageuse à cladium est submergée durant la saison des pluies d'été, mais asséchée et fréquemment incendiée durant la saison sèche d'hiver. Ce cycle saisonnier d'inondation et d'assèchement régit toute la vie végétale et animale des marécages. Dans la lutte de survie à la sécheresse, l'alligator joue le rôle d'ingénieur hydraulicien, un peu comme le castor le fait chez nous. Cet animal curieux se creuse, en effet, avant l'arrivée de la saison sèche, une cuvette dans laquelle il se réfugie et où il retourne chaque année en l'agrandissant à mesure que le temps passe. Ces cuvettes, où l'eau s'accumule, deviennent ainsi de véritables oasis permettant la survie de nombreuses plantes, oiseaux et animaux aquatiques, qui, emportés par la crue des eaux à l'arrivée de la saison des pluies, repeuplent de nouveau les marécages.

La forêt marécageuse de cyprès

Revenons encore, pour un instant, dans la prairie marécageuse à cladium. Ce groupement, apparemment uniforme et stable, montre, en fait, une dynamique très particulière. Son évolution est liée à l'accumulation, dans l'eau, des débris végétaux permettant finalement l'installation des milliers d'arbres isolés ou regroupés en îlots éparpillés à travers les marécages. Ces îlots portent les noms de tête-de-cyprès, tête-de-palmier, ou tête-de-laurier, selon l'espèce qui les compose. Pieds dans l'eau, la tête dans une atmosphère saturée, les arbres de ce type de forêt sont chargés d'innombrables épiphytes (1). Les îlots de cy-



Figure 5. Les « jardins suspendus » de la forêt marécageuse à cyprès. A remarquer la « mousse » espagnole, les fougères-épiphytes et les nombreuses broméliacées.

près (*Taxodium distichum*), en particulier, prennent l'aspect de véritables « jardins suspendus » (figure 5); les arbres étant littéralement chargés de « mousse » espagnole (2), de fougères-épiphytes, d'orchidées et de broméliacées.

La forêt subtropicale appelée « hammock »

Le terme de « hammock » est employé en Floride pour désigner la forêt subtropicale toujours verte. Il s'agit d'une forêt feuillue composée d'une grande variété d'arbres, d'arbustes et de lianes à larges feuilles, originaires, pour la plupart, des Indes Occidentales (figure 6).

1. Plantes qui vivent sur d'autres plantes en les utilisant comme support uniquement.
2. Il s'agit en réalité d'une plante à fleurs appartenant à la famille des Broméliacées.

Les arbres sont hauts, aux cimes larges, chargées d'épiphytes. Le peuplement ligneux est composé de plus de 120 espèces différentes. Parmi les plus importantes signalons une légumineuse: *Lysiloma bahamensis*, un chêne à feuilles persistantes: le chêne de Virginie (*Quercus virginiana*), le palmier royal (*Raystonea regia*) et le mahagon (*Swietenia mahagoni*). Cette dernière espèce peut vivre jusqu'à 1 000 ans et atteindre 80 pieds de hauteur et plus de 4 pieds de diamètre.

Les fruits de plusieurs espèces du « hammock » sont une source importante de nourriture pour les animaux. Les figues sauvages, par exemple, constituent le plat favori de beaucoup d'oiseaux qui, de ce fait, se trouvent à l'origine d'un drame des plus étranges de la nature. En effet, lorsqu'un oiseau mange des figues, les graines de ces dernières traversent in-

Figure 6. Le « hammock » est une forêt dense, pluristrate (à plusieurs strates ou étages de végétation), composée d'une grande variété d'arbres, d'arbustes et de lianes à feuilles persistantes.



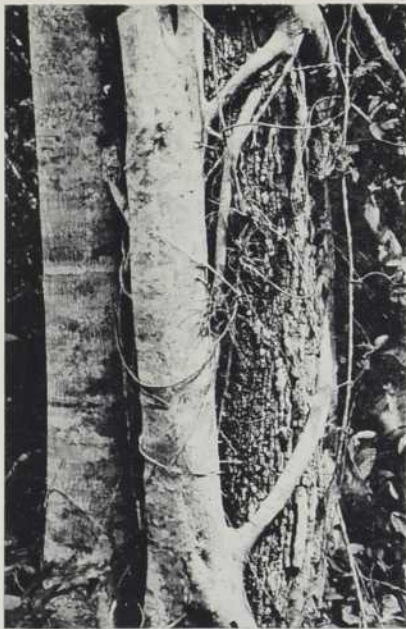


Figure 7. Le réseau de racines aériennes du figuier étrangleur autour de la tige d'un chêne de Virginie.

tactes son système digestif et se trouvent ainsi transportées sur les branches des arbres où elles se mettent aussitôt à germer. A mesure que la nouvelle plantule grandit, certaines de ses racines, au lieu de descendre directement au sol, s'enroulent autour de la tige de l'arbre-hôte, l'entourant d'un réseau serré qui finit par l'étrangler. Ce genre de lutte pour la vie est assez fréquent dans les forêts tropicales, mais en Floride, seul le figuier étrangleur (*Ficus aurea*) pratique ce mode de croissance.

Enfin, le « hammock » contient aussi des espèces toxiques pour l'homme. Trois d'entre elles, au moins, provoquent, au contact, une irritation semblable à celle produite par notre herbe à la puce (*Rhus radicans*).

La pinède à sous-étage de palmiers

Quand on pense aux forêts de pins on ne songe généralement pas à la végétation tro-

pical. Pourtant les forêts de pin d'Elliott (*Pinus elliottii* var. *densa*) avec leur sous-étage de palmiers (figure 8) ressemblent tout à fait aux pinèdes des îles Bahamas dont le caractère tropical est indiscutable.

Ce type de forêt couvrait jadis la majeure partie des sols secs du sud-est de la Floride. Cependant, avec l'arrivée de l'homme blanc, — qui a vite compris que les pinèdes occupaient, en fait, les seuls sols cultivables et que le bois du pin d'Elliott avait des qualités exceptionnelles (dureté, résistance aux termites, etc.) —, débutait une longue période de défrichement. Progressivement, les forêts de pin ont dû céder leur place aux plantations d'orangers, de citronniers, de papayers (3), à la culture maraîchère et, évidemment, à la construction des maisons. Cette expansion des cultures au dépend des pinèdes s'est poursuivie jusqu'à nos jours et, d'ailleurs à un rythme tel que les fores-

3. Le fruit du papayer contient, à l'état vert, la *papaine*, enzyme qui facilite la digestion des protéines.

tiers américains se demandent si bientôt les pinèdes du Parc National des Everglades ne représenteront pas la seule superficie importante de ce type de végétation.

En conclusion, les Everglades constituent, à nos yeux, un laboratoire de plein air idéal et un exemple parfait de ce que devrait être la préservation intégrale de certains de nos sites naturels.

Références

BUSWELL, W. M., 1946. *Native Shrubs of South Florida*. Bull. Univ. Miami, 20 (3) : 1-48.
 DILLEY, W. E. and CRAIGHEAD, F. C., 1957. *Preliminary Checklist of Trees of Everglades National Park*. Everglades Nat. Park, Homestead, Fla. (Polycopié).
 EGLER, F. E., 1952. *Southeast saline Everglades Vegetation, Florida, and its Management*. Vegetatio, 3 (4-5) : 213-265.
 McGEACHY, B., 1960. *Handbook of Florida Palms*. Great Outdoors Assoc., St. Petersburg, Fla. 63 p.
 ROBERTSON, W. B., Jr., 1959. *Everglades — The Park Story*. Univ. Miami Press, Coral Gables, Fla. 88 p.
 STEVENSON, G. B., 1958. *Native Trees of the Florida Keys*. Chez l'auteur, 32 p.

Figure 8. La pinède de pin d'Elliott avec son sous-étage de palmiers.



Comment résoudre une équation du second degré, au moyen d'un ordinateur

par Jacques ST-PIERRE

Comme il a été montré précédemment les ordinateurs modernes sont capables de manipuler toute information à condition qu'elle soit convenablement codée. L'emmagasinage de cette information et son traitement par les ordinateurs posent des problèmes nouveaux qui font l'objet des études et des recherches des informaticiens. Certains de ces problèmes ne constituent que des extensions de problèmes déjà existants; d'autres sont de nature telle que leurs solutions exigent la création de méthodes nouvelles tout aussi bien théoriques qu'appliquées.

Quelques-unes des difficultés proviennent du fait que l'information ne peut pas toujours être emmagasinée dans un ordinateur, quelle que soit par ailleurs la puissance de ce dernier ou sa capacité de mémoire. Je me propose dans cet article d'illustrer, à l'aide d'un exemple tiré des mathématiques élémentaires, un des problèmes complexes créés par l'utilisation des ordinateurs.

Cet exemple concerne la recherche des solutions de l'équation du second degré: i.e. la recherche des valeurs de « x » satisfaisant la relation $ax^2 + bx + c = 0$, où $a \neq 0$. Les lecteurs de cette revue connaissent certainement la formule générale donnant les racines de cette équation et qui s'écrit:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Avant d'illustrer le type de difficultés rencontrées dans la recherche des solutions de cette équation, il importe de considérer de plus près la façon dont l'information est emmagasinée et manipulée par les ordinateurs.

Les ordinateurs emmagasinent l'information à l'aide de « mots » formés d'une collection d'un certain nombre d'éléments susceptibles d'être,

à un moment donné, dans l'une ou l'autre de deux formes physiques; par exemple: un petit tore magnétisé positivement ou négativement; une portion de bande magnétique magnétisée ou non, etc. La structure des circuits de l'ordinateur lui permet, par ailleurs, de reconnaître l'état dans lequel se trouvent les éléments qui composent le mot. Les ordinateurs diffèrent les uns des autres sous bien des aspects et en particulier sous celui du nombre d'éléments utilisés comme support de l'information. On appelle « bit » l'information contenue dans chacun des éléments. On trouve ainsi des ordinateurs dont les mots sont formés de 24 bits, 36 bits, 48 bits, etc.

Conséquemment, l'information est représentée au moyen d'un code qui tient compte de la structure binaire du support physique de l'information. Il est commode de représenter les deux états de chaque « bit » par le symbole 0 et 1. Notons immédiatement qu'il s'agit uniquement de symboles et qu'aucune relation n'a encore été introduite entre ces symboles et les nombres.

Comme il importe cependant de définir un code permettant la représentation des nombres, par convention l'on définit que le symbole 0 représente le nombre réel 0 et que le symbole 1 représente le nombre réel 1. Il est évident qu'avec un seul bit l'on ne peut représenter que deux nombres différents. Voyons maintenant comment utiliser simultanément plusieurs bits. Faisant appel à la structure de la notation décimale, mais appliquée à la notation binaire, on voit que l'on peut représenter le nombre 2 par 10, (soit $1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$) et le nombre 3 par 11, (soit $1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$).

Nous avons, en résumé, la correspondance suivante:

nombres	symboles
0	00
1	01
2	10
3	11

Il est donc possible avec 2 bits de représenter 4 nombres différents. En utilisant 3 bits, on arrive à représenter les 8 nombres entiers selon la correspondance donnée dans la table qui suit.

nombres	symboles
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

D'une façon générale, on peut montrer qu'avec n bits il est possible de représenter 2^n nombres entiers différents. Le lecteur intéressé pourra par lui-même trouver la représentation binaire des nombres suivants : 123, 1024, 5345; ou trouver la valeur des nombres dont les représentations binaires sont : 111,111; 10,001,010,101; 100,111,101,001,110,001,010,110.

Il est aisé de vérifier qu'avec 24 bits, l'on peut représenter $2^{24} = 16,777,216$ nombres entiers ou approximativement 1.7×10^7 nombres différents. Disposant de 36 bits, on peut alors représenter $2^{36} = 68,719,476,736$ nombres ou approximativement 6.9×10^{10} nombres différents; et finalement avec 48 bits, on obtient 2^{48} nombres ou approximativement 2.8×10^{14} nombres entiers différents. Il convient de noter que l'on ne saurait en général, emmagasiner simultanément tous ces nombres dans un ordinateur.

