

Le Courrier

PUBLICATION DE L'ORGANISATION DES NATIONS UNIES

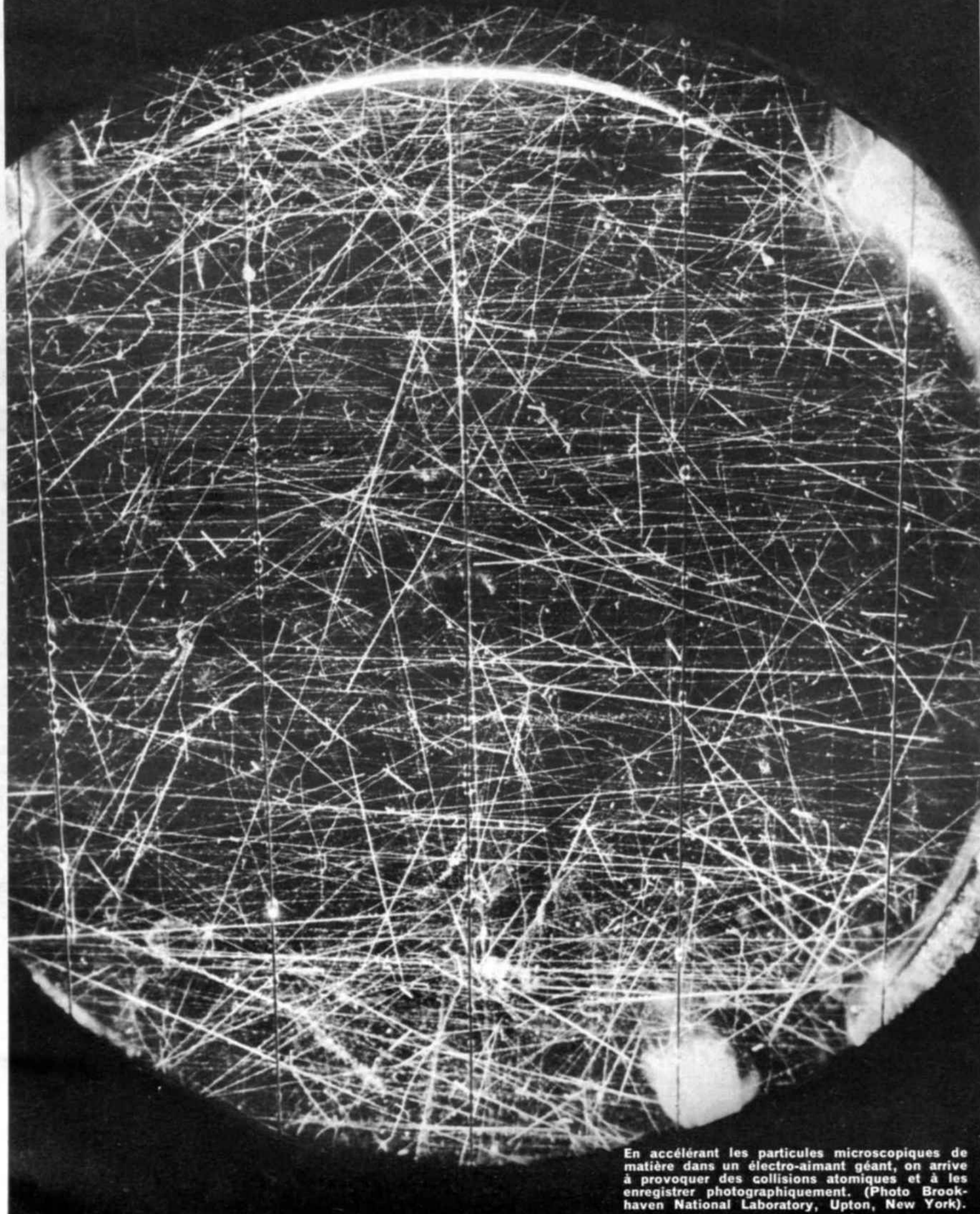


POUR L'ÉDUCATION, LA SCIENCE ET LA CULTURE

Prix : 50 fr. — 20 cents (U.S.) — 1 shilling (Angl.)

MENSUEL — VOLUME VI — N° 12 — DÉCEMBRE 1953

LE MONDE MYSTÉRIEUR DE L'ATOME



En accélérant les particules microscopiques de matière dans un électro-aimant géant, on arrive à provoquer des collisions atomiques et à les enregistrer photographiquement. (Photo Brookhaven National Laboratory, Upton, New York).

"TOUT EST ASTRONOMIQUE DANS L'INFINIMENT PETIT"

DEPUIS que l'homme est apparu sur la terre, il l'a explorée et en a étendu les limites connues. Pendant des siècles, c'est à la surface de cette terre que s'est déroulée l'aventure humaine; la géographie en a tracé les conquêtes sur les cartes et ainsi a rendu possible leur exploitation.

Maintenant que la surface entière de la terre nous est familière, les explorateurs se sont tournés vers les profondeurs des mers et les immensités du ciel. C'est en 1905 que vola le premier avion et en 1950 les fusées grimpaient à 400 kilomètres, hauteur qui représente la distance de Paris à Londres. Aujourd'hui, les garçons rêvent d'atteindre les planètes voisines. Entre temps, d'énormes télescopes ont mis les étoiles clignotantes à la portée de notre main et derrière les astres on peut désormais dénombrer et situer les lointaines constellations. Notre imagination dépasse même le ciel, comme jadis elle se passionnait pour les terres inconnues au-delà des mers.

Tout ceci nous est familier. Mais peu de personnes sont conscientes du fait que l'exploration s'est déjà fortement engagée dans une direction diamétralement opposée : vers l'intérieur. Ce voyage est plus difficile à traduire par l'image parce que les éléments qui nous entourent — bois, pierre, métal — paraissent solides. Cependant, à l'intérieur de ces éléments, on trouve les molécules qui, elles-mêmes, renferment des atomes et à l'intérieur des atomes apparaissent des particules plus petites encore : les protons, les électrons et nombre d'autres. Il semble qu'il n'y ait pas de limites pour l'infiniment petit et les recherches pénètrent toujours plus avant dans ce domaine comme elles le font, à l'extérieur, dans le grand univers.

Telle est la scène sur laquelle se déroulent les aventures et les explorations de notre époque, aussi passionnantes que n'importe quelle expédition terrestre ou aérienne, aussi importantes pour l'avenir de l'homme. Il est grand temps que cette épopée soit mise à la portée de tous et que l'on fasse connaissance avec ce monde étrange où la matière solide apparaît comme étant presque vide, où les particules se déplacent à des vitesses incroyables, et peuvent même disparaître pour se transformer en énergie, où l'énergie elle-même est composée de particules et où le temps se mesure en millièmes de seconde. Une fois acceptées ces nouvelles conceptions, une fois appris quelques termes nouveaux, il n'y a rien dans ce monde qui soit trop compliqué à comprendre, à moins, naturellement, que l'on veuille connaître l'atome à fond, ce qui exige des études mathématiques approfondies.

Il existe une raison importante pour laquelle le monde de l'atome doit être mieux connu : l'ignorance populaire lui a donné un faux nom. Pour la vaste majorité de l'opinion publique, l'énergie atomique évoque l'idée d'horribles explosions et d'armes effrayantes qui pourraient annihiler notre civilisation. Le drame de cette science nouvelle est qu'elle ait mûri en 1939, au moment où éclata la guerre, et qu'elle ait été presque immédiatement utilisée à l'accroissement de la puissance militaire. Lors de l'explosion de la première bombe atomique, la science de l'atome était inconnue de la plupart des hommes. Pour ceux-ci, la révélation fut un choc inoubliable.

Pourtant, cette utilisation — ou utilisation abusive — de la nouvelle science à des fins militaires ne constitue qu'un aspect particulier, grossi par la guerre. Ignorer les autres aspects, et toutes les perspectives favorables qu'ils offrent à l'humanité, est aussi absurde que se détourner de l'aviation et de tous les usages pacifiques de l'aéroplane parce que, pendant la guerre, il y eut des avions de bombardement.

De même, l'utilisation médicale, industrielle et agricole des

rayons atomiques est extrêmement prometteuse. On peut déjà en attendre des révélations sur la nature de la matière et la structure de l'univers. Des sciences nouvelles s'en inspirent qui font espérer pour nos enfants, sinon pour nous-mêmes, une vie meilleure.

Il est aujourd'hui aussi indispensable d'être au courant des particules contenues dans l'atome qu'il était important, il y a quelques siècles, de s'intéresser à la mystérieuse et nouvelle Amérique, ou, il y a deux générations, à la découverte de Pasteur sur les bactéries ou encore, il y a cinquante ans, au premier aéroplane. Désormais, l'atome est entré dans le domaine du savoir humain.

La série d'articles que nous publions dans ce numéro a pour objectif d'amener à la portée de chacun le monde de l'atome et de répondre aux questions que les enfants d'aujourd'hui posent à leurs maîtres et à leurs parents.

Elle a pour but d'expliquer pourquoi l'Unesco a réuni les experts en science atomique des pays européens pour coopérer aux recherches sur la structure de l'atome et sur les particules de haute énergie, les frais entraînés par ces recherches étant, dans la plupart des cas, trop élevés pour être supportés par une seule nation. Les étudiants et les savants européens disposeront bientôt des possibilités de recherches les plus favorables à la suite de l'accord intervenu entre douze nations dans le but de créer le Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, accord prévoyant l'installation à Genève, cité de la paix, d'un grand laboratoire.

Elle a aussi pour but de montrer comment s'est établie la coopération internationale pour mener à bien les explorations sur les frontières de la connaissance humaine. Elle contribuera à rendre les nouveaux termes — tels que rayons cosmiques, protons et mesons — familiers à tous et dans toutes les langues. Elle aidera à faire du monde de l'atome un des fondements de la culture humaine.

Mais il ne sera pas question dans ces articles de bombes, de plutonium, de réacteurs atomiques ou de piles. Il s'agit là d'applications militaires de la connaissance nouvelle, qui représentent uniquement un aspect partiel et très spécialisé de cette science, aspect d'un caractère en grande partie secret et peut-être d'ailleurs temporaire. Les atomes y sont détruits par fission et leur matière violemment convertie en énergie explosive.

Tout autre est le domaine des rayons cosmiques qui, venant de l'espace extérieur à l'atmosphère terrestre, atteignent le globe ; tout autre est le domaine des merveilleuses applications du radium dans le traitement des maladies ; de la passionnante et nouvelle conception de l'atome en tant qu'univers proprement dit, aussi complexe qu'une constellation d'étoiles, rempli de radiations inconnues et en pleine activité, de particules qui font elles-mêmes partie d'autres particules, pleins d'énigmes, enveloppées de mystère, un univers que le Professeur Perrin a défini dans une formule saisissante : « Tout est astronomique dans l'infiniment petit. »

Nous sommes loin de la fission explosive utilisée à des fins militaires, qui n'est qu'un emploi abusif né de l'incapacité des hommes à résoudre les problèmes sociaux et internationaux.

Les faits scientifiques et les principes exposés dans ce numéro ne sont pas seulement le fruit de recherches effectuées par de nombreuses nations mais constituent en fait un singulier élargissement de l'univers humain. Tout comme les grands explorateurs ont dressé la carte du globe et les astronomes celle du ciel, les savants atomiques, fouillant la matière et l'énergie, ont découvert un monde inconnu qui est pour les philosophes une révélation et pour les générations futures un immense champ d'action. Aucune personne instruite ne peut l'ignorer.

ABONNEMENTS

Le prix de l'abonnement est de 500 fr. français, de \$ 2 ou 10 s. 6 d.
Ecrivez à notre agent de vente dans votre pays ou, à défaut, directement à l'UNESCO, 19, avenue Kléber, Paris.

Afrique - Occidentale - Française : Librairie "Tous les Livres" 30, rue de Thiong, Dakar.
Allemagne : Unesco Vertrieb für Deutschland, R. Oldenbourg, Munich. (D M 6)
Belgique : Librairie Encyclopédique, 7, rue du Luxembourg, Bruxelles IV. (Frs. B 90)
Cambodge : (voir Viet-Nam).
Canada : Centre de Publications Internationales, 5112, avenue Papineau, Montréal 34. (C \$ 2).
Chypre : M. E. Constantinides, P. O. B. 473, Nicosia.
Egypte : La Renaissance d'Egypte, 9, rue Adly-Pasha, Le Caire. (Mills. 500)
France : Vente en gros : Division des Ventes, Unesco, 19, Av. Kléber, Paris 16°. Vente au détail : C.C.P. Paris 21-27-90 S^e Générale, 45

Av. Kléber, en indiquant "Compte Librairie Unesco".
Grèce : Elefthéroudakis, Librairie Internationale, Athènes.
Haïti : Librairie « A la Caravelle », 36, rue Roux, Port-au-Prince.
Hongrie : « Kultura », P.O. Box 149, Budapest 62. (Ft 17)
Irak : McKenzie's Bookshop, Bagdad.
Israël : Blumstein's Bookstores Ltd., 35, Allenby Road, Tel-Aviv.
Italie : G.C. Sansoni, via Gino Capponi 26, Casella postale 552, Florence. (Lire 1.000)
Laos : (Voir Viet-Nam)
Liban : Librairie Universelle, Avenue des Français, Beyrouth. (£ 5)
Luxembourg : Librairie Paul Bruck, 50 Grand-Rue, Luxembourg.
Madagascar : Librairie de Madagascar, Tananarive
Portugal : Publicações Europa - América, Ltda, 4 Rua da Barroca, Lisbonne.

Suisse alémanique : Europa Verlag, 5 Rämistrasse, Zurich. — **Suisse romande :** Librairie de l'Université, Case Postale 72, Fribourg. (Fr. S 6.50)
Syrie : Librairie Universelle, Damas. (S £ 5)
Tanger : Centre International, 20, rue Molière.
Tchécoslovaquie : Artia, Ltd., 30 Ve Smeckach, Prague II
Tunisie : Agence Aghlébite, 20, Grand-Rue, B. P. 2, Kairouan.
Turquie : Librairie Hachette, 469, Istiklal Caddesi, Beyoglu, Istanbul. (T £ 4)
Viet-Nam : Librairie nouvelle A. Portail, B. P. 283, Saïgon. Sous-dépot : K. Chantarith, 38, Rue Van Vollenhoven, Phnom-Penh.
Yougoslavie : Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27/II, Belgrade. (Dinars 430).

Sauf mention spéciale, les articles publiés dans ce numéro peuvent être reproduits sans autorisation préalable, à condition d'en mentionner l'origine : « Le Courrier de l'Unesco. »



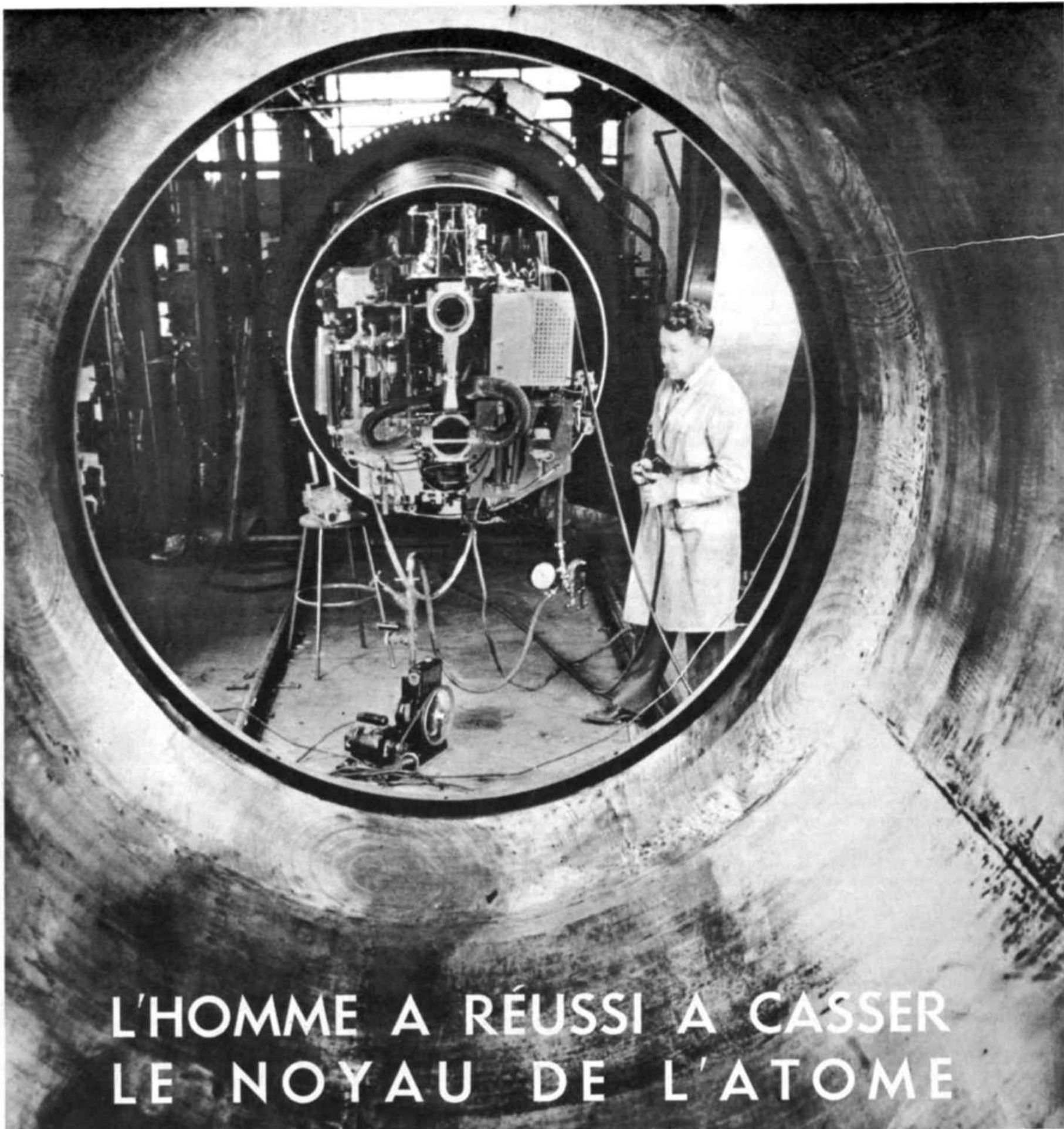
RÉDACTION-ADMINISTRATION :
MAISON DE L'UNESCO
19, avenue Kléber, PARIS-16°

Directeur-Rédacteur en chef :
S. M. KOFFLER.

Secrétaires de rédaction :
Edition française : ALEXANDRE LEVENTIS
Edition anglaise : R. S. FENTON
Edition espagnole : JOSÉ DE BENITO

Les articles paraissant dans "Le Courrier" expriment l'opinion de leurs auteurs et pas nécessairement celles de l'Unesco ou de la rédaction.

Imp. GEORGES LANG, 11, rue Curial, Paris.
MC. 53. I. 77. F.



L'HOMME A RÉUSSI A CASSER LE NOYAU DE L'ATOME

Les éléments radioactifs, tels que le radium, émettent naturellement des particules extrêmement rapides, mais en quantité limitée. Pour l'exploration de la structure du noyau de l'atome, point d'une densité presque inconcevable pour son volume microscopique, l'énergie fantastique nécessaire pour briser ce noyau est obtenue au moyen d'une machine appropriée qui accélère des projectiles électroniques ou nucléaires à une vitesse prodigieuse. Cette photographie montre un accélérateur (générateur Van de Graaff) détaché de sa coque, grâce auquel ces particules deviennent des projectiles extrêmement puissants pour le bombardement des atomes.

L'ACTIVITÉ humaine consiste en grande partie à décomposer les objets existant dans la nature et à en recombinaison les éléments de façon nouvelle. De vastes forêts disparaissent sous la hache des bûcherons pour réapparaître sous la forme d'hebdomadaires et de bas de rayonnes; le produit des gisements de minerai de fer se combine avec celui des plantations de caoutchouc et des puits de pétrole pour aboutir aux embouteillages qui, dans nos villes, paralysent la circulation aux environs de midi; les pierres de taille se transforment en maisons. L'homme apprend vite que, plus l'objet à décomposer est petit, plus le travail de décomposition est difficile.

Dès les premiers temps de l'humanité, il a été possible de distinguer deux plans très différents sur lesquels peuvent s'effectuer les opérations de séparation et de reconstitution. Sur le plan le plus proche de nous, les objets, qui vont de la pyramide au grain de poussière, ont des dimensions que l'on peut rapporter à l'échelle humaine. On utilise à leur égard des procédés mécaniques, et l'outil est ici la main humaine, complétée par ses multiples prolongements, depuis le silex taillé jusqu'à la perceuse de précision. La quantité d'énergie que l'on peut dépenser pour traiter un kilogramme de matière est encore à l'échelle des forces humaines.

Les opérations que nous appelons aujourd'hui

par **L. Kowarski**

Directeur du groupe " Laboratoire "
(Conseil Européen pour la recherche nucléaire)

« chimiques », mais qui remontent à l'invention du feu et aux débuts de l'agriculture, se déroulent sur un plan tout différent. Nous savons aujourd'hui que toute opération chimique consiste à séparer et à recombinaison des particules matérielles si petites que le moindre grain de poussière, la moindre goutte de liquide en contiennent encore des milliards de milliards. Pour séparer l'une de l'autre ces particules — que nous appelons atomes et molécules — il faut déployer une énergie beaucoup plus grande que sur le plan précédent, et lorsque nous les recomposons de façon nouvelle, nous pouvons récupérer des quantités d'énergie du même ordre. La dépense d'énergie nécessaire pour extraire d'une mine un kilogramme de charbon (opération mécanique) ne représente qu'un chiffre assez bas lorsqu'elle est exprimée en quelque unité courante comme le kilogrammètre; mais la combustion de ce même kilogramme de charbon (opération chimique) produit trois millions de kilogrammètres.

L'empire de l'homme sur les forces chimiques, tel qu'il apparaît dans la technologie des combustibles, des alliages et des matières syn-

thétiques par exemple, n'est devenu assez complet que depuis deux siècles environ; mais, lorsque l'art de séparer et de recombinaison les atomes se perfectionna, l'idée apparut, il y a une soixantaine d'années, que les atomes étaient eux-mêmes composés d'unités structurales encore plus petites. Cette idée, quand elle s'est imposée, a soulevé un problème nouveau — celui de savoir comment briser l'atome — et a fait naître une nouvelle espérance, celle d'accéder, sur ce nouveau plan de recombinaison des éléments, à d'immenses réserves d'énergie inexploitées.

On a commencé par briser l'atome. Comme aucun outil humain n'est assez fin pour concentrer suffisamment d'énergie sur un seul atome, il a fallu recourir — c'était le seul moyen concevable — au choc de projectiles extrêmement petits se déplaçant à une très grande vitesse. Lorsqu'un atome fortement accéléré entre en collision avec un autre, l'effet obtenu est analogue à celui d'un lourd marteau; et si le marteau possède un élan suffisant, il peut briser l'enclume. La première opération de ce genre a été réalisée en 1919. Comme l'homme ne fabriquait pas encore, à cette époque, d'outils atomiques, il a tiré parti du fait que certaines substances, qui se trouvent dans la nature et que l'on appelle radioactives, ont la propriété d'émettre un flux d'atomes animés d'un mouvement très rapide.

En 1932, ce mode de propul- (Suite au verso.)

LE SAVANT TAPE SUR LES PARTICULES INFIMES

(Suite de la page 3.) sion naturel fut abandonné, l'homme ayant inventé des machines permettant de soumettre les atomes d'hydrogène, d'hélium, etc., à des forces électriques et magnétiques considérables. A l'aide de ces machines — cyclotrons, générateurs Van de Graaff et autres — les recherches sur les forces subatomiques ou « nucléaires » sont devenues rapides et efficaces.

On a vite reconnu que tous les atomes se composent de deux sortes d'éléments, les protons et les neutrons, et que des forces énormes entrent en jeu lors de la combinaison de ces éléments. En fait, au-delà des domaines mécanique et chimique où s'exerce l'action humaine, on a découvert un troisième domaine où se déploient des énergies plusieurs millions de fois supérieures à celles de la chimie.

Ces énergies sont souvent exprimées au moyen d'une unité spéciale, l'électron-volt (eV), qui demande quelques mots d'explication. Un chimiste aime à connaître la quantité d'énergie fournie par un seul atome au cours d'une opération chimique telle que la combustion. Cette quantité est très faible, et une unité très petite suffit à l'exprimer ; dans la combustion du charbon, un atome fournit 4 eV.

Pour intervenir efficacement dans les phénomènes nucléaires, un seul atome doit être porteur de quelques millions d'électrons-volts (MeV). Les forces qui, sur le plan humain normal, sont réparties entre des millions d'atomes doivent être concentrées sur un seul d'entre eux pour lui permettre de porter à l'objectif un coup assez violent (à l'échelle nucléaire). Cela exige des machines puissantes.

Boules de naphthaline contre insectes atomiques.

PENDANT les dix premières années de leurs recherches dans ce domaine, les spécialistes de la physique nucléaire ont dû se contenter de soumettre leurs cibles à un bombardement d'atomes et d'observer les collisions peu nombreuses qui se produisaient, ainsi.

Cette méthode rappelle un peu la vieille plaisanterie selon laquelle les boules de naphthaline sont très efficaces contre les mites, à condition d'être lancées assez adroitement pour frapper les insectes en plein vol. Il n'y avait aucune commune mesure entre les énormes machines utilisées pour les recherches nucléaires et le poids global négligeable des atomes-cibles effectivement atteints ; mais les quelques coups au but obtenus de cette façon n'en fournirent pas moins quantité de renseignements sur les forces nucléaires en jeu, et permirent aux savants atomistes de poursuivre avec joie des recherches qui semblaient dénuées d'intérêt pratique.

La situation changea pendant la guerre, lorsqu'on trouva le moyen de produire dans l'uranium un nouveau genre de réaction capable de se transmettre de proche en proche aux autres atomes du même élément. C'était comme si l'on avait inventé des boules de naphthaline capables de donner aux mites une maladie extrêmement contagieuse. Lorsqu'on découvrit le moyen de libérer, dans un kilogramme de matière, des énergies plusieurs millions de fois supérieures à celles que l'on pouvait obtenir par des procédés chimiques, un nouveau chapitre s'ouvrit, pour le meilleur ou pour le pire, dans l'histoire de l'empire humain sur les forces naturelles.

Pour le spécialiste de la recherche nucléaire se dessinait déjà un nouveau but ; un nouvel ordre de petitesse devenait concevable puisque les protons et neutrons eux-mêmes semblaient disposés à se laisser briser ! Des nuées de mites encore plus minuscules que les précédentes se mirent à hanter l'imagination du savant atomiste et à stimuler sa recherche de projectiles plus rapides et plus efficaces.

En 1945, on trouva le moyen d'accélérer les projectiles atomiques — toujours constitués par les mêmes atomes gazeux, de préférence des atomes d'hydrogène — jusqu'à des centaines (et en 1952 à des milliers) de MeV, ce qui permit d'aller bien plus loin qu'on ne l'avait fait en découvrant les propriétés particulières de l'uranium.

Aujourd'hui, la fission de l'uranium, les piles atomiques à usage pacifique et les stocks moins pacifiques d'armes atomiques n'offrent plus grand intérêt professionnel pour le spécialiste de la recherche nucléaire, qui les abandonnerait volontiers à ses collègues chimistes, métallurgistes et ingénieurs. Les recherches nucléaires d'avant-garde portent aujourd'hui sur des concentrations d'énergie encore plus fortes sous des volumes encore plus réduits, et de ce fait, ne font plus peser sur nous, heureusement, la menace d'applications pratiques immédiates, qu'elles soient mortelles ou non.

Bientôt, deux puissants accélérateurs européens.

ON ne peut pas dire que sur ce plan « métatomique » (au-delà de l'atome) tous les phénomènes soient nouveaux. Depuis une quarantaine d'années, les spécialistes de la recherche nucléaire savent qu'une influence mystérieuse, provenant apparemment des profondeurs de l'éther, agit sur les instruments de mesure très sensibles qu'ils emploient. Ils ont constaté que ces « rayons cosmiques » sont porteurs d'une énergie concentrée, parfois comparable à celle obtenue à l'aide de machines accélératrices, radioactives ou construites par l'homme, et parfois très supérieure à tout ce qu'il est concevable que les humains arrivent jamais à produire.

Pendant une génération, il a été impossible de provoquer en laboratoire un phénomène mettant en jeu plus de quelques MeV ; il fallait gravir des montagnes ou monter en ballon pour recueillir quelques maigres observations sur les effets des rayons cosmiques. Aujourd'hui, on arrive à faire des expériences portant sur des milliers de MeV. Demain la limite des phénomènes dus à l'homme sera repoussée plus loin encore, et pénétrera plus profondément dans le domaine des effets dus aux rayons cosmiques.

Dans ces recherches ambitieuses et désintéressées, nos collègues américains avaient, jusqu'ici, l'avantage de disposer de tous les accélérateurs de particules les plus puissants et les plus modernes. Grâce à la création du Conseil européen pour la recherche nucléaire, qui envisage de construire, d'ici quelques années, deux puissantes sources d'atomes puissamment accélérés, les savants européens espèrent pouvoir reprendre bientôt leur place à l'avant-garde de la science.

On fera de nouvelles découvertes, dont certaines conduiront peut-être, plus tard, à de nouvelles applications, aussi différentes de ce que nous appelons aujourd'hui la « technologie atomique » que celle-ci est différente de la chimie. La science porte des fruits, mais c'est en poursuivant la connaissance pour elle-même que le savant apprend à asséner sur le noyau de l'atome, des coups toujours plus précis.

ILS ONT CRÉÉ UNE SCIENCE NOUVELLE



WILHELM K. ROENTGEN
(Allemagne)

Père de la recherche sur les rayons pénétrants et invisibles, a découvert les rayons X en 1895, ouvrant la voie vers la découverte de la radioactivité.



HENRI BECQUEREL
(France)

Ses travaux sur l'uranium ont amené en 1896 la découverte de la radioactivité, qui a réduit à néant la théorie de l'indépendance des éléments.



