AVRIL

Nº 320

SCIENCE ET VIE

10 FRANCS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'ÉLECTRICITÉ s'apprend aussi...

...par CORRESPONDANCE

ECOLE CENTRALE DE T.S.F
12 rue de la Lune - Paris

25e année de fonctionnement et d'expériences

instruits et placés 25.000 élèves

Demandez à notre annexe : 8, rue Porte-de-France, à VICHY, le « **Guide des carrières de la Radio** » qui vous sera adressé gracieusement.

PUBLICITES RÉUNIES

l'école de DESSIN à domicile

Cours par correspondance MARC SAUREL

"LE DESSIN FACILE"

● Il ne suffit pas d'aimer le dessin pour devenir un habile dessinateur. Il vous faut aussi les conseils d'un maître, un programme de travail et une gamme des modèles choisis.

Depuis 32 ans Marc SAUREL s'est consacré à l'enseignement du dessin par correspondance, et a formé des milliers d'élèves. Cette longue expérience est à la base de son enseignement, enseignement personnel par les corrections régulières et les lettres de conseils adressées à chacun périodiquement. Et pour faciliter les débuts de nombreuses planches photographiques reproduisant près de cent cinquante sujets variés sont envoyées avec le cours, permettant à chaque élève de travailler chez lui, à temps perdu, quelles que soient l'heure et la saison, tout comme s'il avait son professeur à ses côtés.

BON SV 45

pour une brochure illustrée

Joindre 4 fr. 50 en timbres.

LES COURS DE L'ÉCOLE MARC SAUREL

LE DESSIN FACILE (Cours pour Adultes)

JE DESSINE (Cours pour Enfants de 6 à 12 ans).

COURS SPÉCIAUX PUBLICITÉ, MODE, ILLUSTRATION, LETTRES, DESSIN ANIMÉ, DESSIN INDUSTRIEL

LE DESSIN FACILE 11, rue Keppler, Paris-16e

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CECI INTÉRESSE

tous les jeunes gens et jeunes filles et tous les pères et mères de famille

Une occasion unique de vous renseigner de la façon la plus complète sur toutes les situations quelles qu'elles soient et sur les études à entreprendre par correspondance pour y parvenir vous est offerte par

L'ECOLE UNIVERSELLE
par corre pondance de Paris

Elle vous adressera gratuitement sur demande celle de ses borchures qui vous intéresse :

BROCHURE L. 14.131. — ENSEIGNEMENT PRIMAIRE : Classes complètes depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet supérieur, Bourses, Brevets, C. A. P., etc.
BROCHURE L. 14.132. — ENSEIGNEMENT SECONDAIRE : Classes complètes depuis la onzième jusqu'à la classe de mathématiques spéciales incluse, Baccalauréats, etc.
BROCHURE L. 14.133. — ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : Licences (Lettres, Sciences, Droit), Professorats, Examens professionnels, etc.
BROCHURE L. 14.134. — GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES.
BROCHURE L. 14.135. — CARRIERES DE L'INDUSTRIE, des MINES et des TRAVAUX PUBLICS, etc.
BROCHURE L. 14.136. — CARRIÈRES DE L'AGRICULTURE et du Génie rural, etc.
BROCHURE L. 14.137. — CARRIÈRES DU COMMERCE, de l'INDUSTRIE HOTELIÈRE, des ASSURANCES, de la BANQUE, de la BOURSE, etc.
BROCHURE L. 14.138. — ORTHOGRAPHE, RÉDACTION, VERSIFICATION, CALCUL, DESSIN, ÉCRITURE.
BROCHURE L. 14.139. — LANGUES VIVANTES, TOURISME (Interprète), etc.
BROCHURE L. 14.140. — AIR, MARINE : Pont, Machine, Commissariat, T. S. F., etc.
BROCHURE L. 14.141. — SECRÉTARIATS, BIBLIOTHÈQUES, etc.
BROCHURE L. 14.142. — ÉTUDES MUSICALES : Instruments, Professorats, etc.
BROCHURE L. 14.143. — ARTS DU DESSIN : Professorats, Métiers d'art, etc.
BROCHURE L. 14.144. — MÉTIERS DE LA COUTURE, De la COUPE, de la MODE, de la LINGERIE, de la BRODERIE, etc.
BROCHURE L. 14.145. — ARTS DE LA COIFFURE ET DES SOINS DE BEAUTÉ, etc.
BROCHURE L. 14.146. — CARRIÈRES DU CINÉMA.
BROCHURE L. 14.147. — TOUTES LES CARRIÈRES ADMINISTRATIVES.

Grâce aux cours par correspondance de l'Ecole Universelle chacun peut acquérir chez soi, quelle que soit sa résidence, à ses heures de loisir, quelles que soient ses occupations, facilement, quelles que soient ses études antérieures, avec le minimum de frais et dans le minimum de temps, toutes les connaissances utiles pour occuper la situation dont il se sent digne. Ceux des cours par correspondance de l'Ecole Universelle qui préparent aux examens et aux concours publics assurent chaque année à leurs élèves des milliers de succès.

Outre la brochure qui vous intéresse, demandez tous les renseignements et conseils spéciaux dont vous pouvez avoir besoin. Ils vous seront fournis à titre absolument gracieux et sans aucun engagement de votre part.

ECOLE UNIVERSELLE
12, Pt Jules-Ferry, LYON - 59, Bd Exelmans, PARIS

SOFRANCE

MARQUE DÉPOSÉE

ÉPURATEUR AUTOMATIQUE SUR MOTEURS
Économie pratique d'huile 50%
Reduction de l'usure 70%
(1 révision au lieu de 3 ou 4)

PAS DE RECHANGE
GARANTIE UN AN OU 300.000 KLM.
80.000 Klm. SANS VIDANGER SANS USURE SANS REMPLACEMENT NI AU FILTRE NI AU MOTEUR UN FONCTIONNEMENT AUTOMATIQUE
DEMANDEZ NOS NOTICES V.A.

Nettoyage automatique des éléments filtrants

AUTRES FABRICATIONS FILTRES TYPES "GARAGE" ET "ATELIER" Filtres pour machines outils, rectifieuses, compresseurs d'air, d'ammoniaque, etc.. Filtres deshydrateurs pour transformateurs

SOFRANCE
4 Boul. de Fleurus LIMOGES
Téléphone 37-26

SOFRANCE - PARIS
206 Boul. Pereire PARIS 17e
ETOile 35-19

"L'Électricité c'est l'avenir des jeunes"

Étudiez chez vous, sans interrompre vos occupations, la plus jeune et la plus passionnante des sciences

L'ÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS

En 6 mois, grâce à notre méthode moderne d'enseignement pratique professionnel, vous deviendrez l'expert recherché dans l'Industrie, le Cinéma, la Télévision, l'Amplification, etc

INSTITUT ELECTRO-RADIO
6, RUE DE TÉHÉRAN - PARIS - 8e
DE SUITE, écrivez-nous pour recevoir gratuitement notre luxueux programme. ● Service V S
" L'ÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS MODERNES "
PRÉPARATION AUX DIPLOMES D'ÉTAT

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL NICE 3, rue du Lycée | ÉCOLE DE T. S. F.

ENSEIGNEMENT PAR CORRESPONDANCE

MATHÉMATIQUES Enseignement des Mathématiques, Physique, Mécanique, Chimie, Astronomie, à tous les degrés.

INDUSTRIE CONTREMAITRE, DESSINATEUR, TECHNICIEN, SOUS-INGENIEUR, INGENIEUR en Mécanique générale, Constructions aéronautiques, Electricité, Electromécanique, Chimie industrielle, Bâtiment, Travaux publics, Constructions navales, Géomètres.

COMMERCE - DROIT Comptable Secrétaire, et Directeur, capacité en droit, études juridiques, brevet d'expert comptable de l'Etat.

AGRICULTURE Agriculture générale, Mécanique et Génie agricole, Sylviculture, Industries agricoles.

ADMINISTRATIONS Tous les concours techniques des diverses administrations France et Colonies.

AVIATION CIVILE Brevets de navigateurs aériens et de Pilotes. Concours d'Agents techniques et d'Ingenieurs adjoints, Météorologistes. Opérateurs radioélectriciens, Chefs de Poste et Mécaniciens d'aéronefs.

BACCALAURÉATS. ÉCOLES NATIONALES Préparation à l'entrée à toutes les Ecoles nationales, secondaires, techniques et supérieures et aux Baccalauréats. Brevets Math.-Géné.

Ces cours ont également lieu à Paris, 152, avenue de Wagram.

Pour la Section Radio, adresser les demandes à : M. J. GALOPIN, aux Cordeliers, Issoudun (Indre).

JEUNES GENS !

Les meilleures situations, les plus nombreuses, les plus rapides, les mieux payées, les plus attrayantes...

sont dans la RADIO

P. T. T., AVIATION, MARINE, NAVIGATION AERIENNE, COLONIES, DEFENSE DU TERRITOIRE, POLICE, DEPANNAGE, CONSTRUCTION INDUSTRIELLE, TELEVISION, CINEMA.

COURS SCIENTIFIQUES, TECHNIQUES, PRATIQUES, PAR CORRESPONDANCE

Les élèves reçoivent des devoirs qui leur sont corrigés et des cours spécialisés. Enseignement conçu d'après les méthodes les plus modernes, perfectionné depuis 1908.

Tous nos cours comportent des exercices pratiques chez soi : lecture au son, manipulation, montage et construction de poste.

Préparation à l'entrée aux écoles privées d'Enseignement maritime.

Envoi du programme désiré contre 5 francs en timbres. (INSCRIPTIONS A TOUTE ÉPOQUE)

Pub. R. Domenach M.C.S.P.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SCIENCE ET VIE

Tome LXV - N° 320 Avril 1944

SOMMAIRE

★ Le téléphérique de l'Aiguille du Midi, le plus élevé du monde, par Marius Brossé..... 135

★ Les hormones dans les grands phénomènes biologiques, par Jean Rostand..... 141

★ Le sondage des opinions, par A. Sainte-Laguë..... 150

★ Sommes-nous armés contre la poliomyélite? par Jean Labadié..... 163

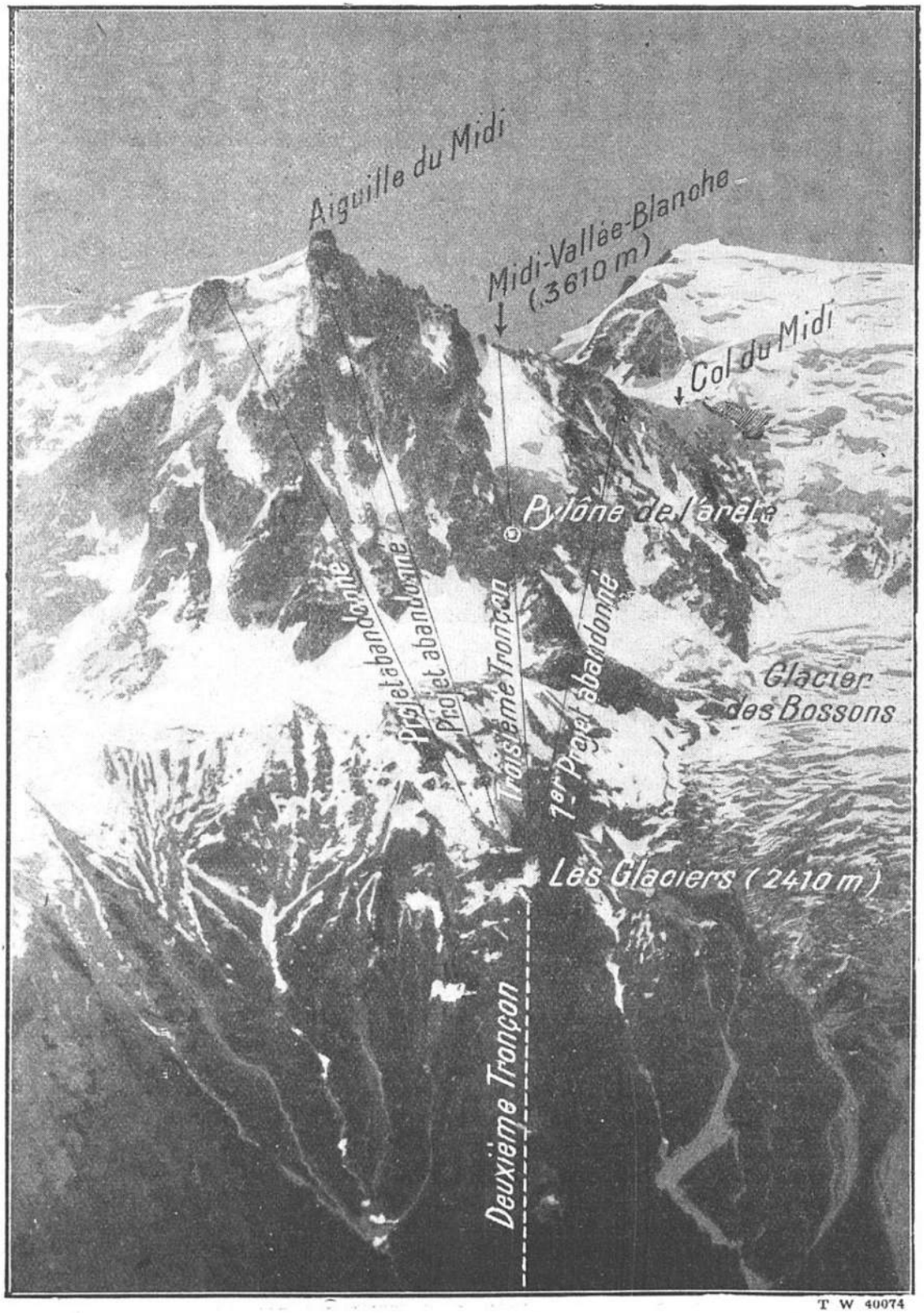
★ Les radioéléments artificiels vont révolutionner les méthodes de la chimie biologique, par Jean Courtois.. 170

★ Les A Côté de la Science, par V. Rubor..... 176

La solution la plus élégante et la plus économique du problème des transports en montagne est assurément le téléphérique. Avec une infrastructure réduite au minimum, les nacelles franchissent d'un seul élan et en quelques minutes les obstacles apparamment insurmontables. Mais l'établissement d'un téléphérique pose des problèmes d'autant plus ardus que l'altitude atteinte est plus grande. Dans le massif du mont Blanc, sur l'Aiguille du Midi, que représente la couverture du présent numéro, le téléphérique le plus audacieux du monde est actuellement en construction. Il conduira en toutes saisons les fervents du ski sur les neiges éternelles de la Vallée Blanche, à plus de 3 600 m d'altitude.
(Voir l'article page 135 de ce numéro.)

« Science et Vie », magazine mensuel des Sciences et de leurs applications à la vie moderne. Rédaction. Administration, actuellement, 3, rue d'Alsace-Lorraine, Toulouse. Chèque postal : numéro 184.05 Toulouse. Téléphone : 230-27. Publicité : 68, Rue de Rome, Marseille.
Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. *Copyright by* « Science et Vie », Avril mil neuf cent quarante-quatre. Registre du Commerce : Toulouse 3235 B.
Abonnements : France et Colonies, un an : cent dix francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



L'AIGUILLE DU MIDI ET LES DIFFÉRENTS TRACÉS ENVISAGÉS POUR LE TÉLÉPHÉRIQUE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LE TÉLÉPHÉRIQUE DE L'AIGUILLE DU MIDI, LE PLUS ÉLEVÉ DU MONDE

par Marius BROSSE
Ingénieur des Arts et Manufactures

Les premières études relatives au téléphérique de l'Aiguille du Midi, qui domine la vallée de Chamonix, furent amorcées en 1909. Depuis 1927, les deux premiers tronçons mis en service permettent d'accéder à 2 410 m, à la station dite des « Glaciers », soit au pied de l'aiguille proprement dite. Bientôt le troisième tronçon pourra conduire les touristes et aussi les fervents du ski à 3 610 m, au voisinage du sommet tant convoité des alpinistes et si durement accessible aux seuls habitués de la haute montagne. Ils doivent trouver là un panorama merveilleux et, sur le versant opposé à celui de l'ascension, un vaste champ de ski, la « Vallée Blanche », où la neige persistante étendra aux mois d'été la saison des sports d'hiver. Le téléphérique de l'Aiguille du Midi sera donc dans son dernier tronçon le plus audacieux du monde, puisque celui-ci sera long de 2 000 m et franchira 1 200 m de différence d'altitude Il n'utilisera qu'un seul support intermédiaire. Sa conception originale a permis de triompher non seulement des difficultés exceptionnelles du tracé, mais aussi des conditions climatiques exceptionnellement rigoureuses de la haute montagne.