Ce nombre de nombres peut paraître très grand à première vue; cependant il est loin d'être suffisant. En effet, plusieurs catégories de nombres, requis dans la recherche des solutions de problèmes élémentaires, ne peuvent être représentés avec la convention décrite ci-haut; citons par exemple : les nombres négatifs, les nombres qui ne diffèrent entre eux que par les positions du point décimal, etc.

L'on peut aisément introduire les nombres négatifs par l'utilisation d'un bit supplémentaire qui par convention donne le signe algébrique du nombre. Le problème de la position du point

décimal peut également être résolu d'une façon relativement facile par l'introduction de la notation du point flottant.

NOTATION DU POINT DÉCIMAL FLOTTANT

Description:

Considérons d'abord l'exemple suivant :
Soit les nombres :

896452., 89.6452, -.000896452.

Ces trois nombres peuvent s'écrire respectivement :

.896452 $\times 10^6$, .896452 $\times 10^2$, -.896452 $\times 10^{-3}$.

L'on voit que pour représenter ces trois nombres, il suffit de connaître :

- 1) les chiffres significatifs, i.e.: tous les chiffres (le premier ne pouvant être zéro) qui le composent;
- 2) le signe algébrique du nombre;
- 3) l'exposant que l'on doit donner à 10 pour placer correctement le point décimal.

Notons en passant que dans ce système, le point décimal se place toujours immédiatement avant le premier chiffre significatif de sorte que l'on n'a pas besoin de coder cette information dans l'ordinateur. Ces exemples illustrent la méthode dite du point décimal flottant (ou de la fraction normalisée). L'on pourrait évidemment imaginer d'autres systèmes capables de résoudre la difficulté.

Représentation des nombres au moyen de la méthode du point décimal flottant:

Afin de fixer les idées, supposons que l'on dispose d'un ordinateur dont les mots comportent suffisamment de bits pour emmagasiner — selon la méthode du point décimal flottant — des nombres de 8 chiffres significatifs. Supposons que l'on puisse également utiliser 2 autres chiffres pour représenter l'exposant de 10 requis par la méthode. Ceci donne en fait 100 exposants différents. Par convention, utilisons 50 valeurs pour les exposants négatifs, 49 valeurs pour les exposants positifs et une valeur pour l'exposant 0. Les nombres représentables

Reproduction photographique de l'inscription sur bande magnétique des nombres 0, 1, ..., 9. Seules les 4 pistes du bas sont pertinentes dans cet exemple.



sont donc compris entre $-.99999999 \times 10^{+49}$ et $-.10000000 \times 10^{-50}$, et entre $+.10000000 \times 10^{-50}$ et $+.00000000 \times 10^{+49}$. De plus, l'on dispose du nombre $+.00000000 \times 10^{00}$.

Il est intéressant de noter que les nombres irrationnels ne peuvent être emmagasinés intégralement dans l'ordinateur pas plus d'ailleurs que les nombres rationnels dont la représentation décimale exige plus de 8 chiffres significatifs.

Par exemple : le nombre $\frac{1}{3}$ est représenté par $+.33333333 \times 10^{+00}$ (approximation par défaut) cependant que le nombre π a la représentation : $+.31415927 \times 10^{+01}$ (approximation par excès).

De ce fait capital découlent un grand nombre de problèmes nouveaux. Par exemple, l'arithmétique de ces nombres ne suit pas nécessairement les lois applicables aux nombres réels. De plus, les résultats de certaines opérations ne sont pas toujours emmagasinables dans l'ordinateur. Illustrons ces points par quelques exemples.

Exemple 1.

$$\frac{1}{3} + \frac{1}{3} \neq \frac{2}{3}$$

En effet, avec un ordinateur possédant les caractéristiques énoncées plus haut, l'on a :

$$\begin{aligned} & (+.33333333 \times 10^{+00}) + (+.33333333 \times 10^{+00}) \\ &= +.66666666 \times 10^{+00} \neq \frac{2}{3}, \text{ car} \\ & \frac{2}{3} = +.66666667 \times 10^{+00}. \end{aligned}$$

Le fait que l'erreur associée au résultat de l'opération soit relativement faible ne doit pas masquer la difficulté fondamentale.

Exemple 2.

$A + B$ n'est pas toujours calculable. Supposons que l'on cherche la somme des nombres :

$$\begin{aligned} A &= +.60000000 \times 10^{+49} \\ \text{et} \\ B &= +.50000000 \times 10^{+49}, \end{aligned}$$

deux nombres emmagasinables dans l'ordinateur. La somme $A + B = +.11000000 \times 10^{+50}$ n'est pas emmagasinable de sorte que l'ordinateur ne peut donner la solution $A + B$.

Dans le langage technique, l'on dit qu'il y a débordement. Il est évident qu'un grand nombre d'opérations peuvent amener de tels débordements. Disons cependant que pour aider les utilisateurs, les ordinateurs sont en général capables de signaler l'apparition de tels débordements.

ÉTUDE DE L'ÉQUATION DU SECOND DEGRÉ

Afin de simplifier la présentation, faisons l'hypothèse que l'équation $ax^2 + bx + c = 0$, $a \neq 0$ possède des racines réelles. J'illustrerai, à l'aide d'exemples particuliers, certains types de difficultés rencontrées.

Exemple A

Soit l'équation $6x^2 + 5x - 4 = 0$

L'on peut aisément obtenir les racines. Par la méthode de mise en facteur, étant donné que $6x^2 + 5x - 4 = (2x - 1)(3x + 4)$, l'on voit que $x' = \frac{1}{2}$ et $x'' = -\frac{4}{3}$ sont les deux racines. La méthode générale telle qu'exprimée par la formule :

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

permet également de vérifier que les racines ont les valeurs données ci-haut.

Remarquons ici que cette formule présente deux propriétés intéressantes en vue de son utilisation par un ordinateur.

- 1— Chaque étape individuelle est non-ambiguë;
- 2— la formule permet d'obtenir les solutions cherchées au moyen d'un nombre fini d'étapes.

Cependant, comme nous allons le voir plus loin, elle ne permet pas toujours (i.e. : pour tout a, b et $c, a \neq 0$) d'obtenir les solutions cherchées.

Les étapes découlant de la formule générale peuvent s'écrire comme suit

- | | |
|-----------|-------------------|
| Etape 1 : | calculer $z = -b$ |
| " 2 : | " $y = b^2$ |
| " 3 : | " $w = 4a$ |
| " 4 : | " $v = wc$ |
| " 5 : | " $u = y - v$ |
| " 6 : | " $t = \sqrt{u}$ |
| " 7 : | " $r = 2a$ |
- (nous avons supposé $u > 0$)

Ces étapes, communes à la recherche de x' et x'' , sont suivies :

- i) pour la détermination de x' , par

étape 8 :	calculer $s = z + t$
" 9 :	" $x' = \frac{s}{r}$
- ii) pour la détermination de x'' , par

étape 8' :	calculer $s' = z - t$
" 9' :	" $x'' = \frac{s'}{r}$

Le lecteur intéressé vérifiera que les solutions trouvées grâce à un ordinateur ayant les caractéristiques énoncées plus haut sont :

$$\begin{aligned}x' &= +.50000000 \times 10^{+00} \\x'' &= -.13333333 \times 10^{+01}\end{aligned}$$

Les valeurs des racines, à l'approximation près imposée par les conditions propres à l'ordinateur, sont identiques à celles déterminées « manuellement ».

Exemple B

$$x^2 - 10^5x - 1 = 0$$

Le lecteur pourra vérifier que la formule générale donne comme racines :

$$\begin{aligned}x' &= 100000.00001 \\x'' &= -0.0000099999999999999\end{aligned}$$

Étudions maintenant le comportement d'un ordinateur dans la suite des étapes définies plus haut.

$$\begin{aligned}\text{Étape 1 : } z &= +.10000000 \times 10^{+06} \\&'' 2 : y = +.10000000 \times 10^{+11} \\&'' 3 : w = +.40000000 \times 10^{+01} \\&'' 4 : v = -.40000000 \times 10^{+01} \\&'' 5 : u = +.10000000 \times 10^{+11} \\&'' 6 : t = +.10000000 \times 10^{+06} \\&'' 7 : r = +.20000000 \times 10^{+01}\end{aligned}$$

Pour x' :

$$\begin{aligned}&'' 8 : s = +.20000000 \times 10^{+06} \\&'' 9 : x' = +.10000000 \times 10^{+06}\end{aligned}$$

Pour x'' :

$$\begin{aligned}&'' 8' : s = +.00000000 \times 10^{+00} \\&'' 9' : x'' = -.00000000 \times 10^{+00}\end{aligned}$$

* : remarquer que v , étant très petit par rapport à y , n'influe pas sur la valeur calculée de u .

Notons quelques points importants. Tout d'abord, les valeurs calculées des racines sont de bonnes approximations des valeurs réelles, i.e. : l'erreur absolue n'est pas très considérable. Cependant le cas de l'approximation de x' se présente dans un contexte différent de celui de l'approximation de x'' . En effet, la valeur de x' calculée est correcte dans ses 8 chiffres significatifs alors qu'aucun des chiffres significatifs de x'' obtenus par l'ordinateur, n'est valable. Ceci démontre que l'utilisation par ordinateur de la procédure décrite plus haut ne mène pas à l'obtention de l'une des deux racines. Ce fait est assez grave car il signifie que la procédure n'assure pas l'utilisateur qu'il pourra résoudre toutes les équations du second degré.

Exemple C

$$6 \times 10^{30}x^2 + 5 \times 10^{30}x - 4 \times 10^{30} = 0$$

Les racines réelles de cette équation sont évidemment identiques à celles de l'exemple A. L'ordinateur, en suivant la procédure décrite, provoquera un débordement à l'étape 2 puisque $y = b^2$ n'est pas emmagasinable. L'on pourrait évidemment réduire tous les coefficients par un facteur approprié de façon à contourner cette difficulté. Cependant, cette réduction scalaire n'est pas toujours possible; l'exemple D illustre bien de tels cas.

Exemple D

$$10^{-30}x^2 - 10^{+30}x + 10^{+30} = 0$$

Les racines de cette équation sont l'une tout près de 10^{60} et l'autre tout près de 1. Il est évident qu'aucune réduction scalaire n'est possible et par conséquent l'ordinateur provoquera inévitablement un débordement à l'une ou l'autre des étapes.

À première vue, l'on peut croire que les exemples ci-dessus, plus particulièrement C et D, correspondent à des cas qui ne se présentent que très rarement. La vérité est tout autre. Très souvent, au cours de la solution de certains problèmes, l'on doit résoudre des équations du second degré dont les coefficients sont susceptibles de présenter des difficultés comme celles illustrées ci-haut.

Les informaticiens, et plus particulièrement ceux qui s'intéressent au calcul scientifique, branche de l'analyse numérique, s'emploient à découvrir des procédures générales, communément appelées *algorithmes*, capables de mener à des solutions. Ces algorithmes, considérés comme des suites finies d'étapes, chacune d'entre elles étant non-ambiguës, doivent toujours conduire à des solutions.

Dans le cas particulier de l'équation du second degré, les exemples présentés plus haut montrent que la solution générale de l'équation du second degré, même si elle est connue depuis plusieurs siècles, n'offre pas toutes les garanties que doivent offrir les algorithmes utilisables sur ordinateur. En fait, la découverte d'un algorithme susceptible de résoudre ce problème élémentaire ne date que de quelque deux ans. Une première conclusion s'impose: étant donné que même pour des problèmes élémentaires les algorithmes définitifs sont tout à fait récents, il n'est pas surprenant de constater que d'autres problèmes plus complexes sont encore non résolus et doivent faire l'objet des travaux de recherches des informaticiens.

Des êtres unicellulaires, microscopiques, qui peuplent la terre. La plupart des espèces de bactéries sont inoffensives et même très utiles, mais certaines espèces sont "pathogènes" ou sources de maladies.

Les BACTERIES: un monde qui nous entoure

par Marc QUEVILLON

Qui sont-elles?