PIERRE ET MARIE CURIE
(France)

Leur découverte du radium (1898) a fourni la révélation de l'énergie atomique et la preuve de l'existence d'une structure à l'intérieur de l'atome.



ROBERT A. MILLIKAN
(Etats-Unis)

Il fut le premier (1909) à mesurer la charge électrique de l'électron. A ainsi prouvé, en laboratoire, que le courant est un flux d'électrons.



SIR ERNEST RUTHERFORD
(Nouvelle-Zélande)

En 1919, a réalisé le vieux rêve des alchimistes moyennageux, provoquer des transmutations, en obtenant l'oxygène à partir d'atomes de nitrogène.



ERNEST O. LAWRENCE
(Etats-Unis)

Il a conçu et construit le premier cyclotron ayant permis d'accélérer à des vitesses extraordinaires des particules nucléaires et de briser l'atome.



NIELS BOHR
(Danemark)

Un des plus grands savants nucléaires actuels, a proposé la première théorie structurelle atomique expliquant clairement les phénomènes chimiques.



ENRICO FERMI
(Italie)

A été le premier savant ayant utilisé les neutrons pour briser les noyaux atomiques. Les neutrons sont les plus puissants des briseurs d'atomes.

A L'ASSAUT DES SECRETS DE LA NATURE

① Alpha, beta, gamma, ABC de la physique nucléaire

par *Gérald Wendt*

L'UNIVERS offre à celui qui étudie sa structure un grand sujet d'étonnement : il est composé entièrement de particules distinctes. Si quelqu'un pouvait se placer en dehors de lui, l'immense univers apparaîtrait grosso modo comme une traînée de brume ou une bouffée de fumée, les étoiles et les constellations remplaçant les gouttelettes d'eau du brouillard.

Les étoiles, comme le soleil et la terre, sont composées de matières solides, liquides ou gazeuses, celles-ci étant elles-mêmes formées de très petites particules connues sous le nom de molécules. La pierre et le métal, les océans et l'atmosphère qui nous entoure ne constituent pas une masse continue, bien qu'ils apparaissent comme tels à nos yeux, mais sont des amas de molécules individuelles.

Dans les solides, elles sont maintenues fermement en contact les unes avec les autres; dans les liquides, elles sont liées d'une façon beaucoup plus souple de façon à pouvoir glisser les unes sur les autres, c'est-à-dire flotter; dans les gaz, elles sont entièrement séparées les unes des autres par des espaces vides. L'élévation de la température diminue l'attraction respective des molécules de sorte que de la glace chauffée fond d'abord en eau, puis se transforme en vapeur, les molécules se séparant de plus en plus les unes des autres.

Les molécules sont toutes semblables dans chacune des milliers de substances qui composent la terre : sucre et sel, soufre et fer, cellulose et protéine, sable et calcaire. Elles sont fondamentales dans ce sens qu'on ne peut pas les diviser mécaniquement en particules plus petites.

Cependant, le chimiste peut les briser en mettant en présence différentes substances, provoquant ainsi des réactions donnant naissance à de nouvelles substances. Par exemple, en chauffant de l'huile ou de la cellulose dans l'air on amorce une combustion qui donne de l'eau et du bioxyde de carbone. Ceci, ainsi que d'autres expériences similaires, montre qu'à l'intérieur des molécules d'huile et de cellulose se trouvent du carbone et de l'hydrogène dont la combinaison avec l'oxygène de l'air donne les oxydes — l'eau étant principalement un oxyde d'hydrogène.

De telles réactions — il y en a des myriades d'autres bien plus compliquées — ont démontré que les molécules sont composées de particules plus petites encore : les atomes des éléments chimiques. Il existe quarante-deux éléments différents, donc quatre-vingt-deux différents types d'atomes qui, combinés de façons diverses, forment une infinie variété de molécules et, en conséquence, toute la rangée des matériaux qui composent la terre et l'univers — y compris les matériaux qui constituent tout ce qui vit, les corps des animaux et des hommes. Tout comme la physique étudie les molécules et leur mouvement, la chimie se penche sur les atomes et leurs combinaisons mutuelles dont sortent les molécules.

Pendant les cent années qui suivirent la découverte des atomes par les savants, on les considéra comme la clef de voûte de toute la matière. Personne ne soupçonnait qu'à l'intérieur de ces atomes existait un monde, cette hypothèse étant absolument impensable pour la philosophie du XIX^e siècle. L'existence de ce monde ne fut révélée qu'à la fin de ce siècle.

En 1896, le savant français Henri Becquerel, constata presque par hasard que l'uranium brouille une plaque photographique dans l'obscurité même quand la plaque est soigneusement enveloppée dans du papier noir. Cette constatation mit Pierre et Marie Curie sur la voie qui les mena à la découverte d'un nouvel élément, le radium, dont les propriétés étaient semblables mais bien plus puissantes,

Le radium : une horloge naturelle parfaite

CETTE découverte fut la plus sensationnelle des temps modernes. Il s'agissait non seulement de la première révélation de ce que nous appelons l'énergie atomique, mais aussi du premier indice de l'existence, à l'intérieur d'un atome, d'une partie qui restait à explorer. Elle indiquait la route vers un monde qui fit passer le XX^e siècle de surprise en surprise.

Cinq ans après, il devint évident que les atomes de radium sont instables. Les uns à la suite des autres ils explosent et, en explosant, donnent naissance à trois différents types de rayons appelés alpha, bêta et gamma — les trois premières lettres de l'alphabet grec — qui, à leur tour, produisent de la lumière et de la chaleur.

Les atomes de radium sont tous identiques mais, toutes les secondes, une très petite proportion d'entre eux se brise soudainement, libérant des particules de matière, les rayons alpha, qui apparaissent comme étant des atomes d'hélium. Mais le radium émet également de l'électricité comme les rayons bêta, et des vibrations atomiques, les rayons gamma, qui sont plus pénétrants encore que les rayons X.

Il n'existe aucun moyen connu d'augmenter ou de diminuer la fraction qui se désintègre de cette façon par seconde ou par an. Quelle que soit la quantité de radium dont on dispose, elle se désintègre à un rythme régulier, si régulier qu'on

pourrait l'employer comme une parfaite horloge naturelle, car tous les 1600 ans la moitié des atomes disparaissent.

Plus tard, on découvrit de nombreux autres éléments radioactifs de ce genre, chacun présentant une « demi-vie » caractéristique mais quelques-uns se mesurant en milliards d'années, certains en millièmes de secondes, d'autres en heures, jours ou années. Personne ne sait pourquoi certains atomes de radium sont destinés à exploser aujourd'hui, et pourquoi d'autres, identiques aux premiers en apparence, dureront des siècles. Question de pure chance comme à la loterie.

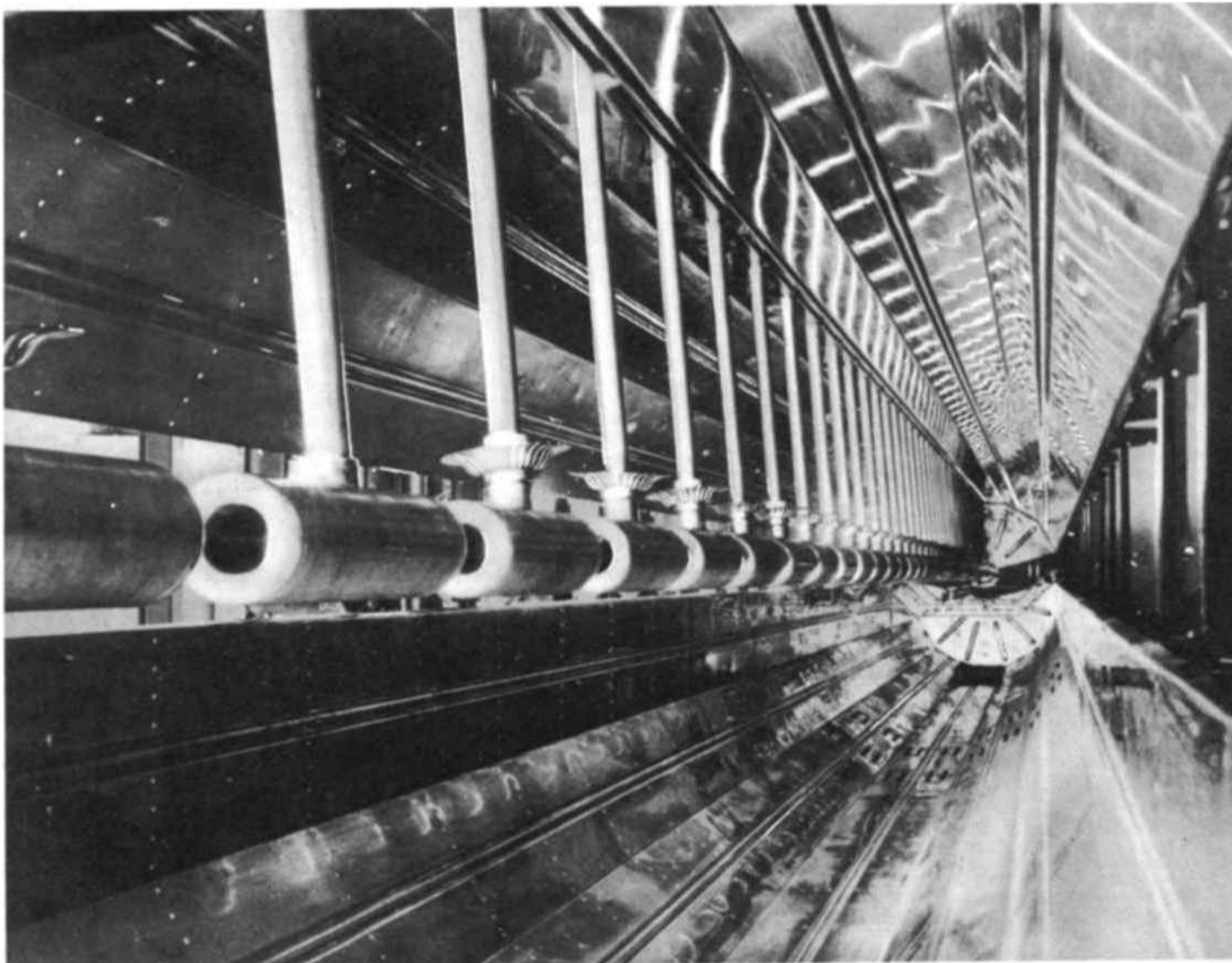
C'est l'étude de la radioactivité naturelle qui a mis les chercheurs sur la piste de la radioactivité artificielle, c'est-à-dire qui a permis de forcer les atomes à se désintégrer et à libérer leur énergie. Il a fallu presque cinquante ans pour y arriver.

Au cours de ces expériences on a beaucoup appris sur les particules ultimes (fondamentales) qui constituent la matière et l'énergie associées à ces particules. La piste de la radioactivité mène aujourd'hui au cyclotron géant qui crée ces particules. Mais pour saisir le problème dans son ensemble il est nécessaire d'en examiner d'abord d'autres aspects, et

siècle. Depuis longtemps on utilisait l'électricité : batteries, moteurs, éclairage électriques, et même le téléphone étaient chose commune. On savait donc comment fonctionnait l'électricité, mais on ignorait ce qu'est l'électricité.

C'est le professeur R.A. Millikan, de l'Université de Chicago, aux U.S.A., qui trouva, en 1909, la solution définitive du problème. Il chercha à isoler la plus petite quantité d'électricité. Pour cela, il utilisa non pas le courant électrique usuel mais la forme statique, la charge qui fait qu'une petite particule de matière est attirée ou repoussée par d'autres particules également chargées d'électricité.

Pour son expérience finale, il utilisa une gouttelette d'huile microscopique qui, d'elle-même, descendait lentement à travers l'air de son instrument expérimental. Puis il l'électrifia au plus petit degré possible et la maintint suspendue — sans qu'elle tombât — par une force électrique opposée. Il constata qu'il existait une charge minimum et que toutes les charges plus fortes communiquées à la gouttelette d'huile étaient des multiples exacts de ce minimum. Ainsi était démontré le fait que l'électricité n'est pas un « fluide continu » mais est lui-même composé de très petits éléments, tous identiques. Ces éléments sont maintenant appelés électrons. Tout comme la matière est composée d'atomes, l'électricité est faite d'électrons.



La méthode la plus simple pour accélérer les particules électroniques ou nucléaires consiste à les faire passer à travers une série de plaques électrostatiques successives, chacune ajoutant plusieurs centaines de volts à l'énergie des particules, augmentant ainsi leur vitesse. Cette photographie montre l'intérieur d'un tel « accélérateur linéaire » installé à l'Université de Californie (Radiation Laboratory). Les particules passent successivement à travers la série de tubes que l'on voit suspendus à gauche du cliché.

notamment la nature de l'électricité et de la lumière, qui interviennent à mesure que la trame de la question se précise.

C'est en 1895, exactement un an avant que Becquerel, à Paris, ne découvre la radioactivité, que le professeur Roentgen, de l'Université de Wurzburg, constata, par hasard, que lorsqu'un courant électrique passe à travers un tube dans lequel a été fait le vide, l'une des extrémités du tube émet des rayons qui sortent suivant des lignes droites, comme une lumière brillante, mais qui sont entièrement invisibles. Contrairement à la lumière, ces rayons traversent non seulement le papier noir, mais n'importe quel objet solide.

Ce phénomène sembla si mystérieux qu'on donna à ces rayons le nom de « rayons X ». Il fut prouvé par la suite qu'ils sont exactement du même type que les rayons lumineux — mais d'une longueur d'onde bien plus courte. Les ondes de la lumière visible sont d'une longueur approximative de 0,4 millièmes de millimètre contre 0,1 millièmes de millimètre pour les rayons X.

Bien plus tard, on découvrit que les rayons gamma du radium sont du même type, mais d'une longueur d'onde plus courte encore — 0,01 millièmes de millimètre. C'est la longueur extrêmement réduite de ces ondes qui leur permet de pénétrer à travers les objets solides, tout comme de petites vagues ou ondulations qui pénètrent dans un port passent à travers des barrières que les grosses vagues ne peuvent vaincre. Leur utilisation en médecine est maintenant bien connue et s'explique par le fait qu'elles pénètrent plus facilement à travers les tissus tendres qu'à travers les os, de sorte qu'ils font ressortir les ombres des os et des autres corps solides rencontrés sur leur route.

Toutefois, ni l'origine des rayons X ni la façon dont ils sont formés dans le tube à décharge électrique n'ont pu être expliqués pendant des années. Ce qui n'est pas étonnant car une pareille explication suppose une connaissance de la nature de l'électricité que l'on ne possédait pas encore au début du

10.000.000.000.000.000 d'électrons

LES électrons sont de véritables particules, ce qui a été prouvé en mesurant la force nécessaire pour les dévier de leur trajectoire quand ils passent — sous forme de courant et à grande vitesse — à travers un tube à vide. Il a été également prouvé que leur masse est uniforme; elle est égale à environ la moitié d'un millième de la masse du plus léger atome connu, celui de l'hydrogène. L'électron a été la première particule découverte qui soit plus petite et plus légère qu'un atome. En fait, il est incroyablement petit, puisque le courant électrique qui passe à travers une ampoule électrique de cent watts en une seule seconde est composé de dix millions de millions de millions d'électrons, nombre obtenu en faisant suivre le chiffre 10 par dix-huit zéros.

Dix ans après la découverte du radium, la révélation de l'électron venait ouvrir une nouvelle fenêtre sur le monde encore ténébreux des infiniments petits, fournissant une explication parfaite de tous les phénomènes électriques. Ces électrons microscopiques sont bien plus petits que les atomes et peuvent facilement passer parmi et à travers eux dans un fil, par exemple, et ainsi former un courant. Une batterie d'un type quelconque ne fait que pomper des électrons dans la partie de la batterie appelée négative, et une dynamo est une machine qui exécute le même travail.

On comprit alors comment un courant électrique peut traverser un tube à vide — comme une lampe fluorescente moderne. En effet, une fois l'air pompé, rien ne peut empêcher les électrons de sauter à travers le vide jusqu'à l'électrode opposée. Et si la tension électrique, appelée voltage, est assez élevée, comme c'est le cas dans les éclairs, les électrons peuvent même franchir de grandes distances à travers l'air, quoiqu'ils réchauffent cet air en produisant une étincelle visible ou un arc lumineux. (Suite au verso)

Vocabulaire atomique

★ **ATOME** : L'unité de composition chimique ; la plus petite particule d'élément chimique capable d'une existence indépendante. Les atomes sont chimiquement combinés de différentes manières afin de former les molécules de composants chimiques.

★ **CYCLOTRON** : Appareil dans lequel des particules nucléaires électriquement chargées, telles que des protons, sont obligées de se mouvoir selon une trajectoire horizontale en spirale, entre les pôles d'un puissant électroaimant, et de recevoir une impulsion électrique supplémentaire à chaque passage circulaire, de sorte qu'elles acquièrent progressivement une grande vitesse et deviennent, en sortant de l'appareil, des projectiles nucléaires de grande énergie.

★ **DEMI-VIE** : Période de temps nécessaire pour que n'importe quelle quantité d'un élément radioactif se réduise de moitié par suite de la désintégration progressive de ses atomes.

★ **DEUTERON** : Particule nucléaire composée d'un proton et d'un neutron formant le noyau de l'atome de deutérium ou « hydrogène lourd ».

★ **ELECTRON** : Particule fondamentale de l'électricité.

★ **ELECTRON-VOLT** : Unité d'énergie servant pour les mesures de mouvement et de transformation des électrons, des photons et des particules nucléaires. C'est l'énergie acquise par un électron quand il est accéléré par une différence de potentiel d'un volt.

★ **ISOTOPES** : Différentes variétés d'atomes d'un élément chimique unique ; à leur surface ils ont le même nombre d'électrons, ce qui leur donne des propriétés chimiques identiques, mais la composition de leurs noyaux diffère par le nombre de neutrons, de sorte que différents isotopes du même élément se distinguent par le poids de leurs atomes. Exemples : l'hydrogène et le deutérium.

★ **MESON** : Particule à courte vie, électriquement positive ou négative, dont la masse est intermédiaire entre un électron et un proton. Elle a été découverte dans les rayons cosmiques et est actuellement produite dans les proton-synchrotrons.

★ **MOLECULE** : La plus petite particule de toute substance ou de tout composant chimique capable d'une existence indépendante. Les molécules sont rangées côte à côte dans les cristaux, réparties au hasard dans les liquides et complètement séparées l'une de l'autre dans les gaz.

★ **NEUTRINO** : Particule hypothétique, qui n'a pas encore pu être observée, mais qui se forme — croit-on — quand un neutron se désintègre en un proton et un électron, ou à la suite de certaines collisions des rayons cosmiques dans lesquelles elle absorbe une partie de l'énergie.

★ **NEUTRON** : Un des composants fondamentaux de tous les noyaux atomiques (excepté celui de l'hydrogène). Il a pratiquement le même poids que le proton mais ne comporte aucune charge électrique.

★ **NOYAU** : Point extrêmement dense formant le centre de tous les atomes, dont le diamètre représente moins du dix-millième de celui de l'atome, mais qui contient toute sa masse sous la forme d'un ou de plusieurs protons et neutrons étroitement liés.

★ **PARTICULE V** : La plus récente des particules fondamentales découvertes dans les rayons cosmiques. Est produite dans les accélérateurs de haute énergie. Sa nature exacte est encore inconnue.

★ **PHOTON** : Unité quantitative de l'énergie de la lumière et des ondes vibratoires similaires ; présente certains aspects d'une particule d'énergie, avec une masse presque inexistante, mais est susceptible, à la suite d'une collision avec un atome, de donner deux électrons : l'un positif et l'autre négatif.

★ **POSITRON** : Semblable à l'électron mais chargé positivement au lieu de négativement.

★ **PROTON** : Un des composants fondamentaux de tous les noyaux atomiques ; porte une seule charge positive ; d'autre part, est le noyau de l'atome d'hydrogène.

★ **RADIUM** : Un des éléments chimiques — découvert en 1898 — qui possède la propriété unique d'émettre des rayons alpha, bêta et gamma du noyau de ses atomes ; il se transforme ainsi en une série d'autres éléments et, finalement, en plomb.

★ **RAYONS ALPHA** : Un des trois types de rayons émis par les éléments radioactifs. Ce sont les noyaux d'atomes d'hélium. Ils sont composés de deux protons et de deux neutrons et portent une charge électrique positive de deux unités.

★ **RAYONS BETA** : Rayons pénétrants, composés d'électrons, émis par les atomes radioactifs, à des vitesses approchant celle de la lumière.

★ **RAYONS GAMMA** : Rayons extrêmement pénétrants, émis par des atomes radioactifs et composés essentiellement d'ondes semblables aux rayons X mais dont la longueur est plus de mille fois plus petite que celle des rayons X.

★ **RAYONS X** : Ondes électromagnétiques obtenues dans un tube à vide quand des électrons sont projetés, par une force électrique intense, contre une cathode métallique. Ces rayons sont du même type que les ondes de la lumière ordinaire, mais leurs ondes ont une longueur qui est seulement un millième de celle des ondes lumineuses visibles. Ils sont invisibles mais peuvent pénétrer à travers plusieurs centimètres de matière, le degré de pénétration dépendant du voltage utilisé pour leur production.

★ **SYNCHROTRON** : Machine construite de telle sorte qu'elle donne aux électrons une accélération suffisante pour leur communiquer une vitesse voisine de celle de la lumière et une énergie qui accroît leur masse (selon le principe d'Einstein), de sorte que la fréquence de l'oscillation électrique accélératrice doit être modulée.

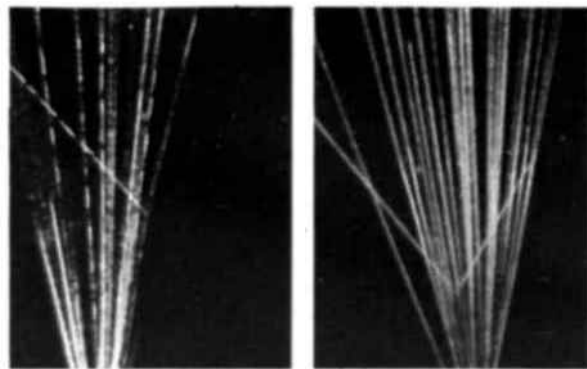
SI LE NOYAU ÉTAIT GROS COMME UNE NOISETTE, LA LARGEUR DE L'ATOME SERAIT D'UN KILOMETRE

(suite de la page 5). La découverte de l'électron fournit également l'explication de l'origine des mystérieux et pénétrants rayons X. Quand un flot d'électrons —

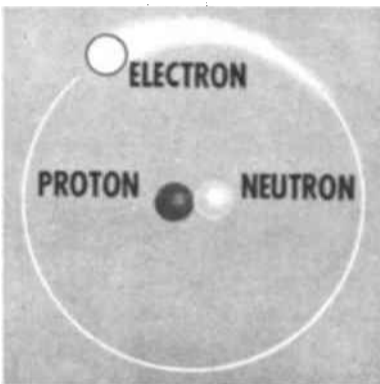
un courant électrique — passe à travers un fil, il cède une partie de son énergie pour chauffer ce fil. Les appareils d'éclairage ou de chauffage électrique, tout comme les fers à repasser, sont tributaires de ce phénomène. Mais lorsque les électrons passent à travers un tube de verre dans lequel un vide partiel a été fait, ils entrent en collision avec les molécules de l'air restant, ce qui rend le gaz incandescent. Si le vide est assez parfait pour que les électrons puissent traverser le tube à grande vitesse, ils se heurtent à la paroi solide opposée. Et quand, à cet endroit, se trouve une plaque de métal qui offre aux électrons une cible qu'ils peuvent frapper, leurs collisions violentes donnent naissance à des vibrations à très haute fréquence — les rayons X — un peu comme le fait de frapper une enclume avec un marteau engendre des ondes sonores.

Maintenant toutes les nouvelles découvertes se situent mieux les unes par rapport aux autres ; nous commençons à comprendre.

Revenons aux trois types de rayons qui sont automatiquement engendrés par les atomes de radium. Grâce à la découverte et à l'identification de l'électron, on a pu expliquer la raison d'être des rayons bêta et gamma. En effet, on trouva rapidement que les rayons bêta ne sont autres que des électrons rayonnant naturellement dans toutes les directions à



Sur la photo de gauche, on voit des particules radioactives alpha passer à travers une chambre spéciale appelée « chambre à brouillard ». L'une d'elles a heurté le noyau d'un atome d'hydrogène, dont la masse est quatre fois plus petite que celle de la particule alpha. La trajectoire de celle-ci n'est donc pratiquement pas affectée ; par contre, le léger noyau d'hydrogène est projeté vers la gauche. Sur la photo de droite, une particule alpha entre en collision avec un noyau d'hélium, dont la masse est identique à la sienne. On voit ici l'influence du choc sur les deux trajectoires, qui sont déviées d'une façon égale.



★ L'atome d'hydrogène lourd se trouve dans l'hydrogène et l'eau naturels. Du fait de sa structure différente, il pèse deux fois plus que l'atome normal.

partir de chaque parcelle de radium. Quant aux rayons gamma, connus comme étant similaires aux rayons X, ils proviennent partiellement de sous-produits au moment où les ultra-rapides électrons des rayons bêta bombardent le radium lui-même.

Cette explication dissipait en partie le mystère du radium, mais provoquait une nouvelle surprise car elle impliquait l'existence, à l'intérieur de l'atome de radium, d'une multitude d'électrons. L'atome ne pouvait donc plus être considéré comme une ultime particule solide, mais comme une structure plus compliquée comportant en partie des électrons et possédant assez d'énergie emmagasinée à l'intérieur pour rejeter les électrons au dehors, à une vitesse voisine de celle de la lumière sous la forme de rayons bêta.

C'est l'étude des rayons alpha du radium qui a finalement révélé la structure de l'atome. Les rayons alpha ne sont ni des électrons ni des vibrations. Ils sont composés de particules relativement lourdes. La mesure de leur masse par la méthode employée pour les électrons — c'est-à-dire en mesurant la force nécessaire pour dévier leur trajectoire — montra qu'ils sont d'une taille atomique, des milliers de fois plus lourds qu'un électron.

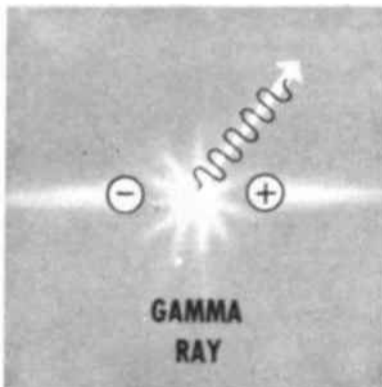
En fait, on découvrit qu'ils étaient des atomes d'un gaz nommé hélium. Toutefois il ne s'agissait pas d'atomes normaux, car chacun d'eux possédait deux charges d'électricité positive. En d'autres termes, il leur manquait deux électrons (puisqu'un électron est la charge standard d'électricité et n'est appelé « négatif » que par une erreur d'appellation faite à une époque où l'on ne savait rien sur la charge électrique). Quand les particules alpha frappent la matière, elles ramassent au passage deux électrons égarés et deviennent de vrais atomes d'hélium.

leur trajectoire déviée par une force répulsive. Certaines furent renvoyées dans la direction même d'où elles venaient.

Quand Rutherford mesura le nombre d'atomes d'hélium réfléchis dans diverses directions, il fut forcé de conclure, à son grand étonnement, que la plupart des atomes d'hélium avaient traversé la feuille de métal avec une facilité extraordinaire, mais qu'un tout petit nombre avaient heurté un obstacle solide et s'étaient trouvés repoussés.

La seule explication plausible est que le feuillet d'or solide n'est pas du tout solide si on le considère du point de vue d'un très petit projectile comme la particule alpha. Les atomes d'or sont presque vides et c'est dans ces espaces vides que pénètrent facilement les particules alpha. Mais en certains endroits, les atomes d'or présentent des points d'une solidité impénétrable.

Cette conception de l'atome d'or était nouvelle mais des faits ne pouvaient plus être expliqués du tout si l'on considérait le feuillet d'or comme étant formé d'atomes solides et compacts. La question suivante se posait alors : quel était l'obstacle auquel se heurtaient les particules alpha ? Rutherford l'appela le noyau, un point très petit et très dur où toute la matière est concentrée et d'où bondissent les particules



★ La collision d'un électron et d'un positron neutralise leurs charges respectives, détruit leur masse et la transforme en un puissant jet de rayons gamma.

alpha. De toute la masse de l'atome d'or, seul le noyau constitue pour ces particules un obstacle infranchissable.

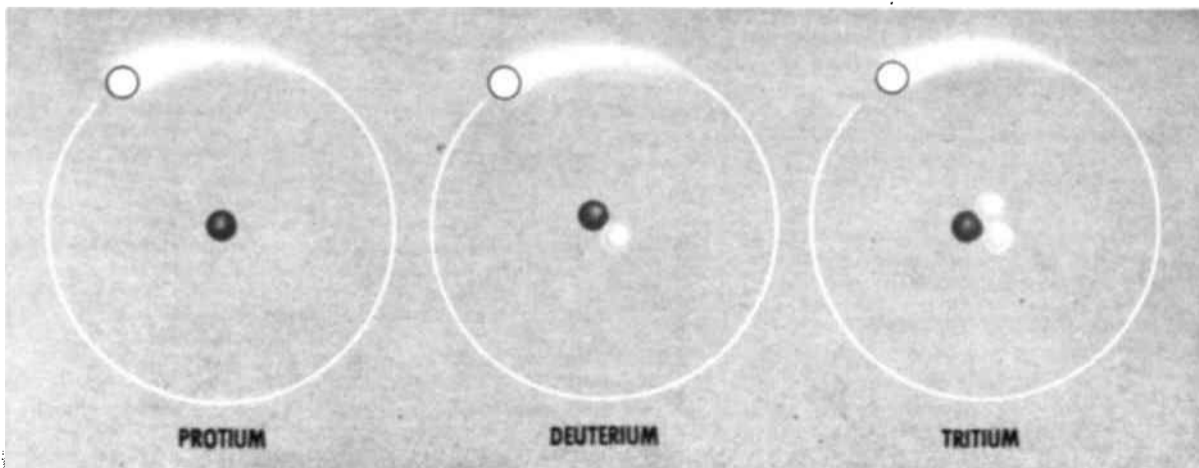
L'atome se présente maintenant sous son véritable jour : En son centre est un petit noyau. A une distance considérable du noyau sont des électrons, répartis en orbites un peu comme les planètes autour du soleil. En fait l'analogie avec le système solaire est frappante, avec le noyau de l'atome au centre, à la place du soleil, et les électrons circulant au loin. Plus difficile à concevoir est l'incroyable petitesse du noyau. Son diamètre est 10.000 fois plus réduit que celui de l'atome. Si le noyau était aussi gros qu'une noisette, la largeur de l'atome serait d'un kilomètre. Et cependant, ce minuscule noyau central contient toute la « matière ».