Depuis qu'il existe des téléphériques pour transport de personnes, le massif de l'Aiguille du Midi, à Chamonix, face au mont Blanc et à l'incomparable suite des très hautes cimes qui l'environnent, a hanté l'esprit de ceux des ingénieurs qui rêvèrent de le surmonter par un téléphérique, ou, plus exactement, en raison de l'importance du projet, par une succession de lignes funiculaires placées à la suite les unes des autres.

Le point de départ obligé, dans la vallée de l'Arve, un peu en aval de Chamonix, est à l'altitude de 1 050 mètres environ.

Pour atteindre l'un des deux sommets, nord ou sud, de l'Aiguille du Midi, la différence de niveau à franchir atteint presque 3 000 mètres et la distance, à vol d'oiseau, dépasse 5 000 mètres.

Il existe bien, de par le monde, quelques lignes funiculaires dont les proportions sont comparables, mais elles sont toutes affectées à des transports de matériaux et les charges sont toujours faibles, de l'ordre de 200 à 400 kg.

Les lignes pour le transport de personnes sont beaucoup plus chargées, car chaque nacelle peut transporter d'ordinaire au moins 25 voyageurs, souvent 30 et davantage. En outre, la vitesse de transport, de 3 à 6 mètres par seconde, est généralement plus grande sur ces lignes que sur celles réservées au transport des matériaux.

D'autre part, les questions de sécurité sont autrement sérieuses pour le transport de voyageurs et posent des problèmes techniques d'une solution difficile. Enfin, le but d'une ligne à voyageurs, en montagne, est d'accéder en des lieux où les difficultés constructives sont toujours grandes, d'autant plus que l'on s'éloigne davantage des chemins de fer et des routes des vallées et que l'on s'élève plus haut, vers des sommets isolés peu accessibles.

Atteindre ainsi 2 500 mètres d'altitude est déjà difficile. Dépasser 3 000 mètres l'est beaucoup plus et pose des problèmes nouveaux peu connus, du fait des conditions climatiques particulières à la haute montagne.

Il y a bientôt 50 ans, alors qu'il n'existait encore aucun téléphérique transportant des voyageurs, avant même qu'il ne construisit, dix ans plus tard, le premier téléphérique pour voyageurs du monde entier, celui de Wetterhorn, à Grindelwald (Suisse), Feldmann eut le premier l'idée d'établir un téléphérique sur le massif de l'Aiguille du Midi. Son projet, qui comportait cinq tronçons successifs, les uns sur rails, les autres sur câbles, ne fut pas réalisé et, en fait, il était irréalisable.

Plus tard, les études furent reprises, les lignes sur rails éliminées et le nombre de tronçons ramené à quatre, puis à trois.

De nombreux projets furent alors établis Un seul devait être réalisé et seulement pour ses deux premiers tronçons. Ce fut celui de la société Dyle et Bacalan, aujourd'hui disparue qui en assura l'entreprise générale, pour le compte des concessionnaires successifs, en 1908

Le premier tronçon

Le premier tronçon actuel fut ainsi commencé en 1909. Les travaux furent arrêtés par la guerre de 1914-1918 et par la mort du premier concessionnaire. Repris en 1921 seulement, ils furent achevés en 1923. Ce premier tronçon était le premier téléphérique pour voyageurs construit en France.

Il est long de 1 870 mètres et gravit une hau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

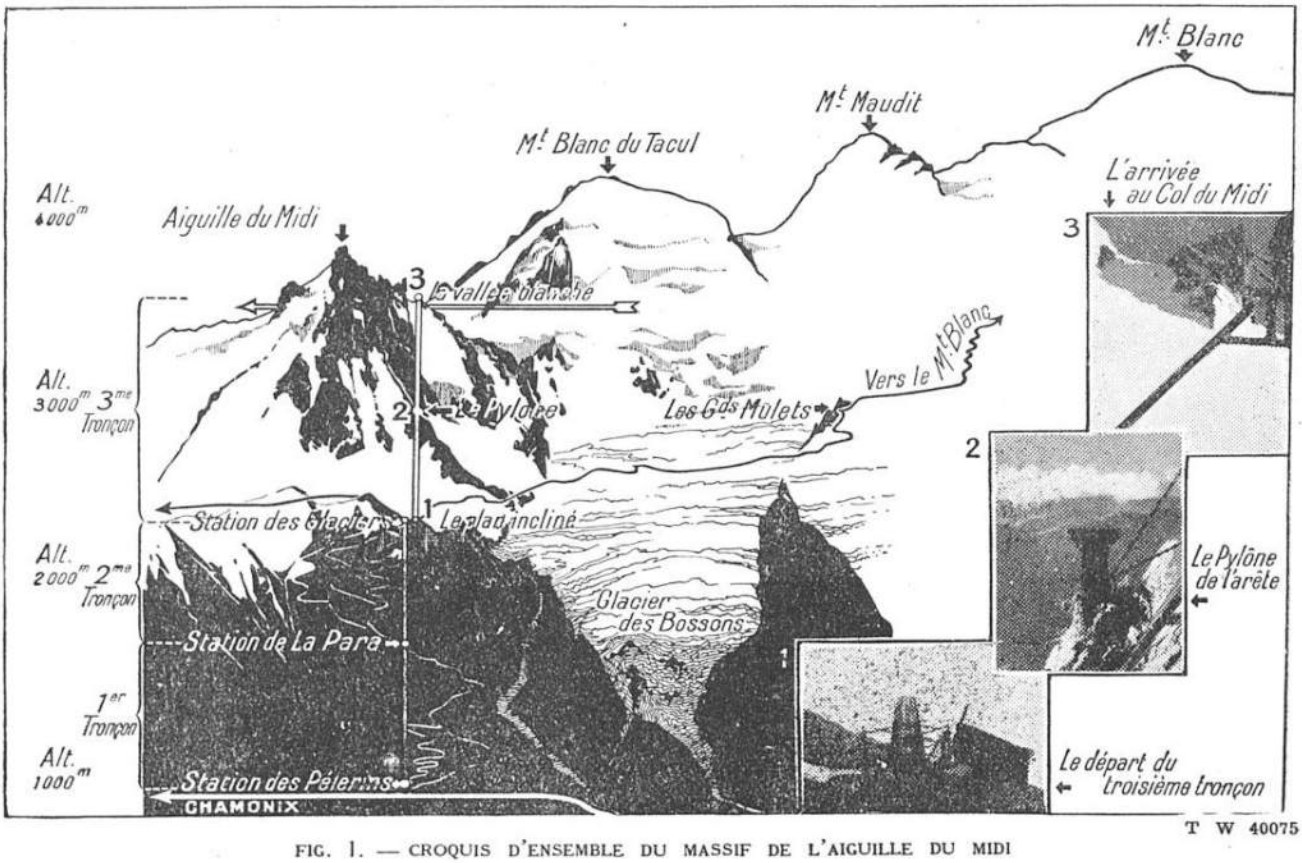


FIG. 1. — CROQUIS D'ENSEMBLE DU MASSIF DE L'AIGUILLE DU MIDI

teur de 630 mètres. Il s'étend de la localité des Pélerins (1 059 mètres) à la station de La Para, à 1 690 mètres d'altitude. La ligne comportait à l'origine 26 pylônes métalliques intermédiaires, d'une hauteur variant entre 12 et 35 mètres. Elle est à deux voies, sur chacune desquelles circule à la vitesse modeste de 2,50 mètres par seconde, une nacelle pouvant recevoir 18 voyageurs.

Les deux nacelles, reliées entre elles, en aval, par un câble-lest et en amont par un câble-tracteur, l'un et l'autre de 30 mm de diamètre, se déplacent en sens inverse, entre les deux stations, suspendues par chariot roulant à un câble porteur fixe, de 64 mm de diamètre. Un dernier câble, dit câble-frein, de 30 mm est normalement fixe et la nacelle s'y accrocherait automatiquement si le câble-tracteur venait à se rompre. Le câble-frein, mis en mouvement, jouerait ensuite le rôle de tracteur auxiliaire.

L'ensemble de ces câbles pèse près de 24 kg par mètre courant de ligne simple, soit plus de 90 tonnes pour ce seul tronçon. Ces dispositions, remarquables pour l'époque, car il n'existait alors dans le monde que trois téléphériques pour passagers, sont aujourd'hui bien désuètes. Pour en juger, il suffit de dire que la modernisation de cette ligne, qui ne tardera guère, portera la vitesse à 6 m/s, sinon à 9, avec nacelles pour 30 voyageurs, 3 ou 4 supports intermédiaires seulement et un poids total de câbles ne dépassant pas la moitié du poids actuel, alors que la ligne présentera une sécurité supérieure à celle actuelle.

Le deuxième tronçon

Le deuxième tronçon va de La Para à la station des Glaciers, altitude 2 410 m. La longueur de cette deuxième ligne est de 1 320 m et la dénivellation de 710 m.

Le dispositif est le même que pour le premier tronçon et la vitesse plus faible encore.

La ligne comporte 19 pylônes métalliques de support intermédiaire des câbles.

Les difficultés du tracé étaient, peut-être, plus grandes que pour le premier tronçon, pour l'époque où les travaux furent exécutés (1923 à 1927). C'est ce qui explique le nombre élevé des pylônes de cette ligne, plus désuète encore que le premier tronçon.

La modernisation de la ligne, qui sera faite dès que les circonstances le permettront, ramènera à trois le nombre des pylônes et la vitesse sera portée à 6 m/s au moins. Chacune des deux nacelles pourra transporter 25 ou 30 voyageurs.

Le choix de l'itinéraire du troisième tronçon

Le troisième tronçon du projet de Dyle et Bacalan devait, initialement, partir de la station des Glaciers, à l'altitude de 2 440 m et atteindre, à 3 400 mètres environ d'altitude, les abords du Col du Midi, assez loin du sommet de l'Aiguille du Midi, où un quatrième tronçon eut éventuellement conduit.

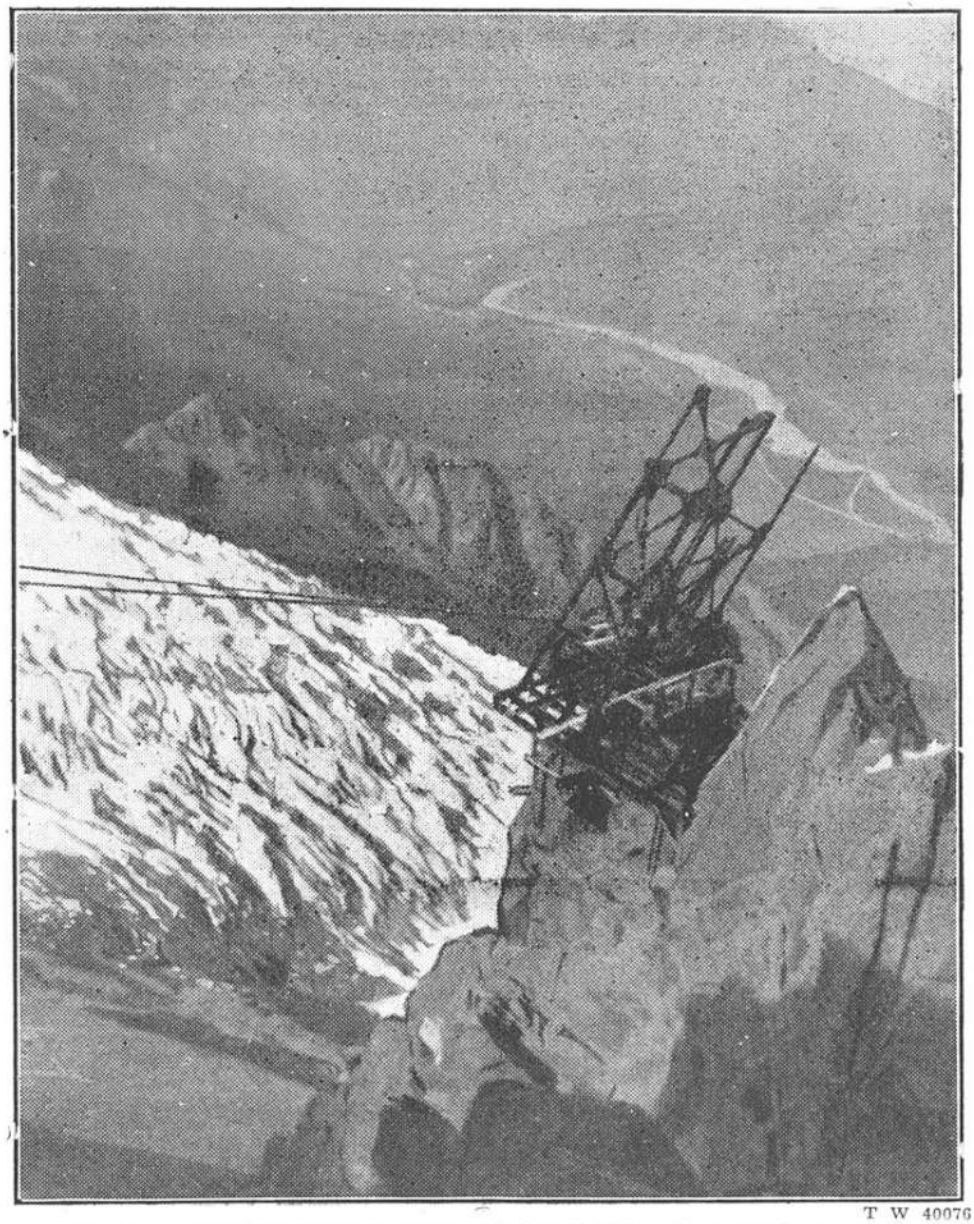
Ce projet s'avéra hérissé de difficultés de toutes sortes et fut abandonné. Les études fu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rent reprises de divers côtés, par plusieurs ingénieurs spécialistes des plus réputés. Force fut bien de convenir que les difficultés de réalisation étaient extrêmes et que les tracés antérieurement envisagés, qui nécessitaient la construction de plusieurs pylônes en très haute montagne, étaient pratiquement irréalisables. On fut alors à la recherche d'un tracé nouveau qui ne comportât aucun support intermédiaire. Un seul paraissait possible, celui qui allait tout droit de la station des Glaciers au sommet nord de l'Aiguille du Midi (altitude 3 819 m).

Une expédition à ce sommet, dirigée par l'auteur du projet actuel, en 1930, aboutit à faire la preuve de l'impossibilité d'une telle ligne.

Il ne restait plus, dès lors, que la ressource d'un tracé ne nécessitant qu'un seul pylône. Trois solutions furent étudiées. Une seule apparut acceptable, mais de justesse : la ligne partirait du voisinage immédiat de la station des Glaciers, à la même altitude, et se dirigerait droit sur un gros rocher, très visible de la vallée, qui émerge des glaces, sur l'arête très enneigée qui relie le Col du Midi à l'Aiguille du Midi. A mi-chemin, elle rencontrerait une arête secondaire où l'édification d'un pylône paraîtrait à la rigueur possible. Tel sera, effectivement, le tracé du troisième tronçon, dont la construction est commencée.



T W 40076

FIG. 2. — LE MONTAGE DU PYLONE DE L'ARÊTE (3 100 M D'ALTITUDE), AU-DESSUS DE LA VALLÉE DE CHAMONIX

Ce tronçon aura une longueur de 2 070 mètres et franchira une différence d'altitude de 1 200 m.

La station inférieure (Les Glaciers ou Les Bossons) sera à 2 410 m d'altitude et la station supérieure (Midi-Vallée Blanche) à 3 610 m. Entre les deux s'érigera un support intermédiaire, à 3 025 m d'altitude, partageant la ligne en deux portées de câbles, l'une, inférieure, de 1 060 mètres de longueur, l'autre de 1 010 mètres.