Les bactéries font partie d'une classe de microorganismes qui sont des êtres unicellulaires infiniment petits; il nous est donc impossible de les observer à l'oeil nu. Cette particularité nécessite l'emploi du microscope optique qui sert à grossir, en moyenne mille fois, les petits objets, ou encore requiert l'emploi du microscope électronique, qui peut multiplier des centaines de milliers de fois les détails morphologiques susceptibles d'intérêt, soit en surface soit au sein de la cellule bactérienne. Pour plusieurs espèces de ces bactéries, des dizaines de milliers de cellules alignées bout à bout sont nécessaires à la formation d'une chaîne d'un pouce de longueur.

Elles sont vivantes

Oui, comme nous; il en est qui respirent l'oxygène de l'air, sans poumon bien entendu, et elles rejettent du gaz carbonique, ce sont les *aérobies*; certaines autres espèces cependant vivent en l'absence d'oxygène, élément qui leur est souvent néfaste — ce sont les *anaérobies*.

Elles se nourrissent de sels minéraux, de protéines, elles raffolent des sucres tout comme les petits enfants... et même les grands bien souvent; de plus, certaines vitamines leur sont essentielles. Du fruit de leur métabolisme, elles excrètent des déchets.

Leur grande activité métabolique conduit à une reproduction très rapide et vice versa; une génération en vingt ou trente minutes est phénomène courant. Par exemple, la multiplication d'une seule bactérie et de ses descendants durant quelques jours serait suffisante pour obtenir un volume qui dépasserait celui de notre planète, la terre; cependant et heureusement, les conditions exigibles pour un tel exploit sont limitées. Comme il est dit dans la fable « la nourriture vint à manquer » et la multiplication s'arrête.

Morphologie des bactéries

Des formes particulières sont rencontrées dans ce monde d'organismes microscopiques. D'abord, de petites sphères qui ressemblent à des raisins; elles peuvent être seules, en paires,

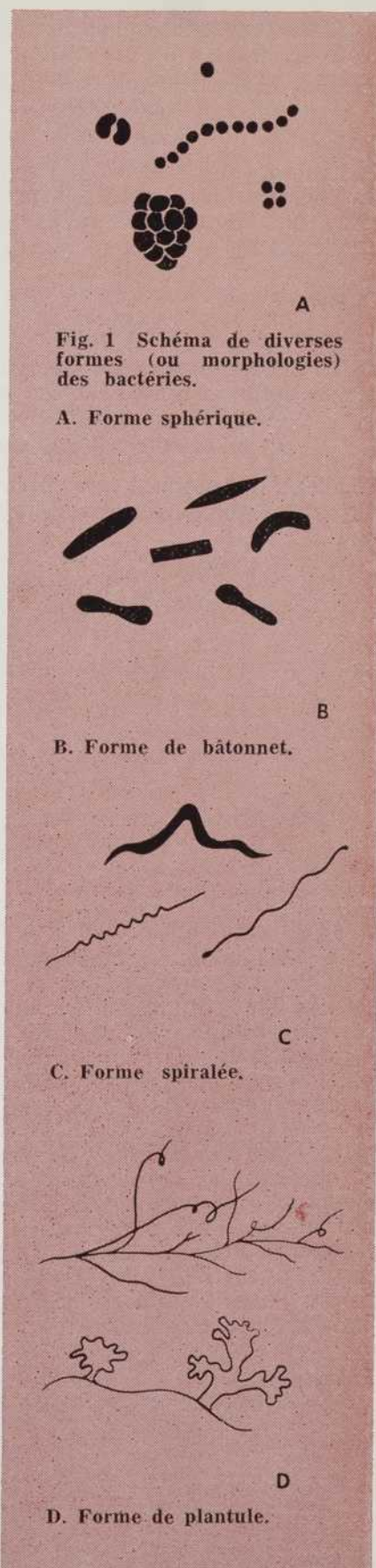


Fig. 1 Schéma de diverses formes (ou morphologies) des bactéries.

A. Forme sphérique.

B. Forme de bâtonnet.

C. Forme spiralee.

D. Forme de plantule.

en chaînettes plus ou moins longues ou encore en grappes (Fig. 1A). Ensuite, viennent les bâtonnets similaires aux concombres par leur forme; ceux-ci peuvent être incurvés ou droits, à bouts arrondis ou carrés (Fig. 1B). Enfin il y a les spiralées, semblables aux ressorts à boudin (Fig. 1C), ou encore celles qui ont la forme de petites plantules qui rappellent les plantes décoratives communes (Fig. 1D).

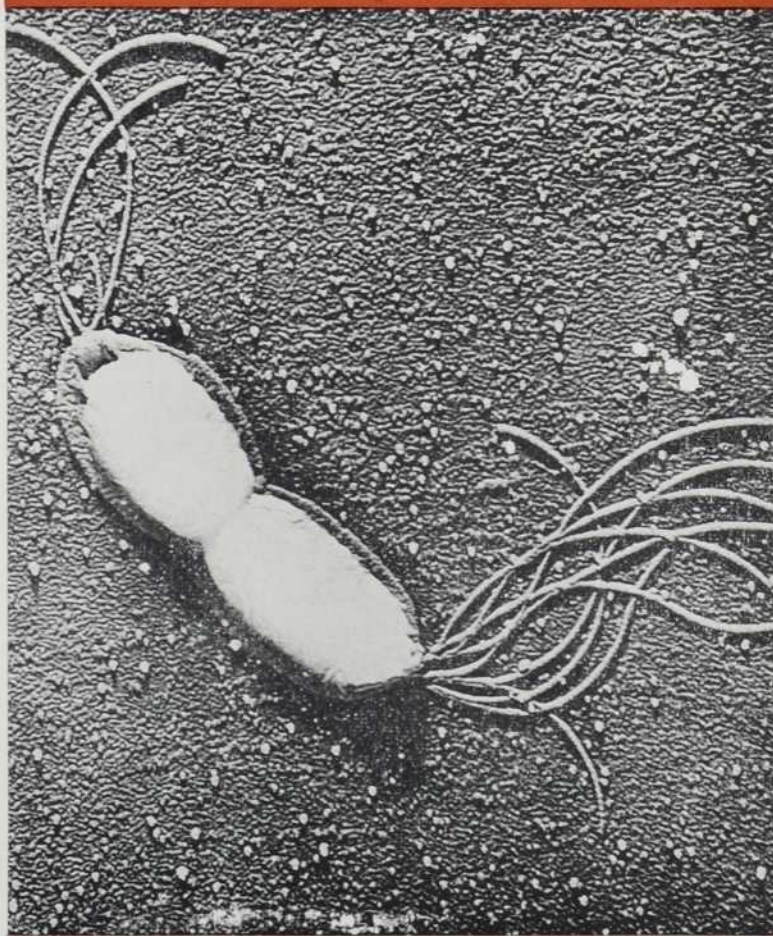
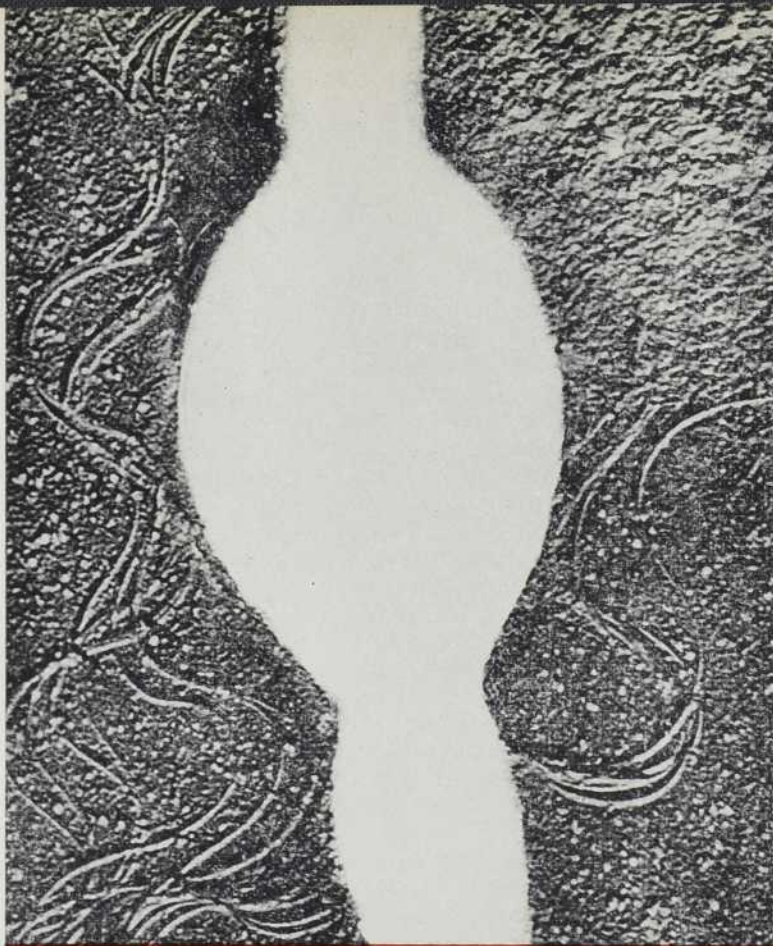
Quelques traits particuliers

Certains de ces microorganismes sont colorés, c'est-à-dire qu'ils possèdent un pigment, et selon l'espèce bactérienne, toute la gamme des couleurs de l'arc-en-ciel y est représentée. De plus, un nombre considérable d'espèces en forme de bâtonnets possèdent une spore intracellulaire, organelle de résistance, ronde ou ovulaire, qui déforme ou non les parois bacillaires, et qui peut être située au centre ou à un des bouts du bacille (Fig. 2). Cette spore résiste aux conditions physiques adverses comme le dessèchement et la chaleur qui sont néfastes pour le bacille ou la forme végétative qui la contient. Elle assure la survie de l'espèce et se remet à proliférer quand les conditions redeviennent favorables. Enfin, plusieurs espèces bactériennes chez les bacilles et les spirilles sont mobiles; elles peuvent circuler à l'aide de cils vibratiles et de poils flexibles avec lesquels elles se meuvent facilement et rapidement, surtout dans les liquides, car elles sont douées d'une grande énergie physique par rapport à leur taille (Fig. 3).

Photographies ci-contre:

Fig. 2 (en haut). Bacille anaérobie montrant une spore centrale qui déforme la bactérie; de plus nous observons la présence de cils vibratiles. (Grossissement environ 33 000).

Fig. 3 (en bas). Bacille anaérobie en division, montrant des flagelles aux deux extrémités. (Grossissement environ 33 000).



Habitat et utilité

Les bactéries se rencontrent presque partout: dans les eaux des océans, de nos lacs et rivières, à la surface et à l'intérieur du sol, souvent à des profondeurs considérables, enfin dans l'atmosphère, en toutes saisons. Il n'est donc pas étonnant de les rencontrer sur tous les objets qui nous entourent; non... non, ne vous inquiétez pas outre mesure, ces microbes sont pour la plupart inoffensifs et très utiles. Les déchets que les êtres vivants rejettent, ou encore les cadavres que les végétaux et les animaux laissent après leur mort, dans les eaux et sur la terre, sont promptement décomposés par les bactéries, en matières plus simples, utilisables à nouveau par d'autres êtres vivants. En outre, l'exploitation rationnelle des microbes par l'homme est très répandue; dans l'industrie laitière il y a la transformation du lait en fromage, en yaourt etc.; l'industrie chimique en tire un gros profit par la fabri-

cation de certains produits, par exemple, les ferments acétiques (bactéries du genre *Acetobacter*) qui transforment l'alcool éthylique en vinaigre. Chez les animaux, c'est la famille des herbivores qui en profite le plus; certaines espèces bactériennes du rumen de ces animaux réduisent la cellulose des plantes en nourriture assimilable. Enfin, certaines plantes, les légumineuses en particulier, utilisent en symbiose dans leurs racines des bactéries qui fixent l'azote de l'air pour en faire leurs propres substances protéiques; c'est un rappel du cycle des éléments chimiques dans la nature: celui de l'azote, du soufre, du fer et du manganèse pour en nommer quelques-uns.