C'est du noyau de l'atome de radium que les particules alpha sont éjectées, ainsi que les rayons bêta. Il apparut vite comme évident que dans le noyau est concentrée non seulement la matière mais l'énergie. Et comme il arrive si souvent dans la recherche scientifique, l'exploration de l'atome n'a fait qu'épaissir le mystère. Il s'agit maintenant d'explorer le noyau,

L'or solide n'est pas du tout solide

Étant donné que l'atome de radium doit, pour cette raison, contenir aussi bien des électrons que des atomes d'hélium, et rejette à très grande vitesse les uns comme les autres, il apparut que l'atome de radium était vraiment compliqué. L'étape suivante fut constituée par la série de recherches entreprises en Angleterre par Sir Ernest Rutherford et ses assistants. Au cours de ces expériences, Sir Ernest bombardait un mince feuillet d'or avec un faisceau très étroit de particules alpha du radium. Quelques-unes de ces particules traversèrent facilement le métal ; nombre d'entre elles eurent

Les trois isotopes d'hydrogène possèdent un proton et un électron. Ils diffèrent uniquement par le nombre des neutrons dans le noyau. Le protium (hydrogène normal) n'en possède aucun ; le deutérium (hydrogène lourd) en a un ; le tritium (hydrogène très lourd) en a deux. Sur ces schémas, l'orbite de l'électron est bien plus près du noyau qu'elle ne le serait en réalité. Elle devrait être au moins à 100 mètres de la page.





Traitement au « cocktail atomique » : L'utilisation du radium dans les traitements médicaux — notamment pour le cancer — est bien connue, mais limitée et onéreuse. Grâce au cyclotron, on a pu obtenir des isotopes radioactifs artificiels à partir de nombreux éléments chimiques. Cette photo montre une malade soignée au Brookhaven National Laboratory, Upton (Etat de New York), qui possède le premier hôpital exclusivement consacré à l'utilisation médicale des rayons atomiques. Un compteur Geiger est employé pour mesurer la quantité d'iode radioactif qui demeure dans la glande thyroïde après l'absorption par la malade d'un « cocktail atomique » (qui peut éviter une opération chirurgicale). La croix marquée sur la gorge indique l'emplacement de la glande et facilite le travail du médecin.

c'est pourquoi les savants n'aiment pas le terme de « énergie atomique ». Ils préfèrent se référer, à l'énergie nucléaire.

Considérant la structure du noyau, il faut noter tout d'abord que — pour parler le langage électrique — il est « chargé positivement ». Ceci veut seulement dire — évidemment — que les électrons manquent. Mais l'atome, pris dans son ensemble, est électriquement neutre. Aussi, la charge positive du noyau est compensée par les électrons négatifs qui forment les couches extérieures de l'atome.

Il a été mentionné plus haut que la particule alpha est un atome d'hélium comportant deux charges positives. On peut maintenant l'exprimer plus clairement : la particule alpha est simplement le noyau de l'atome d'hélium, sans les deux électrons extérieurs qui caractérisent l'atome d'hélium. C'est pourquoi le noyau de radium éjecte un noyau d'hélium au cours de son explosion automatique.

On peut donc supposer en toute logique que le noyau de l'hélium fait partie inhérente des noyaux des autres atomes. Mais la vérité est un peu différente car le noyau de l'hélium est lui-même complexe. Le peu de place dont nous disposons ici ne nous permet pas d'entrer dans le détail de toutes les recherches qui ont mené à la conception actuelle du noyau atomique. Il faut se borner à la conclusion : un des composants fondamentaux de tous les noyaux atomiques est le noyau de l'hydrogène et non celui de l'hélium.

L'hydrogène est le plus léger et le plus simple des atomes ; il comporte seulement un électron à sa surface et une charge positive sur son noyau. Son poids constitue par ailleurs une unité, car les poids de tous les plus gros atomes sont de simples multiples de celui de l'atome d'hydrogène. C'est le noyau de l'hydrogène, le plus petit et le plus simple de tous, qui constitue la clef de voûte de l'édifice. Tous les noyaux atomiques de plus forte taille sont bâtis — en partie au moins — à partir de cette unité. C'est pourquoi il mérite un nom spécial : on l'appelle le proton.

Le proton est une pierre de l'édifice, mais non la seule. Il faut parler d'une autre particule, le neutron, avant de pouvoir clore la liste des principaux composants nucléaires. C'est le dernier que l'on a découvert car — chose étrange — il n'est pas chargé électriquement, d'où la difficulté de le détecter. Son poids est le même que celui du proton mais il n'est pas chargé positivement. Il faut donc qu'en lui-même il contienne de quelque manière un électron pour le rendre neutre. Cet électron constitue la seule différence qui existe entre un proton et un neutron.

Ici, la formule « à l'intérieur de » prend toute son importance. Un proton positif peut être compensé par un électron négatif décrivant une orbite autour de lui, comme une planète autour du soleil. C'est le cas pour l'atome d'hydrogène. Mais si, d'une manière quelconque, l'électron pénètre dans le proton, comme si le soleil avait avalé la planète, il en résulte un neutron. Réciproquement, si l'on chasse un électron d'un neutron il en résulte un proton. Mais pareille intervention dans la structure des protons et des neutrons est ardue. Pratiquement ils sont intouchables, sauf si l'on dispose des puissants cyclotrons.

Il existe trois sortes d'hydrogène

C'EST seulement en 1934 que le professeur Chadwick, en Angleterre, découvrit le neutron. Cette découverte fournit la clef de trois des énigmes. Elle expliqua immédiatement la nature de la particule alpha, de l'eau lourde et mit en lumière les propriétés des isotopes — comme il sera expliqué dans l'article suivant. En outre, elle rendit possible la transformation d'un type d'atome en un autre, ouvrant ainsi la voie non seulement à la transmutation mais aussi à la création de nouveaux éléments chimiques, telle qu'elle s'effectue actuellement. Enfin, c'est après avoir compris ce qu'est le neutron qu'il a été possible d'élaborer les méthodes permettant la fission ato-

mique et la libération, à partir de l'atome, de grandes quantités d'énergie.

Il est aisé, maintenant, de comprendre ce qu'est l'eau lourde, dont on parle beaucoup, depuis quelques années, dans l'actualité scientifique. L'eau, cela va de soi, est l'oxyde d'hydrogène. Quant à l'eau lourde, elle est constituée par l'oxyde d'hydrogène lourd.

L'atome d'hydrogène, comme nous l'avons dit, est formé par un proton avec un électron circulant dans une orbite. Le poids de cet atome est essentiellement celui d'un proton. Toutefois, le professeur Urey, aux Etats-Unis, a découvert une forme d'hydrogène dont l'atome pèse deux fois plus mais dont les propriétés chimiques sont identiques à celles de l'hydrogène ordinaire. En fait, il existe une faible proportion de cet hydrogène lourd dans tout gaz naturel d'hydrogène et dans toute eau naturelle.

C'est le neutron qui fournit l'explication désirée car le noyau de ce type d'hydrogène est une particule composée d'un proton et d'un neutron intimement et solidement liés. De ce fait, il pèse deux fois son poids normal mais possède seulement une charge positive sur le noyau et un électron à la surface de l'atome. En langage scientifique, on l'appelle deutérium et son noyau un deutéron. Plus tard, un troisième type d'hydrogène a été découvert, dans lequel le noyau est composé d'un proton et de deux neutrons. C'est un gaz nommé tritium ; son noyau est un triton.

Les trois formes d'hydrogène, chimiquement semblables mais différentes dans leur structure nucléaire, sont connues sous le nom d'isotopes. Au cours des dix dernières années, à mesure que progressait la recherche nucléaire, il devint possible non seulement de découvrir de nombreux isotopes naturels des éléments chimiques mais aussi d'en créer plusieurs centaines d'autres qui n'existent pas dans la nature.

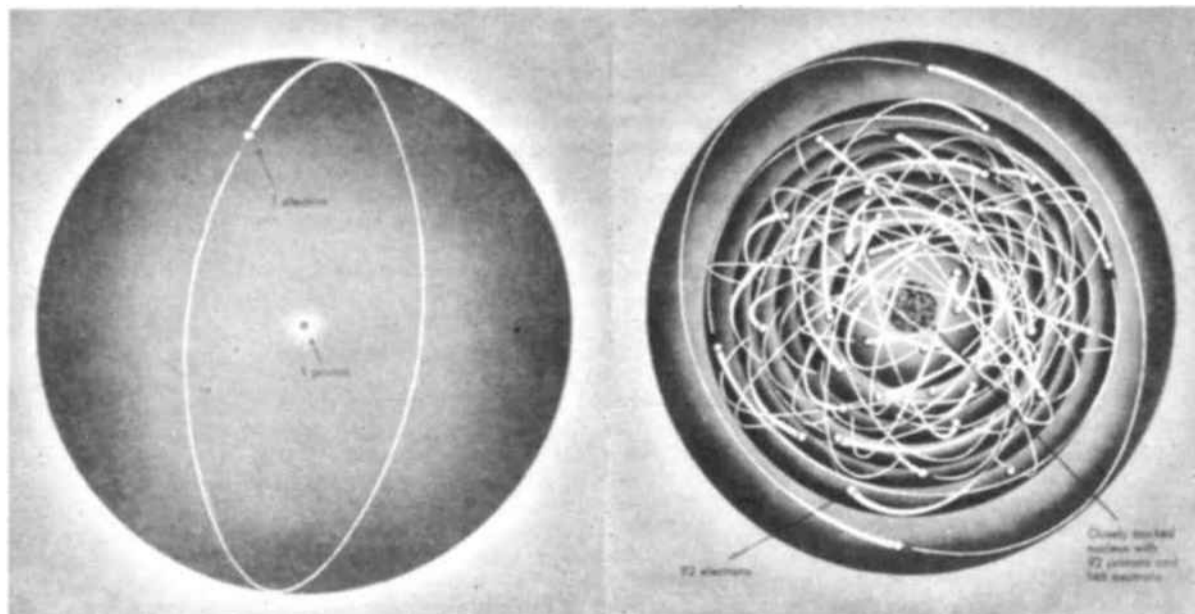
La particule alpha, qui est éjectée lorsque se produit l'explosion automatique du radium, est également expliquée par le

neutron. Elle possède deux charges positives et quand il s'y ajoute deux électrons, elle forme un atome d'hélium. Mais le poids de cet atome, et par conséquent de son noyau, est quatre fois supérieur à celui d'un proton. L'explication est évidemment que la particule alpha est composée de deux protons et de deux neutrons. Ce qui lui donne un poids de quatre unités et de deux charges positives.

Avec cette explication de la mystérieuse particule alpha est complétée la liste des particules fondamentales bien connues de la matière. A l'intérieur de l'atome, mais en surface, sont les électrons, à qui il doit ses propriétés chimiques. Profondément enfoui se trouve le noyau, des milliers de fois plus petit que l'atome lui-même mais contenant toute sa « matière ». Il est composé de protons et de neutrons et doit, en quelque façon, contenir également des électrons. Combinées de différentes manières, les protons, neutrons et électrons forment les noyaux de tous les atomes. Dans les atomes radioactifs tels que le radium, le noyau est instable, et, à l'occasion, éjecte l'un ou l'autre de ses composants, se transformant en un isotope différent ou en fait, en un tout autre élément chimique.

Ils viennent d'on ne sait où...

AINSI, les faits nouveaux et les conceptions originales ont contribué à brosser un tableau unique qui aurait été inconcevable il y a cinquante ans, mais qui révèle aussi l'existence, à l'intérieur de l'atome, d'un monde nouveau. Cependant, d'importants problèmes demeurent à résoudre. On n'aurait pu s'y attaquer sans les grands cyclotrons (décrits dans le troisième chapitre de cette série), et si des suggestions ne nous étaient pas littéralement tombées du ciel. Les rayons cosmiques nous ont fourni la clef de ces mystères et ont déblayé la route aux cyclotrons. C'est pourquoi l'article suivant examine ces particules extrêmement rapides qui bombarrent la terre de très loin et viennent d'on ne sait où.



Les deux extrêmes du monde atomique : Voici le plus léger (hydrogène) et le plus lourd (uranium) des atomes. L'atome d'hydrogène ne possède qu'un proton dans son noyau et un électron décrivant une orbite extérieure. L'uranium comporte 92 protons et 146 neutrons massés dans le noyau, outre les 92 électrons extérieurs qui décrivent des orbites complexes. Dans les deux schémas, le noyau est énormément grossi ; en réalité, son diamètre est dix mille fois plus petit que celui de l'atome et ne représente qu'un point invisible.

② LA CLEF DU MYSTÈRE NOUS EST TOMBÉE DU CIEL : RAYONS COSMIQUES

UNE même balle, inoffensive lorsqu'elle repose inerte sur une table, peut, lorsqu'elle frappe quelqu'un, lui faire du mal. Toute la différence est dans l'énergie de la balle en mouvement et la question qui se pose est la suivante : la douleur provoquée par le choc est-elle due à la balle elle-même ou à son énergie ? En d'autres termes, que se passerait-il si on lançait une charge d'énergie pure sans le concours d'aucune balle ? Dans la vie courante, l'expérience est impossible à réaliser, l'énergie étant normalement emmagasinée dans des fragments, ou particules, de « matière ». D'ordinaire, dans le cas des molécules et des atomes, il s'agit d'une énergie cinétique, alors même qu'elle se manifeste sous forme de chaleur ; mais elle peut apparaître sous forme d'énergie électrique dans le cas des protons et des électrons.

L'énergie constitue cependant la propriété essentielle des particules plus petites que le noyau atomique, qu'elles soient placées à l'intérieur de ce noyau ou qu'elles sillonnent librement l'espace. Seul, le mouvement ou quelque manifestation d'énergie peuvent permettre de déceler et d'étudier les particules de dimensions nucléaires : aussi, c'est sous forme de rayons que ces particules infiniment petites attirent l'attention des hommes. Toute recherche nucléaire a pour objet une combinaison de matière et d'énergie dont les deux éléments sont si étroitement liés que l'un peut se transformer en l'autre.

Sur terre, la particule de plus haute énergie spontanément produite est la particule alpha du radium, qui n'est autre qu'un noyau d'hélium projeté à une vitesse que l'on peut évaluer à un dixième de celle de la lumière. Comment, partant de l'espace limité du noyau de radium, elle peut acquérir semblable vitesse et pareille énergie est un mystère qui n'a pas encore été percé. Toutefois, si une telle concentration d'énergie est rare sur la terre, les exemples abondent dans l'espace extérieur, dans cet espace « vide » situé au-delà de l'atmosphère terrestre. L'étude de ces « rayons cosmiques » constitue l'une des plus délicates et des plus audacieuses de toutes les recherches de la science moderne.

Elle a commencé à l'aurore de notre siècle quand, ayant observé une dépression progressive d'électricité statique dans son

appareil de laboratoire pourtant parfaitement isolé, un Anglais, le professeur C.T.R. Wilson, en attribua le premier la cause à la pénétration de quelque radiation inconnue, analogue peut-être aux rayons X et d'origine extra-terrestre. Pour vérifier cette théorie, le savant suisse A. Gockel fit, en 1909, des expériences à bord d'un ballon et découvrit, en effet, que le phénomène en question se faisait sentir avec plus d'intensité à une altitude de 4.500 mètres. L'année suivante, montant plus haut encore, jusqu'à 5.200 mètres, l'Autrichien V.F. Hess confirmait cette découverte et donnait à ces radiations le nom de « rayons cosmiques », qui leur est resté. En 1913, l'Allemand Kolhorster s'éleva à 9.000 mètres et constata que l'intensité des rayons est trente fois plus forte à cette altitude qu'au niveau de la mer.

D'où viennent ces rayons ? De prime abord, on serait tenté de croire qu'ils ont pour source le soleil, mais il faut renoncer à cette idée car leur intensité n'est pas moindre la nuit que le jour, bien qu'ils trouvent alors sur leur chemin la masse immense de la terre.

Viendraient-ils donc des étoiles de notre propre galaxie, de notre voie lactée ? L'hypothèse est plausible, voire probable, mais il se pourrait aussi

qu'ils résultent de collisions ou d'explosions de particules élémentaires libérées dans le vide interstellaire.

Une chose est cependant certaine : l'énergie qui parvient à la terre sous cette forme est au moins aussi grande que celle de la totalité de la lumière reçue des astres, exception faite de la lumière solaire. Nous vivons sous une grêle incessante de rayons cosmiques qui traversent le corps de chaque homme plus de vingt fois par seconde.

Ce qu'ils ont d'étonnant est leur extraordinaire énergie. Ce sont certainement des particules, protons pour la plupart, noyaux plus complexes d'atomes d'hélium dans certains cas et, pour une faible proportion, noyaux plus importants d'atomes lourds ; ils atteignent cependant la terre à des vitesses très proches de celle de la lumière, avec une énergie qui se chiffre par centaines, voire par millions de milliards d'électron-volts.

L'électron-volt, unité d'énergie employée pour les particules isolées de ce genre, est scientifiquement défini comme l'énergie qu'acquiert un électron accéléré par une différence de potentiel d'un volt. Il faut environ trente électron-volts pour libérer l'un des électrons d'un atome d'oxygène de l'air. Les rayons alpha du radium transportent de quatre à dix millions d'électron-volts. Mais un rayon cosmique a besoin d'une énergie d'au moins vingt milliards d'électron-volts pour vaincre le magnétisme terrestre et pénétrer l'atmosphère au voisinage de l'équateur. Or, il ne s'agit là que des plus faibles de ces rayons, l'énergie des plus pénétrants qui aient été détectés jusqu'ici étant de cent milliards de fois un million d'électron-volts. De telles énergies dépassent de loin toutes celles réalisées au cours d'expériences terrestres.

Nous ignorons totalement la façon dont le rayon acquiert cette énergie dans l'immensité de l'espace. Même si, par exemple, un atome d'hélium était complètement détruit et transformé en énergie, conformément à la théorie d'Einstein, cette énergie se chiffrerait au maximum par quatre milliards d'électron-volts. Le professeur italien Fermi a émis une autre hypothèse, selon laquelle la particule acquerrait peu à peu son énergie en traversant les nuages magnétiques de matière interstellaire qui lui donneraient une accélération comparable à celle qu'imprime une raquette de tennis à une balle frappée en plein vol.

Aucune théorie sur la source d'énergie de ces particules n'est pourtant satisfaisante et c'est des chercheurs de l'avenir qu'il faut en attendre l'explication.

Mais il est une histoire plus passionnante encore, celle de ce qui se passe quand ces rayons heurtent l'atmosphère terrestre et chutent à une allure vertigineuse. Vingt années de recherches menées à l'aide des appareils de physique nucléaire moderne ont permis de photographier le sillage qu'ils laissent en fendant l'air et en traversant les obstacles interposés. Ces rayons ont été mesurés sur la cime des montagnes, dans les profondeurs des mines, dans les abîmes des océans et, à l'aide de ballons et même de fusées, dans les couches supérieures de la stratosphère. Ils ont révélé, sur la nature de la matière et de l'énergie, plus qu'il n'aurait été possible d'imaginer voici seulement dix ans.

Peut-être existe-t-il dans l'espace des rayons d'énergie relativement fai-

bles, mais ceux qui sont dotés d'une énergie inférieure à un milliard d'électron-volts sont déviés par le champ magnétique solaire et ne parviennent jamais à proximité de la terre. Ceux qui arrivent dans le voisinage de la terre avec moins de soixante milliards d'électron-volts sont déviés par le champ magnétique terrestre.

Les particules de très haute énergie qui foncent vers la surface de la terre malgré le champ magnétique entrent en collision avec les atomes dans les couches supérieures de la stratosphère. Ces collisions leur font perdre une

partie de leur énergie et provoquent de véritables gerbes d'électrons qui, à leur tour, se précipitent vers la terre. L'existence de telles gerbes, cou-

vrant plusieurs kilomètres carrés de surface terrestre, a été révélée grâce à de nombreuses mesures faites en haute montagne par un physicien français, le professeur Auger. On y trouve également des photons, c'est-à-dire des unités d'énergie rayonnante non chargées ou, en quelque sorte, des particules de lumière qui peuvent, en se désintégrant, donner naissance à deux électrons, l'un positif et l'autre négatif. Nous faisons ainsi connaissance avec deux particules nouvelles : le photon et l'électron positif, ce dernier entièrement semblable à l'électron négatif ordinaire, mais de charge inverse. C'est un Américain, le Dr Carl D. Anderson, qui découvrit cet électron, en 1932, dans les rayons cosmiques.

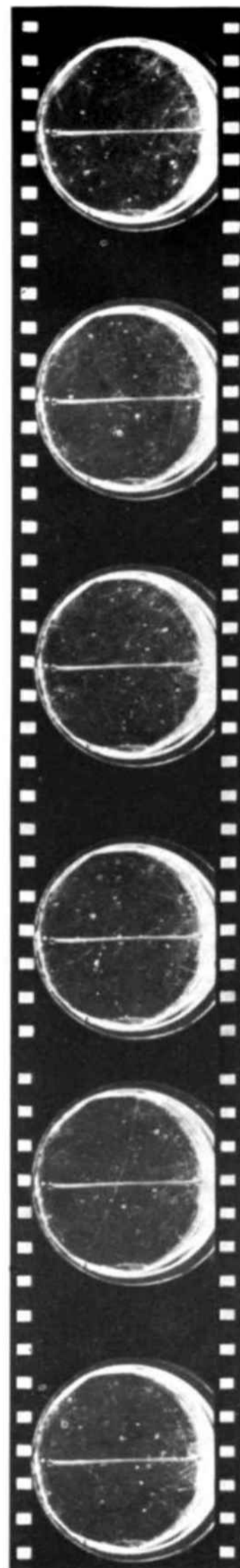
D'autres particules nouvelles y furent détectées par la suite et reçurent le nom de mésons. Semblables aux électrons quant à la charge, positive chez les uns, négative chez les autres, ils se situent, quant à la masse, entre l'électron et le proton. Cette masse est, dans l'une des variétés, de 276 fois celle d'un électron, et dans une autre de 210 fois seulement. Leur existence, simple hypothèse théorique faite en 1935 par le mathématicien japonais H. Yukawa, fut constatée peu après — en 1938 — dans les rayons cosmiques.

Mais une autre surprise nous est ici réservée : le méson n'est qu'une particule fantôme en ce sens que son existence dure à peine quelques millièmes de seconde. Si, malgré leur durée éphémère, les mésons peuvent être décelés, c'est que leur haute énergie leur permet de couvrir des distances considérables. Ils semblent alors se muer en électrons de grande vitesse et, ce faisant, donnent naissance à une nouvelle particule, le neutrino.

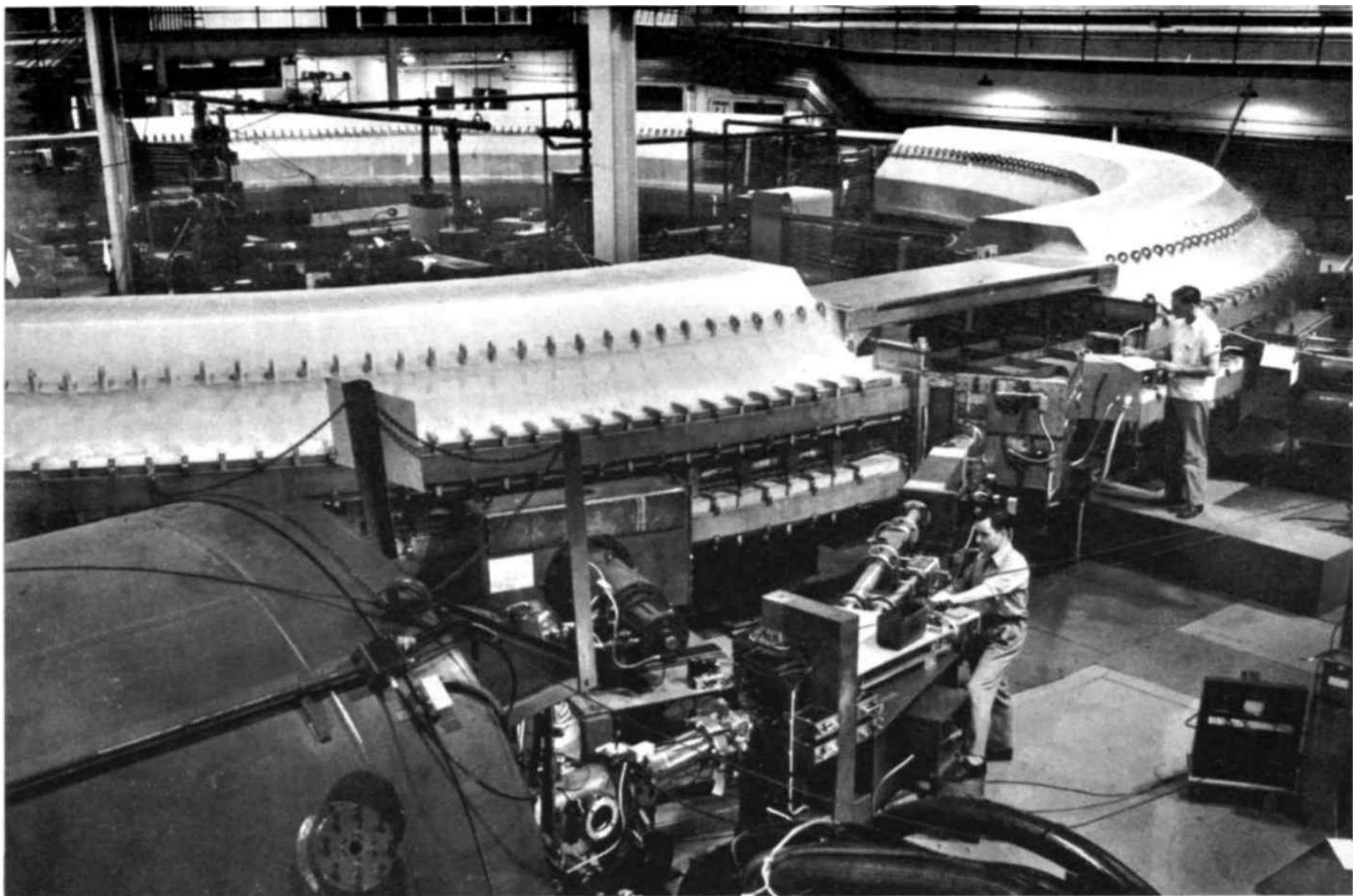
Les variétés connues de particules que les rayons cosmiques renferment ou produisent sont déjà trop nombreuses pour qu'un profane puisse en comprendre la description. Quand nous nous y serons retrouvés dans le labyrinthe des particules, il faudra encore découvrir comment est assurée leur cohésion au sein du noyau atomique, lequel nous apparaît maintenant comme une particule extrêmement complexe. On discute beaucoup à l'heure actuelle une hypothèse selon laquelle les mésons constitueraient la force qui lie entre elles les autres particules, et joueraient ainsi, au sein du noyau, un rôle d'agglutinant. Mais une telle question relève naturellement de la mathématique très spéciale dont la théorie de la relativité n'est qu'un élément. Pour étudier des particules d'aussi haute énergie sur terre et en laboratoire, il faut les recréer artificiellement, donc reproduire les rayons cosmiques et, à cet effet, les doter d'une énergie atteignant des milliards d'électron-volts, donc infiniment supérieure à celle que possèdent normalement les particules terrestres. Tel est le rôle des cyclotrons géants.

Pour les étudier sur terre, il faut les doter d'une énergie supra-terrestre

Proviennent-ils des étoiles, de collisions interstellaires ? Nul ne le sait



Les collisions entre particules atomiques de haute énergie et noyaux sont révélées par les minces lignes blanches reproduites dans ce film, exécuté au Nevis Laboratory de l'Université Columbia, aux Etats-Unis. La trajectoire des particules (qui se traduit par ces lignes blanches) est photographiée automatiquement toutes les dix secondes. L'examen de ce film facilite aux savants l'étude des particules et la compréhension des liens qui les unissent les unes aux autres dans le noyau de l'atome. La couverture de ce numéro représente une photo similaire, très agrandie (Document copyright « Scientific American »).



Le cosmotron du Brookhaven National Laboratory (U.S.A.) est à l'heure actuelle la plus grande des machines construites pour permettre le bombardement des noyaux atomiques par les particules de haute énergie. Dans cet immense électro-aimant de 25 mètres de diamètre, les particules décrivent une trajectoire circulaire au cours de laquelle elles acquièrent une très grande vitesse sous l'effet d'une série d'impulsions électriques. Elles atteignent une telle vitesse qu'elles parcourent en moins d'une seconde trois millions de fois le tour de l'électro-aimant, soit une distance de deux cent mille kilomètres (cinq fois le tour du monde).

③ LE CYCLOTRON GÉANT FOURNIT AU SAVANT UN "SIXIÈME SENS"

Le monde interne de l'atome, tel qu'il est révélé par les rayons naturels du radium et par les rayons cosmiques, a été brièvement esquissé dans les deux articles précédents. Pour « l'homme de la rue » il est à peine concevable, non seulement à cause de sa complexité, mais aussi parce que les particules fondamentales semblent ne présenter aucune commune mesure avec la matière et l'énergie telles que nous nous les représentons communément. C'est pourquoi la curiosité d'en savoir davantage et le désir d'aller toujours plus avant dans l'exploration, sont presque irrésistibles.