Les travaux sont exécutés en entreprise générale par le concessionnaire actuel du téléphérique de l'Aiguille du Midi, la Compagnie Française des Funiculaires de Montagne, sous le contrôle du service des Ponts et Chaussées de Haute-Savoie, avec le concours de l'Etat et des collectivités (département et commune de Chamonix). En dépit des circonstances défavorables actuelles et des difficultés climatiques, les travaux avancent assez vite.

Les difficultés de construction du pylône intermédiaire et de la station terminale

La station inférieure n'offre d'autres difficultés

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'exécution que la nature du sol, assez médiocre.

La construction du support intermédiaire de l'arête, à 3 025 m, est actuellement terminée. Elle était, de beaucoup, la plus difficile. En fait, on ne put réaliser là, au prix de grands risques, qu'une plate-forme exiguë, aérienne, de moins de 20 mètres carrés, entourée de précipices abrupts, véritable nid d'aigle.

Ces difficultés étaient cependant peu de chose au regard de celles que réservait l'emplacement obligatoire de la station supérieure, sorte de dent rocheuse émergeant des glaces environnantes, au bord même des abîmes glaciaires de la face nord du massif, à 3 610 mètres d'altitude, dans une situation particulièrement exposée aux intempéries les plus extrêmes.

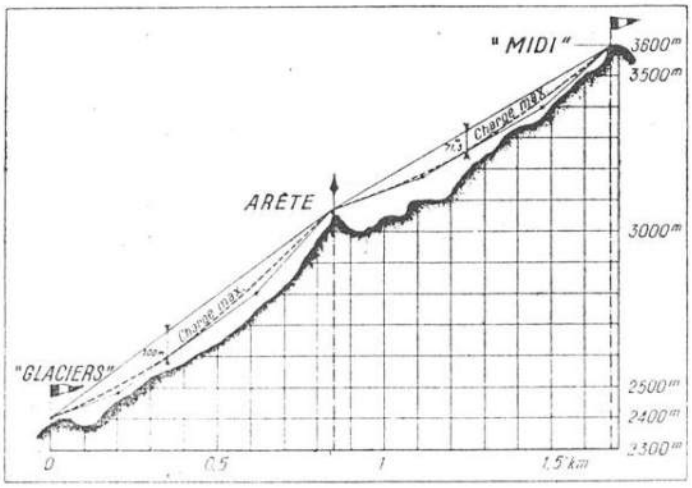


FIG. 3. — LE PROFIL EN LONG DU TROISIÈME TRONÇON

Ce rocher dénommé « gendarme », selon la terminologie de la technique alpine, a des dimensions assez faibles, et il a été juste possible d'aménager à son sommet une plate-forme de cinq mètres carrés. Pour le surplus, il faudra s'accrocher à celle-ci et aux parois abruptes du rocher, heureusement solide, au-dessus des pentes glacées qui dévalent à perte de vue, vers la station inférieure.

Au delà de celle-ci, à 2 500 mètres en contrebas, la vallée verdoyante de Chamonix.

De l'autre côté, en prolongement de la ligne, le changement d'aspect est saisissant et tout à fait inattendu. Le gendarme d'arrivée, en effet, émerge à peine de l'immense manteau blanc des neiges éternelles qui recouvrent la montagne, vers le mont Blanc, entièrement visible, dans toute sa hauteur et jusqu'à la frontière italienne, distante de quatre kilomètres, au plus près.

Le panorama est certainement un des plus beaux des Alpes : en face, attirant tout d'abord les regards, le mont Blanc (4 810 m) domine encore de 1 200 mètres. A sa droite, aucun obstacle ne cache le moindre détail de l'énorme amas glaciaire que constituent le mont Blanc, le dôme du Goûter, l'Aiguille du Goûter, le glacier des Bossons. Plus à droite, la vue plonge dans la vallée de l'Arve. Au delà, toute une succession de chaînes de montagnes alpines et préalpes, jusqu'au Jura.

A gauche du mont Blanc, l'œil est fasciné par l'immensité du champ de vision et le scintillement des neiges. Dans cette longue suite de cimes, dont beaucoup dépassent 4 000 mètres d'altitude, on remarque surtout la Dent du Géant, le mont Mallet, le dôme de Rochefort, les formidables Grandes Jorasses et, plus loin, en plans successifs de plus en plus éloignés, les massifs italiens ou suisses du Grand Paradis, du Grand Combin, du Cervin et du mont Rose, celui-ci à plus de 80 kilomètres de distance.

Tout à fait à gauche, la masse rocheuse de l'Aiguille du Midi cache une partie des Aiguilles de Chamonix, entre autres l'Aiguille Verte et les Drus. Il faut s'éloigner quelque peu, vers le sud, simple promenade sur la neige, pour les apercevoir toutes.

Cette neige est éternelle et accueillante aux plus timorés. Elle s'étend à perte de vue et se confond en réalité, à une altitude moins grande, avec les glaces vives du glacier du Géant, qui aboutit à la Mer de Glace. C'est là la « Vallée Blanche », unique en France et la perle du massif.

On peut s'y adonner toute l'année à tous les sports de la neige. De là on peut, aussi, entreprendre quantité de courses en haute montagne, faciles ou difficiles, toutes passionnantes, sans la fatigue et l'ennui de longues marches d'approche.

Une telle splendeur justifie certes les longs efforts et la persévérance de ceux qui cherchèrent à permettre à tous d'en jouir.

Les câbles et la sécurité

Aux difficultés du tracé, exceptionnelles, sont venues s'ajouter des conditions climatiques tellement rigoureuses qu'elles ont failli rendre impossible toute réalisation du troisième tronçon et l'ont, en tous cas, retardée de plusieurs années.

D'abord le froid : à 3 600 mètres d'altitude, il gèle en quasi permanence, sauf au soleil, et la température peut descendre à — 40° C. Ensuite le vent : il est, par moment, réellement furieux, et, de plus, glacial; puis l'orage, la foudre, le brouillard opaque à ne pas voir ses propres pieds, la neige, ensevelissant tout sous un épais tapis glacé; la glace vive, qui naît de cette neige même, ou le verglas, enfin, le pire de tout, le givre, cette précipitation sournoise de vapeur d'eau à l'état solide de neige glacée, molle, adhérente et dense, qui se dépose sur tout obstacle à la course du vent, lorsque celui-ci véhicule les nuées d'un air sursaturé d'humidité. Le givre survient tout à coup; il enrobe les câbles, les grossit, les alourdit et de plus en plus, jusqu'à ce qu'ils touchent le sol ou rompent.

S'ils cassaient, tout serait à recommencer et ce ne serait pas peu de chose. S'ils résistent, ils peuvent finir par toucher la neige ou la glace qui recouvrent tout, s'y sceller, puis être ensevelis par les chutes de neige ultérieures. Un dégivrage rapide est nécessaire. Ce phénomène de givrage, connu depuis peu et d'ailleurs assez mal, n'a certainement pas re-

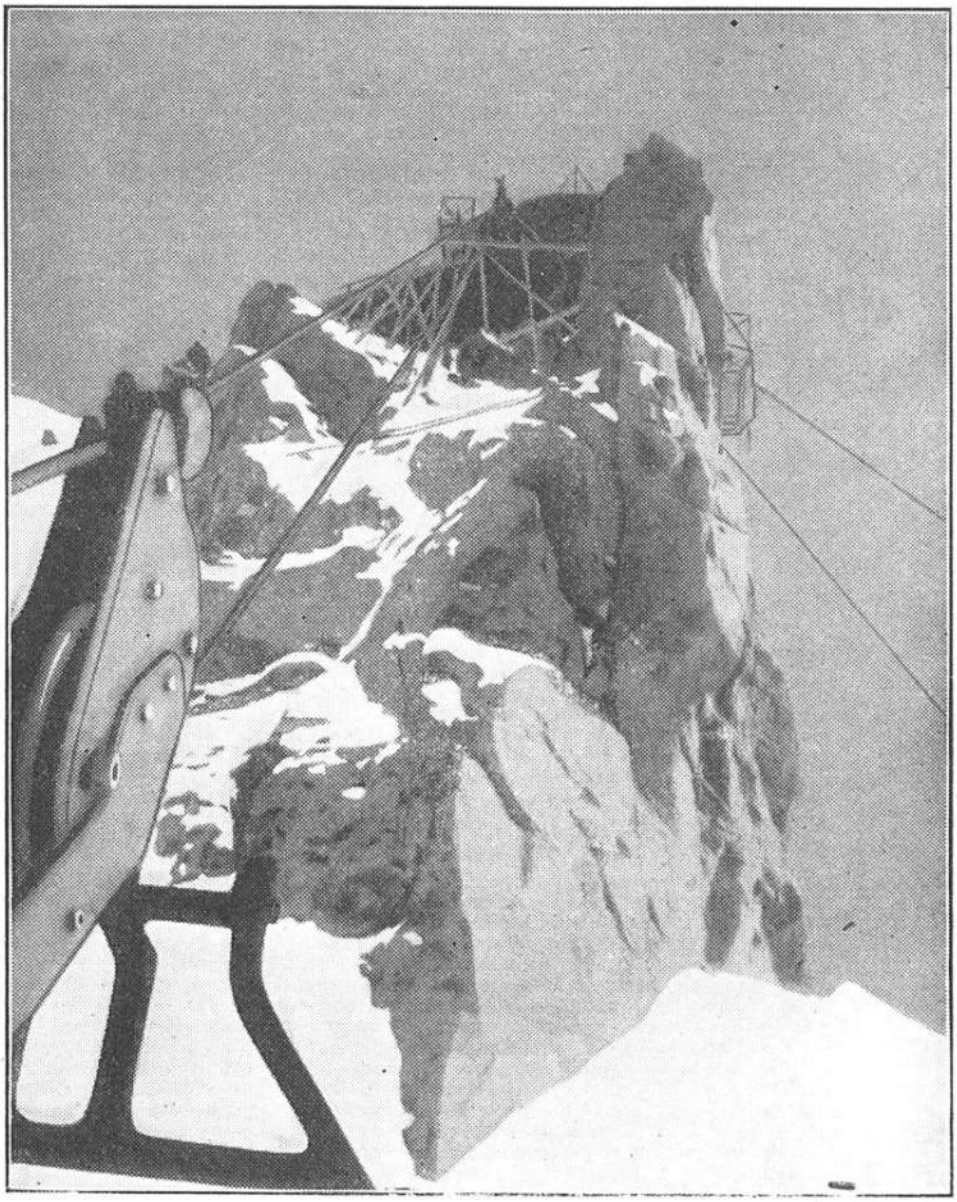
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tenu assez l'attention des auteurs de projets et aucun n'aurait pu être mené à bonne fin, parce que tous les systèmes envisagés comportent des câbles fixes et qu'il est pratiquement impossible de dégivrer un câble fixe.

Il était donc nécessaire de combiner un dispositif funiculaire qui ne comportât que des câbles mobiles et, cependant, pût s'accommoder du passage d'un support intermédiaire et présentât toutes les garanties de sécurité qu'exige le transport de personnes.

Ce problème trouva sa solution dans un système nouveau, dans lequel, comme à l'habitude, deux nacelles circulent en sens inverse, par va-et-vient, entre deux stations d'extrémités ; mais chacune d'elles est suspendue à une nappe de plusieurs câbles étendus parallèlement l'un à l'autre et formant boucle sans fin, exactement comme le ferait une courroie sans fin réunissant deux poulies placées chacune à une extrémité de la ligne et passant, en chemin, sur les poulies de guidage et support de supports intermédiaires.

Les trois câbles sans fin qui équiperont le troisième tronçon auront 30 mm de diamètre et pèseront ensemble moins de 11 kg par mètre, soit 23 000 kg au total.



T W 40077

FIG. 4. — LE « GENDARME » D'ARRIVÉE ET SES PASSERELLES AU COL DU MIDI, STATION TERMINALE DU TÉLÉPHÉRIQUE (3 650 M D'ALTITUDE)

A la station aval, celle des Glaciers (2 410 m) cette nappe tricâble passera par une poulie motrice montée sur chariot-contrepoids qui se déplacera sur un plan incliné, selon les sollicitations des câbles, en maintenant ceux-ci sous tension constante, première condition requise pour la sécurité.

A la station amont (3 610 m), cette nappe tricâble passera par une poulie de renvoi, ancrée dans le rocher par des câbles robustes. La ligne sera donc à double voie : une nappe gauche et une droite, réunies en aval et en amont par les susdites poulies.

Sur chaque voie et entre les renvois de poulies précités, circulera une nacelle pour 25 voyageurs, suspendue à la nappe des câbles. L'une des nacelles montera alors que l'autre descendra, à la vitesse moyenne de 6,50 m/s, sous l'action d'un moteur électrique de 250 ch qui attaquera la poulie par engrenages.

L'arrêt d'amont se fera à point fixe, par un dispositif adéquat. L'arrêt d'aval se fera au long d'escaliers d'accès comme il est habituel.

Les mécanismes moteurs seront asservis à un régulateur de vitesse automatique, arrêtant automatiquement le mouvement en cas de dépassement de la vitesse limite consentie ou pour une cause quelconque, telle que manque brus-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que de courant. En marche normale, le freinage électromagnétique est automatique. Le mécanicien disposera en outre d'un puissant frein. L'arrêt automatique se fera sur 10 m de distance en cas de danger. Il pourra être déclanché automatiquement par le régulateur de vitesse ou à la main par le mécanicien ou d'une quelconque des nacelles par son convoyeur.

Le dispositif précité est, en effet, complété par une ligne de secours, du même type que la ligne principale et qui la double. La boucle sans fin de câbles (de 12 mm) de la ligne de secours est normalement fixe et une nacelle en mouvement, en s'y accrochant par l'intervention du convoyeur, entraîne les câbles. Leur mouvement déclenche aussitôt les mécanismes de sécurité et l'arrêt intervient. C'est, en somme, le principe des ascenseurs à corde.

Ces mêmes câbles peuvent être mis en mouvement depuis la station d'aval, par un treuil auxiliaire, commandé par un moteur électrique ou un moteur à essence de 20 ch environ. Les câbles entraînent alors une petite nacelle qui, suivant exactement le même trajet qu'une nacelle principale, peut venir l'accoster si, pour une raison quelconque actuellement imprévisible, celle-ci se trouvait arrêtée, en détresse, en cours de trajet. Les passagers seraient alors, si nécessaire, transbordés sur la nacelle de secours qui les ramènerait, en plusieurs voyages, au besoin, jusqu'à la station inférieure des Glaciers.

Ces mêmes organes moteurs serviront, en outre, de secours pour le treuil de la ligne principale au cas où le moteur de 250 ch ne pourrait être utilisé, notamment pour les opérations de visite et entretien des câbles et, aussi, pour leur dégivrage automatique dès la première menace de givrage.

Le dégivrage

En effet, dès que le givrage commence et alourdit les câbles, le chariot-contrepoids de la station des Glaciers remonte et d'autant plus que la charge de givre est plus grande. Ce mouvement anormal attire l'attention du personnel d'exploitation ; mais si le givrage s'accentue et si le chariot, par suite, remonte davantage, il met en branle, par son mouvement même, une cloche d'alarme, puis, si personne n'intervient et si la remontée continue, un moteur électrique auxiliaire de 20 ch est mis automatiquement en marche, qui entraîne dans un mouvement lent, de 0,20 m/s, tout le système des câbles. De ce fait, les parties givrées des câbles ne tardent guère à arriver soit au renvoi d'amont, du Col, soit à celui d'aval (chariot-contrepoids). Là, des râcloirs décollent le givre et le font tomber des câbles.

Lorsqu'il est de formation récente et n'a pas subi le phénomène du regel, qui le transforme en glace vive, le givre n'adhère pas trop fortement et son décollement mécanique est facile. C'est pourquoi il n'a pas été envisagé de recourir à un dégivrage thermique, comme on le fait nécessairement pour les installations frigorifiques; mais il a été jugé absolument indispensable de pouvoir procéder au dégivrage sans perdre de temps et de manière automatique. En fait, le givre n'apparaît heureusement pas trop fréquemment et le dispositif décrit ne fonctionnera que de temps à autre, en hiver principalement.