Maladies et prévention

Malheureusement, certaines bactéries causent des maladies. Elles sont plutôt rares, une certaine d'espèces tout au plus parmi les milliers qui à ce jour ont été identifiées et cataloguées. Les vaccins contre la co-

queluche, la diphtérie, le tétanos, la tuberculose (BCG) et peut-être d'autres que vous avez reçus ou qu'il vous est facilement possible de recevoir, vous préserveront contre les attaques de ces germes nuisibles. Les règles élémentaires d'hygiène et de propreté que l'on enseigne contribuent également à protéger votre santé.

Conclusion

Voici donc un monde d'êtres vivants que vous côtoyez chaque jour et que vous soupçonnez à peine. Vous y gagneriez certainement à le connaître davantage.

Bibliographie

- DE KRUIF, P.: *Chasseurs de Microbes*, Marabout Junior, no 33.
- DELAUNAY, A.: *Pasteur et la Microbiologie*, Collection Que sais-je? no 467.
- KISTER, R.: (Editeur), *Le Monde des Microbes*, Encyclopédie des Sciences biologiques. La vie et l'homme (1961).

La réussite d'une bactérie

par Edouard KURSTAK

Il n'y a pas seulement des bactéries nuisibles pour l'homme

L'action des bactéries et d'autres microorganismes est souvent liée dans notre esprit à une maladie. Par instinct naturel de défense on pense évidemment surtout aux maladies humaines en considérant les bactéries comme nos ennemis de toujours. Cependant le problème est beaucoup plus complexe.

Il est vrai que la microbiologie médicale englobe une large gamme de bactéries, virus, champignons, protozoaires, etc., pathogènes pour l'homme. Il est vrai que ces microorganismes sont mieux connus car il est très probable que chacun de nous fut atteint au moins une fois par un de ces êtres microscopiques. Par conséquent, les études qui s'y rapportent sont nom-

breuses. Mais il n'y a pas que la microbiologie médicale.

La microbiologie du sol est extrêmement riche. Une microbiologie industrielle et d'autres existent également. Grâce aux bactéries qui pululent dans les eaux et dans le sol vivant aux dépens de déchets organiques et de cadavres, notre planète est continuellement nettoyée, ce qui la rend habitable. Certaines bactéries jouent un rôle capital dans les processus de fertilisation du sol. D'autres bactéries jouent le rôle important d'auxiliaires dans l'industrie. Par exemple, de multiples industries agricoles fonctionnent à base de la fermentation bactérienne. En effet la fabrication des fromages, du vinaigre, des aliments fermentés est le résultat de l'action de ces microorganismes. L'industrie chimique a également recours à l'action bactérienne pour obtenir des corps organiques importants. Il ne

faut pas oublier qu'un grand nombre de médicaments, couramment appelés antibiotiques, sont d'origine microbienne.

Donc, en un mot, il y a heureusement un nombre impressionnant de bactéries et d'autres microorganismes qui sont utiles pour l'homme.

J'essaierai de démontrer cette utilité en prenant comme exemple une bactérie et décrivant le chemin qu'elle a parcouru depuis sa découverte.

Pour assurer la continuité de mon article paru en octobre 1966 (Volume 5, no 1 du *J. Scientifique*) j'ai choisi la bactérie nommée *Bacillus thuringiensis*. C'est en relisant cet article précédant que vous constaterez que les bactéries sont également nos auxiliaires dans la lutte contre un grand nombre d'arthropodes nuisibles, surtout insectes. Nous pouvons donc parler également de microorganismes pathogènes pour les insectes. Parmi ces microorganismes, on retrouve une bactérie qui tient le rôle de vedette. Son nom est connu à travers le monde, car plusieurs chercheurs étudient cette bactérie aussi bien du point de vue fondamental que de l'application pratique. Parmi ces pays, dont les principaux sont les Etats-Unis d'Amérique, l'U.R.S.S., le Japon, la France, l'Allemagne, on retrouve également le Canada qui se place parmi les premiers par la qualité des travaux publiés.

Pour présenter plus amplement la bactérie en question je tiens compte de différents travaux étrangers, ainsi que de mes recherches personnelles.

« *Bacillus thuringiensis* », une bactérie nuisible pour les insectes mais inoffensive pour l'homme

Avant que la bactérie *Bacillus thuringiensis* ait pu jouir de la renommée internationale actuelle, elle fut obligée de connaître également des périodes bien moins heureuses. Voici les différentes étapes de la réussite.

En 1915, en Allemagne dans la région de Thuringe, le chercheur Berliner observa un grand nombre de larves malades et mortes d'un microlépidoptère nuisible aux denrées alimentaires. Cet insecte suivant les pays se nomme *Ephestia kühniella* ou *Anagasta kühniella*. L'étendue de la maladie était telle qu'il s'agissait d'une épizootie.

Les examens bactériologiques des larves atteintes ont conduit Berliner à isoler une bactérie responsable de la maladie. Après l'isolement de la bactérie il lui donna un nom celui de *Bacillus thuringiensis*. En effet, la bactérie appartenant aux Bacilles et découverte en Thuringe avait tous les droits de s'appeler ainsi.

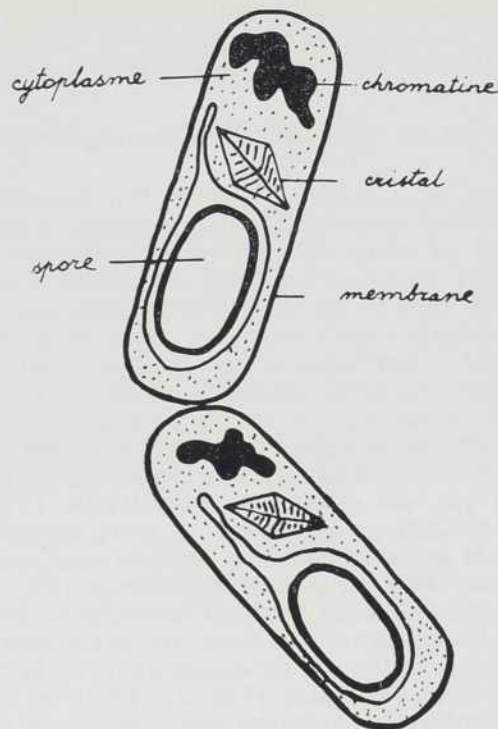


Fig. 1. Schéma de deux formes végétatives de *Bacillus thuringiensis* montrant la disposition de la spore et du cristal.

L'auteur fit une communication scientifique de l'observation et de ses recherches préliminaires. Cependant, ceci ne semblait pas donner de suites à de nouvelles investigations.

C'est seulement une dizaine d'années plus tard, en 1927, que la bactérie a été de nouveau réisolée et étudiée par Mattes. Temporairement, ce chercheur sortait le bacille de l'oubli en recherchant l'action de *B. thuringiensis* dans l'intestin des larves du Lépidoptère d'origine. Quelques travaux ont suivi mais sans qu'on prête l'attention particulière au nouveau venu en bactériologie.

A vrai dire il fallait attendre les années après 1950 pour que le succès d'emploi pratique aux U.S.A. d'une autre bactérie *Bacillus popilliae* contre des larves nuisibles appartenant aux Scarabéides, donne un renouveau d'intérêt pour *B. thuringiensis*. Par ailleurs, cet intérêt allait de concert avec le développement de nouvelles techniques en microbiologie, qui ont notamment permis la caractérisation de la bactérie en question. Elle s'est avérée pathogène pour plusieurs espèces d'insectes, mais inoffensive pour l'homme et

les animaux domestiques. Aujourd'hui le nombre de travaux déjà publiés et en cours au sujet de *B. thuringiensis* est très élevé. Mais répondons d'abord à la question suivante :

Qu'est-ce que « *Bacillus thuringiensis* »?

Pour les bactériologistes *B. thuringiensis* est une bactérie qui dans la classification des bactéries fait partie de la famille des Bacillacées occupant une place au voisinage du *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis* et du *Bacillus anthracis*. C'est une bactérie ayant une très riche morphologie. La forme végétative a une ciliation péritriche et les bacilles sont mobiles. Ils forment au cours de leur évolution une endospore ovale, subterminale, non déformante et en même temps ce qui est très intéressant, une inclusion protéique losangique, dit cristal rhomboédrique (Fig. 1). Dans certaines conditions on peut obtenir des mutants de cette bactérie lesquels sont acristallophores. Mais les formes végétatives (Fig. 2) de la souche originale Berliner produisent les spores et les cristaux. Ces deux éléments sont libérés dans le milieu de développement de la bactérie par lyse bacillaire (Fig. 3). Dans ce cas ils se présentent séparément mais parfois le cristal et la spore issus d'une même forme végétative restent attachés par l'une des extrémités.

En général les formes végétatives sont longues de 3 à 6 μ et larges de 0,8 à 1,3 μ . Les cristaux ont de 0,4 à 0,8 μ sur 1 à 1,4 μ , et les spores de 0,8 à 0,9 μ sur 1,6 à 2 μ .

B. thuringiensis est Gram positif, aérobie, et sur frottis les formes végétatives sont disposées en chaînes ou isolées. Le bacille se colore facilement par les colorants courants employés en bactériologie. Les cils des bactéries jeunes peuvent être mis en évidence par des colorations spéciales.

Pour son développement cette bactérie utilise facilement les glucides : glucose, maltose, levulose. Par contre ne sont pas utilisés : lactose, galactose, arabinose, xylose, etc. pour n'en citer que quelques-uns. On pourrait donner une longue gamme de réponses biochimiques de cette bactérie, ce qui n'est pas notre but; retenons cependant la particularité de la formation par *B. thuringiensis* de l'inclusion protéique cristalline (Fig. 4).

La découverte du cristal est dû au travail des chercheurs canadiens Angus et Heimpel. Le premier a notamment précisé la composition chimique du cristal, dont l'acide glutamique (12,9%) leucine et isoleucine (10,4%), arginine (9,4%), phénylalanine (7,4%), proline (6,7%) et la tyrosine (3,9%) forment l'essentiel.

Fig. 2. Formes végétatives de *Bacillus thuringiensis* au stade de multiplication. La division des bactéries, les membranes et quelques cils sont à remarquer. (Photographie prise au microscope électronique, grossissement 7 000).

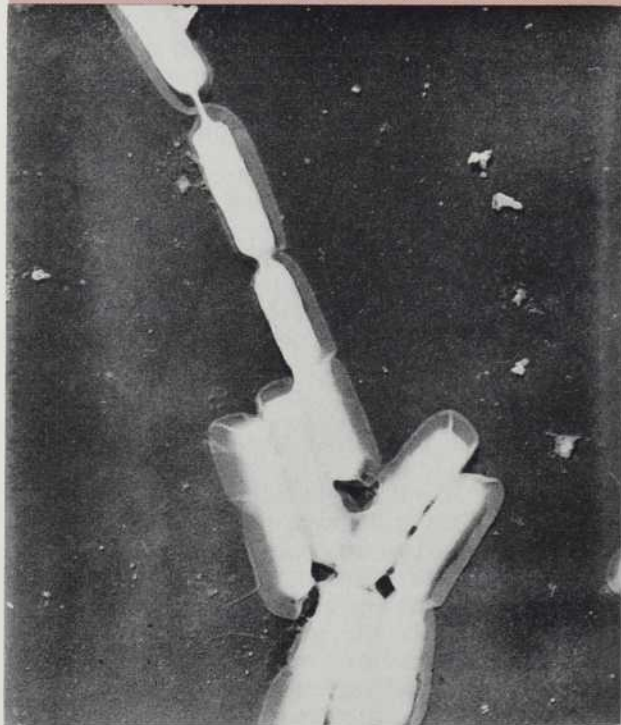
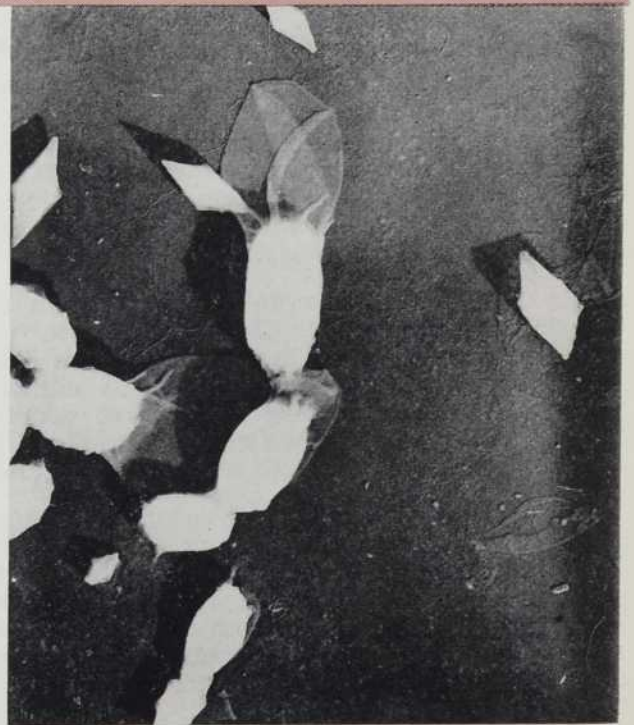


Fig. 3. Libération de spores et de cristaux de *Bacillus thuringiensis* de la membrane bactérienne ayant lieu à la fin de l'évolution de la forme végétative. (Microscope électronique, 13 000 X).