Le noyau de l'atome contient toute la « matière »

cependant, il est si petit qu'il occupe seulement un milliè-millionième de millionième de l'espace intérieur de l'atome. Sa densité (c'est-à-dire son poids par centimètre cube) doit donc représenter un millier de millions de millions de fois celle d'éléments ordinaires. En fait, les recherches effectuées à l'aide d'un cyclotron, comme il est expliqué plus loin, indiquent que le noyau lui-même n'est pas du tout une masse solide, mais possède en son centre un point encore plus dense que lui. Quelle que soit la matière dont il est composé, ce point est si dense que gros comme une goutte d'eau il pèserait deux millions de tonnes.

Nous ne sommes pas au bout de notre étonnement. Il se renouvelle en examinant la question énergie : quoique infiniment petit en volume, le noyau atomique renferme des forces qui maintiennent la cohésion de la masse. La force qui maintient le globe est la gravité mais celle qui est renfermée à l'intérieur du noyau est d'une envergure tellement plus considérable qu'aucun mot ne peut l'exprimer. Pour la représenter visuellement il faudrait multiplier la force de gravité par un nombre composé du chiffre 1 suivi par trente-sept zéros !

10,000,000,000,000,000,000,000,000,000.

La gravité, qui pourtant maintient les planètes dans leur trajectoire et les étoiles dans le ciel ne joue aucun rôle dans le noyau.

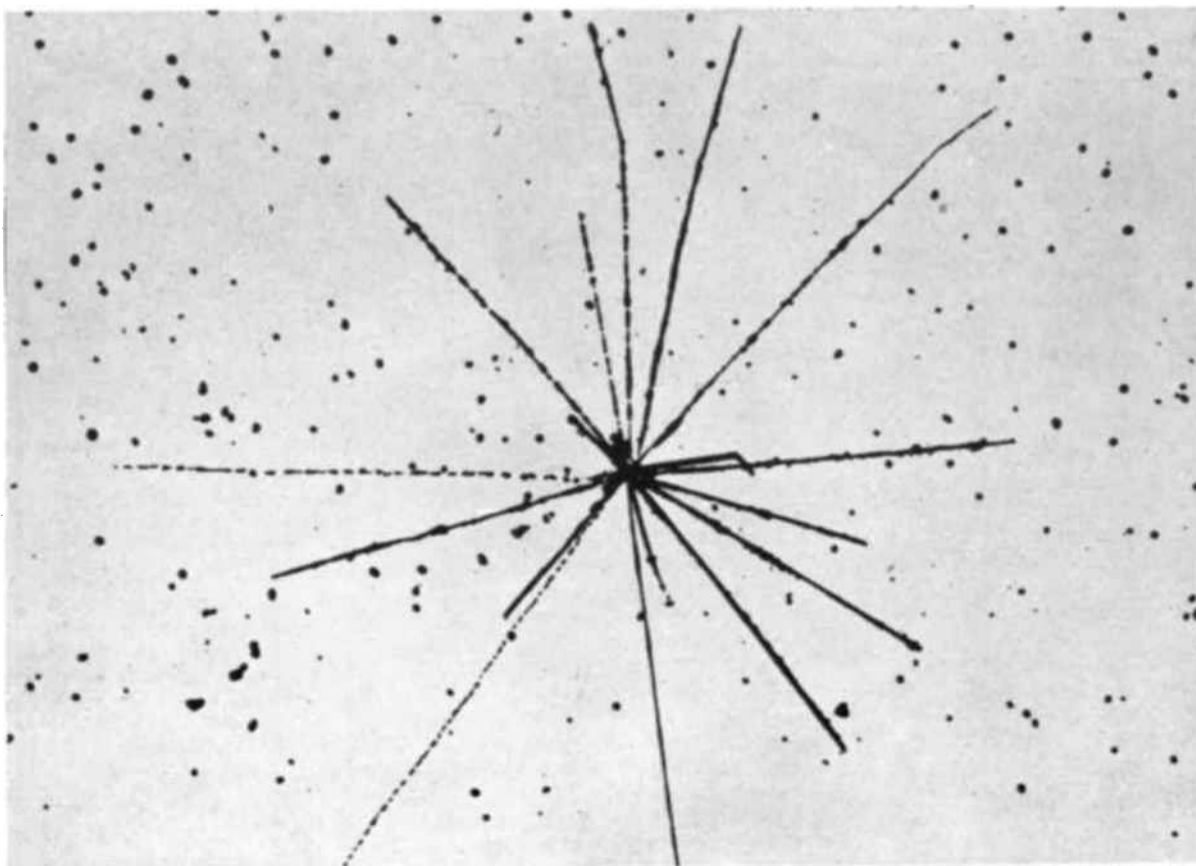
La cohésion de l'atome tout entier est due à des forces électriques. Ce sont les protons positifs placés en son centre, qui attirent et maintiennent à la surface les électrons négatifs. Mais l'intérieur du noyau est formé de protons et de neutrons qui ne peuvent être maintenus ensemble électriquement parce que la force électrique repousserait les protons au lieu de les attirer.

Aussi, la force qui lie les différents composants de l'atome est d'une espèce nouvelle et inconnue. Sa nature compliquée dépend non seulement de la vitesse des particules nucléaires mais aussi de leur mouvement de rotation. D'autre part, cette force, quelle qu'elle soit, ne dépend pas des forces électriques, car un neutron et un proton semblent s'attirer exactement de même qu'une de ces particules attire une particule semblable.

En cela consiste le mystère actuel du noyau et par conséquent de l'atome, de la matière et de l'énergie en général. Nous touchons ici au mystère essentiel de l'univers, que la science doit tenter de percer. Mais pour résoudre ce problème il faudrait disposer de méthodes et d'instruments encore jamais conçus. Il faudrait posséder une sorte de microscope nucléaire qui permettrait de contempler de près la foule infinitésimale des protons et des neutrons tout comme l'astronome étudie l'espace infini à travers son télescope géant.

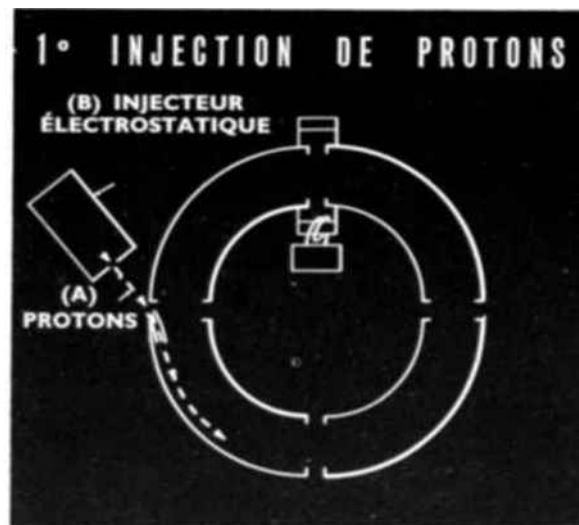
La taille des particules nucléaires étant des millions de fois plus réduite que la longueur des ondes de lumière, il faudrait, pour isoler le noyau et jeter un regard curieux à l'intérieur, disposer de concentrations d'énergie aussi considérables que celles contenues dans le noyau, et même supérieures. Pour y arriver, on projette des électrons et des protons sur le noyau à une vitesse très proche de celle de la lumière, ce qui leur communique une énergie de l'ordre de milliards d'électronvolts. C'est pourquoi les dispositifs servant de microscopes atomiques, ou nucléaires,

(Suite au verso.)

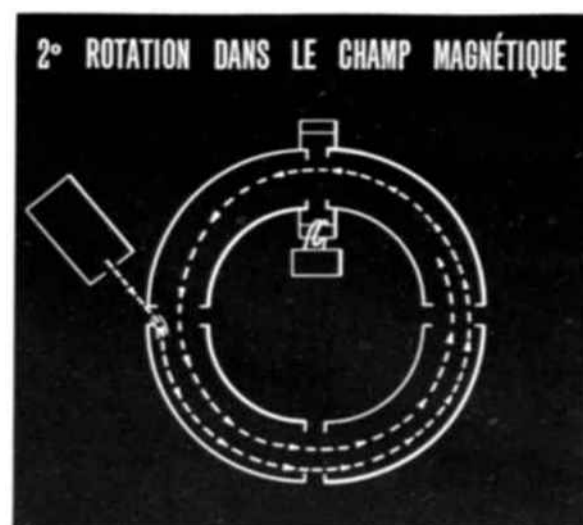


Voici l'image d'une explosion nucléaire enregistrée par elle-même. En effet, c'est la collision d'une particule de haute énergie avec le noyau d'un atome d'émulsion photographique qui a été enregistrée sur ce cliché. La particule, qui avait été accélérée à l'intérieur d'un cosmotron géant, a explosé en dix-sept éclats différents.

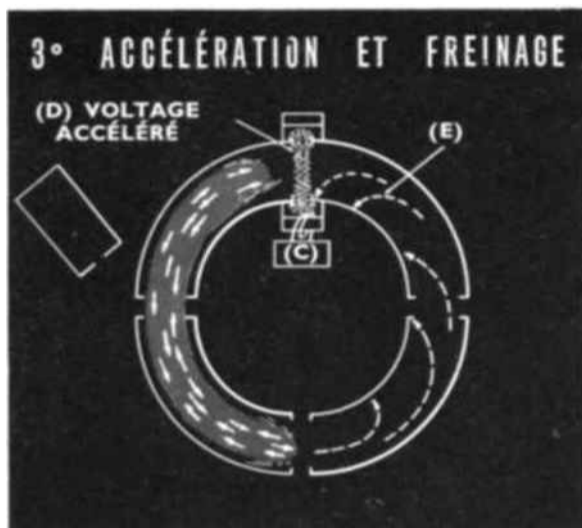
COMMENT FONCTIONNE LE COSMOTRON



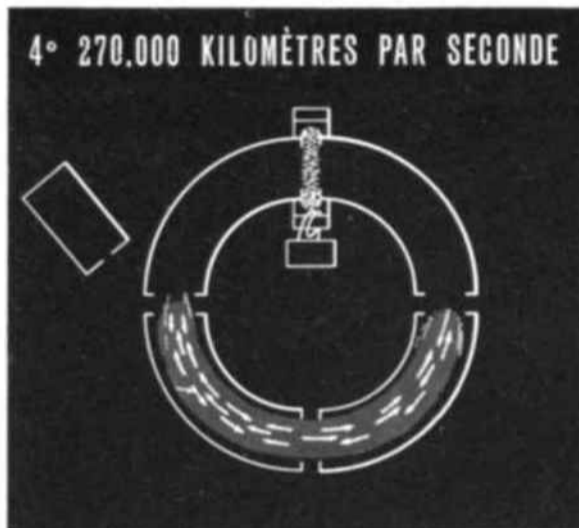
Le générateur électrostatique, indiqué sur le schéma en (B) projette les protons (A) dans l'intérieur vidé d'air de la coque métallique du cosmotron, à une énergie de 3,6 millions d'électron-volts.



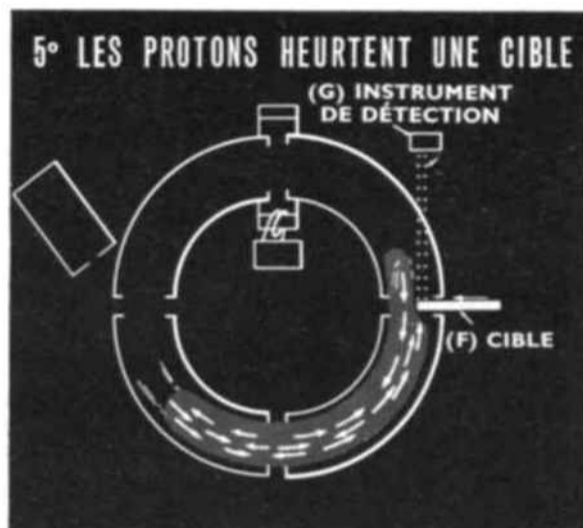
Le champ magnétique d'intensité croissante oblige les protons à décrire une trajectoire en forme de spirale autour du cosmotron (lignes pointillées), effectuant ainsi 350.000 tours par seconde.



Un amplificateur (C) augmente le voltage d'un côté et le diminue de l'autre. De ce fait, la moitié des protons est accélérée, l'autre moitié freinée. Ceux qui sont accélérés (D) se groupent en un essaim de la forme d'une saucisse qui poursuit une rotation de plus en plus rapide. Ceux qui sont freinés (E) heurtent la paroi de la coque et disparaissent.



L'essaim de protons tourne maintenant au rythme de quatre millions de tours par seconde (ce qui correspond à une vitesse de 270.000 km par seconde, 90 % de la vitesse de la lumière). Après environ trois millions de tours (8/10^e de seconde, quatre fois le tour du monde) les protons acquièrent une énergie de 2 milliards 300 millions d'électron-volts.



Ayant acquis cette énergie, les protons heurtent une cible (F). A la suite de ce choc, des fragments nucléaires sortent de l'électro-aimant. Des instruments de détection (G) tels qu'un compteur Geiger ou une « chambre à brouillard » sont utilisés par les savants pour étudier les effets de la collision de ces particules avec les différents éléments chimiques.

(Suite de la page 9.)

En les lançant à une grande vitesse, il est aisé de communiquer de l'énergie à ces projectiles microscopiques — électrons et protons — car leur charge électrique permet de les accélérer par un champ électrique. On a réalisé pour la première fois cette expérience dans des tubes en produisant des rayons X très pénétrants. Plus le voltage est élevé entre les extrémités du tube, plus grande est la vitesse des électrons et plus les rayons X produits sont pénétrants. On a aussi pu concevoir des tubes à rayons X fonctionnant sous un million de volts. Mais afin d'obtenir pareil voltage, il a fallu procéder par échelons. Comme l'électron parcourait le long tube il passait à travers une série d'électrodes dont chacune ajoutait quelques milliers de volts supplémentaires au voltage et, par le même coup, augmentait la vitesse de l'électron.

Toutefois, un million de volts ne représentent pas une énergie suffisante pour pénétrer profondément dans le noyau et il est peu pratique d'opérer avec un tube de ce genre à partir de quelques millions de volts. On chercha alors à obtenir un tube en forme de spirale à l'aide d'un champ magnétique. Il ne s'y trouvait — en fait — que deux électrodes, formées par une sorte de boîte vide circulaire fendue le long du diamètre. Les deux électrodes, chacune ayant la forme d'un D majuscule, étaient placées dos à dos, séparées l'une de l'autre par un espace étroit. La boîte formée par les deux D ayant été placée entre les pôles d'un puissant aimant, un électron fut injecté en son centre. Normalement cet électron aurait dû tourner en rond. Mais quand on branche le voltage sur la boîte, l'électron reçoit une poussée chaque fois qu'il passe à travers le demi-cercle. Il va donc plus vite et décrit un cercle plus large parce que l'aimant est moins capable d'influencer sa trajectoire. Il continue son chemin, passant et repassant à travers chaque D, allant de plus en plus vite et décrivant des cercles de plus en plus larges. Sa trajectoire prend alors la forme d'une spirale. Finalement, quand son énergie atteint plusieurs millions d'électron-volts, il arrive jusqu'au bord extérieur et passe à pleine vitesse à travers une fente aménagée dans la paroi latérale. Il peut alors être utilisé pour engendrer de puissants rayons X, ou à d'autres expériences.

3,6 millions d'électron-volts : un injecteur

Mais l'électron est un projectile relativement léger. Quand on imprime au proton — plus lourd — une vitesse similaire, l'énergie qu'il emmagasine doit devenir suffisante pour contrebalancer les forces d'attraction de n'importe quel noyau rencontré par la suite. C'est sur ce principe qu'était basé le premier cyclotron construit par le Dr. Ernest O. Lawrence, de l'université de Californie, qui en fut récompensé, en

1940, par le prix Nobel de physique. Depuis, de nombreuses améliorations ont été apportées au cyclotron et à son stade actuel, il porte le nom de synchrotron à protons (ou proton-synchrotron).

Le plus grand proton-synchrotron actuellement en service se trouve au Laboratoire national de Brookhaven. Il fonctionne sous le contrôle de la « Associated Universities, Inc. » et de la Commission d'Énergie Atomique des États-Unis. Les protons y sont injectés par un générateur auxiliaire qui atteint 3,6 millions d'électron-volts.

Les protons pénètrent par rafales dans le grand proton-synchrotron à intervalles de cinq secondes. En moins d'une seconde ils font environ trois millions de fois le tour de l'énorme aimant circulaire, atteignant alors une énergie de deux milliards trois cents millions d'électron-volts.

Quand ils ont atteint cette énergie maximum, on peut les utiliser. Un obstacle, constitué par une feuille de métal extrêmement mince, est placé à travers leur trajectoire. Dans la violente collision qui se produit entre ces protons de haute énergie et les noyaux du métal, le noyau atomique est brisé. Les fragments qui en résultent sortent du cyclotron et peuvent être photographiés dans ce qu'on appelle « une chambre à brouillard ». Le cliché obtenu est du genre de celui reproduit sur la couverture du présent numéro.

On croirait qu'il s'agit de l'image d'une catastrophe ou d'une tempête d'étoiles. En fait, chacune des stries blanches trace la route suivie par un des nombreux types de rayons ou de fragments nucléaires. On peut les identifier comme un des composants du noyau atomique. Une étude approfondie de la photographie montre que les trajectoires sont brisées par endroits, et qu'en certains points il semble qu'une nouvelle explosion se soit produite à la suite de la rencontre de deux, trois ou quatre particules suivant différentes trajectoires. Il s'agit en effet d'une autre explosion, semblable à celle qui se produit dans les rayons cosmiques. Dans un sens, cette photographie montre une pluie de rayons cosmiques artificiels.

La photographie du bas de la page précédente représente une pareille collision obtenue, cette fois, en plaçant une plaque photographique directement sur la trajectoire suivie par les rayons. Une des particules de haute énergie du proton-synchrotron frappe le noyau d'un atome de l'émulsion photographique de telle sorte qu'il explose, ses éclats formant dix-sept particules différentes (que l'on peut compter sur le cliché).

L'étude approfondie des photographies telles que les deux citées plus haut, rend évidente l'existence de particules à courte vie comme les mésons et les « particules-V » récemment découvertes. Pour chacune des trajectoires enregistrées par le cliché, il faut analyser la courbure, la longueur, l'intensité, et la production de rayons secondaires. Aucun sens humain ne peut déceler ces particules mais la combinaison du grand proton-synchrotron et de la plaque photographique constitue le « sixième sens », ou

le microscope nucléaire, qui pénètre au plus profond de la nature secrète.

Toutefois, il est important de noter que la destruction des noyaux n'est pas le seul résultat obtenu à l'aide de ces particules de haute énergie. Dans un grand nombre de cas les particules très rapides — qu'elles soient un électron, un proton, un deuteron ou une particule alpha — se combinent avec le noyau dans lequel elles pénètrent et le transforment en un autre noyau appartenant à un atome d'un élément différent. Dans d'autres cas, la combinaison donne naissance à deux noyaux plus petits. Ainsi les particules de haute énergie du cyclotron et du proton-synchrotron ont été utilisées pour créer non seulement de nouveaux isotopes d'éléments chimiques mais des éléments qui n'existent pas dans la nature. Le rêve des alchimistes médiévaux — transformer le mercure, ou d'autres métaux communs en or — est devenu une réalité.

Trois milliards d'électron-volts : une amorce

UN exemple courant est la création d'isotopes tirés d'éléments dont les noyaux sont seulement partiellement stables et qui se désintègrent progressivement à mesure qu'ils émettent des rayons tels que ceux du radium. On a pu ainsi dresser une longue liste d'éléments radio-actifs artificiels, dont quelques-uns, comme le cobalt, peuvent constituer pour la médecine une source de rayons. Dans ce domaine, le cobalt radioactif a maintenant remplacé en grande partie le radium, sur lequel il présente l'avantage de coûter bien moins cher.

Le proton-synchrotron de Brookhaven ne fonctionne que depuis un an et ses performances n'ont pas encore été étudiées suffisamment à fond pour qu'on puisse en publier un compte rendu. Cependant, on espère qu'après y avoir apporté quelques modifications il sera à même de donner aux protons une énergie de l'ordre de trois milliards d'électron-volts.

Cette énergie — si considérable qu'elle paraisse — n'est que l'amorce de la puissance nécessaire pour l'étude des mésons, des neutrinos et des nouvelles particules V, dont le mystère reste entier. Afin de produire un flux suffisant de mésons artificiels, il faut disposer d'une énergie plus considérable encore. Un proton-synchrotron pouvant atteindre six milliards d'électron-volts a été installé à l'université de Californie. C'est un colosse dont l'aimant, qui utilise un circuit de 6.000 kilowatts, pèse 10.000 tonnes. D'autre part, on a demandé à la Commission d'énergie atomique des États-Unis de faire construire une machine plus puissante encore, qui donnera à ses projectiles-protons une impulsion de quinze milliards d'électron-volts.

La plus puissante de toutes ces machines sera celle que le Conseil européen pour la recherche nucléaire se propose d'élever à Genève, qui fournira trente milliards d'électron-volts. Les détails de cette machine sont exposés dans l'article suivant de cette série.



SYMBOLE EUROPÉEN DE LA COLLABORATION DES SAVANTS NUCLÉAIRES

4

EN l'espace d'une génération, la conception que les hommes se font de l'atome s'est complètement transformée. Lorsque Roentgen, Becquerel et les Curie découvrirent les rayons X (1895), la radioactivité (1896) et le radium (1898), personne ne pensait que l'on pût trouver quelque chose à l'intérieur de l'atome. Moins de soixante ans plus tard, les hommes de science fouillent le noyau de l'atome et y découvrent cet enchevêtrement de particules fondamentales de matière et d'énergie dont il a été question dans les précédents articles : électrons et positrons, protons et neutrons, mésons et neutrinos. Ces particules composent l'atome tout comme les atomes constituent la terre et les étoiles.

Toutes ces connaissances nouvelles ont accru le prestige et le mystère de l'univers. Elles ont eu des applications terriblement destructrices d'une part, extrêmement profitables de l'autre. Mais il ne s'agit que d'un commencement. Les cinquante années qui viennent nous apprendront certainement beaucoup plus que les cinquante dernières.

L'échelle et le rythme des recherches sont également transformés. Roentgen et Becquerel ont fait leurs découvertes de façon presque fortuite, en remarquant que des plaques photographiques protégées de la lumière par un papier noir avaient été voilées par des radiations dont on ne soupçonnait pas l'existence et qui provenaient, dans l'un des cas, d'un tube à vide et, dans l'autre, d'un petit paquet de sels d'uranium.

Certes, ce n'est pas par hasard qu'ils ont recherché la cause de ces mystérieux phénomènes, et qu'ils ont abouti à leurs grandes découvertes. C'est à leur remarquable ingéniosité et à leur inépuisable patience que Pierre et Marie Curie durent de pouvoir dépister les « rayons de Becquerel », et trouver leur origine dans le radium. Mais ces recherches, qui devaient faire date dans l'histoire de la science, furent menées dans des laboratoires universitaires étroits et mal chauffés à Wurzburg et à la Sorbonne de Paris, avec des cuvettes ordinaires et quelques instruments simples mais précis, conçus et construits par les chercheurs eux-mêmes ; elles exigèrent aussi de longues heures de travail acharné, bien souvent la nuit, après que les savants se furent acquittés de leur devoir de professeurs.

Les temps ont changé. Les frontières de la science atomique sont maintenant si éloignées de notre univers quotidien qu'on ne peut les atteindre qu'en organisant de grandes expéditions, fort coûteuses et soigneusement montées. Pour pénétrer dans le noyau de l'atome, il faut un cyclotron qui coûte des milliards de francs français. Pour faire fonctionner ce cyclotron à une puissance de plusieurs milliers de chevaux-vapeurs, il faut dépenser quotidiennement des millions de francs français, et faire appel aux efforts conjugués de nombreux

physiciens, chimistes, mathématiciens, ingénieurs, électriciens, biologistes et médecins.

Rien que pour se mettre au courant des découvertes déjà faites et ainsi être à même d'entrer dans une des équipes de recherche, il faut des années de formation spécialisée, ce qui exige des moyens financiers qui dépassent de loin ceux de la plupart des jeunes étudiants. Vue dans son ensemble, l'entreprise constitue une charge si lourde qu'aucune université, en quelque pays que ce soit, ne peut fonder un laboratoire moderne de recherche nucléaire sans une aide financière de son gouvernement ; et à notre époque de difficultés financières, il y a bien peu de gouvernements qui puissent se permettre d'entreprendre un vaste programme de recherches de ce genre. Dans ces conditions, la plupart des étudiants et des hommes de science n'ont guère de chances de participer à la plus grande aventure scientifique du XX^e siècle. Il est donc étonnant de constater que, dans ce domaine, les pionniers furent des Européens.

Réunie à Lausanne en 1949, la Conférence européenne de la Culture a été la première à recommander la création d'instituts européens spécialisés dans les domaines où les gouvernements sont incapables, isolément, de financer les recherches et s'est expressément prononcée en faveur de la fondation d'un institut pour la physique nucléaire répondant à ces préoccupations. Lors de la Conférence générale de l'Unesco, à Florence, en 1950, M. Isidor Rabi, professeur à l'Université Columbia de New York, proposa que l'Unesco prit l'initiative de réunir des hommes de science et des représentants des gouvernements européens, en vue de créer un Centre européen de recherches nucléaires, grâce à la mise en commun de leurs ressources scientifiques et financières. Trois ans plus tard, en juillet 1953, la Convention pour l'établissement d'une Organisation européenne pour la recherche nucléaire, rédigée sous les auspices de l'Unesco, était signée à Paris, au ministère des Affaires étrangères. Elle entrera en vigueur lorsque sept pays l'auront officiellement ratifiée.

Derrière un gros mur de béton...

LA résolution adoptée à Florence par la Conférence générale de l'Unesco avait une portée plus étendue. Elle autorisait le Directeur général de l'Organisation « à faciliter et encourager la création et l'organisation de laboratoires et de centres de recherches régionaux, afin qu'une collaboration plus étroite et plus fructueuse s'établisse entre les hommes de science des différents pays qui s'efforcent d'accroître la somme des connaissances humaines dans des domaines où les efforts déployés isolément par l'un quelconque des Etats de la région intéressée ne sauraient permettre d'y parvenir. »

C'est ainsi que l'Unesco a patronné la création d'un centre international de calcul mécanique, qui sera probablement installé à Rome et où des machines à calculer électroniques modernes seront à la disposition des hommes de science des pays membres. L'Unesco étudie également la possibilité de fonder un centre international de recherches océanographiques de l'autre côté du monde, dans la région indo-pacifique.

Douze pays européens ont participé aux discussions et à l'élaboration des plans, et deviendront sans doute membres de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire. Ce sont : la Belgique, le Danemark, la France, la République fédérale d'Allemagne, la Grèce, l'Italie, les Pays-Bas, la Norvège, la Suède, le Royaume-Uni et la Yougoslavie. D'autres Etats pourront y être admis ultérieurement, à la suite d'un vote unanime des Etats membres. Le coût de l'entreprise, y compris les dépenses de construction et de fonctionnement, est évalué à 120 millions de francs suisses (soit 10 milliards de francs français) pour les sept premières années ; les fonds seront fournis par les Etats membres, approximativement au prorata de leur revenu national moyen.

La nouvelle organisation encourage la coopération entre les différents centres nationaux de recherche, particulièrement en ce qui concerne la théorie nucléaire. Elle disposera d'un laboratoire central construit dans un domaine de 36 hectares offert par le canton de Genève et situé à 5 km au nord-ouest de cette ville, le long de la frontière française.

Un personnel d'une cinquantaine d'experts, généralement employés comme consultants, travaille depuis un an et demi aux plans détaillés des bâtiments et des puissantes machines. Le secrétaire général est M. Edoardo Amaldi, professeur de physique expérimentale à l'Université de Rome. Le groupe chargé d'établir les plans du laboratoire proprement dit est dirigé par M. Lew Kowarski, directeur scientifique au Commissariat français à la recherche atomique, tandis que le groupe chargé des études théoriques est placé sous la direction de M. Niels Bohr, directeur de l'Institut de physique théorique de Copenhague. Deux groupes d'études spéciaux ont également été constitués pour élaborer les plans des deux principaux accélérateurs de haute énergie. Le groupe responsable du synchro-cyclotron de 600 millions d'électrons-volts est dirigé par M. J.C. Bakker, professeur de physique à l'université d'Amsterdam, et celui qui s'occupe du synchrotron à protons de 25 milliards d'électrons-volts est dirigé par M. Odd Dahl, chef de la Section de physique appliquée à l'Institut Michelsen de Bergen (Norvège).

La plus petite des deux machines sera assez puissante pour produire des mésons permettant des études détaillées. Elle aura un électroaimant de 5 mètres de diamètre, pesant 2.500 tonnes et muni de deux bobines d'excitation d'un poids total de 180 tonnes. Elle sera entourée d'un gros mur et recouverte d'un

toit, tous deux en béton. Elle coûtera environ 17 millions de francs suisses (soit près d'un milliard et demi de francs). Sa construction demandera quatre ans environ, de telle sorte qu'elle devrait être prête à fonctionner en 1957 ou 1958.

Le synchrotron à protons aura des dimensions beaucoup plus importantes et coûtera beaucoup plus cher. Il produira des particules possédant dix fois plus d'énergie que les particules fournies par l'une quelconque des machines actuelles, et dont le système de commande a été découvert récemment. Ce sera la première machine qui produira des particules possédant autant d'énergie que les rayons cosmiques venus des profondeurs de l'espace. Nul ne peut prédire ce qu'elle révélera, mais les experts espèrent vivement qu'elle leur permettra de découvrir les secrets les plus intimes de la matière et de l'énergie.