Les premiers travaux du troisième tronçon

Reste à réaliser l'œuvre et ce n'est pas le plus facile, d'autant plus que les travaux ne peuvent se faire que durant trois mois d'été, par seuls beaux temps et très exceptionnellement et irrégulièrement au printemps et à l'automne, quelques jours seulement au total.

Le premier travail à exécuter était de relier « Les Glaciers » au « Col » par une ligne de service capable de transporter le personnel de chantier et les matériaux.

La construction d'une première ligne depuis les Glaciers jusqu'à l'arête ne fut pas particulièrement difficile, sauf pour aménager une plate-forme sur celle-ci ; mais l'établissement d'une seconde ligne, entre l'arête et le Col souleva des problèmes beaucoup plus ardus. Auparavant, il n'existait naturellement aucune liaison matérielle possible entre l'aval et le Col, sinon par la montagne même, ses rocs abrupts et ses glaciers. Etendre un câble, si petit fût-il, au long de la ligne future, n'était pas chose simple. On se décida pour un premier câble, dit pilote, de 4 mm seulement de diamètre. Un tel câble était bien modeste et, cependant, il pesait plus de 130 kg, et il fallait monter au col, en outre, au moins le triple de ce poids, pour l'ancrage, les accessoires, les vivres et le campement. Il eut fallu une véritable caravane de guides et de porteurs, du temps, et courir bien des risques. On jugea plus simple, et d'ailleurs plus spectaculaire, de charger tout ce matériel sur un avion, qui habilement piloté, le jeta, en paquets solidement conditionnés, sur la neige de la « Vallée Blanche » à proximité du « gendarme » choisi comme terminus de la ligne.

Là, des guides chamoniards intrépides, campant dans des huttes de glace, à la manière des Esquimaux, établirent un ancrage, y fixèrent un renvoi de poulies qu'enfourcha le petit câble « pilote ».

Mis en double, ils l'emportèrent, suspendus à lui comme une araignée à son fil, descendant en casse-cou le glacier suspendu du Col, puis escaladant l'arête, pour y rejoindre la première ligne.

Une fois la boucle formée d'aval en amont, il suffisait de l'actionner comme on le fait, mais plus aisément, pour les cordons de tirage d'un rideau, afin d'étendre, à l'aide du premier câble, en l'attachant à lui, un câble plus gros, capable de transporter une charge.

On put ainsi substituer un câble de 8 mm à celui de 4 mm et établir entre les Glaciers et le Col deux lignes successives, se raccordant à l'arête.

Par la suite, on substitua une ligne unique, à deux voies, équipée avec des câbles de 12 mm de diamètre. C'est la ligne de service actuelle.

Grâce à elle, les travaux de la ligne définitive ont pu être fort avancés durant l'été 1943.

Ils seront repris au début de l'été 1944 et probablement achevés, sauf imprévu, au cours de l'été 1945.

A ce moment là, il sera possible à chacun d'accéder sans risque ni fatigue à la très haute montagne, d'entreprendre, du Col, quantité de courses alpines merveilleuses, de se livrer en toutes saisons à tous les sports de la neige et même, simplement, de jouir en toute quiétude d'un spectacle inoubliable.

Marius BROSSE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LES HORMONES DANS LES GRANDS PHÉNOMÈNES BIOLOGIQUES

par Jean ROSTAND

Nul n'ignore le rôle capital que jouent, dans le fonctionnement des organismes supérieurs, les substances diffusibles ou hormones *qu'abandonnent au milieu sanguin les glandes à sécrétion interne. Qui n'a entendu parler des remarquables succès qu'enregistre journellement la thérapeutique en suppléant, chez certains malades, au manque d'une hormone définie : traitement du diabète par l'insuline, de la maladie d'Addison par la corticostérone, du myxœdème par la thyroxine, etc.? Mais les hormones du physiologiste et du médecin ne représentent que des cas particuliers d'un beaucoup plus vaste ensemble. Non seulement les substances diffusibles se retrouvent dans tous les groupes d'êtres vivants, les invertébrés comme les vertébrés, les plantes comme les animaux, mais encore elles interviennent dans tous les grands phénomènes vitaux et à tous les moments du cycle individuel. Considérée dans le cadre de la biologie générale, l'étude des hormones met en évidence l'universalité d'un mécanisme vraiment commun à toute la nature animée.*

Les hormones de croissance végétale

QUAND germe une graine de graminée (avoine ou maïs), elle produit une petite plantule, dont la tige, à sa partie supérieure, se termine par un organe pointu, le coléoptile; c'est aux dépens de celui-ci que se formera la première feuille de la plante.

Or, l'expérience nous apprend que l'extrême pointe du coléoptile constitue, pour la tige, un centre de croissance. Si l'on sectionne, en effet, le millimètre terminal du coléoptile, la croissance de la tige s'en trouve arrêtée net, par suppression de tout allongement cellulaire. Pour faire repartir aussitôt cet allongement, cette croissance, il suffira de remettre en place la petite pointe sectionnée, même si, entre elle et le reste de la tige, on a interposé une lamelle de gélatine. Tout se passe donc comme si la pointe du coléoptile élaborait une substance excitatrice de la croissance, et capable de diffuser dans les tissus sous-jacents.

En outre, si, au lieu de remettre la pointe dans sa situation première, on la pose un peu de côté, de manière qu'elle ne recouvre qu'à moitié la section de la tige, on constate que celle-ci se recourbe du côté opposé à celui où se trouve la pointe; preuve que la croissance, devenue dissymétrique, subsiste dans la seule moitié susceptible de recevoir la substance de croissance (expérience de Paal, fig. 1).

Cette substance — ou *auxine* — existe bien en effet. On peut la capter, la séparer de la pointe qui la produit en usant du procédé suivant, employé par le botaniste hollandais Went (1). On décapite (fig. 2) un certain nombre de jeunes tiges d'avoine, et l'on place, pendant quelque temps, les pointes sectionnées sur une plaque de gélose solidifiée. Dans ces conditions, elles abandonnent l'auxine à la gélose, qui s'en imprègne. Si donc, après avoir découpé en petits cubes la plaque de gélose imprégnée d'auxine, on pose l'un d'eux sur une tige préalablement décapitée, on voit que celle-ci bientôt recommence de croître, comme après l'imposition d'une pointe fraîchement coupée. Et si, comme précédemment, l'on a posé le petit cube de gélose, non pas juste au-dessus de la tige décapitée, mais un peu de côté, la tige se recourbe du côté opposé à celui où se trouve le petit cube.

N'est-ce pas une véritable hormone que cette substance de croissance, que cette *auxine*, bien qu'elle ne s'élabore pas dans une glande spéciale et ne soit pas libérée dans un système circulatoire? Elle diffuse, elle passe d'une partie à l'autre de la plante; elle agit à très petite dose, et d'une espèce à l'autre, car une auxine de maïs a la faculté de faire croître une tige d'avoine, et inversement.

Si l'auxine ne se trouvait que dans les extrémités des jeunes tiges, on aurait eu grand'peine à en déterminer la nature chimique; mais elle abonde relativement — 2 mg par litre — dans l'urine humaine, où elle provient de l'alimentation. C'est de l'urine qu'on a pu extraire, à l'état pur, deux espèces différentes d'auxines, l'une et l'autre dérivées de l'acide auxentriolique. Leur activité est considérable : un milligramme de l'une d'elle correspond environ à 50 millions d'unités-avoine (1).

On a identifié encore une troisième espèce

(1) Les pointes de plantules broyées ne cèdent pas de substances de croissance.

(1) L'unité-avoine est la plus faible quantité d'auxine qui soit susceptible de provoquer, en deux heures, une déviation de 10° chez la plantule d'avoine décapitée une heure avant l'essai, celui-ci étant fait dans des conditions déterminées de température, d'humidité et d'éclairement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

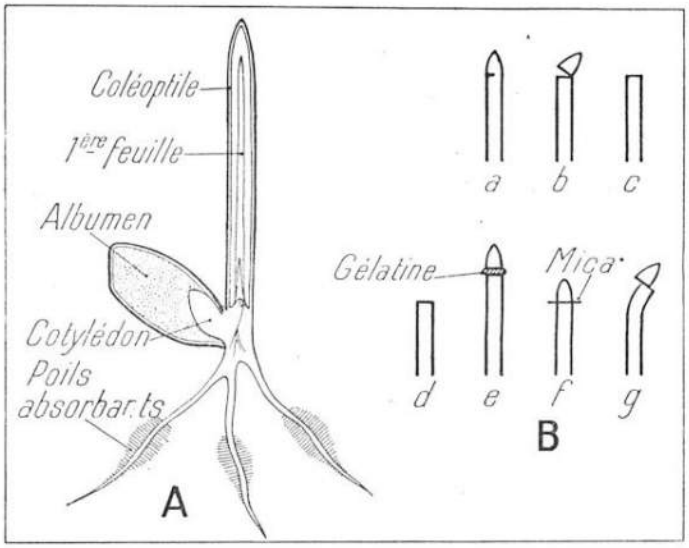


FIG. 1. — LE ROLE DES AUXINES DANS LA CROISSANCE D'UNE PLANTULE MIS EN ÉVIDENCE PAR LES EXPÉRIENCES DE PAAL

En A, coupe longitudinale d'une plantule de graminée en voie de germination; le coléoptile forme un étui autour des premières feuilles. Les expériences de Paal sont schématisées en B : a, extrémité du coléoptile avant le sectionnement en b et c; d, le moignon d'un coléoptile décapité ne s'allonge plus; e, le moignon s'allonge à nouveau si l'on soude à son extrémité, au moyen d'une goutte de gélatine, un cône apical de coléoptile; f, l'interposition d'une lame de mica entre le cône et le moignon empêche l'allongement de celui-ci; g, si le cône, soudé à la gélatine, ne recouvre que la moitié de la surface du moignon, l'allongement est limité à la moitié recouverte : le coléoptile se courbe. (Emprunté à Guilliermond et Mangenot.)

d'auxine, celle-là extraite des Mucoracées : c'est l'hétéro-auxine, ou acide indol-3-acétique, dérivé du tryptophane.

Les hormones de métamorphose

Après les substances de croissance, passons aux « substances de métamorphose ».

Chez beaucoup d'animaux (insectes, batraciens), le développement individuel comporte des changements de forme assez marqués pour que le passage du jeune à l'adulte mérite le nom de métamorphose.

L'action de l'hormone thyroïdienne sur la transformation du têtard en grenouille est connue depuis les expériences de Gudernatsch, qui datent déjà d'une trentaine d'années : en mettant (fig. 3) un peu de thyroxine dans l'eau où vivent de jeunes têtards, on détermine chez eux une métamorphose « foudroyante »; les grenouilles ainsi obtenues ont la taille d'une grosse mouche.

Le biologiste anglais Wigglesworth a récemment démontré que la métamorphose des insectes est due, elle aussi, à des facteurs hormonaux. Ses remarquables études ont porté sur une punaise sud-américaine, le *Rhodnius paradoxus*, qui se nourrit de sang.

Bien que le *Rhodnius* n'ait qu'une métamorphose incomplète, l'insecte adulte diffère nettement des stades antérieurs, ou nymphes : il a de grandes ailes membraneuses et mesure deux centimètres de long. Avant d'arriver à cet état, la punaise change plusieurs fois de peau (*mues*) : entre deux changements de peau, elle n'a besoin que de faire un bon repas de sang.

Si l'on coupe la tête d'une nymphe peu après ce repas, qui normalement précède la mue d'une quinzaine de jours, l'insecte peut survivre pendant des mois, mais il reste dans le même état sans plus changer de peau; au contraire, si on ne lui coupe la tête qu'une semaine après le repas, la mue se produit dans les délais ordinaires.

On en conclut que la mue dépend d'une hormone sécrétée par la tête; une fois que l'hormone a passé dans les humeurs en quantité suffisante, la décapitation de l'insecte est impuissante à empêcher la mue

Qu'il s'agisse bien d'un phénomène hormonal, cela peut se démontrer d'une manière fort élégante.

Voici une nymphe qui a été décapitée le lendemain de son repas. Nous savons qu'elle ne doit pas muer, aussi longtemps qu'on attende. Mais si, au moyen d'un mince tube capillaire, nous faisons communiquer ses humeurs avec celles d'une autre nymphe qui n'a été décapitée que huit jours après le repas, et qui, elle, par suite, doit muer, nous déclencherons la mue du premier insecte par cette sorte de *parabiose*.

Qui plus est, l'hormone de la tête ne détermine pas seulement le changement de peau; elle décide du maintien de la forme nymphale ou de l'apparition de la forme adulte.

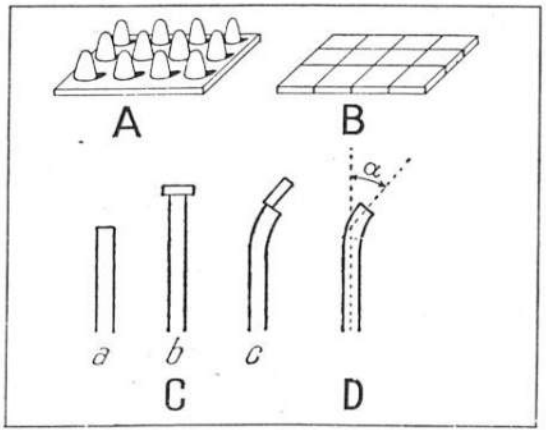


FIG. 2. — L'ISOLEMENT D'UNE AUXINE ET LA MESURE DE SON POUVOIR STIMULANT (EXPÉRIENCE DE WENT)

En A, les sommets des coléoptiles sont disposés sur une lame de gélose. B, une heure après, les cônes sont enlevés et la lame découpée. C, la croissance d'un coléoptile décapité (a) se poursuit normalement (b) lorsqu'il est surmonté d'un fragment de gélose ayant séjourné au contact d'un cône; (c) si la gélose ne repose que sur une moitié de la surface, l'allongement est localisé à la partie correspondante du coléoptile, d'où courbure. D, la valeur de cette courbure fournit un moyen de comparer entre eux les pouvoirs stimulants de substances de croissance provenant d'origines différentes. (Emprunté à Guilliermond et Mangenot.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici deux nymphes (fig. 4), dont l'une, toute jeune, a été décapitée au lendemain de son repas, tandis que l'autre, du dernier âge, ne l'a été que huit jours après. Si l'on joint ensemble les deux insectes, la première change de peau, sous l'influence humorale de la seconde, et donne alors naissance, non pas à une nymphe comme elle le devrait d'après son âge, mais à un adulte minuscule, long de trois millimètres, ayant cent fois moins de cellules qu'un adulte normal. Il y a eu *accélération* du développement sous l'influence de l'hormone émise par la vieille nymphe.

Si l'on fait l'expérience inverse, et qu'on déclenche la mue d'une vieille nymphe en la joignant à une toute jeune, elle ne donne pas naissance à un insecte adulte, comme elle le devrait, mais encore à une nymphe. Il y a eu cette fois, *inhibition* du développement, maintien des caractères juvéniles sous l'influence de l'hormone émise par la jeune nymphe.

L'hormone en question est produite par une petite glande, ou *corpus allatum*, située près du cerveau. Greffe-t-on des *corpora allata* de jeunes nymphes dans une vieille nymphe du cinquième ou dernier âge, on peut lui faire produire une nymphe du sixième âge, puis, à celle-ci, une nymphe du septième âge...

On a donc, par un apport hormonal, donné une rallonge au développement de l'insecte : on y a ajouté deux stades qui n'existent pas dans la nature.