Ce cristal est en effet une toxine cristallisée. La démonstration de la toxicité a été faite sur différentes espèces d'insectes ce qui a donné de l'importance à la bactérie. Mais cette importance s'est avérée encore plus grande avec la découverte d'un autre type de toxine solubilisée dans le milieu de culture. Cette nouvelle toxine étant résistante à la chaleur qui normalement détruit les bactéries, porte le nom de toxine thermostable. Elle est également toxique pour plusieurs insectes. Notons cependant que la toxine thermostable n'a été jusqu'ici décelée que sur une seule souche de *B. thuringiensis* var. *thuringiensis* Berliner.

Comment la bactérie provoque-t-elle la maladie?

Il est acquis à présent que *B. thuringiensis* est pathogène pour plusieurs insectes.

Quoique le mécanisme de son action pathogène fut étudié sur des hôtes différents nous décrivons ici la pathogénèse exercée sur des larves d'*Anagasta kühniella*.

Cet insecte a un potentiel de pullulation remarquable. En été il trouve des conditions thermiques optimum pour son développement et les générations se succèdent rapidement. Il ne souffre pas du froid hivernal, car dans les entrepôts une température satisfaisante lui assure une continuité de développement. Donc, c'est un ravageur à l'année longue. Sa nuisibilité est inquiétante car une seule femelle de ce papillon pond en général de 200 à 300 oeufs. Il est facile de prévoir mathématiquement qu'à la deuxième génération il faudra faire face à quelque 20 à 30 milles larves descendant d'une seule femelle. En plus, il y a environ 8 générations par an!

En sachant que cet insecte cosmopolite pose les mêmes problèmes à l'échelle mondiale il est surprenant que la découverte de *B. thuringiensis*, très pathogène pour son hôte d'origine, fut suivie d'une réussite de la bactérie seulement un demi-siècle après. Les explications peuvent être avancées mais il est préférable de se pencher sur les infections à *B. thuringiensis*.

Infection par la bouche (per orale) :

Elle a lieu quand la larve absorbe une nourriture contaminée par *B. thuringiensis*. La bactérie étant sporogène, il est relativement facile de préparer un mélange composé de nourriture et de spores. L'infection peut se faire dans les conditions naturelles et cela se produit car les spores de *B. thuringiensis* comme les spores d'autres bactéries sont facilement véhiculées et résistent longtemps dans la nature. On peut également déclencher une infection expérimentale en injectant dans l'intestin d'une larve une

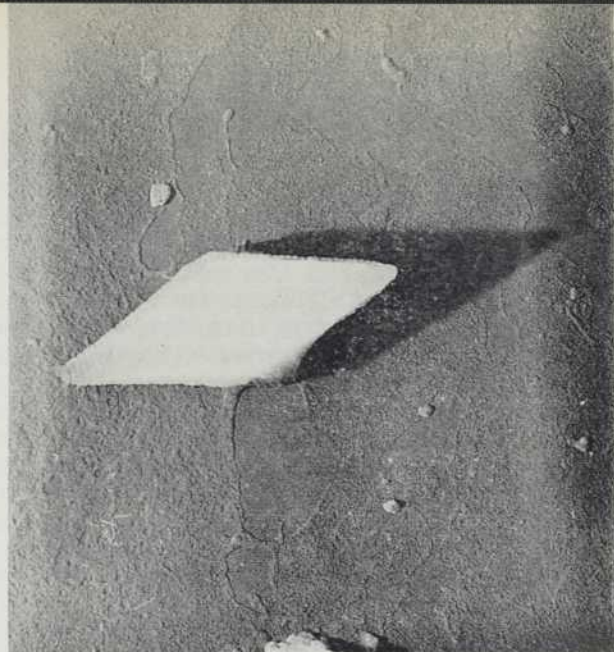


Fig. 4. Cristal protéique rhomboédrique, toxique pour les insectes. Ici libéré dans le milieu de culture par la forme végétative de *Bacillus thuringiensis*. (Microscope électronique, 35 000 X).

quantité de spores ou de formes végétatives de la bactérie en solution. Cette injection per orale est relativement facile à l'aide d'une microseringue. La quantité d'inoculum pathogène injecté par larve d'un stade avancé de *A. kühniella* ne doit pas dépasser 0.01 ml, car un volume plus élevé risque de provoquer l'éclatement de l'intestin entraînant immédiatement la mort de l'hôte.

A partir du moment de l'introduction de la bactérie sous les formes indiquées dans l'intestin de la larve, il faut attendre quelques heures seulement pour observer les premiers symptômes cliniques de la maladie; ceci dans les conditions thermiques optimum au développement larvaire.

Par des examens histologiques et hématologiques, c'est-à-dire sur coupes et frottis on suit l'évolution de la pathogénèse au moment même de la maladie. Les colorations (Hemalun — éosine orange, Giemsa, Mallory, etc.) permettent, suivant les cas de suivre le développement bactérien et les dégradations tissulaires. L'observation macroscopique des symptômes cliniques de la maladie combinée à ces méthodes complète la gamme des moyens principaux d'une étude de ce genre.

Nous ne déterminerons pas ici exactement, l'évolution de la maladie heure par heure, car elle dépend de la dose de bactéries absorbées, de la composition de l'inoculum, de la température, du stade larvaire etc., comme cela fut démontré par différents chercheurs. Mais voyons le comportement de la larve et de la bactérie introduite à dose assez élevée.

Dans les premiers moments qui suivent l'injection, le comportement des larves semble être normal. Après un jour les premiers symptômes de la maladie apparaissent. Les larves choisies du lot expérimental sont destinées pour histologie et d'autres examens. Ces méthodes permettent d'observer qu'au début existe un faible développement de la bactérie, manifesté par la présence dans l'intestin de formes végétatives de *B. thuringiensis*. Quelques heures plus tard il y a augmentation du nombre de bactéries dans l'intestin et dans les premiers deux jours la forte pullulation de *B. thuringiensis* est accompagnée d'une dégradation des cellules de l'épithélium intestinal. Après la mort on constate un envahissement de l'hôte entier. Nous retrouvons ainsi les bactéries dans la cavité viscérale. Les auteurs qui ont tracé la pathogénèse de *B. thuringiensis* chez *A. kühniella* sont d'accord pour dire qu'il s'agit d'un processus d'intoxication suivi par une septicémie généralisée au moment de la mort.

L'intoxication, suivant les inoculums bactériens utilisés peut provenir de différentes toxines décrites. Les chercheurs attirent l'attention notamment sur le pH du suc intestinal des larves lequel étant généralement alcalin (pour *A. kühniella*, il est compris entre 7 et 8,4 pour d'autres espèces il peut être moins ou plus élevé) joue un rôle dans le développement bactérien et notamment dans la dissolution du cristal toxique. Ce dernier n'est dissout que dans des solutions alcalines, ainsi sa diffusion et son action sont facilitées dès que le pH intestinal des larves est convenable.

Pour cette raison et d'autres, il y a différentes pathogénèses à *B. thuringiensis* suivant le type d'insecte à combattre et les symptômes peuvent différer d'une espèce à l'autre. Certains insectes présentent très peu de temps après l'injection de la bactérie, un arrêt d'alimentation dû à une paralysie des pièces buccales ou du tube digestif. D'autres des manifestations asthéniques et des symptômes plus complexes. La pathogénèse se termine en général par la mort.

Infection de la cavité viscérale :

Elle a lieu quand les bactéries sont introduites naturellement ou expérimentalement dans la cavité viscérale des larves. Ce mode d'infection a également beaucoup d'intérêt dans la nature où existe un parasitisme fréquent d'insectes par d'autres espèces d'insectes appelés entomophages (voir « La lutte biologique » Vol. 5, no 1, 1966). Ces entomophages dont la plupart sont des Ichneumonidae, peuvent introduire un microorganisme donné dans la cavité de son hôte au moment de la ponte, comme nous l'avons démontré par ailleurs. Dans ce cas la tarière déposant l'oeuf dans le corps de la larve joue le

rôle d'une seringue injectant la bactérie. Pour le cas d'*A. kühniella*, dont les larves sont abondamment parasitées par l'Ichneumonide *Nemeritis canescens* le mécanisme d'infection est le suivant.

Pendant la première période allant du moment de la contamination jusqu'à 9 heures environ on ne note aucun symptôme externe. Une réaction hémocytaire intense est visible au niveau de la blessure faite par la tarière du parasite, ainsi que quelques bactéries introduites déjà au stade végétatif. Donc, la germination des spores introduites a eu lieu. Cependant, l'examen de l'hémolymphe ne montre pas de multiplications de la bactérie dans la cavité viscérale, ni de changements des hémocytes (cellules sanguines chez les insectes).

Plus tard des symptômes pathologiques nets apparaissent consistant en une paralysie de la larve. En même temps les hémocytes sont de plus en plus vacuolisés et le cytoplasme dégradé. Mais on ne constate pas de développement notable de bactéries.

Cette multiplication bactérienne a lieu seulement quand les cellules sanguines sont très altérées et les tissus dégradés. A ce moment on assiste à un envahissement rapide de l'hémolymphe (sang des insectes) et de toute la cavité viscérale de la larve par les bactéries (Fig. 5).

L'insecte meurt alors de septicémie, en général dans les 24 heures.

La mise en parallèle de ces observations fait supposer un effet toxique des formes végétatives des bactéries même lorsqu'elles ne se trouvent qu'en nombre réduit dans l'hémolymphe.

D'autres expériences avec les toxines bactériennes permettent de penser que l'infection intrahémocoelienne est dans ce cas toxico-septicémique.

Les deux infections, per orale, et intrahémocoelienne, combinées ensemble donnent des résultats très encourageants, car le pourcentage d'insectes supprimés par cette méthode est très élevé. Ainsi les infections microbiennes par parasitisme d'un entomophage s'avèrent un complément pouvant être une méthode de lutte micro-biologique contre les insectes.

Production industrielle et utilisation pratique de la bactérie

Cinquante ans après la découverte de *B. thuringiensis*, malgré qu'il n'y a pas lieu de parler d'une véritable utilisation pratique de la bactérie dans la lutte contre les insectes, on peut cependant dire qu'elle a réussi à intéresser aussi bien les chercheurs que les industriels.