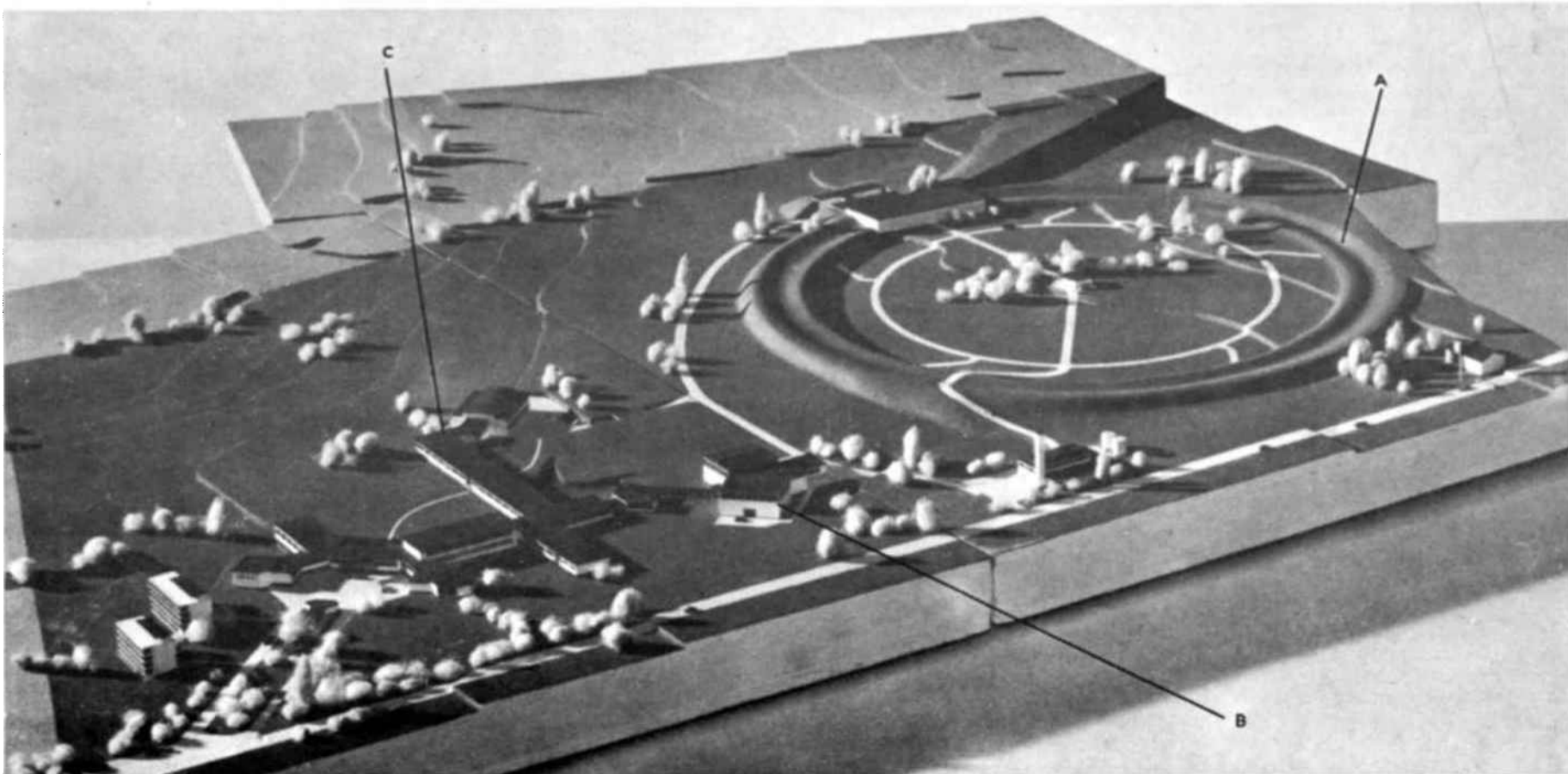
La particule la plus chargée d'énergie...

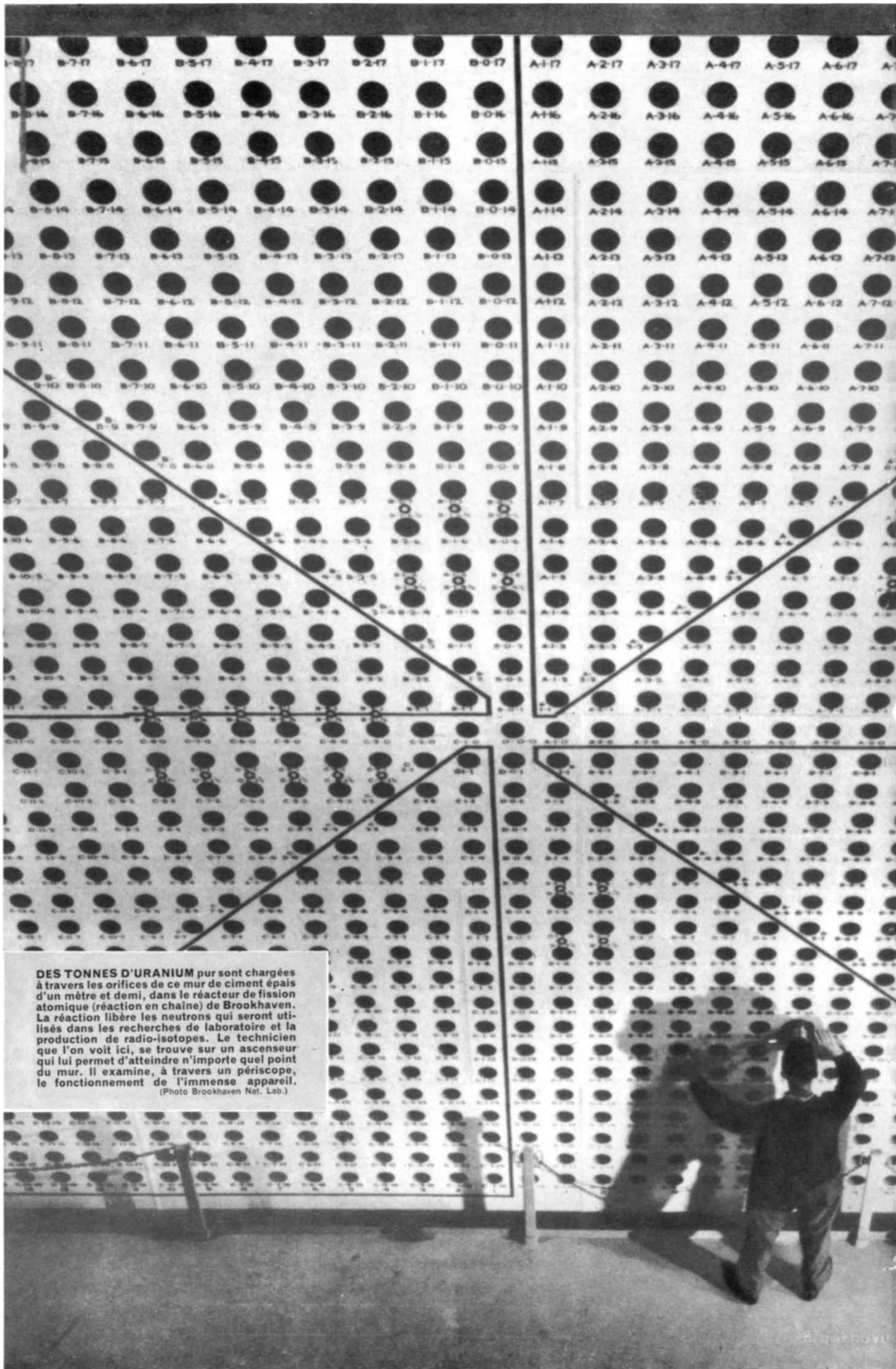
SON grand aimant aura une section relativement faible, mais formera un cercle de 100 mètres de diamètre, enterré dans une profonde tranchée, sous une couche de béton. Chaque fois qu'une particule à grande vitesse parcourra cet anneau, elle accomplira un trajet de près d'un tiers de kilomètre. Au bout d'un million de circuits — ce qui ne demandera qu'un peu plus d'une seconde — elle aura couvert une distance égale à celle qui sépare la terre de la lune à une vitesse presque égale à celle de la lumière. A la sortie de la machine, ce sera le projectile le plus chargé d'énergie que l'homme ait jamais produit.

Le synchrotron à protons coûtera 55 millions de francs suisses (soit quatre milliards et demi de francs français, et sa construction demandera probablement sept ans, si bien qu'il ne sera prêt qu'en 1960.

Il importe de signaler qu'aux termes de la Convention pour l'établissement d'une Organisation européenne pour la recherche nucléaire, « l'Organisation assure la collaboration entre Etats européens pour les recherches nucléaires de caractère purement scientifique et fondamental ». Elle « s'abstient de toute activité à fins militaires et les résultats de ses travaux expérimentaux et théoriques sont publiés ou, de toute autre façon, rendus généralement accessibles ». Ces dispositions signifient que l'activité de l'Organisation ne sera pas orientée vers la guerre, que les résultats obtenus ne resteront en aucun cas secrets mais enrichiront le patrimoine de l'humanité. Ce sera, en fait, pour la science, le début d'une ère nouvelle qui sera marquée par une coopération extrêmement poussée entre les hommes de science par-delà les frontières nationales et linguistiques, et par un effort pacifique commun pour percer les secrets de la nature et accroître ainsi les ressources de l'humanité.

Voici la maquette du futur Centre d'études nucléaire européen (C.E.R.N.) de Meyrin (Canton de Genève). En « A » se trouvera le synchrotron à protons, qui sera le plus grand accélérateur du monde. Le synchro-cyclotron occupera l'emplacement « B ». Il permettra des mesures très précises sur les particules des noyaux. En « C » seront construits les laboratoires et ateliers. Depuis plus d'un an et demi, cinquante experts travaillent aux plans du Centre européen de recherches.





DES TONNES D'URANIUM pur sont chargées à travers les orifices de ce mur de ciment épais d'un mètre et demi, dans le réacteur de fission atomique (réaction en chaîne) de Brookhaven. La réaction libère les neutrons qui seront utilisés dans les recherches de laboratoire et la production de radio-isotopes. Le technicien que l'on voit ici, se trouve sur un ascenseur qui lui permet d'atteindre n'importe quel point du mur. Il examine, à travers un périscope, le fonctionnement de l'immense appareil.
(Photo Brookhaven Nat. Lab.)

5 L'ISOTOPE

ŒIL MAGIQUE DE L'INDUSTRIE, DE L'AGRICULTURE ET DE LA MÉDECINE...

LORS de la découverte de l'Amérique, en 1492, la première réaction du monde civilisé fut de s'étonner qu'un continent aussi vaste, habité par de nombreuses peuplades étranges et pourvu d'abondantes ressources ait pu rester aussi longtemps inconnu des Européens. Le monde se révélait soudain bien plus grand qu'on ne le pensait et le périple de Magellan ne tarda pas à démontrer que la terre était ronde et non plate comme on l'avait cru jusque-là. Puis ce fut l'époque des grandes aventures et des explorations qui se succédèrent pendant un siècle. Ensuite, des pionniers commencèrent à s'établir sur les nouveaux territoires, des colonies se formèrent, et enfin on vit apparaître les grandes nations dont la population constitue actuellement un dixième de l'espèce humaine.

Il en fut de même pour la plupart des découvertes faites dans le domaine de la science pure. L'intérêt qu'elles éveillent est d'abord philosophique : elles mettent mieux en lumière la complexité et la splendeur de la nature. Puis vient la lutte menée par les chercheurs pour explorer à fond leur nouveau domaine; enfin on commence à tirer parti sur le plan pratique des connaissances acquises. La science nucléaire n'a pas fait exception à cette règle.

Dans les articles antérieurs de la présente série, nous avons exposé les notions fondamentales que l'on possède aujourd'hui sur le monde des atomes. Il nous reste à étudier les applications de cette science qui sont déjà aussi importantes que diverses. Bien qu'elles n'en soient encore qu'à leur début, elles suffisent à prouver qu'il s'agit là de l'une des plus grandes découvertes de tous les temps, comparable, quant aux avantages que peuvent en retirer la science et l'humanité, à l'invention du microscope et de la machine à vapeur.

On ne saurait, bien entendu, passer sous silence l'usage de l'énergie atomique à des fins militaires car c'est évidemment là son application la plus impressionnante. Chacun y pense en premier lieu en raison de la terrible menace qu'elle fait peser sur l'humanité mais, si l'on regarde les choses de haut, il apparaît que ce n'est là qu'une des utilisations possibles de notre nouveau savoir, mise au point sous l'influence des besoins militaires. C'est par suite d'un simple hasard que la possibilité de tirer de l'énergie d'un type particulier d'atome a été découvert au moment précis où commençait la plus grande guerre de l'histoire. Et malgré tout, l'année 1939 sera considérée dans les siècles à venir comme étant celle de la découverte de l'énergie atomique bien plutôt que celle du début de la deuxième guerre mondiale.

Le charbon et le pétrole conserveront leur rôle

TOUS les travaux sur la structure nucléaire font entrer en jeu la formidable énergie contenue dans les particules à haute vitesse, en vue de former un très petit nombre de minuscules fragments nucléaires. Il y a donc une immense dépense d'énergie sans profit; mais quand on se sert d'uranium ou de thorium — métaux relativement peu connus — les atomes ainsi désintégrés par collision avec les neutrons fournissent plus d'énergie qu'ils n'en reçoivent, et l'énergie supplémentaire ainsi produite peut être utilisée à des fins de destruction. Que cette énergie soit ou non de nouveau utilisée à cet effet, il est hors de doute qu'elle sera largement exploitée à des fins pacifiques. Une ère de l'énergie atomique va s'ouvrir pour l'industrie, du moins dans les pays dépourvus de charbon et de pétrole.

Il est désormais bien connu qu'un kilo d'uranium peut fournir autant d'énergie ou de chaleur que 3.000 tonnes de charbon; mais il ne s'ensuit pas que l'énergie atomique soit moins coûteuse que celle qu'on tire du charbon. Bien au contraire, alors même que l'uranium ne coûterait absolument rien, le prix de revient de cette énergie serait élevé en raison de l'importance et du coût des appareils nécessaires à sa production. Le charbon et le pétrole resteront donc la principale source d'énergie industrielle partout où l'on peut se les procurer à peu de frais, c'est-à-dire partout où ils se trouvent à proximité. En revanche, le combustible atomique peut dès maintenant être considéré comme économique partout où la nécessité d'un long transport rend le charbon onéreux. Les moteurs atomiques actuellement construits et mis à l'essai — et qui sont surtout destinés pour le moment à éviter aux navires le transport de combustible lourd et volumineux — permettront sans doute à bien des pays de parvenir à s'industrialiser.

M. Herbert V. Evatt, qui fut délégué de l'Australie à l'Organisation des Nations Unies, a dit un jour : « Il est des pays dont les

industries risquent de décliner par suite de l'absence d'un produit pouvant remplacer le charbon. Ces pays peuvent redouter le déclin de leur économie ou l'abaissement de leur standard de vie plus que le danger plus lointain des terreurs d'une guerre atomique. Il est d'autres pays où des sources d'énergie industrielle n'impliquant pas le transport de gran-

des quantités de charbon ou la construction de longues lignes de transport d'énergie électrique seraient susceptibles d'ouvrir de nouvelles régions à l'agriculture ou à l'exploitation minière. D'abondantes quantités d'énergie à des prix raisonnables sont indispensables à l'industrie moderne. La force dérivée de l'énergie atomique pourrait permettre de nos jours à des groupements humains de prospérer dans des régions éloignées des sources d'énergie existant actuellement. De tels pays, pour lesquels les applications pacifiques de l'énergie atomique sont d'une importance plus immédiate, exigeront probablement qu'il leur soit permis d'accéder le plus tôt possible aux matières et aux données scientifiques dont ils pourront avoir besoin pour utiliser l'énergie atomique à des fins pacifiques ».

Les radiations vérifient l'épaisseur des feuilles

BIEN que l'énergie atomique ne puisse encore être employée directement, les radiations et les substances qu'il est possible de produire en abondance grâce aux progrès de la physique nucléaire peuvent déjà servir à des milliers de fins. C'est ainsi que l'industrie, l'agriculture, la médecine et les sciences emploient des « isotopes » radioactifs, variétés d'éléments chimiques communs qui ne se trouvent pas dans la nature, mais sont produites soit par des collisions nucléaires à l'intérieur d'un cyclotron, soit par les neutrons qu'émet l'uranium dans des piles atomiques. La Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis d'Amérique a fait plus de 32.000 expéditions d'isotopes radioactifs, plus de 2.000 expéditions d'isotopes non radioactifs (ou stables) à plus d'un milliard d'institutions nord-américaines et plus de 1.600 envois de radio-isotopes à quelque 350 institutions dans 33 autres pays. De nombreuses firmes industrielles, ainsi que des milliers de médecins du monde entier en font quotidiennement usage.

Une forme typique d'utilisation industrielle des rayons émis par ces matières radioactives est la suivante : pour contrôler automatiquement la production de minces feuilles de papier, de matière plastique ou de métal servant à fabriquer des boîtes de conserves, on place, au sortir des rouleaux qui, par compression, donnent à ces feuilles l'épaisseur voulue, un appareil où elles passent sur une petite quantité de matière radio-active et sous un détecteur tel qu'un compteur Geiger. Une partie des radiations est absorbée par la feuille, tandis que le reste la traverse pour atteindre le détecteur. Si, pour une raison quelconque, la feuille devient plus ou moins mince qu'il ne le faudrait, l'intensité des radiations reçues par le détecteur augmente ou décroît instantanément en conséquence. Cet appareil vérifie donc constamment et automatiquement l'épaisseur et il est facile de s'en servir pour assurer tant le réglage des rouleaux que la rectification des erreurs, de façon à fabriquer des feuilles d'épaisseur uniforme.

Économie : 1.000.000 de dollars et 56 années

LE contrôle de l'écoulement du pétrole à travers les longs pipelines est un autre exemple d'utilisation directe. Il est rare qu'une telle canalisation puisse servir longtemps à débiter une même qualité ou un même type de pétrole; les pompes y font couler successivement des pétroles différents. Or, il est important de signaler, à l'arrivée, quand une qualité ou une livraison va commencer à en remplacer une autre dans la canalisation. A cet effet, on introduit aujourd'hui une petite quantité de pétrole radioactif entre chaque lot à l'entrée du pipe-line. Quand ce pétrole radioactif parvient au poste de réception, lequel peut être situé à des centaines de kilomètres, les compteurs de radiations le détectent aussitôt; il ne reste plus alors qu'à régler les valves pour que le liquide se déverse dans une autre citerne.

Un autre exemple fourni par l'industrie pétrolière illustre l'utilisation des isotopes au profit de la recherche scientifique. En Angleterre, la « Shell Petroleum Company » mesure maintenant le frottement et l'usure des pièces en soumettant un segment de piston à un bombardement de neutrons jusqu'à ce qu'une petite partie de l'acier se transforme en isotope radioactif. Ce segment est alors monté sur un moteur. A mesure que celui-ci s'use par frottement, ses débris tombent dans l'huile du carter qui est alors refoulée à travers un



Au centre de recherches atomiques de Harwell (Grande-Bretagne) un mur de briques protège les opérateurs contre les radiations nocives dégagées au cours de manipulations d'éléments chimiques radioactifs. Pour placer des objets dans le creuset à isotopes (à droite) ou les retirer, on se sert par prudence de longues pinces.

(Photo Crown Copyright reserved.)



La plupart des isotopes sont conservés dans des solutions liquides. Des techniciens, protégés par un mur épais, opèrent au moyen d'un miroir (les rayons radioactifs frappent latéralement et non verticalement). Les bocaux sont remplis et enlevés grâce à un ingénieux système qui exécute...



...parfaitement le travail de la main de l'homme. Les bocaux dans lesquels les radio-isotopes sont expédiés sont protégés par des coupes d'acier, du papier absorbant, du plomb ou du ciment, suivant le genre de radiations dont il s'agit.

(Photos Oak Ridge Nat. Lab.)

(Suite page 14)

... GUIDE L'INGÉNIEUR, TRAITE LES MALADES, AUSCULTE LES PLANTES

(Suite des pages 12-13)

détecteur de radiation de grande sensibilité. Cette infime quantité d'acier faiblement radioactif peut être mesurée, ce qui indique immédiatement le degré d'usure du moteur. Grâce à une telle méthode on évite d'avoir à soumettre le moteur à de longues observations et à effectuer de délicates analyses de l'huile pour évaluer la quantité d'acier qu'elle contient, car ce système permet de déterminer en quelques minutes les effets des divers lubrifiants. La « California Research Corporation » signale qu'à la suite de recherches de cet ordre un projet d'étude des frottements qui aurait exigé soixante années de travail et coûté un million de dollars a pu être mené à bien en quatre ans au prix de 35.000 dollars. D'autres ont adopté ce procédé pour prouver que le moteur d'une automobile conduite à grande vitesse sur les routes s'use trois fois moins que celui d'une voiture utilisée en ville. Toutefois, l'ultime objectif de ces recherches est de réduire les frottements et de perfectionner la lubrification.

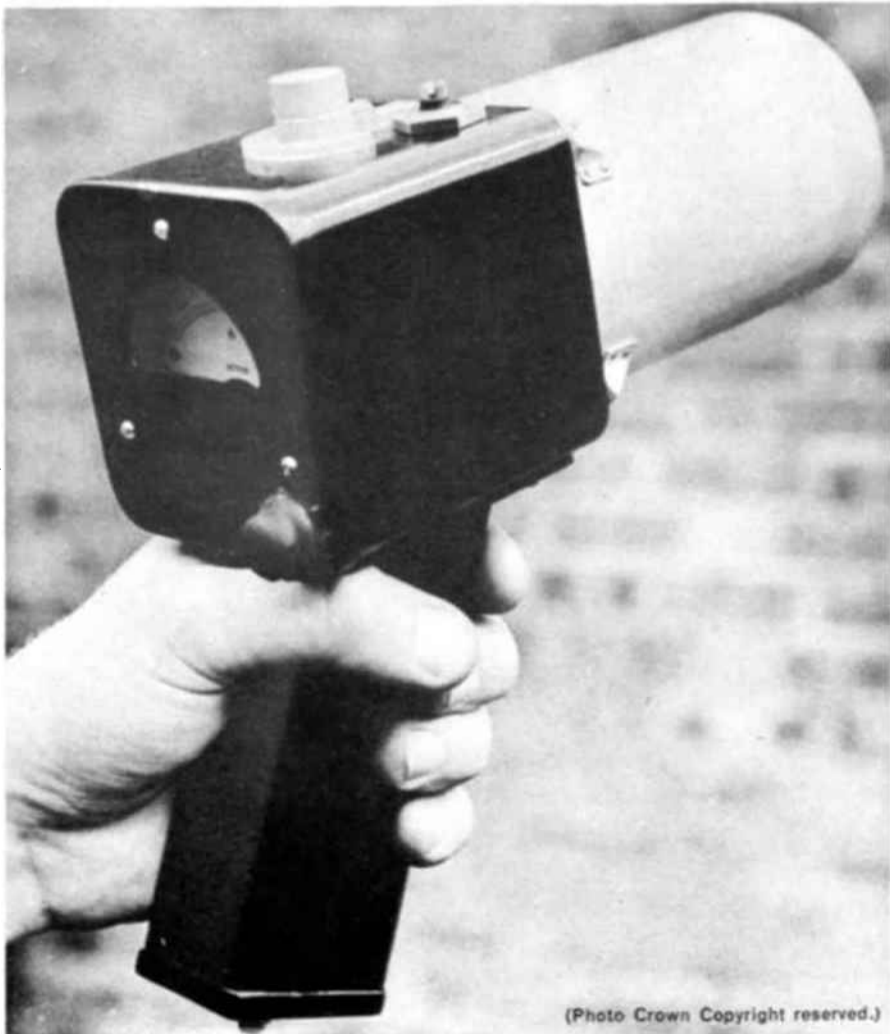
Un moteur qui marche à l'isotope

LES radiations d'isotopes radioactifs servent encore à rendre lumineuses les matières cristallines dont on enduit certaines parties des cadrans de montres et des enseignes : Les isotopes à bon marché ont maintenant remplacé le coûteux radium. Ils sont également employés dans les tubes à fluorescence ordinaires ; en effet, lorsqu'on les mélange aux matières lumineuses, ils augmentent la conductivité de l'air à l'intérieur du tube, si bien que l'allumage de la lampe se produit beaucoup plus rapidement et sous l'effet d'un courant bien plus faible.

De même, ces matières faiblement radioactives sont utilisées dans les tubes lumineux lorsque l'électricité statique risque d'y provoquer des étincelles, car leurs faibles radiations rendent l'air suffisamment conducteur d'électricité pour que l'accumulation d'électricité statique soit évitée.

L'une des applications qui pourraient se révéler le plus intéressantes à l'avenir est la construction d'un générateur électrique semi-permanent de basse puissance. Quand on applique sur une électrode de lampe à vide une couche de l'un des isotopes du strontium cette substance émet des électrons, c'est-à-dire de l'électricité négative, et acquiert elle-même une charge positive ; au cours de certaines expériences, il a été possible d'atteindre un potentiel de 365.000 volts. On s'efforce actuellement de faire marcher par ce système un petit moteur à courant continu qui n'aurait besoin d'aucune autre source d'énergie.

CE « PISTOLET » EST UN INSTRUMENT PACIFIQUE utilisé dans les laboratoires où l'on manipule des substances radioactives. Il sert à mesurer l'intensité des rayons beta ou gamma (et ainsi, à s'en préserver en cas d'excès).



(Photo Crown Copyright reserved.)

Pour étudier la structure des pièces métalliques d'autres entreprises industrielles utilisent aujourd'hui des radiations pénétrantes d'isotopes de préférence aux rayons X, dont l'emploi soulevait des difficultés. Ailleurs encore, on mesure la hauteur des liquides dans les réservoirs en plaçant un isotope dans un flotteur à la surface du liquide et en repérant la position de ce flotteur grâce aux radiations qui sont émises à travers les parois du réservoir. On peut même avoir recours à cette méthode pour mesurer la hauteur du métal en fusion dans la cuve d'un four de fonderie.

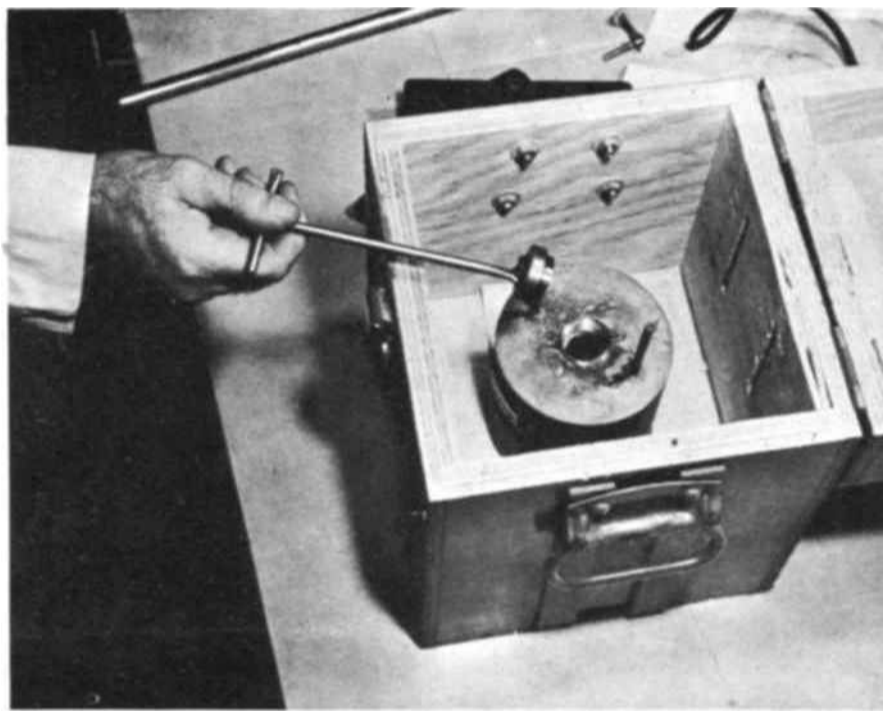
Dans tous les exemples précédents, les isotopes employés ne sont que faiblement radioactifs : suffisamment pour pouvoir être décelés à l'aide d'un instrument adéquat, mais trop peu pour constituer un danger à l'égard des être vivants. Mais il existe également des isotopes émettant un rayonnement extrêmement puissant. Dans le cas du cobalt métallique, par exemple, il est possible d'obtenir un isotope des milliers de fois plus puissant que le radium lui-même, de telle sorte qu'un petit fragment de cette substance peut donner un rayonnement aussi actif que celui d'un kilogramme de radium. Des rayons d'une telle intensité peuvent être utilisés pour la destruction de bactéries, et même de formes de vie plus évoluées.

Une autre application des plus intéressantes est la stérilisation des médicaments, des instruments et appareils médicaux, des aliments, cette opération pouvant être réalisée tout simplement en les exposant pendant quelques secondes ou quelques minutes aux radiations émises par cette forme de cobalt. De cette manière, une stérilisation complète peut être obtenue sans l'emploi de la chaleur, point très important dans le cas de médicaments qui sont décomposés par le moindre échauffement, ou pour de nombreux aliments dont la composition et le goût sont modifiés par les procédés habituels de stérilisation par cuisson.

L'utilisation la plus immédiate de ce procédé se trouvera peut-être dans la fabrication de la pénicilline, ce médicament maintenant si largement employé pour le traitement et la prévention des maladies infectieuses provoquées par des bactéries. L'ensemble de la production mondiale de pénicilline représente maintenant une valeur bien supérieure à trente-cinq milliards de francs français. Etant donné que le médicament est employé dans le corps humain, il doit être complètement débarrassé d'organismes vivants ; cette stérilisation est délicate, car la pénicilline ne peut pas être exposée à l'action de la chaleur sans subir une décomposition partielle. Dès que le prix de revient du cobalt radioactif sera un peu moins élevé qu'actuellement, il en sera



L'EXTRAORDINAIRE UTILISATION DES ISOTOPES radioactifs s'étend maintenant à l'industrie, à la médecine, à l'agriculture et aux sciences biologiques. Ici, un opérateur les emploie pour éliminer la nicotine du tabac. (Photos USIS.)



L'OUVERTURE D'UN « COLIS » D'ISOTOPES demande certaines précautions. Une clef spéciale, incluse dans l'envoi, permet de dévisser et de revisser le haut du bocal métallique sans avoir besoin de le toucher avec les mains.

employé de nombreux kilogrammes pour la stérilisation de la pénicilline.