Et, ajoute Wigglesworth : « Ici finit l'histoire pour l'instant. Car les nymphes du septième âge n'ont pu se libérer de leur vieille peau, et sont mortes. Mais, à part ces difficultés mécaniques, il semble qu'il n'y ait pas de raison pour que ces insectes ne deviennent de véritables géants si on leur fournissait en quantité appropriée de jeunes *corpora allata*... »

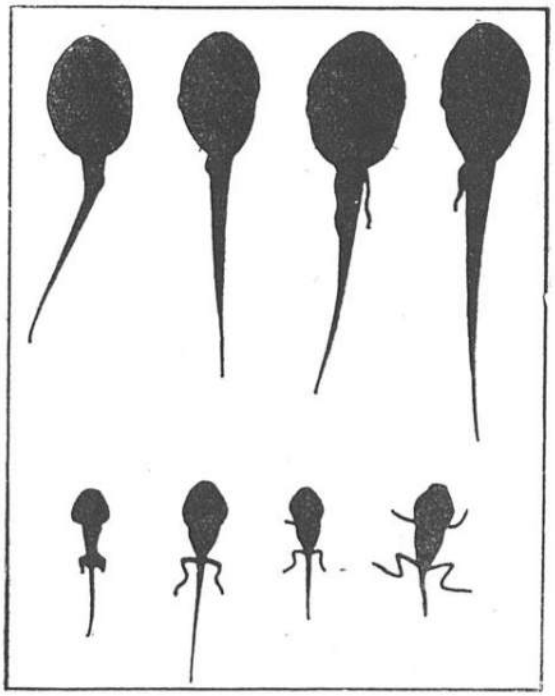


FIG. 3. — MÉTAMORPHOSES PRÉCOCES OBTENUES CHEZ LA GRENOUILLE

En haut, en grandeur sensiblement naturelle, des larves de grenouille (Rana temporaria), *âgées de trois mois. En bas, sous l'influence d'une solution de thyroxine au cent millionième, des larves ont été précédemment métamorphosées, donnant des grenouilles de la taille d'une mouche. (D'après Romeis.)*

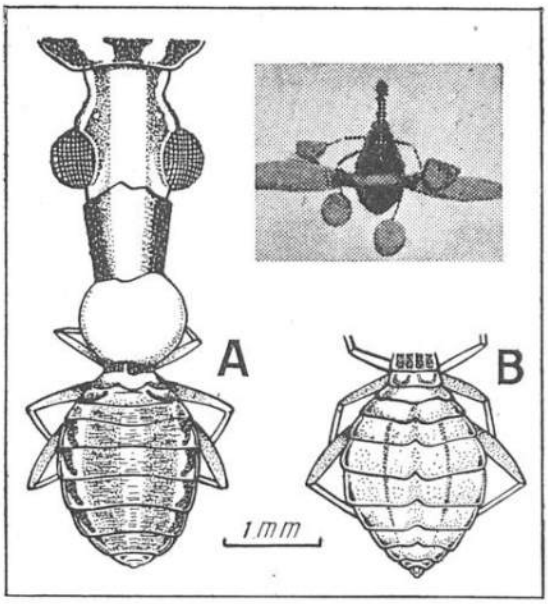


FIG. 4. — UNE MÉTAMORPHOSE PRÉCOCE PROVOQUÉE CHEZ LA PUNAISE SUD-AMÉRICAINE « RHODNIUS PARADOXUX »

Une nymphe du premier âge (c'est-à-dire qui aurait dû effectuer quatre mues avant de donner un insecte adulte) a été décapitée vingt-quatre heures après un repas et fixée par une goutte de paraffine à l'extrémité de la tête d'une nymphe du cinquième âge (c'est-à-dire prête à se métamorphoser en insecte adulte) nourrie huit jours auparavant. Cette petite nymphe a donné directement un insecte adulte mais de taille réduite, la métamorphose ayant été déclenchée par l'hormone élaborée par la deuxième nymphe. A titre de comparaison, on a donné, en bas à droite, un dessin d'une nymphe du deuxième âge. On voit que le résultat de la mue provoquée (à gauche) présente des caractères sensiblement différents et qui correspondent à ceux d'un insecte adulte. En haut, une photographie de la nymphe du cinquième âge portant à l'extrémité de sa tête la nymphe décapitée du premier âge. (D'après Wigglesworth.)

Nous citerons, dans le même ordre d'idées, les belles recherches du biologiste bordelais J.-J. Bounhiol, qui, en extirpant les *corpora allata* chez de jeunes vers à soie, a déterminé leur métamorphose anticipée en minuscules papillons.

L'organisine

Nous venons de voir les substances de croissance, les substances de métamorphose. Remontons maintenant au prime début du développement, à la formation même de l'être : dès ce stade de l'existence, nous allons retrouver encore des substances diffusibles, plus ou moins voisines des hormones.

Ce fait capital ressort des admirables recherches de Hans Spemann sur l'œuf de la salamandre d'eau ou triton. Un œuf fécondé de triton est, comme tout œuf, une simple cellule.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il commence par se diviser en 2, en 4, en 8, etc.; au bout de deux jour environ, du fait de ces divisions successives (fig. 5), il est découpé, en grand nombre de cellules d'abord à peu près semblables et interchangeables (blastula). Puis, au stade suivant (gastrula), la différenciation cellulaire s'accuse, et bientôt l'embryon s'organise; en premier lieu, apparaît la plaque neurale; ensuite, les yeux, les vésicules auditives, etc.

Or, cette organisation embryonnaire n'est pas, comme on pourrait le croire, un résultat global, un effet d'ensemble; elle dépend exclusivement d'une petite zone spéciale, correspondant à la

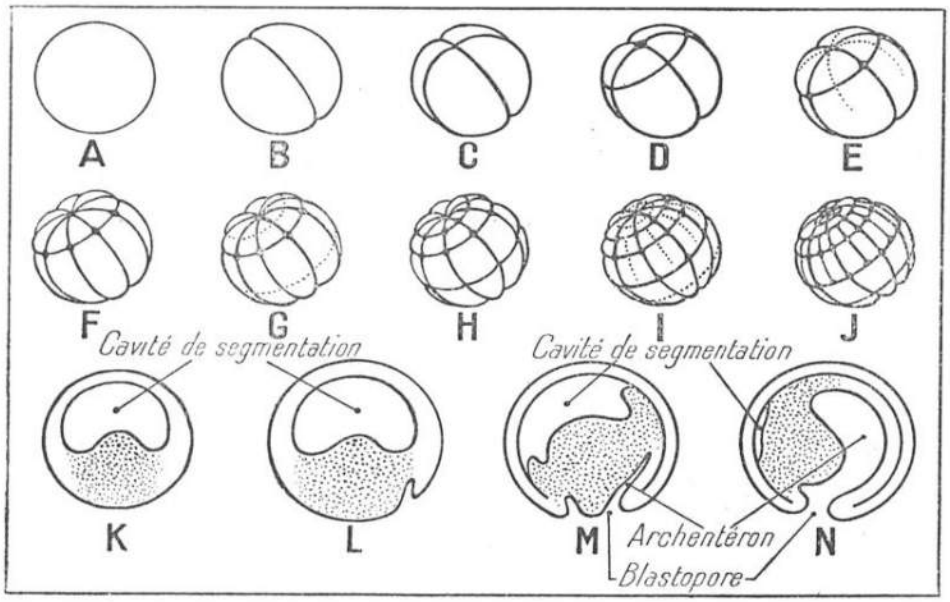


FIG. 5. — EXEMPLE DE SEGMENTATION (SCHÉMATIQUE) D'UN ŒUF DE BATRACIEN

L'œuf, peu après sa fécondation (A), se partage en deux suivant un plan méridien (B), puis en quatre suivant un plan perpendiculaire au premier (C), puis en huit (D), en seize, etc., pour aboutir en quelques heures au stade « morula » (J), auquel fait suite plus tard le stade « blastula » (K). A l'intérieur de la blastula se trouve une cavité, dite de segmentation. Vers le troisième jour environ (L), la surface de l'œuf se creuse pour former une cavité intérieure (appelée archentéron), communiquant avec l'extérieur par une ouverture appelée blastopore, ouverture qui se fermera aux stades suivants. On distingue les lèvres dorsale, ventrale et latérale du blastopore, la première jouant un rôle particulier dans l'induction des organes embryonnaires. (D'après Ecker, Aron et Grassé, Ziegler.)

lèvre antérieure de la bouche primitive, ou blastopore. C'est de là, et de là seulement, qu'émane, que découle l'influence organisatrice.

Supprime-t-on cette zone, cet « organiseur », il n'y aura plus d'organisation embryonnaire; l'œuf restera à l'état de masse amorphe. Qu'on prélève sur l'organiseur (fig. 6) par section, sur un œuf, pour le greffer sur un autre œuf en un point qui n'est pas celui de la future plaque neurale, et, là où on l'aura implanté, il se formera une deuxième plaque neurale, voire tout un complexe d'organes axiaux (chorde, muscles, tubes rénaux, cerveau, vésicules optiques et auditives), en somme tout un embryon surnuméraire.

Cet embryon surnuméraire (fig. 8), de siège inusité, ne vient nullement des tissus mêmes qu'on a greffés; il est constitué, non point par des cellules étrangères, mais par des cellules autochtones de l'œuf porte-greffe, cellules qui, au contact de l'organiseur et sous son influence, sont devenues capables de produire un embryon que, livrées à leurs seules ressources, elles eussent été parfaitement inaptes à produire.

Dans ces faits remarquables, il y a déjà de quoi nous faire penser que l'influence organisatrice pourrait tenir à une substance diffusible qui, sécrétée par l'organiseur, agirait, de proche en proche, sur les tissus voisins. Les données suivantes ne laissent aucun doute sur la réalité de ce processus.

En effet, la transmission du pouvoir organisateur peut s'opérer par simple contact. Si l'on prélève, sur une jeune gastrula de triton, un morceau d'épiderme dénué de toute propriété organisatrice, pour le greffer — soit dans le même œuf, soit dans un autre — tout près de l'organiseur, on s'apercevra, lorsqu'on le retirera quelque temps après, qu'il aura acquis, par son voisinage avec la région active, la faculté de provoquer lui-même, dans un œuf, l'effet d'organisation. En somme, tout se passe comme s'il avait été imprégné, imbibé d'une substance active; comme si, au moyen de ce lambeau d'épiderme, l'expérimentateur avait capté une hormone organisatrice, de même que tout à l'heure nous avons vu qu'on pouvait capter, au moyen d'un petit cube de gélose, l'hormone de croissance végétale.

Ainsi donc, l'aptitude à susciter l'organisation embryonnaire est susceptible de transfert, ce qui atteste bien l'intervention d'une substance chimique diffusible. Sans doute pourra-t-on objecter que les cellules bénéficiaires du transfert, étant vivantes et non pas inertes comme les cubes de gélose, ont pu acquérir leurs nouvelles propriétés par on ne sait quel phénomène de « contagion »; mais l'objection tombe aussitôt devant un fait décisif, à savoir qu'on peut reproduire l'effet d'organisation avec de simples extraits de l'organiseur (fig. 7). D'ailleurs, Mangold, Holtfreter, etc., ont conféré la propriété organisatrice à des substances inertes, comme de minces plaquettes d'agar, en les imprégnant d'une bouillie résultant de la trituration de plaques neurales.

Point de doute : il s'agit bien d'une substance diffusible, d'une « organisine », comme on la nomme quelquefois, et qui est plus ou moins assimilable à une hormone, bien qu'ici non plus il n'y ait pas de glande pour la produire, pas de système circulatoire pour la recevoir et la transporter.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'organisine, comme toute hormone, est dépourvue de spécificité zoologique : on obtiendrait l'induction embryonnaire en greffant un organiseur d'oiseau sur un œuf de triton ou sur un œuf de mammifère.

Quelle est la nature chimique de l'organisine? Dès lors qu'elle passe dans l'extrait éthéré des tissus actifs, et, plus précisément, dans la fraction insaponifiable de cet extrait, on a d'abord présumé qu'elle appartenait au groupe des stérols, ou alcools complexes, ayant pour radical commun le phénanthrène, groupe dont font partie également les hormones sexuelles. Mais, à la lumière de faits nouveaux, on serait porté à y voir présentement un complexe protidique sulfhydrilé

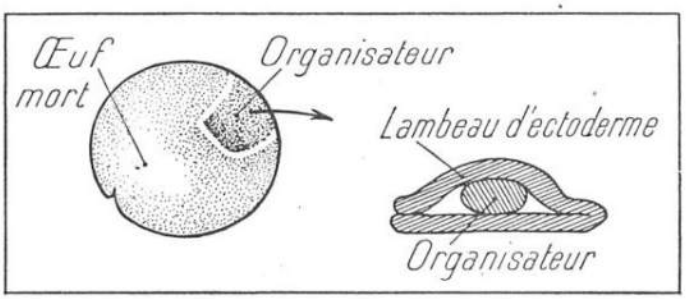


FIG. 7. — L'ORGANISATEUR MORT CONSERVE SON POUVOIR INDUCTEUR

Un fragment d'organisateur mort, placé entre deux lambeaux d'ectoderme prélevés sur une gastrula de triton, y induit un tube neural (D'après Holtfreter.)

Les hormones de développement

Même après la mise en place des ébauches embryonnaires, les substances diffusibles et « hormonoïdes » vont encore intervenir dans le développement de l'individu.

Si leur étude offre en général de sérieuses difficultés chez les animaux supérieurs, où l'embryon se forme dans l'utérus maternel, elle a pu être conduite avec un réel succès chez les insectes, où une grande phase du développement se fait à l'état libre, sous forme de larve.

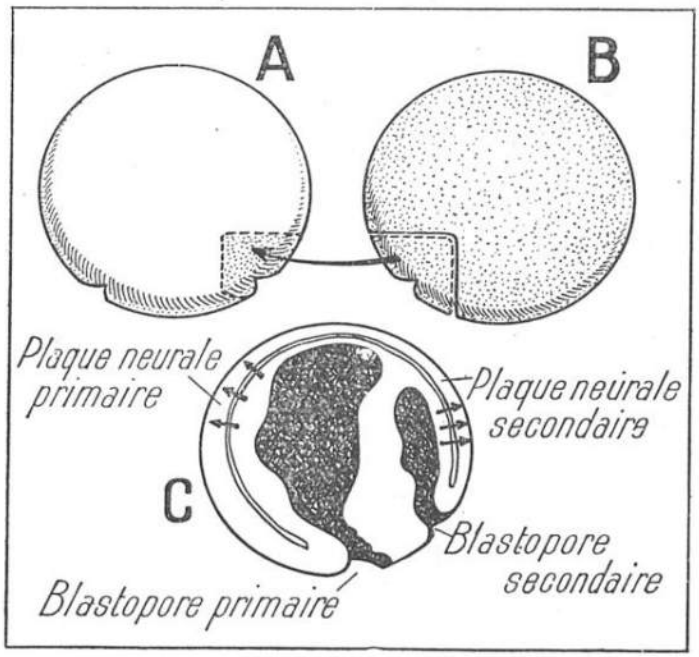


FIG. 6. — L'INDUCTION ORGANISATRICE DANS L'EXPÉRIENCE TYPE DE SPEMAN

Avant la gastrulation, on prélève sur un œuf B la lèvre du blastopore et on la transplante sur un autre œuf A qui se trouve ainsi en avoir deux. On voit en C une coupe de cet œuf après gastrulation. Il est doté de deux blastopores s'ouvrant dans deux cavités archentériques sur les voûtes desquelles ont pris naissance des ébauches d'embryons. Les flèches symbolisent l'induction organisatrice. (D'après Dalcq.)

Examinons ce qui se passe, à cet égard, chez un petit papillon, la teigne des farines ou *Ephestia kühniella*, étudié par Kühn et son école (fig. 10).

Cet insecte, dans son type normal, est fortement pigmenté; à l'état adulte, il a des yeux noirs, des testicules bruns; à l'état larvaire, sa peau est rouge. Mais on connaît, chez la teigne des farines, une variété héréditaire (race ou mutation) qui diffère nettement du type normal par la réduction du pigment : dans cette variété, que nous appellerons « albinos », le papillon a les yeux rouges, les testicules incolores; la larve a la peau blanche et translucide. Ces caractères différentiels dépendent d'un seul gène, c'est-à-dire d'une seule unité héréditaire, qui diffère selon la race. Parfaitement stables, ils se perpétuent fidèlement de génération en génération : une lignée pure de teignes à yeux noirs ne produit que des teignes à yeux noirs; une lignée pure de teignes à yeux rouges, que des teignes à yeux rouges.