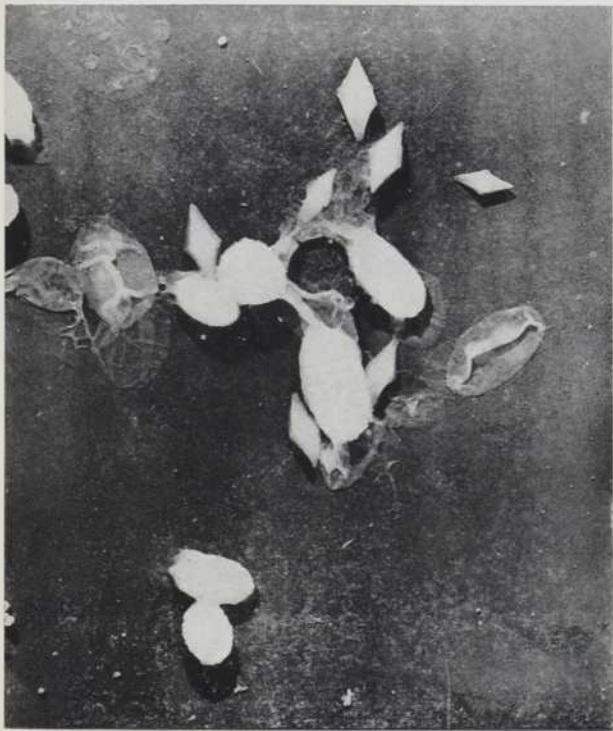
Fig. 5.

Multiplication de la bactérie *Bacillus thuringiensis* dans la cavité viscérale de l'insecte *A. kuhniella*. Envahissement septicémique à la fin de la pathogénèse (ou à la fin du cycle de la maladie). Coloration à la brésiléine. (360 X).

b : bactéries; c : contenu intestinal; pi : paroi cellulaire; mb : membrane basale.

Fig. 6.

Les cristaux rhomboédriques et les spores de la bactérie *Bacillus thuringiensis* sont libérés ici dans le milieu de culture vers la fin de l'évolution des formes végétatives. A la base de ces deux éléments l'industrie produit aujourd'hui des insecticides microbiologiques pour lutter contre les insectes nuisibles. (Photographie prise au microscope électronique, 9 100 X).



En effet, en dehors du grand nombre d'études portant sur *B. thuringiensis*, on trouve des préparations industrielles à base de spores et de cristaux aux U.S.A., en U.R.S.S., en France, en Allemagne, etc. Suivant les pays ces préparations portent différents noms tels que Thuricide, Enterobactérine, Bactospéine, etc., et elles furent déjà utilisées à l'échelle expérimentale. Ces préparations bactériennes sous forme de poudres ou de solutions peuvent être répandues à partir d'hélicoptères quand il s'agit de lutte microbiologique contre les insectes dans la nature, en forêt par exemple, mais également par le moyen d'un simple pulvérisateur.

Certains chercheurs russes ont même suggéré l'emploi de produits mixtes à base de bactéries et d'insecticides chimiques. Selon eux il y aurait synergisme, puisque l'insecticide chimique à très faible dose (DDT 0,002%) affaiblirait l'organisme ce qui rendrait l'infection plus efficace. A l'heure actuelle où des quantités énormes de produits chimiques à résidus toxiques sont utilisés, il est toujours intéressant et nécessaire de retenir et vérifier toutes suggestions pouvant donner des résultats concluants.

Bacillus thuringiensis sous forme de préparation a déjà été testé avec succès sur environ 140 espèces provenant de Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera et Coleoptera.

La réussite de cette bactérie est assurée. Attendons maintenant le succès de l'homme, lequel, espérons-le, trouvera en cette bactérie souvent oubliée, un auxiliaire véritable.

Bibliographie

1. ANGUS, T.A. 1954. A bacterial toxin paralyzing silkworm larvae. *Nature*, 173, 545.
2. BERLINER, E. 1915. Über die Schlafsucht der Mehlmotenraupe *E. kuhniella* und ihre Erreger *B. thuringiensis*. *Z. Angew. Ent.*, 2, 29-56.
3. DE BARJAC, H., BONNEFOI, A. 1962. Essai de classification biochimique et sérologique de 24 souches de *Bacillus* du type *B. thuringiensis*. *Entomophaga*, 7, 5-31.
4. HEIMPEL, A.M. & ANGUS, T.A. 1963. *Diseases Caused by Certain Sporeforming Bacteria*. *Insect Pathology an Advanced Treatise*, Vol. 2, 21-73.
5. KURSTAK, E. 1965. Le rôle de *Nemeritis canescens* Grav. dans l'infection à *Bacillus thuringiensis* Berl. chez *Ephestia kuhniella* Zell. Thèse de Doctorat ès Sciences d'Etat, Université de Paris. 118 pages.
6. SMIRNOFF, W.A. 1962. A staining method for differentiating spores, crystals, and cells of *Bacillus thuringiensis* (Berliner) *J. Insect Pathol.*, 4, 384-386.
7. VAGO, C. 1956. *L'enchaînement des maladies chez les insectes*. Ed. Sp. Comm. Ser. Intern. 184 pages.

À la recherche de modes de propulsion plus efficaces et moins onéreux, l'aéronautique met au point

Comme vous l'avez remarqué lors de maints lancements, une fusée se met en mouvement en se débarrassant violemment d'une partie importante du poids qui la constitue au départ. Par un procédé quelconque, ce poids est rejeté vers l'arrière, et en réaction, un mouvement vers l'avant se crée selon la 3e loi de la mécanique de Newton. Plus le poids rejeté sera petit, moins la charge mise en orbite sera considérable. Plus le taux d'éjection est lent, plus longtemps peut s'allonger la période de fonctionnement du moteur; une grande vitesse d'éjection entraîne une plus grande vitesse de réaction. Ce sont en gros les raisons pour lesquelles les milieux de recherche de l'aéronautique s'acharnent à mettre au point la propulsion électrique pour les longs voyages dans l'espace et les missions circumterrestres d'envergure. Les fusées électriques, dont le mode de propulsion n'est encore qu'aux tout premiers balbutiements, libèrent une poussée infime, mais peuvent, tout en consommant une très faible quantité de carburant, opérer sur une longue durée et propulser un satellite à de grandes vitesses.

A chacun son rôle

Les fusées chimiques ordinaires, c'est-à-dire celles qui emploient pour leur propulsion le principe de la combustion, sont des gloutons de la pire espèce. Elles avalent des quantités phénoménales de carburant en un temps très bref. Ainsi le premier étage de la fusée Saturne V, conçue pour le projet Apollo, fournit ses 7 500 000 livres de poussée en brûlant 15 tonnes de kérosène et d'oxygène liquides par seconde, ce qui totalise 2 250 tonnes pour les 2½ minutes approximatives de son fonctionnement. Mais, la fusée joue bien son

Le moteur-fusée électrique

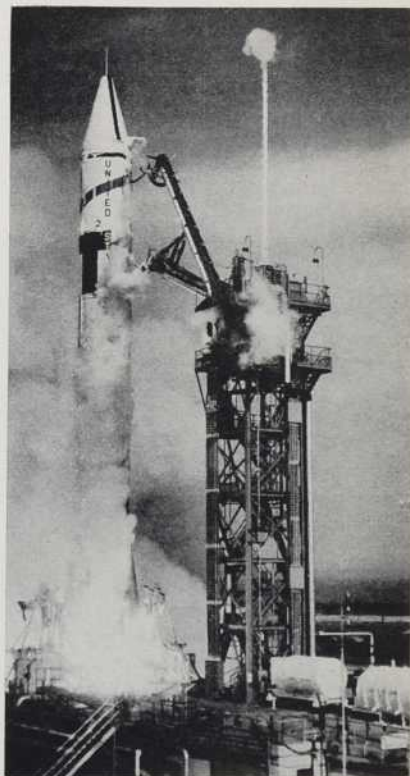
par Jean-René ROY

rôle : faire traverser les couches denses de la basse atmosphère terrestre le plus rapidement possible tout en arrachant le satellite à l'attraction terrestre.

Mais cette façon brutale de faire avancer les choses devient un peu grossière et moins économique lorsqu'on est déjà en orbite ou bien qu'on prévoit un long voyage vers Mars, Vénus ou Jupiter; de plus, le vide interplanétaire n'oppose pas de friction lorsqu'un corps se déplace. Au lieu d'un super-moteur fusée travaillant rageusement durant quelques minutes, pourquoi pas un moteur genre pousse-pousse qui opérera durant des mois ou des années s'il le faut?

Anatomie des systèmes à propulsion électrique

Pour éviter toute confusion, précisons tout d'abord que le principe de la propulsion électrique est tout différent du moteur électrique que nous rencontrons quotidiennement et qui fonctionne par induction magnétique. Le moteur électrique de l'aéronautique ressemble beaucoup plus en principe à un accélérateur de particules.



Le deuxième étage de la fusée Atlas-Centaure fonctionne grâce à la combustion d'un mélange d'hydrogène et d'oxygène liquides. Ce carburant fait de la Centaure le véhicule porteur à la meilleure impulsion spécifique utilisé présentement par la NASA américaine.

Un système de propulsion électrique est constitué d'un accélérateur accouplé à une unité génératrice d'électricité ainsi qu'à un contrôle de poussée et d'alimentation, qui règle soit la vitesse ou le taux d'éjection, et de là, la poussée de l'appareil. En somme, le moteur électrique a pour tâche de convertir l'énergie électrique et le carburant en une force dirigée vers l'avant. Le champ électrique sert à accélérer les particules chargées du carburant ionisé à une vitesse d'échappement, jouant le rôle de la combustion des mélanges chimiques de nos fusées conventionnelles. Le champ électrique agit d'une façon semblable au joueur de golf qui frappe la balle avec une grande énergie. Un des avantages marqués de la propulsion électrique est la haute vitesse d'échappement qu'il est possible d'obtenir. Avec les carburants chimiques il est difficile de dépasser 4 000 mètres par seconde avec la combustion, tandis que dans un système électrique opérant sur des ions, il est possible d'atteindre (théoriquement) la vitesse de la lumière. Quoique dans la réalité, on ne puisse atteindre cette vitesse fantastique, des vitesses de plusieurs dizaines de milliers de mètres par seconde sont facilement accessibles.

Pour définir quelques termes courants, disons que la *poussée* est égale au produit de la *vitesse d'échappement* par le flux de carburant; et pour obtenir l'*impulsion totale* qui demeure la quantité importante, on multiplie la poussée par le temps durant lequel opère cette poussée. La capacité des fusées s'exprime généralement par l'*impulsion spécifique* qui est le quotient de l'*impulsion totale* imprimée à la fusée, par *unité de poids de carburant consommé*. L'*impulsion spécifique* s'exprime en secondes : plus elle est élevée, meilleure est la performance de la fusée. En termes physiques plus rigoureux, on pourrait s'exprimer ainsi : l'*impulsion spécifique* est le nombre de secondes nécessaires pour produire une livre de poussée en consommant une livre de carburant. Donc, un moteur de petite puissance opérant pendant une longue durée peut avoir une impulsion totale supérieure à celle de la fusée Saturne V.

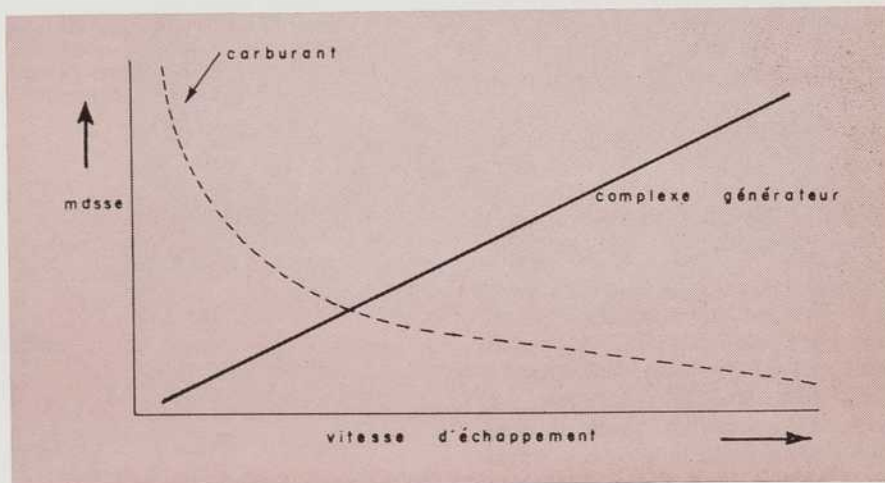
Le meilleur carburant chimique possible, consistant à faire réagir du fluor avec de l'hydrogène, possède

une impulsion spécifique théorique maximum de 500 secondes. Avec des appareils ioniques on obtient des impulsions spécifiques environ 1 000 fois supérieures à celles que fournissent les carburants chimiques utilisés de façon classique. Pour bien se représenter les choses, disons que l'impulsion spécifique représente en astronautique un peu le « millage au gallon », unité fort bien connue de tous les propriétaires d'automobiles.