Mais pour qu'un procédé analogue puisse être mis en œuvre dans la stérilisation des aliments, il faudra que le cobalt radioactif soit produit en plus grandes quantités et à meilleur marché. Une source de rayons très pénétrants serait alors utilisée, car le rayonnement doit être capable de stériliser complètement l'intérieur d'une tranche de viande, d'un légume ou d'un fruit assez gros. Actuellement, les jambons en conserve ne satisfont pas le consommateur à cause de leur goût et de leur incomplète stabilité. Ils pourront être stérilisés à froid par emploi des isotopes radioactifs sans que leur goût soit affecté, et ils demeureront stériles si leur surface est convenablement protégée.

Une application possible plus importante encore est la stérilisation de fruits ou de légumes frais. A l'heure actuelle, ces produits ne restent frais pendant une période très courte. S'ils étaient stérilisés à froid par des radiations, ils garderaient leur goût et, s'ils étaient ensuite convenablement emballés, pourraient être conservés très longtemps sans subir de décomposition.

Un tel procédé pourrait s'appliquer à une grande variété de produits frais : tomates, pommes, pêches, melons, noix, œufs, concombres, raisins et oranges. Etant donné que la surface seule en serait stérilisée, ils ne demeureraient pas frais pendant des mois mais pourraient être gardés pendant plusieurs semaines avant d'être vendus ou mangés. La même méthode s'appliquerait aux aliments emballés, tels que ces produits de boulangerie qui, maintenant, sont couramment vendus dans quelques pays sous emballages en papier ou en matière plastique. Un traitement superficiel au moyen de radiations les préserverait de l'altération.

La production d'isotopes radioactifs d'une telle puissance n'est pas dès à présent suffisante pour satisfaire de tels débouchés ; de plus, leur prix de revient est encore trop élevé, mais les avantages que possède la stérilisation à froid aux yeux de l'industrie alimentaire sont tels qu'ils peuvent conduire à entreprendre la production de grandes quantités de ces isotopes en vue de cette application, ce qui peut abaisser les prix de revient actuels.

Lorsque l'industrie emploiera les combustibles atomiques pour la production de grandes quantités d'énergie, on disposera en abon-

dance de ces isotopes radioactifs qui deviendront disponibles comme sous-produits.

Il n'existe pas d'application directe de ces puissantes radiations en agriculture, en biologie ou en médecine sauf dans les cas où l'on désire opérer une destruction : par exemple, le traitement d'un cancer. Mais l'emploi des isotopes radioactifs dans ces sciences est néanmoins extrêmement répandu : on procède par une technique tout à fait différente, consistant à employer les éléments chimiques qui se trouvent dans les animaux, dans les plantes et dans leurs substances nutritives, avec une très faible adjonction de la forme radioactive du même élément.

Le mouton noir isolé au milieu des blancs

PAR exemple, les phosphates constituent une substance nutritive nécessaire à la vie végétale et rentrent dans la composition des engrais. Il est facile de produire un isotope faiblement radioactif du phosphore et de l'introduire dans le phosphate normal qui se trouve dans l'engrais. Etant donné qu'il engendre constamment un rayonnement faible et sans danger qui peut être décelé à l'aide d'instruments convenables, il est très simple de suivre la trace du phosphore dans le sol et dans la plante. Dans ce type d'applications, le phosphore radioactif sera en conséquence appelé un « traceur ».

C'est ainsi que l'on a pu acquérir des connaissances très importantes en agriculture. Des chercheurs suédois ont trouvé que le phosphate contenu dans un engrais est assimilé à peu près immédiatement par les racines de la plante quand il est répandu à la surface du sol. Des chercheurs américains ont constaté que les plantes des pâturages peuvent assimiler le phosphate qui est étalé sur leurs feuilles et leurs racines, de telle sorte que d'anciens pâturages peuvent être « rajeunis » par du phosphate sans qu'il soit nécessaire de labourer.

Un fait encore plus intéressant est que le maïs, la betterave sucrière, le tabac et le coton n'assimilent le phosphate d'un engrais qu'au cours des premiers stades de leur croissance. L'engrais répandu sur le sol plus tard dans la saison ne sert à rien pour ce genre de récoltes. Par contre, les pommes de terre assimilent le phosphate en grande quantité pen-



VUE AÉRIENNE GÉNÉRALE D'UN CHAMP dépendant du Laboratoire National de Brookhaven (Etat de New York) où sont poursuivies des expériences d'utilisation de radiations nucléaires en agriculture. Des céréales telles que le maïs sont semées dans des sillons circulaires disposés autour d'une source centrale de radiations (cobalt radioactif). On a constaté que la structure des cellules des plantes est modifiée par les rayons gamma émis par le cobalt radioactif.

dant tout le temps de leur croissance. Enfin, il a été montré que l'acide phosphorique ajouté à l'eau d'irrigation est tout aussi efficace que l'engrais répandu à sec sur le sol.

Tous ces résultats furent obtenus en mesurant la quantité de phosphore radioactif décelée dans la plante vivante. Bien que cette quantité soit faible, l'atome radioactif pouvant être comparé au mouton noir isolé dans un troupeau de moutons blancs, elle permet de déterminer avec certitude le sort de la totalité du phosphore.

De nombreux autres éléments traceurs utilisés de cette manière ont donné des renseignements de grande valeur pour l'agriculteur. On a trouvé que du potassium radioactif introduit dans une sorte de peinture dont on badigeonnait la branche d'un prunier endormi pour l'hiver pénétrait dans la sève par temps de gel et se déplaçait de plusieurs pieds au-dessus et au-dessous de la branche, en dépit du fait admis jusque-là que la sève restait immobile en hiver. D'autre part, en été, le phosphore parcourt dans l'arbre un circuit complet qui le ramène aux racines toutes les vingt-quatre heures.

Une autre application agricole de cette technique des traceurs à l'aide d'isotopes radioactifs est l'étude des insectes et des champignons. Le radio-iodine a été employé pour étudier le mode de propagation du champignon qui provoque la flétrissure du chêne à partir des racines, et des racines d'un chêne à celles d'un autre. Les insecticides également peuvent être additionnés de radio-isotopes. C'est ainsi que l'on a pu montrer que les feuilles des plantes absorbent les insecticides principalement par leur face inférieure, et seulement pendant le jour.

Un tel travail a également mis en évidence la différence de comportement entre les plantes à larges feuilles et les herbes à feuilles étroites vis-à-vis des désherbants tels que le 2-4-D. Une plante à larges feuilles absorbe facilement un désherbant appliqué par pulvérisation, et en l'espace de deux heures la plante tout entière s'en trouve imprégnée. Par contre, les gazons absorbent très peu de produit, et celui qui est absorbé reste sur place sans affecter l'ensemble de la plante.

Même les moustiques peuvent être « tracés » au moyen des radio-isotopes. Les larves de moustiques qui nagent dans une solution très diluée de radio-phosphore demeurent radioactives pendant toute la durée de leur exis-

tence, et leur présence peut être décelée à l'aide de compteurs de Geiger. Le comportement des moustiques est maintenant étudié à l'aide de cette méthode, qui permet de déterminer la durée de leur vie, la distance qu'ils peuvent parcourir en volant, et la nature de leur alimentation. On pense pouvoir employer des techniques analogues sur les oiseaux pour recueillir des renseignements dignes de foi sur leurs mœurs, et plus spécialement sur leurs migrations.

On a "reconstruit" le corps de l'homme

L'EMPLOI des puissants rayons du radium, destructeurs de tissus, a été introduit dans le traitement du cancer. Leur effet est le même que celui des rayons X de puissance égale, mais un cancer peut souvent être atteint avec une petite pastille ou un tube de radium alors qu'il n'est pas facilement accessible avec un tube à rayons X. Les nouveaux radio-isotopes peuvent être employés exactement de la même façon que le radium, mais avec l'avantage que les doses de radiations réalisables sont bien plus importantes et que leur prix est bien moins élevé.

Le produit de substitution le plus courant du radium est le radioactif cobalt. Un petit cylindre de cobalt métallique de l'ordre du centimètre de hauteur et de diamètre égal donne la même intensité de rayons gamma qu'une dose de radium valant plusieurs centaines de millions de francs. Un tel fragment de cobalt pesant un peu plus de trente grammes est enfermé dans une enveloppe en métal lourd comportant une petite fenêtre à travers laquelle l'intense faisceau de rayons est dirigé vers le tissu cancéreux à traiter.

Dans certains cas, le phosphore et l'or radioactifs conviennent très bien pour des traitements de ce type. Pour des cancers de la peau, on imprègne un papier buvard ordinaire avec une solution de phosphate radioactif et, quand il est sec, on le découpe selon la dimension et la forme de la tumeur sur laquelle il est alors fixé à l'aide d'un adhésif. Le radiocobalt peut être étiré sous forme d'un fil fin ou découpé en perles minuscules qui peuvent être introduites dans la prolifération cancéreuse. Le radio-or peut être produit sous forme de tout petits grains qui peuvent être projetés directement dans le cancer au moyen d'un petit « canon ». Dans les deux cas, la

substance radioactive reste dans le cancer jusqu'à ce qu'il soit détruit.

Le radio-isotope peut aussi être injecté dans le corps ou être tout simplement avalé pour finalement se retrouver dans le torrent sanguin. Il est absorbé à partir du sang par les tissus cancéreux. C'est en effet là une caractéristique particulière des tissus cancéreux qui les différencie des tissus ordinaires : ils absorbent le radio-isotope. C'est ainsi qu'une maladie dans laquelle les globules rouges du sang se multiplient avec une telle abondance qu'ils obstruent les vaisseaux sanguins, peut être traitée par le radio-phosphore : la production des globules rouges est alors fortement diminuée pendant une période d'environ une année.

L'iode est librement absorbé par la glande thyroïde qui l'utilise pour élaborer l'hormone dénommée thyroxine. Chez les patients où la glande thyroïde est trop active, c'est-à-dire qu'elle produit de la thyroxine en trop grande abondance, on opérait autrefois chirurgicalement en procédant à l'ablation d'une partie de la glande. Maintenant, un plein verre d'une solution de radio-iodine remplit le même office puisque la glande absorbe l'iode qui y émet ses rayons, détruit l'excès de tissus thyroïdiens et ramène l'activité de la thyroïde à la valeur normale. Toutefois, il ne s'agit pas ici d'un état cancéreux, et le véritable cancer de la thyroïde n'est en fait pas facilement traité par le radio-iodine.

Dans quelques applications de cette sorte, les radio-isotopes se sont révélés extrêmement intéressants. Toutefois, en médecine, ils sont peut-être encore plus précieux pour la recherche que pour les traitements proprement dits : ils permettent de suivre les processus chimiques et physiologiques dans le corps. Les isotopes employés sont ceux qui donnent des rayons faibles et sans danger, mais qui peuvent être facilement décelés au moyen d'instruments convenables suffisamment sensibles. Dans certains cas, on a recours à des isotopes, tels que l'eau lourde, qui ne sont pas radioactifs et doivent être décelés au moyen de méthodes plus compliquées.

Un des premiers résultats de l'utilisation des isotopes « traceurs » fut une découverte surprenante : tous les tissus du corps sont le siège d'un processus constant de renouvellement. Il était naturel de penser que le corps est une sorte d'édifice stable qui n'utilise les aliments que pour entretenir sa chaleur et remplacer les « pièces usées ». Telle n'est pas la vérité. Lorsqu'on mange des graisses dans

lesquelles certains des atomes d'hydrogène ont été chimiquement remplacés par de l'« hydrogène lourd », la nouvelle graisse est déposée dans les couches grasses du corps tandis que les graisses plus anciennes, déjà emmagasinées dans les tissus, sont brûlées pour produire de la chaleur.

De même, l'absorption de protéines contenant de l'« azote lourd » permet de constater l'existence de processus analogues : les protéines fraîches sont employées à la constitution de tissus, de muscles et de globules sanguins, tandis que les protéines déjà présentes sont oxydées et excrétées. Chaque partie du corps est donc constamment en reconstruction grâce à un échange continu de nouveaux matériaux provenant des aliments et qui viennent remplacer les matériaux existants. En un temps relativement court, de l'ordre de quelques semaines ou de quelques mois, le corps de chaque homme, de chaque animal est ainsi complètement « reconstruit ». Même les os sont reconstitués, et la seule exception est le fer, principalement dans les globules du sang, qui n'est pas rapidement remplacé par les nouveaux atomes de fer apportés par les aliments. Il s'agit là d'un processus fondamental de la vie, mais qui n'aurait probablement jamais été découvert sans l'emploi des isotopes traceurs.

600 isotopes à notre disposition

LES animaux et les plantes peuvent rarement distinguer entre les atomes ordinaires et les isotopes non naturels. Le fait que nous ayons à notre disposition plus de six cents isotopes, dont quelques-uns en grandes quantités, a rendu possible l'étude d'un très grand nombre de réactions biologiques, de telle sorte que la technique des traceurs a fourni à peu près autant de renseignements sur les êtres vivants et sur le processus vital lui-même que l'avait fait le microscope au cours des quelques premiers siècles qui suivirent son invention. Cela est en partie dû au fait qu'un atome d'isotope peut être suivi à travers une longue succession de transformations.

La fonction réelle des vitamines et leur mode d'action au cours de la nutrition restaient fort mystérieux : les traceurs ont récemment permis d'élucider ce mystère, bien que ce soit là une trop longue histoire pour qu'elle

(Suite page 16)

TROIS CENTES SIÈCLES D'ÉTAT CIVIL DU GLOBE GRACE A L'HORLOGE A MESURER LE PASSÉ

(Suite des pages 14-15)

puisse être racontée ici. Donnons cependant un exemple : des biologistes introduisent du radio-phosphore et du radio-cobalt dans le milieu de culture sur lequel se développe la moisissure *Streptomyces griseus*. La moisissure assimile les isotopes et les emploie pour élaborer la vitamine B-12, et ils peuvent être décelés par leurs rayons aussi bien dans la moisissure que dans la vitamine qui en est ultérieurement extraite. Par conséquent, une vitamine radio-active peut être ajoutée aux aliments d'êtres humains, et l'on pourra suivre son acheminement au cours des divers processus chimiques dont le corps est le siège.

La recherche de ce type la plus riche de promesses est l'étude du processus grâce auquel les plantes vertes opèrent la synthèse de leur substance à partir de l'eau et du gaz carbonique de l'air. Cette réaction est à la base de toute vie puisque sans elle il ne pourrait pas y avoir de plantes vertes, et puisque toutes les autres plantes et tous les animaux dépendent de l'existence des plantes vertes. Il s'agit là d'une réaction apparemment simple au cours de laquelle la molécule d'eau et celle de gaz carbonique sont combinées, perdent une certaine quantité d'oxygène, et forment des sucres, des amidons, de la cellulose et ultérieurement des espèces chimiques plus compliquées.

Néanmoins, personne ne sait comment s'y prend la plante et l'homme est incapable de reproduire la réaction. Mais l'existence d'un isotope faiblement radio-actif du carbone a déjà donné beaucoup de renseignements et permettra peut-être, d'ici un an ou deux, d'expliquer complètement ce mystère. L'homme ne pourra probablement pas pour autant se passer des plantes pour se procurer sa nourriture, mais la production des aliments par les plantes pourra fort bien être grandement améliorée. Un des plus grands besoins de l'humanité est l'accroissement des ressources en produits alimentaires et l'étude de cette réaction constitue le meilleur espoir d'un accroissement des disponibilités en aliments, qui pourront peut-être être doublées.

La méthode consiste à former du gaz carbonique contenant une faible proportion d'un isotope radio-actif du carbone. On obtient ainsi du « gaz carbonique lourd » qui est employé par les plantes en présence de la lumière solaire exactement comme si l'on était parti de carbone ordinaire. Il en résulte que le carbone radio-actif entre dans les tissus des végétaux et que sa présence et son emplacement dans la plante peuvent être immédiatement décelés. Lorsque les feuilles vertes de certaines plantes sont ainsi exposées au gaz carbonique radio-actif pendant seulement une minute, on trouve ensuite dans la feuille au moins cinquante composés chimiques différents, en quelque sorte « étiquetés » par le carbone radio-actif.

Lorsque le temps d'exposition à la lumière solaire est réduit à deux secondes, la feuille a déjà eu le temps d'élaborer deux ou trois composés à partir du gaz carbonique de l'air.

Il apparaît que les premières substances élaborées par la plante sont des dérivés de l'acide phosphoglycérique, produits intermédiaires dans le processus aboutissant à la formation du sucre de fruits ou de grains. Après deux minutes d'exposition, les essais de caractérisation du radio-carbone montrent que les protéines et les graisses elles-mêmes continement déjà le nouveau carbone qui vient d'être tiré de l'atmosphère. Les études détaillées de ces réactions sont actuellement en cours et le mécanisme complet de cette synthèse végétale fondamentale sera connu dans un très proche avenir.

L'étude du processus dans différentes plantes a démontré que les premiers stades de la réaction sont les mêmes dans toutes les plantes. Ce n'est qu'ultérieurement qu'il prend des directions différentes pour aboutir à la production de composés qui sont caractéristiques de chaque plante, tels que les parfums, les colorants et les substances médicamenteuses.

Des expériences analogues portant sur les animaux ont révélé un grand nombre de faits inconnus en ce qui concerne leur métabo-

lisme, c'est-à-dire les processus chimiques qui se produisent au cours de la digestion et de l'édification des tissus du corps. Elles se poursuivent simultanément à l'Université de Californie aux Etats-Unis et à l'Institut National de Recherches Laitières à Shinfield (Angleterre) pour l'étude de la production du lait par les vaches. La vache est en quelque sorte une machine de très haut rendement pour la transformation de produits végétaux en précieuses denrées alimentaires à l'usage de l'homme et sa chimie pourra vraisemblablement être améliorée grâce aux résultats de telles recherches.

Un chapitre de plus est à porter à l'actif des réalisations des radio-isotopes : ils ont fourni une nouvelle méthode de mesure du temps historique. Ils ont apporté des réponses aux questions concernant l'âge d'arbres et d'animaux enterrés depuis longtemps, de squelettes humains et de constructions humaines des siècles passés. Ils ont permis de dater la Période Glaciaire et sont capables de fixer avec précision les dates de nombreux évé-

parer avec le carbone total et par conséquent d'estimer la date à laquelle la plante ou l'animal sont morts. Par cette méthode, il est maintenant possible de fixer la date exacte à laquelle vivaient les êtres dont nous retrouvons les squelettes enterrés, le bois retrouvé dans les anciennes constructions, les restes calcinés des foyers préhistoriques et même les matériaux organiques de la boue.

C'est ainsi que des savants de l'Université de Chicago ont pu montrer que le charbon de bois provenant de l'ancien site de Shaheinab près de Khartoum (Soudan) constituait les restes d'arbres qui poussaient il y a 5.060 ans, tandis que les coquilles de bivalves trouvées au même lieu furent tirées de la mer il y a 5.446 ans. A Jarmo, en Irak, subsiste l'emplacement d'un ancien village où l'on retrouve les vestiges les plus reculés d'entrepôts de grains et d'industrie alimentaire. On a montré que leur âge était de 6.695 ans. Un lin-teau maya fut sculpté il y a 1.470 ans, tandis que les fameux alignements mégalithiques situés près de Salisbury, en Angleterre et

Un problème perpétuellement posé est celui de l'origine du pétrole. La plupart des spécialistes faisant autorité en la matière estimaient que le pétrole qui se trouve sous les roches anciennes doit s'être formé il y a environ un million d'années, mais les essais ont montré qu'il était de formation relativement récente et qu'il s'accumule sous terre en des points favorables et non toujours aux emplacements où vécurent les animaux et les plantes à partir des restes desquels il fut produit.

La découverte la plus surprenante est peut-être celle qui concerne la circulation de l'eau dans les océans. A la surface, l'eau de l'océan contient la proportion normale de radio-carbone et de carbone ordinaire mais, dans les régions arctiques, l'eau superficielle gagne les profondeurs et l'on sait qu'elle se meut lentement en suivant le fond de l'océan pour se diriger vers les tropiques, de telle sorte qu'elle est en constante circulation.

Des mesures effectuées sur des échantillons d'eau prélevés en profondeur dans l'Atlantique en face de Terre-Neuve montrèrent que les matières organiques contenues dans cette eau étaient vieilles d'environ 1.500 ans. Il faut donc plusieurs milliers d'années pour que les lents courants océaniques ramènent vers le fond les eaux de la surface et portent à la surface les eaux abyssales.

Une autre date intéressante est celle à laquelle il faut remonter pour la dernière Période Glaciaire, où une épaisse carapace de glace recouvrait le nord de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique. Elle a pu être déterminée en mesurant l'âge des arbres et des débris de bois qui reposent sous les graviers déposés par les glaciers. Ces restes remontent à 11.000 ans. Ceci a été confirmé par une étude des boues déposées le long des côtes et plus particulièrement dans les deltas des grands fleuves. Au cours de la Période Glaciaire, il y avait tant d'eau solidifiée dans les glaciers que le niveau de l'océan était beaucoup plus bas qu'aujourd'hui. C'est ainsi que, à son point le plus bas, le niveau de la mer était à 27 m. au-dessous du niveau actuel ; il y a 9.000 ans, il était à 23 m. au-dessous ; il y a 7.000 ans, à 17 m. et il y a 3.000 ans, à 8 m. au-dessous. Le niveau de la mer est encore en train de monter, car les glaces arctiques et antarctiques fondent.

Un problème qui fut posé il y a longtemps est celui de l'âge de la Terre. Au cours du siècle dernier, les estimations ont varié de quelques millénaires, conformément aux indications des documents bibliques, à de nombreux millions d'années. La mesure la plus digne de confiance et qui est maintenant à peu près généralement acceptée, est basée sur la radio-activité de l'uranium et sa lente transformation en plomb. La période de l'uranium, au cours de laquelle son activité décroît de moitié, est de 700 millions d'années. C'est parce qu'elle est si longue qu'il y a encore de l'uranium sur la terre en dépit de sa constante décomposition en plomb. En mesurant la quantité d'uranium maintenant présente, et la quantité de plomb qui s'est trouvée formée à partir de la quantité primitive d'uranium et en comparant les chiffres obtenus avec l'allure connue de transformation de l'uranium, on peut en déduire l'âge de la Terre et l'on trouve qu'il est approximativement de trois milliards d'années.

Les radio-isotopes ont donc ouvert un nouveau chapitre de la science en fournissant une horloge digne de confiance pour la mesure du temps depuis les origines. L'universalité des applications des radio-isotopes en science, en médecine, dans l'industrie et dans l'agriculture est impressionnante. Pourtant, jusqu'à présent, on n'a pu disposer que de faibles quantités de radio-isotopes. Si un jour l'énergie atomique — et par conséquent les piles atomiques — est couramment employée dans le monde, la production des radio-isotopes, précieux résidus du fonctionnement des piles, s'accroîtra considérablement. On peut donc affirmer que les emplois directs des isotopes et les découvertes scientifiques qu'ils permettront de réaliser concourront à accroître grandement et à multiplier à la fois les connaissances de l'homme et sa puissance.



UN RÉCIPIENT CONTENANT DU COBALT RADIOACTIF et placé dans une cuve remplie d'eau a pu être photographié grâce à la seule luminosité de l'eau "éclairée" par les puissants rayons gamma émis par le cobalt. (L'ombre noire est une partie de la corde qui sert à tenir la cuve). (Photo Brookhaven Nat. Lab.)

ments qui se sont produits au cours des trente derniers millénaires.

La méthode est basée sur le fait qu'il existe une proportion très faible mais définie d'isotope radioactif du carbone dans tout le gaz carbonique de l'atmosphère. Etant donné que toutes les plantes édifient leurs tissus à partir de ce gaz carbonique et que tous les animaux le respirent, la proportion du carbone radioactif au carbone ordinaire dans tous les êtres vivants est la même et est bien connue. Aussitôt qu'un animal ou une plante meurt, l'échange du carbone avec le milieu environnant cesse. Un grand nombre de ces organismes est enterré et est partiellement conservé.

Dès lors, une lente variation dans la proportion des deux isotopes se produit. L'isotope radioactif émet son rayonnement et devient inerte, de telle manière qu'il cesse d'être décelable. Mais il s'agit là d'un processus lent. Une quantité quelconque de carbone radioactif est réduite de moitié en 5.568 ans, puis la moitié subsistante est elle-même réduite de moitié — pour donner par conséquent le quart de la quantité primitive — à la fin d'une nouvelle période de 5.568 ans. Toutefois, après environ 30.000 ans, la quantité restante est trop petite pour pouvoir être mesurée. Mais pendant ces trente millénaires, il est possible de mesurer la radioactivité du carbone présent, de la com-

connus sous le nom de Stonehenge sont vieux de 3.800 ans et remontent par conséquent à l'an 2000 avant Jésus-Christ. Une paire de sandales de corde, en si bon état de conservation qu'elle paraît avoir été jetée seulement hier, fut trouvée dans une caverne de l'Orégon, aux Etats-Unis. Les mesures montrèrent qu'elle était vieille de 9.000 ans.

Une autre question qui se posa récemment fut celle de l'âge d'un rouleau manuscrit du Livre d'Isaïe, constituant une partie du Vieux-Testament. Avait-il été écrit à l'époque du Vieux-Testament, ou s'agissait-il d'une copie ou d'une contrefaçon remontant seulement au moyen âge ? L'analyse prouva qu'il fut écrit il y a environ 2.000 ans, mais il fut impossible de décider s'il avait été écrit avant ou après la vie du Christ.

La date la plus ancienne ainsi fixée pour l'histoire de l'humanité est jusqu'à présent celle des vestiges de la caverne de Lascaux, dans le Sud-Ouest de la France, site de la fameuse peinture du mammoth, espèce maintenant complètement éteinte. Les analyses montrèrent que cette caverne était habitée et utilisée par l'homme il y a environ 15.500 ans. Par ailleurs, il subsiste des restes de chair et de poils de l'ancien super-bison d'Alaska qui remontent à plus de 28.000 ans et pourtant la chair est en état de conservation suffisant pour que les chiens arctiques puissent s'en nourrir.

La TV Japonaise à l'école

par Henry Cassirer

Depuis le début de 1953 les émetteurs de Tokio, d'Osaka et de Nagoya ont introduit la TV dans les foyers japonais aux côtés de la radio.



DANS le monde entier, les enseignants sont toujours à la recherche de nouvelles méthodes leur permettant de secouer la routine de l'enseignement, de méthodes vivantes, de moyens de captiver l'imagination et de susciter l'enthousiasme des jeunes. En ce moment, se déroule au Japon une expérience particulièrement intéressante dans ce domaine. Les enseignants viennent d'unir leurs efforts à ceux de la radio et de la télévision nationales. Ensemble, ils s'efforcent de déterminer le meilleur moyen de mettre le pouvoir magique de la télévision au service des jeunes générations japonaises.

Il s'agit essentiellement, au moyen de cette nouvelle expérience, de déterminer dans quelle mesure le pouvoir évocateur de l'image animée peut aider l'enfant à assimiler de notions qui, jusqu'à maintenant, quel que soit le talent du maître, étaient trop abstraites pour qu'il puisse les comprendre facilement. Déjà, des photographies et des films fixes, le cinéma et la radio ont été employés à cette fin. Aujourd'hui les maîtres japonais vont plus loin encore dans cette voie. De même que des enseignants français, américains et de quelques autres pays, ils mettent à l'épreuve les vertus éducatives de

la télévision. Voici comment : Tous les jours, à une heure de l'après-midi, la chaîne nationale transmet un programme de quinze minutes, destiné aux écoles, sur les émetteurs de télévision mis en exploitation depuis le début de 1953 à Tokio, à Osaka et à Nagoya.

Quelques écoles de l'enseignement élémentaire et de l'enseignement secondaire du premier cycle ont été choisies aux environs de la capitale pour servir de classes-témoins. C'est probablement l'aspect essentiel de cette expérience. En effet, la télévision éducative est un moyen nouveau, dont les techniques n'ont pas encore été mises à l'épreuve. Avant d'apprendre aux enfants à tirer parti de la télévision, il faut que les réalisateurs des programmes fassent eux-mêmes leur apprentissage.

Cet apprentissage ne va pas toujours sans difficultés, ainsi qu'en témoigne l'exemple suivant : un des producteurs de la radio scolaire avait réalisé une série de programmes intitulés « Les Voyages de la Télévision » qui avaient pour but de montrer aux enfants les sites les plus connus du pays sous l'angle de la géographie descriptive. Le procédé de présentation était le suivant : deux enfants, un garçon appelé Terebi et une fille, Tereko, voyagent à travers le Japon et conversent avec les habitants des villes qu'ils visitent, ce qui permet de présenter aux élèves les monuments et les lieux caractéristiques avec des commentaires appropriés. Pour donner un tour original à l'émission, les rôles n'étaient pas tenus par des acteurs, mais par des marionnettes.

Des problèmes de présentation du même ordre ont surgi avec l'élaboration d'autres programmes expérimentaux, « Fables du Monde », basés sur des fables du monde entier. Mais le manque de moyens n'a pas permis de donner au côté visuel du programme un caractère assez séduisant pour rendre l'histoire vivante.

Aussi, contrairement à ce que l'on avait pu imaginer, les résultats de cette série de programmes ne furent pas très bons ; il ressort de rapports envoyés par les maîtres d'école que l'attention des enfants était entièrement absorbée par le jeu des marionnettes et que le message même que l'on désirait

transmettre, c'est-à-dire l'image et l'explication géographique, n'atteignait pas le jeune public.