Que se passera-t-il si l'on greffe une ébauche d'œil ou de testicule provenant de la race albinos sur un organisme de race normale? L'ébauche se trouvera-t-elle modifiée dans son développement du fait qu'elle aura vécu dans un milieu intérieur, dans un milieu humoral de race étrangère? En d'autres termes, est-il possible de modifier si peu que ce soit les caractères d'un organe en l'obligeant à se développer dans un organisme soumis à une autre détermination héréditaire?

A priori, on eût été tenté de répondre par la négative, car les fameux « hybrides de greffe », prétendument obtenus chez les végétaux, sont une pure création de l'esprit. Toutefois, dans le cas de la teigne des farines, on a pu constater sans équivoque une influence de l'organisme sur l'organe greffé, du porte-greffe sur le greffon.

Si l'on implante (fig. 9) une ébauche de testicule provenant d'une larve de race albinos sur une larve de race normale, cette ébau-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

che produit un organe pigmenté, brun, au lieu de produire un organe incolore, comme elle eût fait si elle était restée dans un organisme de sa race; bref, pour ce qui est de la pigmentation, elle se développe, non pas conformément à son propre type génétique, mais conformément au type génétique de l'individu qui l'a hébergée et nourrie.

Ainsi, dans un milieu humoral de race normale, un testicule de race albinos prend les caractères de la race normale.

De même, si l'on avait greffé une ébauche d'œil de race albinos sur une larve de race normale : au lieu de produire un œil rouge, comme elle l'eût fait immanquablement dans un organisme de sa propre race, elle produit un œil noir, comme l'œil de son hôte.

Qu'est-ce à dire?

Que les tissus de race albinos ont perdu la faculté de produire une certaine substance indispensable à la pigmentation de l'œil et du testicule, et que, cette substance, ils la trouvent dans le milieu intérieur de la race pigmentée.

On peut prouver directement qu'il s'agit bien d'une substance diffusible et véhiculée par les humeurs : en injectant à des larves de race albinos de la lymphe provenant de la race pigmentée, on détermine le noircissement de l'œil ou le brunissement du testicule.

Or, il ne s'agit pas d'un simple dépôt, d'une simple fixation de pigment dans un organe non pigmenté : la substance en question n'est pas un pigment, mais intervient dans la série des réactions chimiques qui aboutissent à l'élaboration de celui-ci; elle est donc bien comparable à une hormone. Et c'est bien effectivement sous le nom d'hormone A que la désigne l'école de Kühn.

Si l'influence est manifeste du porte-greffe pigmenté sur le greffon non pigmenté, en revanche un greffon de race pigmentée influe sur un porte-greffe non pigmenté. Quand on greffe un testicule brun sur une larve de race albinos, il en résulte un noircissement des yeux chez le papillon produit par la larve porte-greffe.

Des résultats du même ordre que ceux que nous venons de rapporter ont été obtenus par Beadle et Ephrussi sur la Drosophile ou mouche du vinaigre, qui constitue, comme on sait, un matériel de choix pour les investigations relatives à l'hérédité.

Qui ne voit la portée considérable de ce genre de recherches?

En usant de substances produites par des animaux d'une certaine race, on confère certains caractères de cette race à des animaux de race différente. On reproduit par la voie humorale des effets qui ne sont transmis d'ordinaire que par la voie génétique. On transporte pour ainsi dire l'hérédité d'un individu sur un autre, tout comme on transporte, d'un embryon à l'autre, le pouvoir d'organisation, ou, d'une plante à l'autre, le pouvoir de croissance. L'hérédité, en certains cas, rentre dans la catégorie des « phénomènes transportables », comme disait Le Dantec.

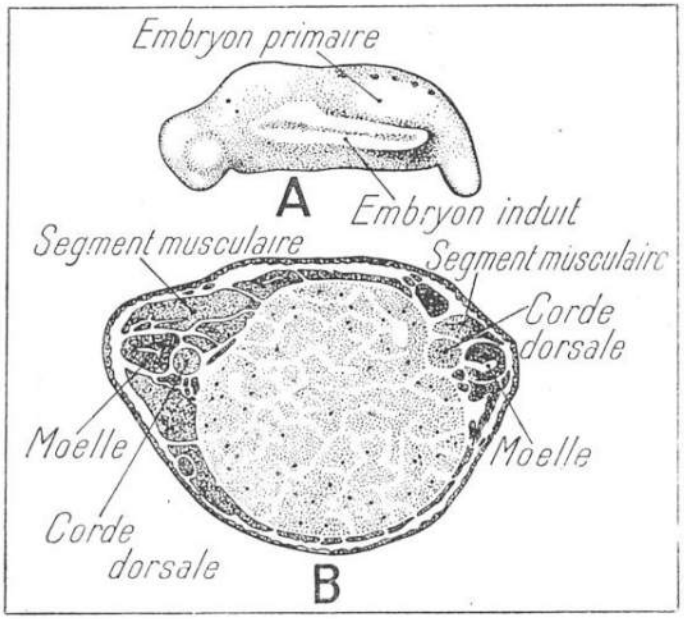


FIG. 8. — EMBRYON DE TRITON PORTANT UN EMBRYON SECONDAIRE INDUIT PAR UN ORGANISATEUR GREFFÉ

Ayant prélevé la lèvre du blastopore d'une gastrula de triton, on l'a greffée dans l'ectoderme ventral d'une autre gastrula de même âge, où il se forme alors une deuxième ébauche d'organes divers, ainsi qu'on le voit sur la coupe. (D'après Aron et Grassé.)

L'existence de ces véritables « substances d'hérédité » a d'ailleurs de curieuses conséquences. L'hormone A, qui, chez la teigne des farines, produit le noircissement de l'œil, passe dans les œufs de la femelle et s'y emmagasine. En sorte que, si l'on a greffé à une papillonne de race albinos un testicule ou un œil de type normal, elle peut ensuite produire des larves qui présentent dès la naissance les caractères de ce type. On a produit là, en quelque sorte, une « pseudo-hérédité ».

Hormones et détermination du sexe

Si nous revenons maintenant aux animaux supérieurs, aux vertébrés, ils vont nous enseigner, à leur tour, des faits de haute signification sur le rôle morphogénétique des hormones sexuelles.

On sait que la différenciation sexuelle est assurée, chez eux, par un mécanisme fort simple. Les chromosomes, c'est-à-dire les particules du noyau qui constituent la substance héréditaire, laissent voir, suivant le sexe, une légère différence. Chez les volailles, par exemple, une certaine paire de chromosomes (chromosomes sexuels) est formée, dans le sexe masculin, de deux chromosomes tout pareils (chromosomes Z), et, dans le sexe féminin, de deux chromosomes inégaux (chromosome Z, chromosome W)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Puisque les gamètes, par suite de la réduction chromatique, ne reçoivent qu'un seul chromosome par paire, la poule — de formule chromosomique WZ — pond nécessairement des œufs de deux sortes quant aux chromosomes sexuels : des œufs à chromosome Z et des œufs à chromosome W. Le coq, lui — de formule ZZ — ne produit qu'une sorte de spermatozoïdes, tous à chromosome Z. Les œufs à chromosome W produisent des femelles (WZ); les œufs à chromosome Z produisent des mâles (ZZ).

Ainsi, dans le développement normal, c'est la composition chromosomique qui détermine le type de la glande génitale : à deux chromosomes Z correspond la formation de glandes testiculaires; à un chromosome Z et un chromosome W, la formation de glandes ovariennes.

Or, il apparaît extrêmement probable que l'action des chromosomes eux-mêmes, ou des gènes qu'ils renferment, s'exerce par l'entremise de substances chimiques diffusibles, substances différant selon la formule chromosomique et plus ou moins semblables aux hormones sexuelles (androstérone, folliculine) qui, chez l'adulte, conditionnent l'apparition des caractères sexuels secondaires. Tout se passe comme si un œuf de formule ZZ fabriquait de l'androstérone; un œuf WZ, de la folliculine. Par l'emploi de ces deux hormones, en effet, on peut influer puissamment sur le développement de la glande génitale, et jusqu'à obtenir l'inversion complète du sexe, comme l'ont montré les très belles expériences de Véra Dantchakoff, d'Etienne Wolff et Ginglinger. Si l'on injecte de très fortes doses de folliculine à un jeune embryon de poulet ayant une formule chromosomique ZZ, donc génétiquement destiné à devenir mâle, ce poulet, à la naissance, ne se distingue pas d'un poulet femelle : au lieu de testicules, il présente des ovaires typiques. La folliculine n'est donc pas seulement capable de déterminer l'apparition des caractères sexuels secondaires du type féminin, et notamment de transformer, comme l'a montré Pézard, un plumage de coq en plumage de poule : elle est encore capable de transformer une glande mâle en glande femelle. Elle n'est pas seulement féminisante, elle est « ovariogène »

De même, si l'on injecte de l'hormone mâle, ou androstérone, à un jeune embryon de poulet ayant une formule chromosomique WZ, donc génétiquement destiné à devenir femelle, on détermine par là une masculinisation de sa glande génitale; quoique moins nette dans ce sens, la modification apportée par le traitement

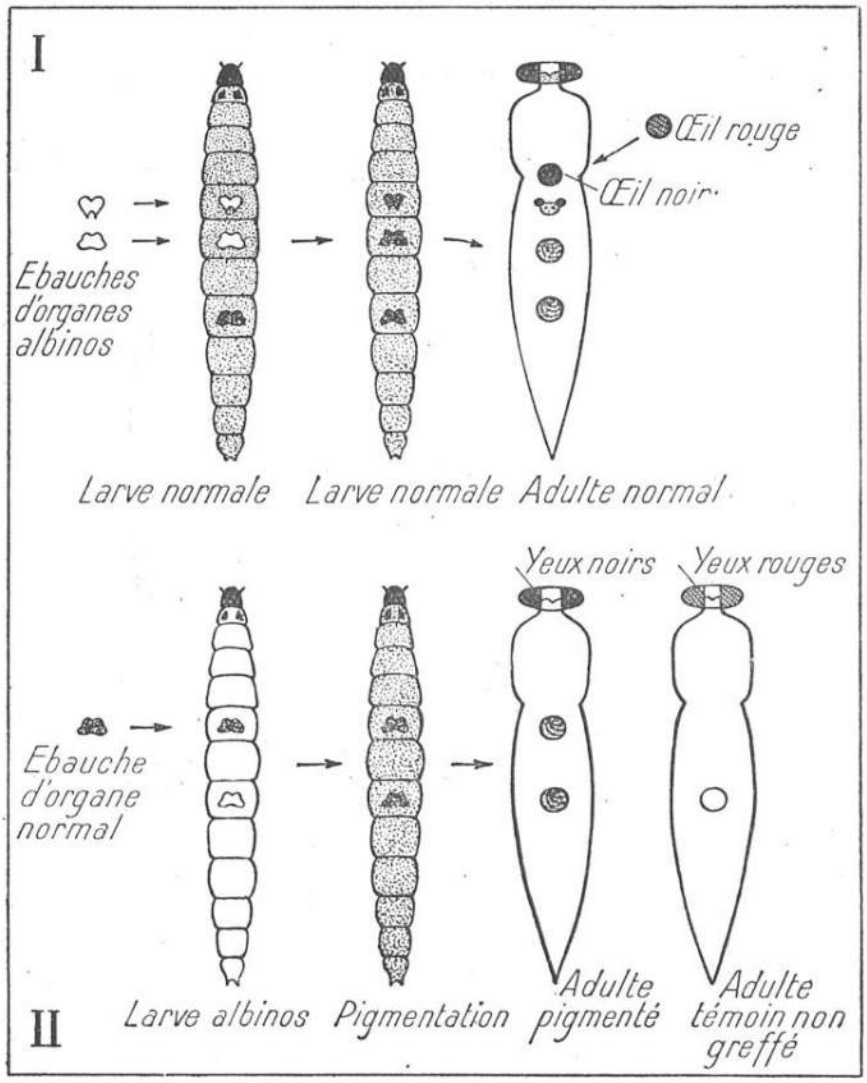


FIG. 9. — LE RÉSULTAT DES GREFFES ENTRE LES DEUX RACES D'EPHESTIA

En haut, sur une larve normale, sont greffées diverses ébauches d'organes prélevés sur un individu albinos. Incolores, ils ne tardent pas à se pigmenter. Un œil d'albinos greffé sur une larve normale donne un œil noir. En bas, inversement, une ébauche d'organe (testicule ou cerveau) d'un individu normal est greffée sur une larve albinos. Cette ébauche provoque la pigmentation de tous les organes de l'individu albinos qui se métamorphosera en un adulte à yeux noirs. (D'après Becker.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

hormonal ne laisse pas d'être encore très sensible.

Hormones sexuelles des plantes

Chez les moisissures, nous retrouvons encore des hormones, et dont le jeu est indispensable à l'établissement de la reproduction sexuée.

Nombreuses sont les espèces de moisissures où existent des thalles de polarité ou sexualité différentes. Ces thalles, cultivés séparément, ne produisent jamais que des spores; mais, dès qu'on met en présence deux thalles de signe contraire, chacun d'eux pousse vers l'autre des filaments sexuels qui s'incurvent et se joignent, puis se fusionnent par leurs extrémités, pour former des œufs.

Or, cette action mutuelle des thalles de signe contraire s'exerce, comme l'a montré Burgeff, par le moyen de substances diffusibles : les filaments sexuels apparaissent en effet, et s'attirent, même quand les deux thalles sont séparés par une distance de quelques millimètres, même quand ils sont séparés par une mince barrière de collodion.

Raper a analysé avec une minutie extrême l'enchaînement des phénomènes qui précèdent la formation des œufs chez un champignon aquatique de la famille des saprolégniées.

Quand un thalle mâle et un thalle femelle sont mis en présence, c'est le thalle femelle qui, le premier, réagit en face de son partenaire. Il émet une hormone — hormone A —, dont l'effet sera d'induire, dans le thalle d'en face, la formation de filaments sexuels mâles. Quelques heures plus tard, ces filaments, à leur tour, émettent une deuxième hormone — l'hormone B — qui induit, dans le thalle femelle, la formation de filaments sexuels. Ce n'est pas tout. Après qu'il se sera de nouveau écoulé quelques heures, les filaments femelles émettront une troisième hormone — l'hormone C — qui déterminera l'attraction des filaments mâles, et, en même temps, conditionnera la maturation de ces mêmes filaments, lesquels, une fois tout à fait mûrs, émettront peut-être une quatrième hormone...

Les hormones sexuelles des champignons se propagent par diffusion dans l'agar, qui sert de milieu de culture; elles traversent une cloison de cellophane; elles passent dans l'eau, si bien qu'on peut faire produire des filaments sexuels à un thalle mâle en l'arrosant avec de l'eau où un thalle femelle a laissé fluer son hormone A.

Remarquons que ces hormones sexuelles des champignons ont un comportement très particulier : d'une part, elles agissent *par voie exogène*, sur un individu qui n'en est pas le producteur; d'autre part, elles déterminent — du moins l'hormone A et l'hormone B — une sexualisation contraire à celle de l'organisme émetteur; l'hormone produite par le sujet femelle induisant la formation d'organes mâles, et réciproquement.

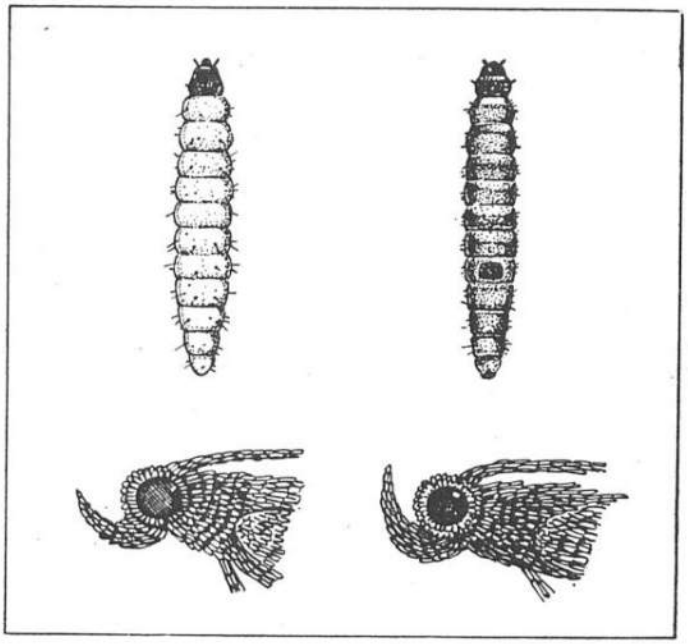


FIG. 10. — LES DIFFÉRENCES DE PIGMENTATION DES DEUX RACES D' « EPHESTIA KUHNIELLA »

A droite, race normale : les yeux de la larve sont pigmentés, sa peau est rougeâtre, ses testicules bruns; les yeux de l'insecte sont noirs. A gauche, race albinos : les yeux de la larve sont peu pigmentés, sa peau et ses testicules sont incolores; les yeux de l'insecte sont rouges.