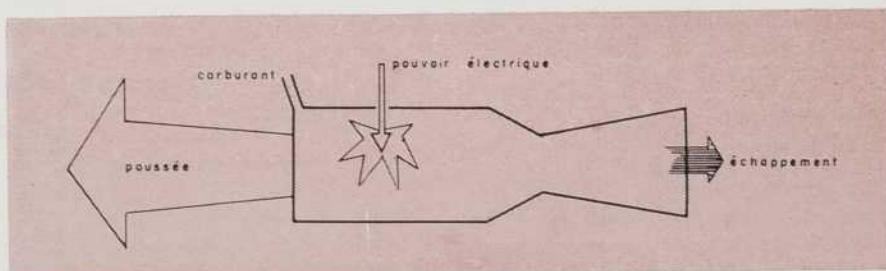
Etant donné le très faible écoulement de carburant, les poussées des appareils électriques actuels se mesurent en millilivres. La propulsion électrique peut être produite grâce à trois procédés assez voisins qui empiètent largement les uns sur les autres dans leurs principes :

1) le moteur électrothermique :

La fusée électrothermique ressemble dans ses grandes lignes à la fusée chimique conventionnelle, sauf que le carburant au lieu de brûler, est simplement porté à de très hautes températures; en s'échappant par la tuyère, il produit la poussée. L'énergie des particules n'est due qu'à la chaleur et non à l'accélération causée par un champ électrique comme on le verra chez les types d'appareils suivants. Dans le moteur électrothermique, le carburant est chauffé en passant dans un arc électrique, sur une surface chauffée électriquement ou dans un réacteur nucléaire. L'intérêt de ce mode réside plutôt dans sa simplicité que dans son rendement. Mais les vitesses d'échappe-



Ce schéma montre comment varie la masse du carburant exigé pour une mission quelconque, en fonction de la vitesse d'échappement. De plus, on constate que la masse du système générateur croît avec la vitesse d'échappement, étant donné que la vitesse d'échappement est proportionnelle au voltage. Plus la vitesse d'échappement est élevée, moins on a besoin de carburant.



Dans une fusée à propulsion électrique, un champ électrique est responsable de l'accélération du carburant. Une des lois de la mécanique newtonienne nous dit que pour toute action on doit avoir une réaction égale et opposée dans sa direction. La poussée vers l'avant est donc égale et opposée à l'action de la force d'échappement vers l'arrière.

ment du moteur électrothermique sont tout de même deux fois supérieures à celles du procédé conventionnel chimique et les impulsions spécifiques possibles sont de l'ordre de 800 à 1500 secondes. On envisage d'utiliser cette formule pour le réglage de l'orientation des satellites lourds sur orbite terrestre ou autre mission.

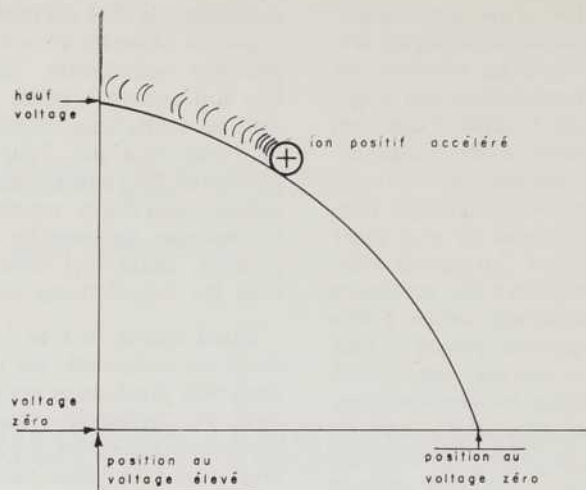
2) le moteur électromagnétique :

La fusée électromagnétique ou plasmique tient son surnom de l'utilisation qu'elle fait du quatrième état de la matière. La plupart des corps connus, lorsque portés à des températures de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers de degrés centigrades, forment un gaz très ionisé appelé couramment *plasma*. Les éléments ainsi chauffés se subdivisent en particules électriquement chargées, ions positifs et électrons. C'est alors que le plasma peut constituer un conducteur d'électricité excellent, exactement et même de beaucoup mieux qu'un fil de cuivre. Soumis à un champ électrique, le plasma subit une force qui peut être convertie en force mécanique.

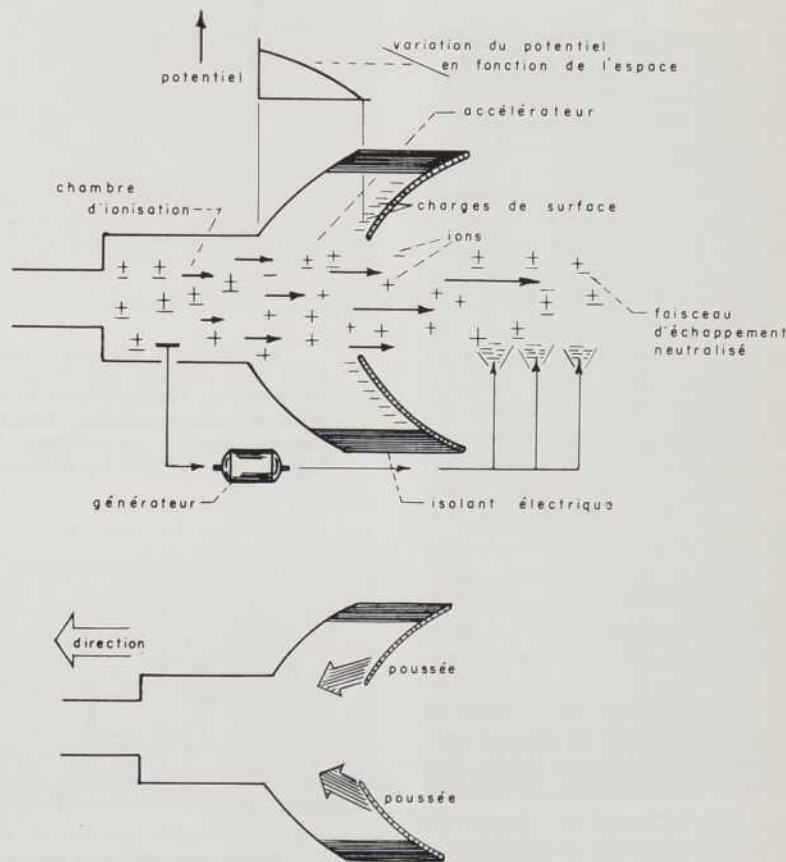
Il s'agit, face à ce nuage de particules chargées, de disposer d'un accélérateur qui peut être deux électrodes créant une chute de potentiel. Mais l'efficacité d'un tel système, qui exige une énergie phénoménale, pour tout d'abord créer le plasma et ensuite alimenter le système d'accélération, est trop médiocre pour être exploitable dans un avenir immédiat. Il faudra encore beaucoup de recherches en physique des plasmas et bien des problèmes sont rattachés à la solution de la domestication de la fusion thermonucléaire où l'on travaille avec acharnement sur des plasmas chauffés à plusieurs dizaines de millions de degrés, prisonniers de puissants champs magnétiques.

3) le moteur électrostatique ou ionique :

Le grand vainqueur de tous les essais et de tous les calculs est sans contredit le moteur électrostatique ou ionique. Cette version constitue sûrement à l'heure actuelle le mode de propulsion électrique le plus encourageant et celui qui suscite l'intérêt le plus vif. D'ailleurs, ce moteur a déjà fait ses preuves en laboratoire et en orbite.



Toute particule chargée électriquement peut être accélérée dans un champ électrique. On dit alors que la particule subit une chute de potentiel, et le voltage se définit justement comme la différence de potentiel entre le point de départ et le point d'arrivée. En ajustant le voltage, on peut donc contrôler la vitesse d'échappement des ions.

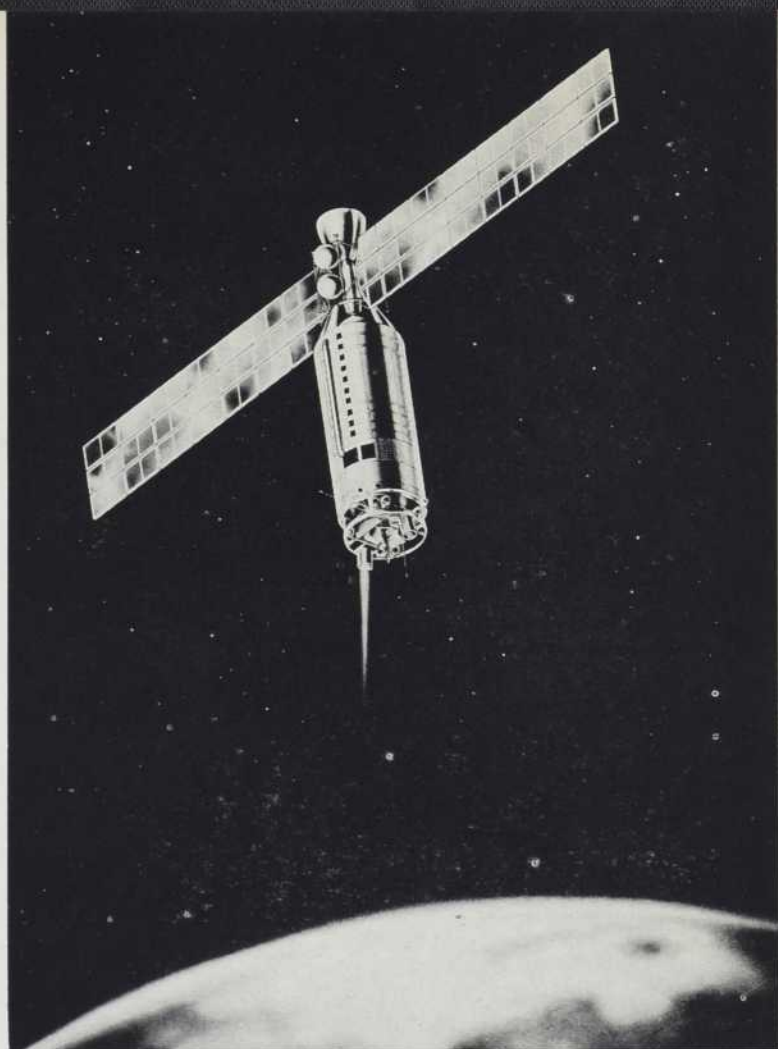


Le moteur à propulsion électrique.
(Schéma adapté de W. R. Michelsen, 1962, Lewis Research Center, NASA).

Dans le moteur ionique, le carburant est ionisé mais les électrons sont retirés immédiatement de la zone d'ionisation au même rythme que les ions sont accélérés vers l'arrière pour produire la poussée lorsque soumis au champ électrique qui les dote de grandes vitesses d'échappement. Le voltage permet de régler la vitesse d'échappement de ces mêmes ions. Comme carburant, il s'agit d'avoir un élément lourd fournissant des ions lourds et qui demeure ionisable, c'est-à-dire ayant un potentiel d'ionisation très bas; les candidats les plus aptes demeurent les métaux alcalins — lithium, sodium, potassium, rubidium et césium — le césium ayant le potentiel d'ionisation le plus bas et étant aisément fusible est tout choisi.