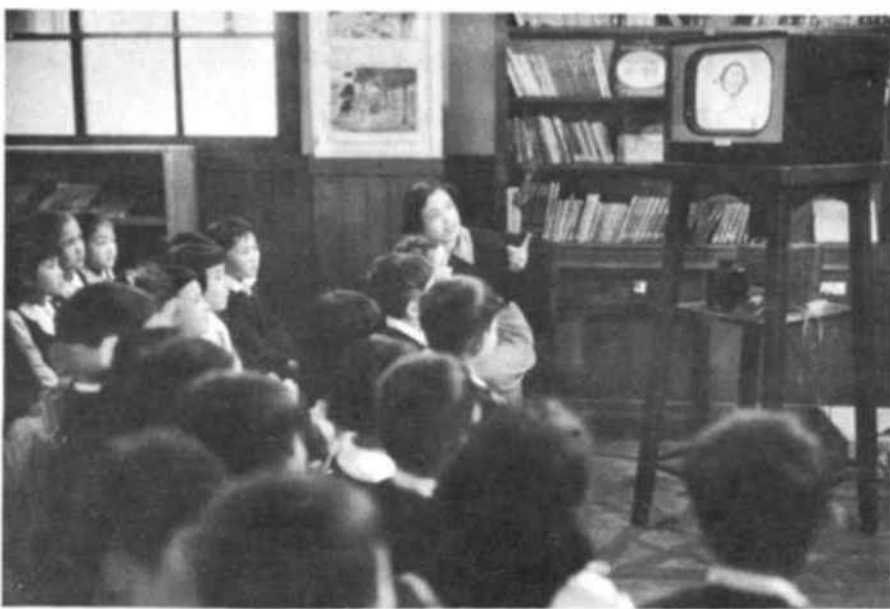
D'autres programmes, par contre, ont été un plein succès. Ainsi « la compréhension des arts classiques », émission à l'intention des élèves des écoles secondaires, réalisée avec la collaboration de spécialistes attachés à des musées ou d'un critique d'art, a remporté un grand succès auprès des jeunes de quatorze et quinze ans. Au cours de cette série, les meilleures œuvres classiques sont présentées ; la caméra attire l'œil sur leurs aspects les plus remarquables, elle aide à établir des comparaisons tandis qu'un commentateur donne les explications nécessaires et que l'on entend un fond musical classique.

Mentionnons encore une émission destinée aux enfants de six et sept ans : « Jouons avec les rythmes », véritable cours de rythmique et de danse, particulièrement bien adapté aux possibilités de la télévision. Signalons également des programmes de sciences et d'anatomie au cours desquels la télévision apporte aux élèves des richesses de laboratoires dont la plupart des petites écoles du monde n'auraient jamais osé rêver.

Dans un autre programme à succès, « Qu'est-ce que la nature ? », on donna aux enfants l'explication de nombreux phénomènes, et notamment : comment se forment les volcans, comment les vagues prennent naissance et disparaissent. Outre les photographies, films et maquettes, les producteurs de ce programme firent largement appel à des objets réels, au besoin grossis par un microscope. De bons résultats furent obtenus, malgré le nombre limité de studios disponibles.

Toutes les semaines, le « Club du Samedi » proposait aux jeunes auditeurs des ballets, des drames, de la musique instrumentale, des chœurs, de la gymnastique et des poèmes, présentés par des troupes semi-professionnelles d'enfants ou par des élèves des écoles.

La télévision se prête parfaitement à ce travail éducatif. Elle est pratique et attrayante. Pour les jeunes générations japonaises, c'est un moyen vivant et moderne, qui complète utilement l'œuvre des maîtres et des livres.



A côté des programmes réguliers, que les Japonais contemplant, comme le veut la tradition, assis par terre sur des nattes, les postes émetteurs diffusent des programmes de TV scolaire qui ajoutent à l'enseignement primaire et secondaire un élément utile et attrayant. Photos Radiodiffusion Japonaise (N.H.K.)



Le Courrier



" NOUS AVONS SACRIFIÉ L'HUMANISME A LA TECHNIQUE "

LE progrès technique est-il une arme à double tranchant ? Telle est la question à laquelle le numéro de juillet dernier du *Courrier* tentait de répondre en faisant apparaître les dangers qu'un bouleversement technologique peut provoquer dans les pays dits « sous-développés ». C'est à l'aspect spirituel du problème : « les

besoins esthétiques d'une société civilisée » que s'intéresse plus particulièrement l'ancien membre du Parlement britannique David Hardman, dans une lettre adressée à la rédaction du *Courrier* et que nous reproduisons presque *in extenso* ci-dessous car elle apporte, sur la question de l'assistance technique, d'intéressants développements.

Monsieur le Rédacteur en Chef,

EN Occident, une dure expérience nous a appris qu'une révolution industrielle peut apporter à l'humanité de grands bienfaits et, en même temps, la priver d'éléments spirituels. L'un des besoins les plus criants de notre époque est la culture originale que l'industrialisation devrait créer tout en préservant jalousement l'héritage culturel du passé. Les civilisations du Moyen-Orient, de l'Orient et de l'Afrique, qui adaptent les méthodes scientifiques et techniques à leurs propres conditions économiques, devraient se garder de tomber dans les erreurs et les lacunes de l'Occident.

Personne ne saurait ou ne voudrait s'opposer aux transformations qui s'effectuent en ce moment. Le seul moyen par lequel les populations du monde peuvent se libérer de la misère, améliorer leur alimentation, leur santé et leurs conditions de vie, est l'application des méthodes scientifiques et techniques révélées par le progrès, mais le besoin fondamental de l'esprit humain est l'existence d'une industrialisation humaine.

D'après le poète anglais Robert Bridges « la lumière électrique vient de l'Occident ». Que l'humanité profite de son rayonnement et explore l'ombre qu'elle projette.

En effet, l'homme n'a pas pour seules préoccupations la technologie et la science. Il se nourrit d'art, il a soif de religion. Alfred Whitehead, le grand philosophe, mathématicien et éducateur, dit que ces quatre soucis « sont interdépendants, que leur origine se trouve dans la mentalité de l'homme vue dans son ensemble ».

Si le bien-être matériel de l'humanité est le but de l'assistance technique, il est impossible de l'atteindre sans le secours de la science appliquée. Mais tout aussi nécessaires apparaissent l'esthétique et les humanités sans lesquelles le profond malaise spirituel et psychologique des grandes cités industrielles de l'Occident ne pourra être dissipé.

La science a donné trop d'importance aux choses et pas assez aux valeurs. Nous, Anglais, devrions être fiers de ce que la civilisation de l'ouest ait commencé par la révolution industrielle de l'Angleterre, mais celle-ci a laissé derrière elle une trainée de maux dont les Anglais tentent, depuis cinquante ans, de se débarrasser. Ces maux

proviennent des erreurs esthétiques du matérialisme scientifique comme de l'avidité grandissante des hommes.

Comme le dit Whitehead dans « La Science et le Monde moderne » en parlant du système industriel primitif en Angleterre, en Europe ou en Amérique : « Le fait que je voudrais souligner est l'aveuglement avec lequel l'homme le plus éclairé de cette époque considérait l'importance de l'esthétique dans la vie d'une nation. Même aujourd'hui je crois que nous ne l'estimons pas à sa juste valeur. »

Parlant à Londres, en 1946, sur ce thème (commenté en 1948 par T. S. Eliot dans ses « Notes sur une définition de la Culture ») je disais que l'âge de l'industrialisation et de la démocratie avait mis fin à la plupart des grandes traditions culturelles de l'Europe, dont la moindre n'était pas celle du cadre visuel, et que la fortune et le pouvoir avaient été conquis en exploitant l'ignorance et les appétits. En conséquence, la plupart des habitants du monde contemporain étaient — pour le mieux — à moitié instruits, et il se produisit un effondrement culturel qui, parti de l'Amérique, gagna l'Europe, puis l'Orient.

M. Eliot définit « la mi-éducation » comme un phénomène moderne : « Dans les temps anciens, on ne pouvait pas dire de la majorité des hommes qu'ils étaient « mi-éduqués » ou moins éduqués encore. Car ils avaient acquis l'instruction nécessaire aux fonctions qu'ils étaient appelés à remplir. Il serait incorrect de qualifier un membre de



Seuls les progrès techniques et scientifiques révélés par le progrès permettront aux populations du monde d'améliorer leurs conditions de vie ; encore faut-il pour cela que l'industrialisation soit humaine. (Photo U.N.)

la société primitive, ou un travailleur agricole de n'importe quelle époque, de « mi-éduqué », ou de « quart-éduqué ». Le danger suprême d'une industrialisation non humanisée est qu'elle menace de détruire la variété des communautés humaines, et les cultures millénaires, privant ainsi la culture contemporaine des racines qui la rattachent au passé.

Dans l'éditorial du numéro du « Courrier » sur le progrès technique, M. Alfred Métraux souligne le danger provoqué par l'impatience extrême des représentants les plus cultivés des races de couleur « qui protestent véhémentement quand les Blancs leur conseillent de maintenir leurs coutumes traditionnelles ». Cet avertissement vient à son heure. Le bien-être matériel de l'humanité peut être procuré par la science et la technologie, mais le bonheur — comme le prouvent des siècles d'erreurs commises par les différentes civilisations du monde — est une fleur plus délicate et plus fantasque, qui se nourrit d'art et de religion.

Là où l'on introduit la technologie il faut accorder une attention égale aux problèmes de l'urbanisme, à l'architecture, aux produits d'usage courant (surtout s'ils sont fabriqués en masse), si l'on veut éviter la laideur physique et morale des centres industriels occidentaux.

Les plans de la communauté doivent être inspirés par des considérations culturelles autant que techniques. Non seulement l'école mais aussi l'école et le collège des adultes devraient constituer le point de départ d'une vie esthétique et spirituelle, et quand je parle d'école ou de collège, je ne pense pas seulement à l'éducation verbale (une des grandes faiblesses de l'éducation publique occidentale) mais à l'éducation active, à l'expérience acquise par l'observation directe, déjà si étroitement identifiée avec l'Assistance technique, comme le montre le numéro de juillet dernier du « Courrier ».

L'éducation active, c'est-à-dire l'art de donner aux enfants et aux adultes le plus d'occasions de faire les choses par eux-mêmes, est vitale. Mais l'activité s'applique également à l'esthétique et à la poursuite d'objectifs d'ordre intellectuel. Ceux qui travaillent dans le domaine de l'Assistance technique devraient toujours avoir à l'esprit non seulement l'influence de la technologie sur les communautés primitives mais le danger des amusements occidentaux : cinéma, radio et maintenant télévision. Ceux-ci peuvent jouer, et jouent un rôle constructif des plus bienfaisants dans l'éducation esthétique et spirituelle, mais sont aussi susceptibles d'avoir des effets mortels en uniformisant la culture, en détruisant l'initiative des individus et des groupes, en imposant leur loi sur le royaume de l'esthétique.

David Hardman

L'homme n'a pas pour seules préoccupations la technologie et la science. Il se nourrit d'art, il a soif de religion. Ces quatre soucis ne peuvent être dissociés les uns des autres. (Photo copyright U. S. Library of Congress.)



Si les enfants suédois, dont beaucoup sont de petits citadins, savent se diriger à travers les champs et les bois, loin des grandes routes et des poteaux-indicateurs, c'est que la plupart d'entre eux suivent les cours d'orientation qui figurent au programme de toutes les écoles suédoises et dont la pratique constitue en quelque sorte un sport national. Avec leur « Silva » (boussole ordinaire, munie d'un rapporteur), que tant de petits Suédois reçoivent pour leur anniversaire, ils apprennent à lire les cartes, à reconnaître les points de repère, les accidents de terrain et à suivre des itinéraires fixes.

L'extension extraordinaire prise par ces cours d'orientation — « Orientering » en suédois — montre comment une idée très simple, exploitée intelligemment, peut apporter une contribution importante à l'enseignement. « L'Orientering » est essentiellement l'art de se diriger à l'aide d'une boussole et d'une carte. Cependant, la valeur pédagogique de cette formation, qui trouve son application dans toutes les branches de l'enseignement primaire et secondaire, est aujourd'hui reconnue et les cours d'orientation sont obligatoires dans les écoles suédoises.

On retient mieux ce que l'on pratique de bonne heure, aussi les professeurs suédois commencent, dès le début de l'école primaire, à enseigner les premières notions d'orientation à leurs élèves. Ils le font au moyen de jeux éducatifs dont le but est de développer chez l'enfant le sens de la direction et de l'observation.

Ainsi, dès l'âge de sept ans, on explique au petit Niels et à la petite Ingrid que les schémas et les plans sont en réalité des cartes très simplifiées. On leur fait dessiner le schéma de leur salle de classe, le plan de l'école et du préau, puis une « vraie » carte avec des routes et quelques points de repère. Les promenades qu'ils font en semaine et les sorties collectives du dimanche viennent bientôt compléter l'enseignement.

Au cours des deux ou trois années suivantes, les enfants se familiarisent avec le langage de la cartographie. Puis le cours d'orientation se transforme en leçon de géographie avec des incursions fréquentes dans les domaines de la topographie, du calcul, de la géométrie, du dessin, de la rédaction et de l'histoire naturelle.



Les témoignages des professeurs apportent d'intéressantes indications sur la valeur pédagogique de cette méthode : « Le tracé de cartes très simples », écrit un instituteur rural du centre de la Suède, « constitue, à mon sens, la meilleure introduction à l'étude de la géographie. Les enfants aiment tout ce qui se rapporte au dessin, et notamment les cartes, les graphiques, etc. Lorsqu'ils auront appris à dresser le plan de leur classe, de l'école et du préau, ils s'habitueront vite à regarder en « cartographes » la campagne avoisinante. Dès lors, il sera facile d'aborder l'étude de la

géographie en les intéressant à des cartes représentant l'ensemble de la Suède ou d'autres pays du monde. »

Un autre instituteur souligne la valeur de cet enseignement pour le cours de morale civique : « Grâce aux leçons d'orientation », écrit-il, « l'enfant apprend à mieux connaître la vie de sa communauté et du pays dans son ensemble; il s'intéresse aux mœurs et aux coutumes d'autres nations et d'autres peuples. »

Dans un rapport adressé au Ministère de l'Instruction Publique à Stockholm, un troisième professeur déclare : « Les cours d'orientation

tout s'il leur a fallu trouver leur chemin tout seuls. Ils s'intéressent à l'histoire des sites et des monuments visités en cours de route et se passionnent pour l'histoire naturelle et la botanique. »

Au Canada, comme en Suède, les nouvelles méthodes pédagogiques s'inspirent largement du système de « l'orientation ». Les enfants apprennent à se servir d'une boussole dès l'école primaire, mais on évite au début les explications compliquées relatives à ses applications en géométrie. (Un professeur a constaté que ses élèves, parlant de leurs promenades, ne citaient jamais les points cardinaux, mais se référaient aux degrés de la boussole; ils disaient : « Je suis allé vers 90° (Est) », ou : « j'ai pris la route au 180° (Sud) », etc. Dans les classes plus avancées, la géométrie trouve son application pratique dans les activités d'orientation : les écoliers apprennent alors à repérer, à mesurer les altitudes et les distances. Cette formation permet également d'aborder sous un angle pratique l'étude de l'histoire naturelle et de la botanique.



Conçus à l'origine comme une sorte de jeu scout, les exercices d'orientation ont fait leurs preuves et leur valeur est aujourd'hui reconnue en Suède par tous les membres du corps enseignant. La naissance du mouvement remonte à trente ans. A cette époque, un chef scout, le Major Ernst Killander, s'inquiétait de voir les jeunes garçons confiés à sa garde consacrer le plus clair de leurs loisirs à assister à des matches sportifs sans y participer. Un dimanche matin, il leur proposa un nouveau jeu : il fixa un objectif pour chaque membre de sa troupe, distribua des boussoles et des cartes, et laissa aux garçons le choix d'emprunter la grande route ou de partir à l'aventure, par monts et par vaux. Cette initiative connut un grand succès et l'idée fut bientôt adoptée dans tout le pays. Aujourd'hui, « l'Orientering » est, en quelque sorte, le sport national suédois.

En Suède, plus de 350.000 enthousiastes (dont 135.000 adultes) participent chaque année au concours « d'Orientering », tandis qu'au Canada, l'enseignement de cette nouvelle « matière scolaire » est obligatoire dans toutes les écoles de la province d'Ontario. Des brochures sur ce sport éducatif ont paru dans plusieurs pays, notamment en Suisse alémanique, et le manuel « d'Orientering » suédois, publié en 1943, s'est vendu à 150.000 exemplaires.

L'importance du mouvement dépasse cependant le cadre du sport et des jeux. Sa valeur pédagogique est aujourd'hui reconnue dans de nombreux pays. C'est une forme d'enseignement grâce à laquelle les vocations les plus diverses se sont révélées : forestiers, explorateurs, savants, ingénieurs, botanistes, etc. C'est, en tout cas, pour les enfants, un jeu passionnant.

Yves du Guerny

"ORIENTERING..."



Insjön veut dire en suédois « le lac ». C'est là que cet écolier d'Enskede, près de Stockholm, s'est promené un dimanche. En classe, grâce à des indications cartographiques très simples, il retrace au tableau noir les différentes phases de son excursion, qui sont restées gravées dans sa mémoire. (Photos Unesco et U. N.)



...OU LA GÉOGRAPHIE EN PLEINS CHAMPS

constituent une excellente préparation à d'autres branches du programme. Habités dès leurs premières années d'école à observer les phénomènes de la nature, les enfants ont plus de facilités pour décrire le monde qui les entoure. Au retour d'une promenade, mes élèves sont tout joyeux de rédiger leurs impressions, sur-

terring », mot suédois qui signifie l'art de s'orienter, est un cours qui figure au programme de toutes les écoles de Suède et dont la préparation se fait dans la classe même. C'est aussi un véritable sport national. (Photos Unesco.)

Nul ne s'étonne, en Suède, de rencontrer en pleine campagne, seuls ou en groupes, des enfants qui partent à l'aventure, munis d'une boussole et d'une carte. Ils s'amusent, bien sûr, mais en même temps ils s'instruisent, car « Ori-

terring », mot suédois qui signifie l'art de s'orienter, est un cours qui figure au programme de toutes les écoles de Suède et dont la préparation se fait dans la classe même. C'est aussi un véritable sport national. (Photos Unesco.)



LATITUDES ET LONGITUDES

L'ART POUR TOUS : Une association norvégienne, « L'Art à l'usine », vient de préparer une cinquantaine d'expositions itinérantes à l'intention des ouvriers des entreprises industrielles. D'autre part, des reproductions d'œuvres d'artistes contemporains ornent toutes les cabines du nouveau cargo mixte norvégien, le « Buenos-Aires » ; tandis que des aquarelles et des eaux-fortes sont exposées dans le mess de l'équipage du « Moria », autre grand navire de commerce norvégien.

★ **ETUDES A L'ÉTRANGER** : Près de mille jeunes Américains poursuivront leurs études à l'étranger durant l'année 1954-55, grâce aux bourses octroyées par le gouvernement des États-Unis, aux termes du programme d'échange Fulbright et de la convention de Buenos-Aires.

INSTRUCTION : D'après un rapport établi à l'occasion du quatrième anniversaire de la loi mexicaine organisant une campagne obligatoire contre l'analphabétisme, plus de 7.000 centres d'instruction collective ont été créés dans des communautés mexicaines ne disposant pas, auparavant, d'écoles en nombre suffisant. 3.000 autres centres ont été créés pour faciliter le travail des écoles régulières. Ainsi, au cours de ces quatre années, plus de trois millions d'adultes ont appris à lire et à écrire.

★ **MUSIQUE** : Une école professionnelle, où seront formés les maîtres itinérants attachés aux Centres Musicaux Ruraux, a été inaugurée récemment dans la région parisienne. Cette institution a été créée sous les auspices de la Fédération des Centres Musicaux Ruraux de France, dont le but est d'éveiller chez les jeunes campagnards le goût et l'appréciation de la musique. Le programme du nouveau centre comprend notamment des cours d'harmonie, d'histoire de la musique, de culture vocale, de chant et de diction, voire de danse, ainsi que des visites culturelles — théâtres, concerts, etc. — et des conférences sur l'éducation populaire dans les régions rurales.

MATÉRIEL D'ENSEIGNEMENT : L'Association « pour la diffusion du matériel d'enseignement des mathématiques » dont le siège est à Leicester (Angleterre), vient de commencer la publication d'un bulletin destiné à renseigner les professeurs sur les derniers perfectionnements réalisés dans ce domaine. Cette publication décrit les méthodes et les appareils utilisés ou essayés dans les écoles primaires et secondaires, les collèges techniques et les universités en Angleterre et à l'étranger. Le premier numéro contient des articles sur « la pensée mathématique et l'utilisation des sens », et « l'enseignement des propriétés du cercle » ; il donne aussi une liste des auxiliaires pédagogiques utilisés dans diverses écoles ainsi que des films et films-fixes réalisés à l'intention des classes de mathématiques.

★ **FESTIVAL** : Grâce à des enregistrements sur microsillons, les meilleures interprétations musicales européennes seront prochainement mises à la portée du public américain. Déjà, parmi les organisateurs des principaux festivals de musique de l'Europe, seize ont accepté l'idée de cet arrangement, patronné par le Centre culturel européen de Genève. Les enregistrements seront pris au cours des festivals et distribués aux États-Unis suivant un système comparable à celui des clubs littéraires.

SPORT : L'Unesco vient de demander à ses soixante-neuf États membres de lui faire connaître leurs suggestions sur les meilleurs moyens d'utiliser les sports à des fins éducatives. L'Organisation leur demande également qu'on informe de ce qui se fait déjà dans ce domaine dans les différents pays. L'Unesco soumet aux États membres quelques idées sur les mesures qu'elle pourrait prendre : par exemple, l'organisation d'études comparatives sur le rôle du sport dans les différents systèmes éducatifs. Les États membres sont appelés à se prononcer également sur la possibilité qu'une initiative de l'Unesco soit prise dans le cadre d'un événement sportif international tel que les Jeux Olympiques de 1956.

★ **SCOLARITÉ GRATUITE** : Le Gouvernement du Cachemire vient d'annoncer qu'à partir de cette année toutes les écoles du pays seront gratuites « du jardin d'enfants au doctorat ». On compte actuellement au Cachemire dix écoles secondaires et treize cent quarante-neuf écoles primaires avec un total de cent dix mille élèves.

CLASSES AÉRIENNES : La Faculté des Sciences de l'Université de Paris compte désormais un certain nombre de cours qui se donnent régulièrement à bord d'avions. Cette initiative remonte déjà à quelques années. On s'était aperçu que l'étude, faite en avion, des conditions atmosphériques et des rayons cosmiques, offrait de grands avantages. Il s'est avéré que les étudiants apprennent beaucoup plus en un seul vol qu'après de nombreuses heures consacrées à l'étude de cartes géographiques. Jusqu'ici ces vols d'études ne se faisaient qu'au-dessus de la France, mais les autorités universitaires françaises ont déjà été invitées à organiser des excursions aériennes au-dessus de la Suisse et de la Suède. Des enquêtes du même genre seront menées au-dessus de la Hollande et de la Belgique.

★ **INSTRUCTION SUPÉRIEURE** : Du 5 au 12 octobre dernier a eu lieu à Madrid et à Salamanque une assemblée des universités de langue espagnole. L'ordre du jour de cette réunion, à laquelle

nales, d'intensifier les échanges d'étudiants et autres échanges culturels, les recherches dans ce domaine, ainsi que l'éducation des adultes. Selon le Dr Howard E. Wilson, qui dirige l'exécution du projet qui lui a été confié par la Fondation Carnegie pour la Paix, il existe déjà plus de 600 clubs de relations internationales et 200 à 300 clubs en faveur des Nations Unies ou d'un gouvernement mondial, avec une effectif total dépassant 100.000 étudiants. Ces clubs entretiennent des relations avec les collèges et universités américains, ce qui constitue une première base de travail.

ESPERANTO : L'Université populaire de Zurich a institué cet hiver des leçons d'espéranto. Il s'agit plus que d'un simple cours, mais d'une entreprise internationale qui permettra à ses participants, pendant la durée du cours, d'entrer en relations avec les étudiants d'autres pays. En effet, en même temps qu'à Zurich, des cours analogues ont été organisés dans les universités populaires ou autres institutions éducatives des villes de Copenhague, Bruxelles, Strasbourg, Paris, Londres, Manchester, Stuttgart, Florence, Parme et Salzbourg. Pour faciliter les échanges de correspondance, le programme de ces divers cours a été unifié.

★ **LE THÉÂTRE, SALLE DE CLASSE** : Afin de compléter l'œuvre poursuivie dans la Vallée du Mezqui-

JUNES SAVANTS : Un groupe d'élèves du lycée de Watford, près de Londres, a participé cette année à une expédition dans la mer du Nord, afin de recueillir des informations scientifiques sur les vents, les vagues et les marées, et des spécimens de la flore et de la faune sous-marines. Il s'agissait de démontrer que les enfants peuvent utiliser pratiquement ce qu'ils apprennent en classe et réaliser des recherches d'une réelle utilité. Les enfants se sont embarqués à Grimsby, port du nord de l'Angleterre, à bord de six chalutiers dont chacun avait pris à son bord un biologiste, avec un élève comme assistant. Un professeur de géographie accompagnait l'expédition.

★ **LE MANQUE D'INSTITUTEURS** : L'année 1952 a vu l'introduction en Côte de l'Or de l'éducation primaire gratuite, entreprise particulièrement audacieuse dans un pays dont l'administration autonome en est encore à ses premiers pas. Le problème central continue d'être posé par le manque d'instituteurs en nombre suffisant. Le gouvernement a l'intention de créer dix nouvelles écoles normales et de doubler la capacité des six écoles fonctionnant actuellement. On calcule que, dès que ce plan aura pris son plein essor, il sera possible de former près de deux mille maîtres par an.

ECHANGES SCOLAIRES : Selon un communiqué du ministère de l'Éducation de la Basse-Saxe (République fédérale d'Allemagne), 5.602 écoliers et écolières du pays ont participé l'an dernier à des échanges de correspondance avec des écoliers d'autres pays. Pendant la même période, les échanges de maîtres et d'élèves des écoles secondaires se sont fortement intensifiés. C'est ainsi que 3.946 élèves (contre 1.929 en 1951) et 664 maîtres (contre 287 en 1951) ont pu faire un séjour à l'étranger.

★ **MANUELS DE LECTURE** : A la suite d'une période expérimentale de trois ans, le « Commonwealth Office of Education » d'Australie vient d'éditionner les trois premiers livres d'une série de six manuels, de lecture destinés aux enfants aborigènes du Territoire du Nord. Ces manuels illustrés en couleurs, utilisent un vocabulaire et des expressions grammaticales soigneusement gradués. Ils sont accompagnés du matériel didactique nécessaire et d'une notice explicative pour le maître.

AMIS DE PLUME : Afin de favoriser l'échange de lettres entre écoliers de divers pays, le gouvernement autrichien vient d'émettre un nouveau timbre postal destiné exclusivement à la correspondance scolaire internationale.

★ **PAPIER DE PRESSE** : C'est la chaleur dégagée par les entrailles de la terre qui procurera la puissance motrice nécessaire au fonctionnement des premières grandes usines néo-zélandaises de fabrication du papier de presse, actuellement en construction à Te Teko (Île du Nord) et dont la production commencera en octobre 1955. Ces usines créeront un précédent par le fait que des sources naturelles d'eau chaude fourniront un approvisionnement inépuisable de vapeur à haute pression, tant pour le chauffage que pour la mise en route des turbines électriques. Le nouveau système se traduira par une économie annuelle, rien que pour le charbon, de plusieurs centaines de milliers de dollars. Le bois sera amené d'une forêt située à cinquante kilomètres de là et une nouvelle rille sera bâtie près des usines. La production prévue est de 75.000 tonnes de papier de presse et 35.000 tonnes de pulpe à papier par an, suffisante pour couvrir les besoins de la Nouvelle-Zélande et permettre une certaine exportation vers les autres pays du Pacifique.

LIVRES BRAILLE : Une nouvelle méthode d'impression en braille qui permet un travail trois fois plus rapide que le présent système en relief et revient trois fois moins cher est expérimentée en Angleterre par l'Institut National pour les Aveugles. Cette méthode rend possible un rythme d'impression de cinq mille feuilles à l'heure et peut finalement abaisser considérablement les tarifs d'imprimerie pour les livres braille. D'autre part, ceux-ci seront moins encombrants grâce à l'utilisation d'un papier plus mince, imprimé recto-verso.

LES MUEZZINS APPELLENT LES FIDÈLES A LA VACCINATION

LES Muezzins des minarets de l'Irak ont ajouté une nouvelle psalmodie à leur appel millénaire à la prière. Il s'agit d'une invitation à se faire vacciner au BCG, diffusée par des haut-parleurs installés sur leurs minarets et adressée aux fidèles entrant dans les mosquées. C'est la première fois que les Muezzins de Kut, Kufa et Nedjef mélangent au micro les soucis terrestres aux sujets divins. Ce fait souligne l'importance qu'attache l'Irak à la prévention contre la tuberculose. Il met également en valeur les moyens de propagande sans précédent employés pour mettre la population tout entière au courant de la campagne entreprise avec l'aide de l'Unicef (Fonds International de Secours à l'Enfance des Nations Unies). L'Irak est un des six pays du Moyen-Orient et un des trente-deux pays du monde auxquels l'Unicef fournit régulièrement des approvisionnements médicaux. De son côté l'Organisation Mondiale de la Santé lui fournit une aide technique dans la lutte contre la tuberculose.

(Photo copyright Editions Arthaud, Paris.)



assistaient des représentants d'une centaine d'universités hispano-américaines, comportait notamment : l'équivalence des diplômes et grades universitaires ; la formation humaniste de l'étudiant universitaire ; la nécessité d'une coordination entre la recherche scientifique et la recherche universitaire.

ETUDES OUTRE-MER : D'après une enquête de l'Unesco, 85.000 étudiants au moins ont quitté leur pays l'an dernier pour fréquenter des universités ou laboratoires étrangers. En 1951-1952, l'Europe et l'Amérique du Nord ont reçu le même nombre d'étudiants étrangers, soit, de part et d'autre, 38 % du chiffre global.

★ **COMPRÉHENSION INTERNATIONALE** : Soixante-quinze institutions d'enseignement supérieur des États-Unis examinent en ce moment comment utiliser plus efficacement les moyens mis à leur disposition pour promouvoir une meilleure compréhension internationale. Elles s'efforcent en particulier d'adapter les cours de langues, de géographie et de sciences politiques aux conditions mondiales actuelles et, dans le domaine des relations internatio-

tal par la mission de l'Institut Indigéniste Interaméricain, avec l'aide de l'Unesco, un grand théâtre en plein air sera prochainement édifié à Tasquillo, dans l'Etat d'Hidalgo, au Mexique. Les spectacles feront revivre les anciennes traditions des Indiens otomi, tout en introduisant un enseignement nouveau de nature à améliorer la santé et les conditions de vie des populations locales.