Le règne animal lui aussi, nous offre plusieurs exemples de ces hormones à action exogène.

Chez le ver marin appelé bonellie (fig. 11), le dimorphisme sexuel est des plus accusés : le mâle, de taille microscopique et de structure rudimentaire, vit en parasite sur sa géante femelle, dont le corps, mesurant 3 à 4 cm de longueur se prolonge par une longue trompe.

Contrairement à ce qui se passe chez la plupart des autres animaux, le sexe de l'individu, chez la bonellie, n'est pas irrévocablement déterminé à la fécondation : ce sont les circonstances du premier âge qui en décident. Si une larve nouveau-née reste libre dans le milieu marin, et bien nourrie, elle devient une grosse bonellie femelle; mais si elle arrive au contact d'un individu femelle, elle s'y fixe au niveau de la trompe, et, dès lors, devient un mâle nain.

La trompe de la femelle agit sur la jeune larve par le moyen d'une substance diffusible, sorte d'hormone masculinisante (Baltzer). On peut masculiniser expérimentalement de jeunes larves en les soumettant à l'action d'un extrait de trompe.

Conclusions

Substances de croissance, de métamorphose, d'organisation, de développement, d'hérédité, de sexualisation : nous venons de voir tout cela. Il n'est, pour ainsi dire, pas un phénomène vital où l'on n'ait pu mettre en évidence quelque processus de nature hormonale. N'a-t-on pas été conduit tout récemment à expliquer par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

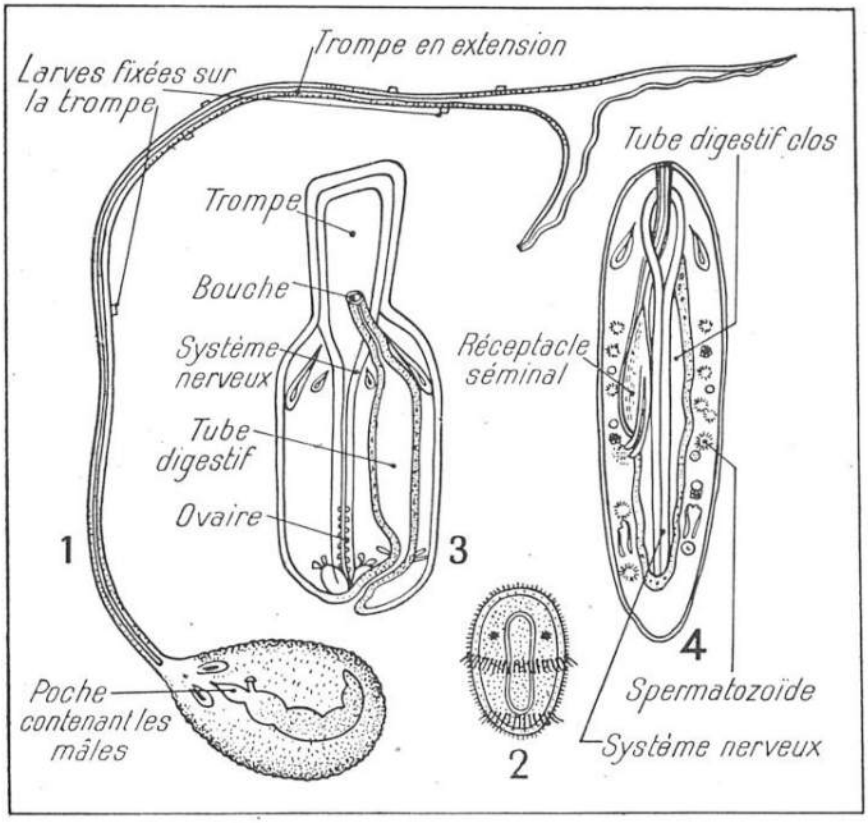


FIG. 11. — LE CURIEUX VER MARIN BONELLIE

La Bonellie, ver marin de la Méditerranée, présente un intérêt biologique exceptionnel. Le sexe n'y est pas déterminé d'une façon stable à la fécondation, mais dépend des circonstances du développement. Placées simplement dans l'eau de mer, les larves se nourrissent et se transforment en femelles, dotées d'un corps de quelques centimètres de longueur, prolongé par une trompe très allongée, pouvant atteindre un mètre de long. Le corps se loge dans une anfractuosité de rocher et la trompe se déploie à l'extérieur, amenant la nourriture à la bouche, le long d'un sillon muni de cils, tracé le long de la trompe. Si, au contraire, les larves sont mises au contact d'une femelle, ou seulement d'un fragment de trompe, elles s'y fixent et se transforment en mâles, minuscules créatures de deux millimètres de long seulement. Ces mâles, dont le tube digestif entièrement clos reste inutilisé, passent dans le tube digestif de la femelle où on les rencontre en grand nombre. 1. femelle adulte (fortement réduite); 2, larve libre à l'éclosion; 3, jeune femelle; 4, mâle (2, 3, 4, très fortement grossis). (D'après Baltzer.)

l'action d'une hormone le passage de la phase solitaire à la phase grégaire chez les Acridiens migrateurs ! (1)

Toutes ces substances dont nous avons parlé — et il y en a bien d'autres — méritent-elles le nom d'hormones? Ou ce terme ne doit-il être réservé qu'à certaines d'entre elles?

Il n'y a là qu'une pure question de vocabulaire, de convention terminologique ; car il est indéniable que toutes ces substances, pour diverses qu'elles soient, présentent des analogies, des affinités. Ce sont toutes des substances chimiques agissant à petites doses, capables de diffuser à partir des tissus qui les produisent, et dont l'action n'est généralement pas limitée à l'espèce ni au genre qui les a fournies. Sans doute certaines d'entre elles diffèrent-elles plus ou moins de l'hormone classique; mais on passe, des unes aux autres, par des transitions si graduelles qu'on hésite vraiment à rompre l'unité du groupe par une ligne de démarcation, forcément arbitraire.

Certaines sont produites par des glandes spéciales; d'autres, par des tissus plus ou moins bien définis; d'autres, par des cellules isolées. Certaines sont déversées dans le sang; d'autres dans les espaces intercellulaires; d'autres passent de cellules en cellules; d'autres, enfin, diffusent jusque dans le milieu extérieur.

En général, une hormone sert à l'individu même qui la produit; et ce caractère entre dans la définition qu'en donne Koller : « substance organique produite par un organisme pour son propre usage et douée d'une fonction spécifique de régulation ». Mais pouvons-nous décemment séparer des autres hormones sexuelles cette substance masculinisante que sécrète la bonellie femelle et qui détermine le sexe de la larve parasite? Ces substances inductrices que sécrètent les thalles des champignons, et qui provoquent la formation d'organes sexuels dans le thalle d'en face?

Ces hormones exogènes ne sont qu'indirectement utiles à l'individu producteur, en éveillant la sexualité complémentaire d'un autre individu, et en préparant ainsi l'union des sexes. Ce sont, en quelque sorte, par opposition aux hormones de l'individu, des *hormones de l'espèce*.

On voit qu'il n'est pas aujourd'hui facile de définir précisément ce qu'est une hormone. Mais ne nous plaignons pas de cette difficulté. La biologie n'est pas une mathématique, et mieux vaut que nos connaissances s'enrichissent, dût cet enrichissement apporter provisoirement quelque trouble dans nos définitions.

Jean ROSTAND

(1) Voir : « Les Criquets » (*Science et Vie*, no 311, juillet 1943).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LE SONDAGE DES OPINIONS

par A. SAINTE-LAGUË
Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers

Peut-on connaître l'opinion de tout un peuple en interrogeant seulement quelques individus? Peut-on connaître les besoins d'une classe sociale déterminée en posant des questions précises à quelques-uns de ses membres? L'importance pratique de telles enquêtes par sondages est évidente. Elles épargnent des efforts considérables et trouvent leur application non seulement dans le domaine social, politique ou non, mais aussi dans l'industrie, pour les chefs d'entreprise désireux d'être renseignés sur l'état du marché ou l'opportunité de lancer un produit nouveau.

Qu'est-ce qu'une opinion?

Voici un groupe d'individus ou, comme disent les statisticiens, une « population » déterminée, ce mot de population désignant pour eux tout ensemble de corps, animés ou non, dont on veut étudier un caractère ou une réaction. Nous voudrions avoir leur « opinion » sur un sujet donné. Ce mot doit lui aussi être entendu dans un sens très large. Nous appellerons opinion par exemple, dans le domaine social, aussi bien la réponse à la question : « Fumez-vous? » qu'à la question : « Gagnez-vous plus de tant par an? » ou encore : « Estimez-vous que l'enseignement libre doive être mis sur un pied d'égalité avec l'enseignement public? ».

Une « opinion » ne représente bien entendu que ce que l'individu interrogé voudra bien nous dire et n'est pas forcément ce qu'il pense. Cette réponse peut aussi être fausse parce que l'individu se trompe inconsciemment.

Par ailleurs, une opinion peut présenter dans certains cas quelque chose d'assez flou, d'inconsistant, de difficile à définir ou de trop nuancé pour être enclos dans une formule nette. Posons à des centaines de personnes la question suivante : « Si vous gagniez un million à la Loterie Nationale, qu'en feriez-vous? ». Les réponses ne présenteraient pas un grand intérêt pour une étude mathématique, car beaucoup seraient complexes et contiendraient des nuances difficiles à classer. Modifions maintenant la question précédente en disant : « Si vous gagniez un million à la Loterie Nationale, quelle somme consacreriez-vous aux œuvres d'assistance? » On aurait déjà là, en dépouillant les réponses, des éléments d'étude plus précis pour un statisticien. Il ne s'agit pas bien entendu de discuter la bonne foi de nos interlocuteurs. Si l'un d'entre eux nous dit qu'il donnerait les trois quarts de son million aux malheureux, il nous faut enregistrer sa réponse, quelles que soient nos inquiétudes sur la véracité de cette assertion.

Comme on le devine, il y a toute une technique de l'enquête. Il faut poser des questions non seulement claires et ne prêtant à aucune équivoque, mais aussi auxquelles l'enquêté devra autant que possible n'avoir à répondre que oui ou non. Deux additions permettront alors d'avoir les deux nombres traduisant la répartition des deux opinions opposées.

Les trois sortes de vérités

Nous voilà bien loin évidemment de ce que l'on peut appeler une vérité mathématique. Au surplus, on a pris depuis longtemps l'habitude de distinguer trois sortes de vérités. La première sera celle que l'on attribue communément à toutes les propositions mathématiques : la somme des angles d'un triangle — tout au moins en géométrie euclidienne — vaut deux droits. On a là des vérités absolues et irréfutables, et encore y aurait-il souvent des restrictions ou des précisions à apporter à de telles assertions.

La deuxième sorte de vérité est celle que l'on rencontre constamment dans les sciences expérimentales. On dit que le poids d'un corps est de 4 392 grammes. Ce n'est là qu'une valeur approchée et, si la pesée peut être garantie à 1 gramme près, cela veut dire seulement que le poids de ce corps est compris entre 4 391 et 4 393 grammes. On n'a là qu'une vérité approchée.

En statistique et dans le calcul des probabilités, il y a simplement des faits qui ont une certaine chance d'être exacts. Affirmer qu'ils le sont est affirmer une propriété probable, mais non certaine. Ce sont là des *vérités statistiques*.

Prenons une urne qui contient 999 999 boules noires et une blanche et extrayons une boule. Il y a 999 999 chances sur un million, soit ce que l'on appelle une quasi-certitude, de tirer une boule noire. Je jette un dé en l'air : il y a une chance sur deux que le point obtenu soit divisible par 2, mais on ne peut raisonnablement tabler sur ce fait que si l'on effectue un grand nombre d'essais, auquel cas le rapport du nombre des points pairs au nombre des points impairs sera de plus en plus voisin de 1.

Les deux problèmes théoriques des enquêtes par sondages

Les études de sondages, d'enquêtes industrielles ou économiques, posent deux problèmes théoriques. L'un consiste à étudier les réponses obtenues en les considérant comme représentant exactement l'état des opinions et comme ne différant en rien de ce qu'aurait donné une enquête portant sur toute la population considérée. La répartition de ces réponses peut affecter, comme nous le verrons, des formes très différentes et dont l'analyse n'est pas sans présenter quelques difficultés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le deuxième problème, qui ressortit plus encore que le premier au domaine des mathématiques, consiste à se demander quelle valeur peut avoir un sondage ou, comme l'on dit souvent, un *échantillonnage* forcément limité, et dans quelle mesure il traduit les opinions ou les réponses de la population prise dans son ensemble.

Il est essentiel de bien distinguer ces deux aspects sur lesquels nous reviendrons un peu plus loin.

Enquêtes américaines et enquêtes françaises

Dès que l'on parle de sondage des opinions ou d'enquêtes par sondage, le lecteur averti se remémore les fameuses enquêtes américaines de l'Institut Gallup. Il se rappellera sans doute les faits suivants devenus classiques en *doxométrie*, pour désigner d'un seul mot cette jeune science qui s'affirme et qui s'affine un peu plus chaque jour.

Une revue américaine, lors de l'élection de M. Roosevelt en 1936, avait organisé un vaste referendum qui avait obtenu deux millions de réponses et qui prédisait l'insuccès complet de Roosevelt. Pendant ce temps, M. Roper, en procédant par sondages d'une façon beaucoup plus scientifique, annonçait que l'ancien président obtiendrait 62 % des voix. De façon analogue mais indépendante, M. Gallup avait donné le chiffre de 56 %. L'un et l'autre s'étaient bornés à interroger quelques milliers d'électeurs seulement. Quelques jours plus tard, M. Roosevelt obtenait 60,5 % des suffrages.

L'échec de l'enquête faite par la revue était dû, malgré le très grand nombre de réponses à son referendum, à ce que cette enquête avait été conduite sans règle, sans méthode et avait porté uniquement sur une même catégorie sociale : abonnés au téléphone en particulier. Le succès des deux autres enquêteurs avait tenu à la valeur même de la technique qu'ils avaient utilisée. Les Américains ne sont pas les seuls, comme on le croit parfois, à avoir fait, de façon systématique et scientifique, des sondages d'opinion, mais ce sont eux qui jusqu'ici en ont fait le plus grand usage et il n'est pas dit que certains personnages éminents aux Etats-Unis ne s'en soient pas servis à maintes reprises et ne s'en servent pas encore de façon plus ou moins officielle.

Les pays européens sont cependant loin d'être en retard dans ce domaine. Pour ne parler que de la France, M. Jean Stoetzel, ancien élève de l'Ecole Normale, agrégé et docteur, à qui nous devons beaucoup des renseignements que l'on trouvera plus loin, organise actuellement des services de sondages au Service National des

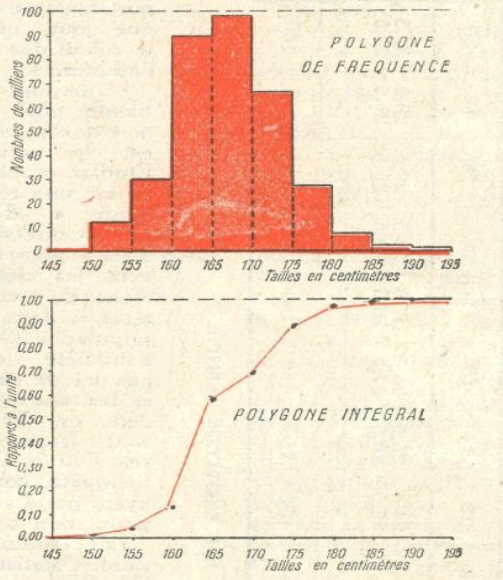


FIG. 1 ET 2. — LA TAILLE DES CONSCRITS

La figure du haut représente le polygone des fréquences ou, si l'on veut, la façon dont se classent par taille 334 000 conscrits pour lesquels on a fait des groupements de 5 centimètres en 5 centimètres. La figure du bas donne le polygone intégral correspondant.