Les électrons fournis par le carburant, doivent être enlevés et rejetés du satellite afin de maintenir la chambre d'ionisation du système à un haut voltage et de conserver la plus grande efficacité à la propulsion. Comme les électrons et les ions sont de charges contraires, on doit avoir recours à un système de pompage électrique pour les extraire. Une fois ramenés à un potentiel zéro, ils sont réinjectés dans le faisceau d'échappement d'ions positifs et *neutralisent* ainsi le matériel éjecté. S'il n'y avait pas de neutralisation, une différence de potentiel se créerait entre le satellite et le matériel éjecté, et un embouteillage monstre d'ions aurait lieu. Les ions juste sortis repartiraient en sens contraire pour rentrer à nouveau dans le satellite. C'est cet important processus de neutralisation du faisceau de sortie que la NASA a expérimenté avec succès lors de l'expérience du satellite SERT I en 1964.

L'accélération des ions se produit ainsi : les ions sortent de la zone d'ionisation où le potentiel est constant pour entrer ensuite dans l'accélérateur où le voltage subit une chute brutale; enfin à la sortie de la tuyère, le potentiel redevient constant.



Cette reconstitution nous montre SERT II alors que l'un des deux moteurs ioniques fonctionne. Le corps du satellite est constitué du second étage Agena de la fusée porteuse. Les panneaux solaires fourniront 1½ kilowatt au réseau de piles.

Les débuts de la propulsion ionique

Le satellite expérimental, SERT I, lancé dans l'espace le 20 juillet 1964, portait deux petits moteurs ioniques : a) un moteur fonctionnait grâce au bombardement électronique utilisant comme carburant, le mercure; cet engin avait été mis au point par le centre de recherches Lewis de la NASA; b) un autre, créé par les laboratoires de la compagnie Hughes Aircraft utilisait le césium comme carburant. Tandis que l'engin au césium ne peut fonctionner à cause d'un claquage de haut voltage (difficulté indépendante du concept de base), l'appareil au mercure fournit une poussée pendant le temps prévu du vol balistique de 30 minutes.

L'appareil au mercure fonctionnait ainsi : le mercure chauffé s'évaporait et la vapeur était introduite dans la chambre d'ionisation. A ce moment un « kick » électrique chassait un électron de l'atome de mercure pour former une paire ion-électron. Après en avoir extrait les électrons grâce à une paire d'électrodes, les ions positifs étaient alors accélérés dans le champ électrique. Il a été démontré que cet appareil pouvait opérer à une efficacité supérieure à 80%, tout en fournissant une poussée de quelques millilivres.

Un problème commun à tous les modes de propulsion est de trouver le meilleur carburant. On sait que la vitesse d'échappement dépend à la fois du voltage utilisé et aussi de la masse des ions. Il serait donc très

intéressant d'utiliser des molécules plus lourdes que les atomes. Cependant, les voltages nécessaires pour accélérer des corps 5 à 10 fois plus lourds que le mercure seraient de l'ordre de 100 000 volts. Poussant plus loin, les chercheurs du centre spatial de Lewis ont aussi des visées sur l'utilisation de particules microscopiques consistant en un agrégat de plusieurs molécules. Il demeure théoriquement possible d'atteindre une efficacité de près de 100% de l'efficacité maximum totale pour le moteur ionique. Le voltage nécessaire serait alors de un million de volts. Là naît un autre problème dont nous parlerons brièvement plus loin : l'alimentation en énergie électrique de ces systèmes.

Mais pendant combien de temps peut fonctionner un moteur ionique? C'est ce à quoi a répondu une expérience de longue haleine qui s'est terminée le 1er avril 1966. Un moteur électrique complétait alors 341 jours d'opération sans arrêt dans une chambre de simulation spatiale. Les 8 189 heures de fonctionnement continu de l'appareil ont prouvé qu'un tel système était apte à accroître les charges utiles pour les grandes missions interplanétaires emportant un équipage humain ou non. L'impulsion spécifique a été de 5 010 secondes

et l'efficacité de 72.3%; la poussée moyenne était de 7.05 millilivres.

Pour faire suite à ce test en laboratoire et à l'opération SERT I, la NASA prépare pour la fin de 1968, SERT II; il s'agit de soumettre un moteur ionique aux conditions de l'espace pour une durée de fonctionnement allant de six mois à quelques années si nécessaire. SERT II sera lancé au moyen d'une fusée Thor-Agena et le satellite se composera du second étage Agena auquel on aura joint les deux moteurs ioniques, plusieurs appareils et deux panneaux solaires devant recueillir l'énergie servant à alimenter les piles. Chacun des moteurs placés à une extrémité de la fusée Agena, sera alimenté par un kilowatt. Il est toutefois à remarquer qu'un seul à la fois sera mis en marche. Le satellite voyagera sur une orbite polaire de 575 milles d'altitude et les moteurs ioniques, grâce à leur poussée, provoqueront une élévation graduelle de l'orbite.

Le principal problème : l'alimentation en électricité

L'un des problèmes majeurs demeure l'alimentation en électricité de ces modes de propulsion. L'astronautique a un besoin urgent de puissants mais légers générateurs; il

faut toujours considérer qu'il coûte \$1 000 pour chaque livre mise en orbite. Dans les tests à venir exigeant de faibles puissances, l'énergie sera fournie par des piles alimentées de la façon conventionnelle, qui utilisent la conversion de l'énergie solaire. Mais les besoins des missions interplanétaires sont plus grands. Car à ce moment il faudra propulser des vaisseaux pesant des dizaines et même des centaines de tonnes.

Deux systèmes de turbo-générateurs alimentés par l'énergie nucléaire devraient être disponibles vers les années 1970. Il s'agit du SNAP-8 pouvant fournir 30 kilowatts d'énergie électrique; la conversion de cette puissance produirait environ quelques dixièmes de livre de poussée. L'autre, plus raffiné, le SNAP-50 devrait développer une puissance de l'ordre du mégawatt (un million de watts) pouvant créer des poussées de plusieurs livres et ainsi propulser dans l'espace interplanétaire des véhicules de 25 tonnes.

Bibliographie

- COLBORN, R. (*Modern Science and Technology*), *Ion Rockets*, Van Nostrand Co., 1965, pp. 519-526.
- MICHELSSEN, W. R. *Space Flight Beyond the Moon*, Lewis Research Center, 1962.

Département de physiologie de l'Université de Montréal

Au cours d'une conférence de presse conjointe tenue le 31 mars dernier, le recteur de l'Université de Montréal et le président du Conseil des recherches médicales du Canada annonçaient que l'Université de Montréal venait de recevoir une subvention d'environ un million deux cent cinquante mille dollars. Cette subvention est la première accordée en vertu d'un nouveau projet du Conseil des recherches, projet destiné à aider des recherches avancées dans le domaine médical au Canada.

La subvention est valable pour une période de 5 ans et elle est destinée à supporter les études de la section des sciences neurologiques du Département de physiologie de la Faculté de médecine. Le directeur du groupe est un neurophysiologiste canadien de réputation internatio-

nale, le Dr H. H. Jasper, qui occupe actuellement la chaire de professeur de neurophysiologie à l'Université de Montréal. Les quatre autres chercheurs principaux sont : le docteur J. P. Cordeau, neurophysiologiste et ingénieur, le docteur Marc Colonnier, neuro-anatomiste, le docteur Nico M. Van Gelder, neuro-chimiste et le docteur Fernand A. Roberge, ingénieur bio-médical.

Cette savante équipe étudiera certaines questions relatives à l'organisation du système nerveux. On peut décrire le système nerveux comme un réseau de télécommunication constitué de cellules et les longues fibres nerveuses. Les cellules peuvent être connectées par ces longues fibres ou les fibres d'un neurone peuvent être reliées directement à une autre cellule.

Le programme de recherches du groupe englobera, entre autres sujets, des études sur des phénomènes qui se produisent au point de contiguïté (synapse) où l'influx nerveux passe d'un neurone (cellule) à un autre. Au cours des dernières années, on a envisagé la possibilité de l'action de certaines substances chimiques que l'on trouve à l'état naturel comme intermédiaires synaptiques dans le cerveau, tandis que d'autres serviraient de modulateurs ou de régulateurs de l'excitabilité des neurones.

En vertu de l'entente, les chercheurs consacreront tout leur temps au programme entrepris par le groupe. Le Conseil défraiera les salaires des chercheurs principaux, des adjoints qualifiés, des stagiaires diplômés, des techniciens et de tout autre personnel, de même que les dépenses en accessoires et en appareils.

Le sommaire du cinquième volume de votre revue est inclus dans ce numéro, en supplément, sur un feuillet de quatre pages.

Les auteurs de ce numéro

Rédacteurs, photographes et dessinateurs :

- 169 La grêle, sa structure et ses propriétés physiques, par Michel Ferland, B.Sc., M.A., météorologue au Service de Météorologie, ministère des Richesses naturelles, Québec; photos: p. 170, de l'*International Cloud Atlas* (version abrégée), publiée par l'Organisation mondiale de la Météorologie (O.M.M.), planche 52; p. 171, photo de R. List (cf bibliographie à la p. 171).
- 172 La végétation des Everglades de Floride, par Miroslav M. Grandtner, D.Sc., professeur agrégé à la Faculté de Foresterie et de Géodésie, Université Laval, Québec; photos et dessins de l'auteur, pp. 172-175.
- 176 Les ordinateurs électroniques, 2e article, par Jacques St-Pierre, Ph.D., Directeur du Département d'Informatique, Université de Montréal; p. 177, photo de l'Université de Montréal.
- 180 Les bactéries: un monde qui nous entoure, par Marc Quevillon, Ph.D., assistant de recherches à l'Institut de Microbiologie et d'Hygiène de l'Université de Montréal; photos et dessins du même Institut, pp. 180-181.
- 182 La réussite d'une bactérie, par Edouard Kurstak, D.Sc., professeur au Département de Microbiologie et d'Immunologie, Faculté de Médecine, Université de Montréal; photos et dessins de l'auteur, pp. 183-187.
- 188 Le moteur-fusée électrique, par Jean-René Roy, B.Péd., Montréal; pp. 188, 191, photos de la *National Aeronautics and Space Administration*, NASA, Washington, D.C.; pp. 189, 190, esquisses de l'auteur dessinées par Claude Forest, Joliette.
- 192 Actualité scientifique: une subvention au groupe des sciences neurologiques, Faculté de Médecine, Université de Montréal; texte de la rédaction de la revue d'après un communiqué du Conseil des recherches médicales du Canada, Ottawa.

Pour conserver la collection du 5e volume

Le 5e volume du JEUNE SCIENTIFIQUE se termine avec ce numéro de mai 1967. Nous vous invitons à conserver la collection des huit numéros du volume, en les reliant ou en utilisant un cahier à anneaux.

Dans le passé, nous vendions des « reliures-cartables » à l'intention des lecteurs intéressés, mais nous avons dû abandonner récemment la vente de ces reliures mobiles, par suite de la hausse constante des prix. Il est maintenant plus économique de faire relier soi-même sa propre collection ou encore de réunir les numéros, en les perforant, dans un cahier à anneaux.

Nous espérons vous compter parmi nos lecteurs du sixième volume, à partir d'octobre 1967, et nous vous remercions de votre aimable intérêt.



Cinq volumes

Le 5e volume du JEUNE SCIENTIFIQUE se ferme avec cette livraison de mai 1967.

Une équipe d'une quarantaine de scientifiques, professeurs et chercheurs, a généreusement contribué à la rédaction comme à l'illustration de cet ouvrage.

Le 5e volume est terminé.
Les huit numéros de l'année scolaire 1966-67 vous ont apporté un album de 192 pages illustrées contenant une source variée de vulgarisation scientifique.

Le 6e volume, celui de l'année scolaire 1967-68, est déjà en préparation et nous espérons de nouveau vous compter parmi nos fidèles lecteurs et propagandistes.

Nous vous remercions de votre amical intérêt et, en votre nom, nous disons également notre reconnaissance à tous nos dévoués et savants collaborateurs.

Si LE JEUNE SCIENTIFIQUE vous a intéressé, si vous y avez puisé de nouvelles connaissances, pourquoi ne pas le présenter à vos amis, à vos étudiants ?

Demandez la « Liste de nos publications », des formules d'abonnements, et participez à la diffusion d'une revue d'information scientifique que vous avez maintenant adoptée.

LE JEUNE SCIENTIFIQUE, case postale 6060, Montréal 3, Canada.