L'AGRICULTURE A L'ÉCOLE : Afin de promouvoir l'enseignement agricole dans les écoles du premier degré, le ministère espagnol de l'Agriculture vient d'annoncer l'octroi de neuf prix aux maîtres qui auront le mieux réussi à inculquer à leurs élèves l'amour de la culture de la terre.

★ **ENSEIGNEMENT TECHNIQUE** : La première « école suisse du bois » a été inaugurée à Bienne. Cette école, à laquelle une scierie, une entreprise de charpente et un atelier de menuiserie sont attachés, servira au perfectionnement des groupes professionnels intéressés ainsi qu'à la préparation de la maîtrise professionnelle.

Traduit par
l'image sainte:

CONTACT DES CIVILISATIONS



« LA CÈNE », manuscrit du British Museum de Londres, date du XII^e siècle. L'image est tirée d'une série qui illustre toute la vie du Christ. De tous les manuscrits syriaques à peintures qui nous sont parvenus, c'est le plus étrange par la maladresse et la naïveté du dessin. Il fait songer à certaines fresques émouvantes de l'Égypte chrétienne mais en même temps il a un parfum de modernité qui le rapproche de bien des recherches contemporaines. (Cliché British Museum.)

AU moyen âge, a dit Victor Hugo, le genre humain n'a rien pensé d'important qu'il ne l'ait écrit dans la pierre ». Dans cette parole, l'auteur de « Notre-Dame de Paris » n'a pas seulement donné la raison d'être de la multitude de personnages et de scènes qui ornent les portails de nos cathédrales ou animent les verres multicolores des vitraux, il a aussi, avec l'intuition du génie, découvert la valeur éducative de l'image jusqu'à l'invention de l'imprimerie.

En ce sens le moyen âge a eu une étendue bien plus longue que celle qu'on lui attribue d'ordinaire.

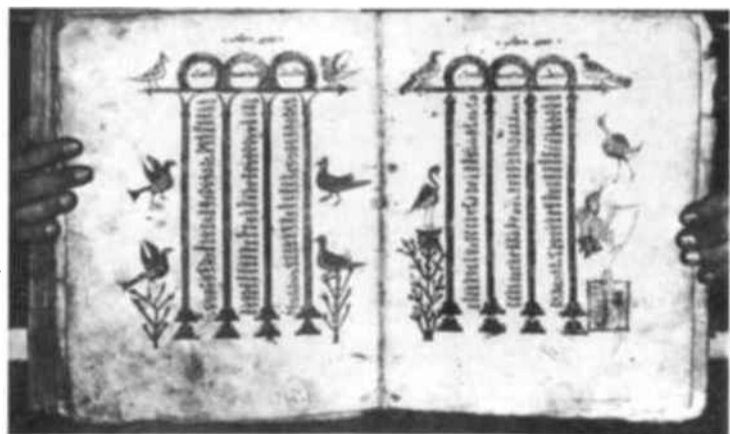
par Monsieur l'Abbé Jules Leroy

Il s'étend depuis les premières manifestations de la « culture » de l'homme préhistorique qui a peint les fresques d'Altamirra ou de Lascaux jusqu'à l'apparition d'une nouvelle forme de l'expression de la pensée. Jusqu'alors l'écriture était l'apanage des doctes. Elle supposait, chez ceux qui la connaissaient, une science qui faisait d'eux les personnages les plus actifs de l'État et c'est pourquoi on a pu dire sans se tromper que les civilisations anciennes étaient des civilisations de scribes et de

prêtres, détenteurs les uns et les autres, de la science de l'écriture. Le peuple, pour accéder à la connaissance, n'avait d'autre moyen que d'écouter l'enseignement oral ou de lire dans les bas-reliefs et les fresques les leçons historiques ou morales que distribuaient les détenteurs patentés de la science.

Les images peintes ou sculptées n'étaient que l'expression visuelle, adaptée à des esprits encore incultes, de vérités auxquelles tout le monde peut aujourd'hui avoir accès grâce à la multiplication

(suite au verso)



« LA RÉSURRECTION DE LAZARE » (A.D. 1216/1220). Le thème est emprunté à l'iconographie byzantine, mais l'influence orientale apparaît dans les traits des visages et le costume des personnages. Le mouvement réaliste contraste avec le hiératisme des peintures de Constantinople. (Cliché British Museum.)



« CANONS D'EUSÈBE » ou « CONCORDANCES DES ÉVANGILES » (A.D. 1177). Les dessins des marges, inspirés des mosaïques de pavement, sont d'un style hellénistique plein de poésie et n'ont pas le caractère religieux des livres liturgiques. Ce manuscrit est conservé à Dublin. (Cliché L. Jalabert.)



« LA NATIVITÉ ». Cette image est l'une des plus belles d'un manuscrit sur lequel le peintre, selon le canon byzantin, a groupé tous les événements qui se rattachent à la naissance du Christ : Annonce aux bergers, Adoration des Mages, Bain de l'enfant nouveau-né. C'est l'un des exemples les plus significatifs du contact de l'art byzantin et de l'art arabe pré-mongol, dont on voit la trace dans les visages, surtout ceux des trois rois. (Cliché British Museum.)

LES FIGURES SE CHEVAUCHENT AU LIEU DE FINIR EN PERSPECTIVE

(Suite de la page 21)



« L'ENTRÉE DU CHRIST A JÉRUSALEM ». Ce manuscrit syriaque de la Bibliothèque du Vatican, qui date de 1546, est la copie stylisée d'une miniature du XIII^e siècle. (Cliché Bib. Vat.)



« LES QUATRE ÉVANGÉLISTES », fragment de manuscrit appartenant à M. Kevorkian, de New York. La forme des visages, qui rappelle certaines figures des fresques du Turfan, en Asie Centrale, le plissé des vêtements, le mobilier, qu'on retrouve dans la miniature arabe, font de ce manuscrit un autre témoin du contact de plusieurs civilisations en Proche-Orient. Il doit dater des XII^e-XIII^e siècles. Ce "grand blessé" de l'Histoire n'en est que plus émouvant. (Photo Copyright John D. Schiff, New York.)

des livres imprimés. Elles tenaient la place que tend à prendre de nos jours dans l'instruction le film cinématographique ou télévisé qui pourrait bien, un jour ou l'autre, détrôner le livre et substituer à la civilisation de la chose imprimée celle de la chose vue. Etrange retour des choses qui met l'homme moderne dans la condition de ses ancêtres et lui permet de comprendre, mieux que ne le faisaient les contemporains de Victor Hugo, la parole du génial poète !

Il a fallu des siècles pour que l'homme se libère, quoique incomplètement, de cette emprise de l'image. Celle-ci a été universelle et elle éclate dans toutes les civilisations du Proche-Orient ou du monde méditerranéen. Tous les empires qui se sont succédés en Egypte, en Mésopotamie, en Grèce ou à Rome y ont fait appel, de même que toutes les religions. Quand le christianisme est apparu dans ce qu'on appelait l'*oecumene*, c'est-à-dire la terre habitée par le monde civilisé, par opposition à l'autre, il entra dans le système d'enseignement partout répandu et créa un monde d'images empruntées à l'histoire biblique qui, à ses yeux, résume toute l'histoire du salut apporté au monde, d'abord par le peuple juif, puis par Jésus. Il en couvrit les murs de ses églises, les sema à profusion dans les pages de ses manuscrits. Ainsi, comme dira au V^e siècle un Père de l'Eglise grecque, « l'image muette parla sur le mur » ou dans les marges des livres avec autant d'autorité que le texte même.

C'est à ce monde d'images sacrées que sont empruntées toutes celles qui sont mises ici sous

les yeux du lecteur. Elles proviennent toutes des chrétientés de Mésopotamie, où la religion du Christ fit son apparition de très bonne heure. Son premier point de diffusion fut le petit royaume d'Edesse, aujourd'hui Urfa, qui devint officiellement chrétien à la fin du II^e siècle. De ce vieux centre de culture sémitique, peu touché par l'hellénisme dont le préservait sa langue, le syria-

que apparenté à l'araméen et l'hébreu, il se répandit dans tous les pays arrosés par le Tigre et l'Euphrate. Au V^e siècle, lors des querelles théologiques relatives à la nature du Christ, s'opéra une scission entre les différentes Eglises qui n'eurent plus que leur langue commune comme signe d'unité disparue. Tandis que les églises de Mésopotamie supérieure adoptèrent pour la plupart le monophysisme jacobite, celles de Perse passèrent au nestorianisme (représenté aujourd'hui par quelque 100.000 fidèles rassemblés autour des lacs de Van et d'Urmiah). Cette Eglise perse nestorienne connut au moyen âge une destinée brillante. Ses missionnaires peuplèrent l'Asie centrale, la Chine, et même le Tibet, de communautés chrétiennes que l'invasion mongole du XIII^e siècle devait faire disparaître, laissant un sol vierge aux missionnaires européens du XVII^e et du XVIII^e siècles.

Cette expansion nestorienne d'expression syriaque en Extrême-Orient est pleine d'intérêt, parce qu'elle nous fait assister à un contact de civilisations qui a laissé des traces et explique dans la

pensée extrême-orientale la présence d'idées dont on peut reconnaître la source dans le christianisme perse. C'est la leçon qu'on peut également tirer des manuscrits syriaques ornés de miniatures qui, en l'absence de peintures murales aujourd'hui disparues, permettent d'écrire, ou du moins d'esquisser (car ces manuscrits sont rares, la plupart ayant été détruits par les guerres ou d'autres calamités) les différents mouvements culturels de la Mésopotamie. L'histoire de ces vénérables fragments est un résumé de l'histoire de la Mésopotamie depuis l'introduction du christianisme : chacune des civilisations étrangères avec lesquelles cette région s'est trouvée en contact, de gré ou de force, y a laissé sa marque.

C'est sans doute par là que cette miniature des manuscrits syriaques nous intéresse, beaucoup plus que par son esthétique, régie par les lois de la décoration du livre telles qu'on les entendait dans le haut moyen âge et qui, après un long abandon, retrouvent faveur auprès de certains artistes contemporains. L'art du livre est un art de surface. L'unité est rompue si l'on sème dans le texte des corps à trois dimensions. De là vient que les figures se chevauchent au lieu de fuir en perspective; de là aussi la faible différenciation dans les dimensions des figures et l'absence de modelé et d'ombre. Ces lois, suivies par tous les peintres avant l'apparition de la peinture renaissante, nos artistes mésopotamiens ont su les appliquer à leur manière, soit quand, dans les manuscrits les plus anciens, du VI^e siècle, ils animent les figures hiératiques et froides de Byzance en les dotant de gestes expressifs ou que, au XIII^e siècle, ils traitent les thèmes traditionnels à la manière arabe en y introduisant des décors, des traits de visage ou d'habillement empruntés au milieu ethnique, soit même quand ils créent eux-mêmes des images dont le « primitivisme » trouve une résonance dans certaines tendances de l'art moderne.

Pour toutes ces raisons, cette imagerie sainte mérite d'être mieux connue. Elle retrouvera ainsi quelque chose de son rôle premier, qui est d'instruire. Seul le caractère de son enseignement aura changé. Autrefois théologique ou religieux, il est aujourd'hui historique et culturel.

Il va même bien au-delà, si l'on veut reconnaître la leçon de morale internationale qui s'y trouve, car ces images, témoins de civilisations trop souvent en lutte au cours des siècles, manifestent aussi le libéralisme des esprits ouverts à toutes les formes d'art. Au-dessus des dissensions de toutes sortes il existe une zone sereine où peuvent se rejoindre et se comprendre tous les hommes de bonne volonté.

« MOÏSE PARLEMENTANT AVEC PHARAON », manuscrit syriaque de la Bibliothèque Nationale, à Paris, qui date probablement du VI^e siècle, est un des plus anciens du genre. L'image est tirée d'une Bible de l'Ancien et du Nouveau Testament. L'intensité de vie que respirent les visages, le mouvement passionné des personnages, les vêtements antiques qu'ils portent, tout cela fait de ce petit tableau comme un des derniers témoins de la peinture hellénistique. (Cliché Bibliothèque Nat.)



WARDHA : FOYER DE LA PENSÉE GANDHIENNE

par le Dr J.D.N. Versluys

Représentant de l'Unesco pour les Sciences Sociales en Asie méridionale

A une centaine de kilomètres au sud de Nagpou, capitale du Madyah Pradesh, se trouve la petite ville de Wardha. Madyah Pradesh signifie « province centrale », et Wardha est effectivement le centre géographique de l'Inde. C'est, en outre, le grand foyer de la pensée gandhienne, car là est installé le Centre de la « All-India Village Industries Association ».

Les yeux du visiteur qui en franchit l'enceinte sont aussitôt attirés par une Pieta sculptée dans le granit, symbole chrétien dont la présence au cœur de l'Inde est pour le moins inattendue. Le guide qui lui fait visiter le Centre lui explique toutefois que les idées de Gandhi ne se rattachent à aucune religion déterminée, si bien que les hindous, les bouddhistes, les musulmans et les chrétiens sont également bienvenus dans ce Centre, que dirige depuis de longues années le Dr J.C. Kumarappa, le plus éminent représentant de la doctrine économique de Gandhi.

« La non-violence », pièce maîtresse de l'idéologie gandhienne, ne doit pas s'entendre seulement au sens habituel du terme; elle signifie également, dans un sens plus profond et plus général, que loin d'assujettir brutalement la nature au gré de son caprice, l'homme doit s'adapter à elle en vue de faire régner une réelle harmonie. D'où la répugnance de Gandhi pour tout ce qu'il y a d'artificial dans la vie des grandes villes.

D'une part, la famille — de préférence la communauté familiale au sein de laquelle frères et sœurs vivent ensemble, avec femmes et enfants — et d'autre part le village, sont considérés comme le cadre naturel de la vie humaine. De toute nécessité, pour créer des conditions qui permettent à la longue le maintien d'une telle structure sociale, il

faut que famille et village soient économiquement indépendants; aussi les villageois doivent-ils fabriquer eux-mêmes, dans la mesure du possible, tout ce dont la communauté a besoin, et d'abord, des tissus. On enseignera donc le filage et le tissage.

Mais on encouragera aussi l'exercice d'autres métiers manuels; et l'un des principaux objectifs du Centre de Wardha est de former du personnel pour l'action sociale et l'enseignement artisanal. L'intérêt porté aux métiers manuels s'explique encore d'une autre façon, par la difficulté évidente de remédier au chômage total ou partiel qui sévit dans les régions rurales.

Le déséquilibre entre le nombre des cultivateurs et la superficie des terres arables va s'aggravant et la pression démographique devient chaque année plus forte. L'industrialisation ne saurait résoudre ce problème, car la grande industrie, outre qu'elle ne pourrait absorber qu'un assez petit nombre de travailleurs, exigerait de gros investissements. Or, les capitaux sont rares dans l'Inde, et les chercher à l'extérieur serait mettre la vie nationale du pays à la merci d'influences étrangères qui ne sont pas souhaitables.

Le filage est devenu un symbole

Le Dr Kumarappa estime d'ailleurs que la grande industrie n'est guère compatible avec la civilisation indienne, longtemps florissante dans le domaine artisanal jusqu'au jour où la concurrence des produits fabriqués en série et à bon marché par l'industrie occidentale se révéla trop forte. Gandhi et ses disciples avaient donc des raisons à la fois économiques, culturelles et



Le respect des traditions est de règle au Centre de Wardha. L'heure des repas ne constitue pas une exception, loin de là, comme le montre cette photographie.

nationales d'encourager la renaissance de l'artisanat au village.

Depuis un quart de siècle, le filage à la main est étroitement associé, dans l'esprit du public, à la doctrine gandhienne; et le Musée de Wardha expose divers types de rouets ainsi qu'un grand choix de magnifiques articles tissés à la main et bien d'autres productions artisanales. Le filage à la main a pris peu à peu une importance très supérieure à son intérêt économique, qui est contestable; il est devenu une sorte de symbole nationaliste, et a revêtu une signification quasiment religieuse.

Cela n'empêche pas le Centre de Wardha de s'attacher à perfectionner le simple outillage des artisans de village pour leur permettre d'obtenir de meilleurs résultats et de faire un travail plus rentable. Un de ses principaux objectifs est, en effet,

à l'heure actuelle, d'expérimenter divers outils, de comparer les instruments de travail en usage dans les différentes parties du pays, et de les modifier ou de les combiner, afin de donner aux industries de village des chances accrues de pouvoir faire concurrence aux produits industriels.

J'ai vu un pressoir à huile actionné par des bœufs, que l'on avait amélioré en modifiant sa structure et en y ajoutant deux roulements à billes; pour une dépense minime, on avait ainsi augmenté de 60 % le rendement de la machine. Comme je demandais au Dr Kumarappa s'il ne réprouvait pas ces roulements à billes qui sont, après tout, des articles industriels, il me répondit que les grandes usines avaient indéniablement leur utilité pour certaines fins déterminées, mais qu'on devrait y recourir uniquement pour fabriquer les objets dont la production manuelle est impossible. Le Centre adopte des méthodes scientifiques pour perfectionner l'outillage rustique, mais il ne perd jamais de vue que les outils perfectionnés doivent rester à la portée de l'artisan rural.

La vie du village : un tout

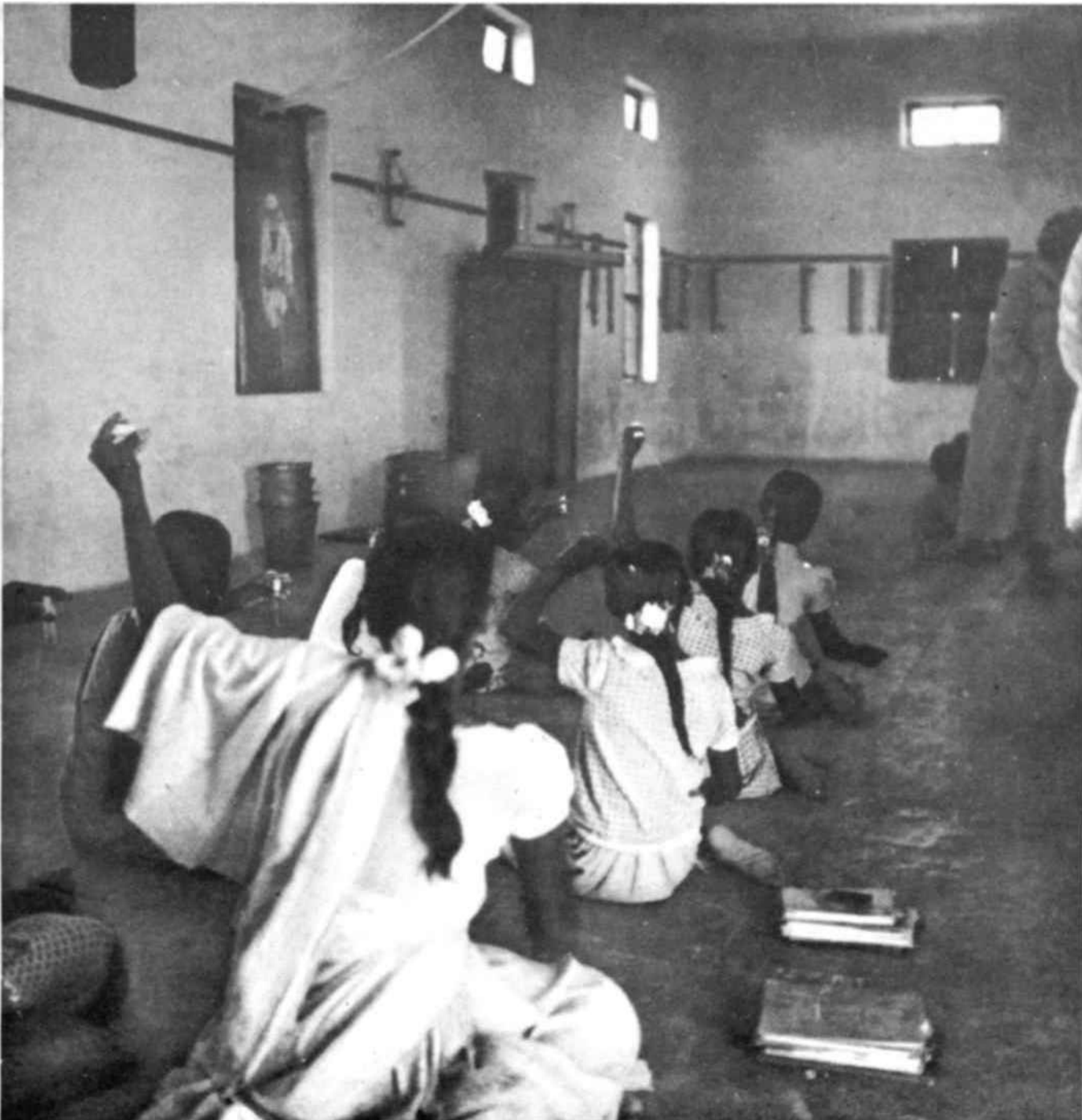
On enseigne également, au Centre de Wardha, la fabrication du papier. Bien qu'un dispositif ingénieux porte au maximum le rendement du moulin à papier actionné par des bœufs, l'article ainsi obtenu revient à environ 50 % plus cher que le papier fabriqué en usine. Si l'on encourage néanmoins la fabrication artisanale du papier, c'est qu'elle permet d'utiliser toutes sortes de déchets (vieux chiffons, paille, etc.) qui, sans cela, seraient perdus, et qu'elle évite de faire sortir l'argent du village.

Le principe général est qu'il faut adapter la consommation aux moyens de production dont dispose le village; en d'autres termes, mieux vaut satisfaire partiellement la demande grâce aux articles fabriqués sur place que de la satisfaire plus complètement à l'aide de produits manufacturés en ville.

La propagation des techniques artisanales présente encore un autre aspect : nous voulons parler de ses avantages éducatifs. Le système gandhien d'éducation, connu sous le nom d'« Education nouvelle », repose essentiellement sur la méthode pratique. L'enfant doit d'abord être initié à ce qui constitue le cadre de l'existence au village, et le maître doit prendre, comme point de départ de son enseignement, l'entourage immédiat de ses élèves. Le filage, par exemple, peut l'amener à expliquer, outre la culture du coton et tout ce qui s'y rattache, le principe mécanique du rouet et les problèmes économiques que posent l'achat du coton, la vente du fil, etc. Sans doute, une telle méthode exige-t-elle beaucoup du maître; mais elle offre cet avantage indéniable qu'elle permet d'aborder les questions de façon beaucoup plus directe.

Le Centre de Wardha a rendu de grands services, non seulement en développant l'artisanat au village, mais encore en faisant mieux comprendre au personnel des services sociaux la nécessité de considérer la vie du village comme un tout.

En Inde, et notamment au Centre de Wardha, qui est le grand foyer de la pensée gandhienne, le filage à la main est devenu le symbole tangible de la fidélité aux enseignements millénaires. Il a ainsi revêtu une signification quasi religieuse.



TOUS LES ENFANTS SAVENT JOUER



Copyright Roger Wood, London

SAVEZ-VOUS combien il y a d'enfants nécessiteux dans le monde ? Les plus récentes statistiques dressées par l'Unicef (Fonds de Secours à l'Enfance des Nations Unies), indiquent le chiffre de 500 millions. Pour secourir pareille armée de pitoyables innocents, il faudrait des moyens financiers et matériels dont ne dispose, à l'heure actuelle, aucune organisation humaine, nationale ou internationale. Cependant, dans soixante-dix pays, l'Unicef envoie chaque année, à 20 millions d'enfants, du lait, du riz ou du coton, participe à de nombreuses campagnes médicales contre la tuberculose, le paludisme, le pian et d'autres maladies. L'aide que fournit l'Unicef a pour seul objectif de satisfaire les besoins essentiels des enfants sans égards à leur race, leur région ou leur nationalité. Organisation internationale, l'Unicef est entièrement financée par les contributions bénévoles des gouvernements, des institu-

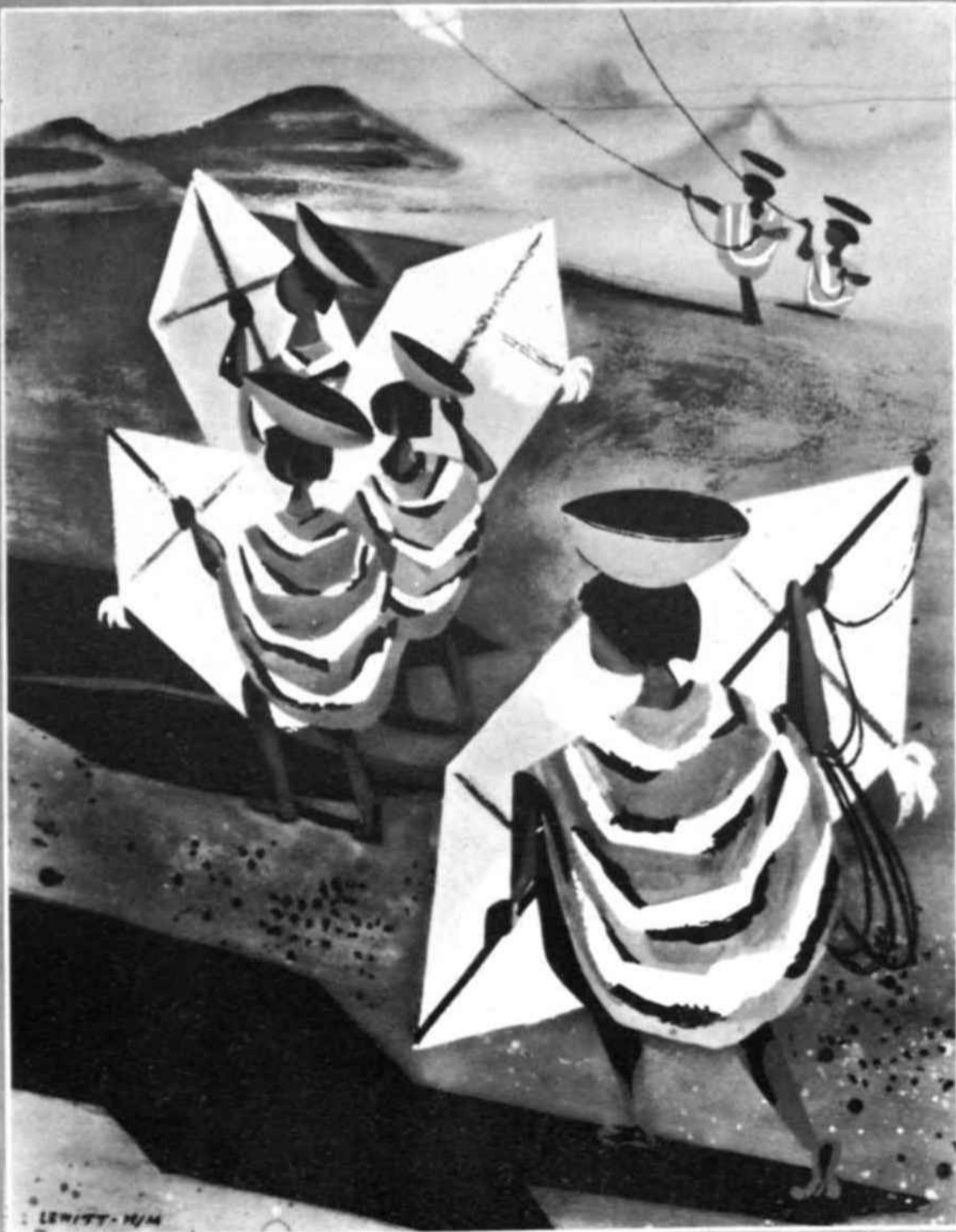
tions et des particuliers. Vous aussi, lecteurs du « Courrier », pouvez participer à cette grande œuvre en achetant la boîte de cartes de Noël que l'Unicef met en vente, comme chaque année à pareille époque. En achetant une seule boîte de dix cartes, vous permettrez à l'Unicef de fournir suffisamment de lait pour aider à nourrir 9 enfants pendant une semaine, suffisamment de vaccin pour protéger 33 enfants de la diphtérie, suffisamment d'huile de foie de morue pour immuniser 24 enfants contre la tuberculose, suffisamment de pénicilline pour guérir 8 enfants du pian, ou suffisamment de DDT pour protéger 13 personnes contre le paludisme pendant un an. Deux dessinateurs anglais, Jan Lewitt et George Him (photo ci-contre), ont illustré les cinq cartes en couleurs reproduites sur cette page, et que vous pouvez vous procurer par assortiment de dix, au prix de 350 francs français, 50 fr belges, 4 fr 20 suisses, ou l'équivalent en votre monnaie nationale. Ces deux artistes ont pris pour thème « Tous les enfants savent jouer », c'est-à-dire l'universalité des jeux des enfants. Le maître Henri Matisse, invité à représenter les Nations Unies sous forme d'un symbole, a envoyé, également pour être vendu sous forme de carte de Noël, le dessin d'un flambeau reproduisant les couleurs et les proportions d'une torche allumée. L'an dernier, grâce au prodigieux succès remporté par la vente des cartes de Noël et du Nouvel An, l'Unicef a pu grossir son budget d'une somme équivalente à 21 millions de francs français. Il ne tient qu'à vous que cette somme soit, cette année, plus considérable encore. On peut se procurer ces cartes dans les bureaux de l'Unicef : en France, 24, rue Borghèse, à Neuilly-sur-Seine; en Belgique, à Bruxelles, 57, rue du Congrès; au Liban, au siège de l'Organisation à Beyrouth. Dans tous les pays, l'adresse à laquelle ces cartes sont disponibles, peut être obtenue auprès du représentant local de l'Organisation des Nations Unies.



La Marelle au Pakistan.



Colin-Maillard en Grèce.



LEWITT - HIM

Cerfs-volants au Pérou.

Photos Unicef



Cache-cache au Moyen-Orient



Mât de Cocagne aux Philippines.