Statistiques et à la Fondation française pour l'étude des problèmes humains (1). Il a depuis dix ans étudié les méthodes du National Institute of Industrial Psychology de Londres et les méthodes américaines et fonda l'Institut français d'opinion publique dont l'activité été reprise par la Cegos. Parmi ses collaborateurs, nous citerons seulement ici M. Paoletti. Nous devons d'autre part des éléments non moins précieux à M. Jacques Dourdin, auteur de très nombreuses et importantes enquêtes économiques, industrielles et commerciales et qui a en particulier étudié de très près le marché de telle matière première ou de tel objet manufacturé. Il est d'ailleurs le premier qui ait introduit en France l'emploi des machines à statistiques (2).

Polygone de fréquence et polygone intégral

Après ces considérations préliminaires, nous allons entrer davantage dans le vif du sujet, non sans rappeler que pour le traiter un peu complètement, il faudrait faire de nombreux et importants appels à cette très vieille science, créée par Pascal et dont l'im-

N° du groupe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tailles extrêmes (en mètres)	1,45 1,50	1,50 1,55	1,55 1,60	1,60 1,65	1,65 1,70	1,70 1,75	1,75 1,80	1,80 1,85	1,85 1,90	1,90 1,95
Fréquences .... (en milliers)	1	12	30	90	98	66	27	7	2	1
Fréquences cumulées..... (en milliers)	1	13	43	133	231	297	324	331	333	334

TABLEAU I. — LA RÉPARTITION NUMÉRIQUE DES TAILLES DE 334 000 CONSCRITS

(1) On lui doit en particulier « Etudes expérimentales des opinions » *(Presses Universitaires)*.

(2) Service National des Statistiques, 16, rue de la Ville-l'Evêque, Paris; Cegos, 16, rue de Monceau, Paris; M.-J. Dourdin, 36, rue de Châteaudun, Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU II. — RÉPARTITION NUMÉRIQUE DES TEMPS DE RÉACTION A UNE EXCITATION AUDITIVE

N° du groupe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temps extrêmes, (cent. de seconde)	13,5	13,5 14,5	14,5 15,5	15,5 16,5	16,5 17,5	17,5 18,5	18,5 19,5	19,5 20,5	20,5 21,5	21,5 22,5	22,5 23,5	23,5 24,5	24,5 25,5	25,5 26,5	26,5 27,5	27,5 28,5	28,5 29,5	29,5 30,5	30,5 31,5	31,5 32,5
Fréquences	0	1	4	8	12	24	25	25	22	14	8	2	7	4	2	0	0	1	0	1
Fréquences cumulées	0	1	5	13	25	49	74	99	121	135	143	145	152	156	158	158	158	159	159	160

portance croît chaque jour, qu'est le calcul des probabilités.

Le premier problème posé par la « doxométrie » est le suivant. Etudier et caractériser une répartition « d'opinions », ou comme disent plus souvent les statisticiens, de « caractères », dans une population. On ne s'inquiète donc pas ici de savoir si les documents dont on dispose sont fragmentaires. On considère l'enquête comme ayant porté sur la population totale.

Les études de pure statistique donnent des exemples très nets des diverses répartitions que l'on peut rencontrer. C'est à elles que nous allons d'abord nous adresser.

Supposons que l'on ait procédé à la mesure d'un caractère donné : taille des individus, largeur des épaules, ou encore dans le domaine animal, longueur des pinces de capricorne, surface des feuilles d'un arbre, etc... et que l'on veuille étudier la répartition des nombres très différents obtenus dans chaque cas. De très nombreuses études ont été faites dans ce sens en histoire naturelle ou, comme l'on dit, en « biométrie », et dans bien d'autres sciences expérimentales : démographie, astronomie, physique atomique, etc...

Prenons un exemple, au surplus classique, et considérons une population de 334 000 conscrits dont on a mesuré les tailles et que l'on a répartis en dix groupes. Le premier comprendra tous les conscrits dont la taille va de 1,45 m à 1,50 m ; le deuxième ceux dont la taille va de 1,50 m à 1,55 m, et ainsi de suite de 5 cm en 5 cm jusqu'au dernier groupe où les tailles vont de 1,90 m à 1,95 m. En arrondissant les chiffres et en les exprimant en milliers d'individus, on trouve la répartition qu'indique le tableau I.

C'est ainsi que l'on voit qu'il y a dans la ligne marquée « fréquences » 98 000 conscrits dont la taille est comprise entre 1,65 m et 1,70 m, ou,

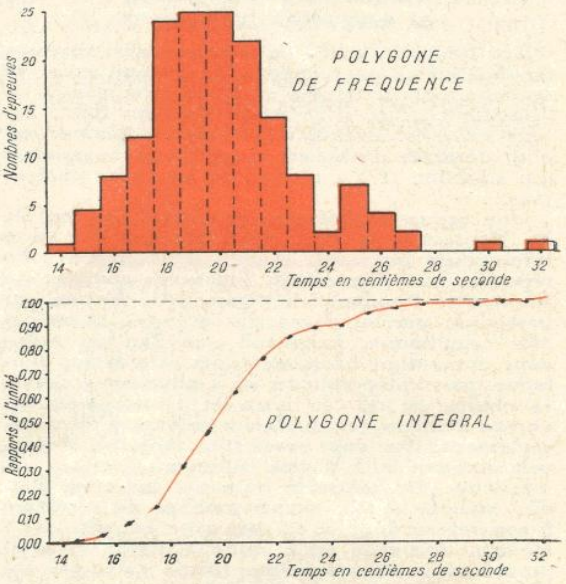


FIG. 3 ET 4. — LES TEMPS DE RÉACTION

On a là, sous forme de polygone de fréquence et de polygone intégral, le classement des temps de réaction. On a porté en abscisses les centièmes de seconde et en ordonnées les nombres de cas correspondant à chaque temps de réaction.

si l'on veut, est de 1,675 m à 2,5 cm près en plus ou en moins. On voit encore dans la ligne marquée « fréquences cumulées » qu'il y a : 1 + 12 + 30 + 90 + 98 = 231 mille conscrits dont la taille ne dépasse pas 1,70 m. Ces deux lignes de chiffres peuvent être représentées par des diagrammes en forme de polygone, que l'on appelle dans le premier cas un *polygone de fréquence* ou parfois un « histogramme » et dans le second cas un *polygone intégral*. Pour pouvoir comparer des polygones intégraux, on ramène souvent à 1 le total de la population considérée et on remplacera ici 334 000 par 1. Au lieu de 231 000 qui correspond au groupe 5, on notera donc sur le graphique $\frac{231}{334} = 0{,}69$ environ (fig. 1 et 2).

L'ordonnée d'un polygone intégral représente, comme on le voit, l'aire du polygone de fréquence situé à gauche de l'abscisse considérée. C'est d'ailleurs de là que vient son nom.

Dans le cas actuel, le polygone de fréquence est sensiblement symétrique par rapport à une verticale convenablement choisie et a une forme qui rappelle celle de la « courbe en cloche »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que nous retrouverons dans la répartition binomiale. Le polygone intégral a un centre de symétrie. C'est là un cas extrêmement important que l'on retrouve dans bien des études statistiques, mais qui est moins fréquent dans les recherches de sondages des opinions. Nous allons trouver d'autres types de répartition.

Dans le premier des deux autres exemples que nous voulons citer encore, on a effectué cinq séries de 32 épreuves successives, soit 160 épreuves mesurant les temps de réaction à une excitation auditive. Ces temps varient de 14 à 32 centièmes de seconde et on obtient ainsi le tableau II (fig. 3 et 4).

Ici, le polygone de fréquence est dissymétrique et plus étalé vers la droite que vers la gauche. Le polygone intégral n'a plus de centre de symétrie. Il donne un contour qui se rapproche plus vite de la droite d'ordonnée 1.

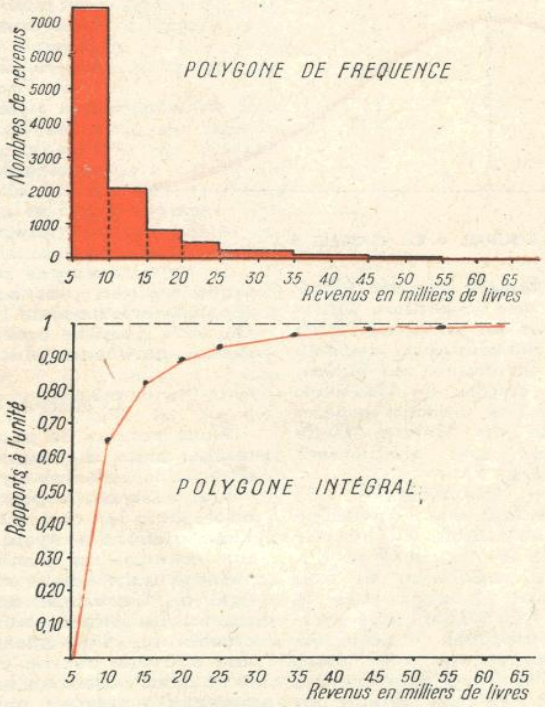


FIG. 5 ET 6. — GRAPHIQUES DE LA RÉPARTITION DES REVENUS SOUMIS A LA SUPERTAXE ANGLAISE

Plus différent encore d'une représentation binomiale est le dernier cas qui concerne une répartition de revenus. Il s'agit ici des revenus anglais qui, en 1912, ont été frappés de supertaxes. Ils sont exprimés en milliers de livres avec un minimum de 5 000 livres. Les fréquences donnent le nombre des personnes qui ont été frappées (tableau III et fig. 5 et 6).

On remarquera que les intervalles tels que les donne la statistique sont inégaux : de 5 000 à 1 000 il y a une différence de 5 000 livres, tandis que de 75 000 à 100 000 il y a une différence de 25 000, mais la petite complication qui en résulte est pour nous sans inconvénient. Ce qui est beaucoup plus important dans cet exemple qui a été choisi à cause de cela, c'est la décroissance constante du nombre des individus dans chaque branche.

« L'écart-type »

Reprenons le premier des exemples précédents pour ajouter quelques précisions et donner quelques définitions.

La *moyenne arithmétique* des tailles s'obtient ici en conservant pour simplifier les groupements déjà faits, et l'on trouve 1,6696 m. Ceci fait, on cherche la moyenne arithmétique du carré des différences entre les diverses tailles et la taille moyenne. On obtient ainsi le *carré moyen* dont la racine carrée est l'*écart-type*, ici environ 6,835 cm.

En réalité, nous dit M. Georges Darmois, qui traite cet exemple (1), le fait d'avoir donné à chaque individu la taille moyenne de la classe à laquelle il appartient introduit une inexactitude qui modifie la moyenne et l'écart-type. La correction à faire pour la moyenne est insignifiante. Pour l'écart-type on trouve après correction 6,688 cm.

On appelle *valeur médiane* une valeur telle qu'au-dessous il y ait une moitié de la population et au-dessus l'autre moitié. Elle serait ici de 1,6673 m, légèrement inférieure dans le cas actuel à la valeur moyenne.

L'écart-type a des propriétés mathématiques importantes qui font que son emploi s'est généralisé. L'écart-type peut être utilisé comme caractéristique de la « dispersion » plus ou moins grande de la population considérée. Une population très groupée et dont les individus sont relativement plus semblables les uns aux autres que dans une autre population aura un écart-type très petit.

Représentation binomiale

Le premier des trois cas que nous venons d'examiner, celui qui concerne la taille des conscrits et tous ceux qui donnent des polygones analogues conduisent à un même cas limite. Si l'on suppose une population extrêmement nombreuse et où l'on considère un caractère dont la variation se fait de façon continue et régu-

(1) La statistique et ses application : Armand Colin, éditeur.

N° du groupe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Revenus extrêmes..... (milliers de livres)	5 10	10 15	15 20	20 25	25 35	35 45	45 55	55 65	65 75	75 100	100
Fréquences	7411	2029	787	438	382	186	107	56	37	55	66
Fréquences cumulées ...	7411	9440	10227	10665	11047	11233	11340	11396	11433	11488	11554

TABLEAU III. — RÉPARTITION DES REVENUS ANGLAIS FRAPPÉS DE SURTAXE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

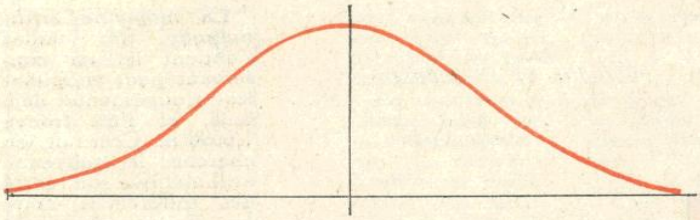


FIG. 7. — LA COURBE « EN CLOCHE »

lière, on est amené, en ne faisant que des hypothèses très raisonnables, à une répartition limite qui se traduit, non plus par un polygone, mais par une courbe des plus remarquables appelée courbe de Laplace-Gauss, ou courbe de Gauss, ou courbe de Galton, ou courbe de Quételet, ou courbe binomiale et que l'on pourrait appeler aussi légitimement courbe de Moivre. Cette courbe est aussi appelée tout simplement « *courbe en cloche* » (1) (fig. 7).

L'expression de *courbe binomiale* ou de *courbe de répartition binomiale* que l'on utilise ici provient du fait que la formule du binome $(a + b)^n$ redonne une telle loi (fig. 8, 9 et 10).

Prenons maintenant une population de huit individus répartis en quatre groupes avec la loi de répartition 1, 3, 3, 1 provenant des coefficients de $(a + b)^3$ et constituons le polygone de fréquence, puis recommençons avec seize individus et la loi 1, 4, 6, 4, 1 qui provient des coefficients de $(a + b)^4$, ce qui donne un nouveau polygone, et ainsi de suite. La forme limite de ces polygones conduit précisément à la courbe en cloche.

Donnons une illustration de ceci en considérant une urne qui contient autant de boules blanches que de noires et tirons des boules que nous remettons dans l'urne après chaque tirage. Si on tire une seule boule il y a deux éventualités possibles, également probables, suivant que l'on tire une boule blanche B ou une noire N :

B N

Un deuxième tirage, dans le premier cas, après B redonnera B (soit en définitive BB) ou N (soit en définitive BN). Dans le second cas, on peut même avoir NB ou NN, d'où en somme quatre cas également probables :

BB BN NB NN

En tant que résultat final, et si l'ordre du tirage est considéré comme sans importance, on aura une fois BB, deux fois BN et une fois NN. De même après trois tirages on trouvera huit cas également probables :

BBB BBN BNB BNN
NBB NBN NNB NNN

soit une fois BBB, trois fois BBN, trois fois BNN et une fois NNN, et ainsi de suite. On retrouve ici les nombres des lois précédentes.

Si l'on considère la « population » des « mots » formés de trois lettres : BBB, BBN, NNN et que l'on considère que l'un de ces mots a la « taille » 3 quand il a 3 B, la « taille » 2 s'il n'a que 2 B et ainsi de suite, on voit que le polygone de fréquence correspondant à ce « caractère » est un de ces polygones binomiaux envisagés un peu plus haut. L'ajustement avec la répartition bimoniale limite de la courbe en cloche sera d'autant meilleur que les « mots » considérés auront un plus grand nombre de lettres.

D'autres répartitions

Nous venons de parler de la répartition binomiale, mais il y en a bien d'autres. Il y a d'abord celles qui s'y rattachent.

Considérons, reprenant ainsi une hypothèse classique, le cas où l'on mélangerait deux « populations » ayant des caractères différents, par exemple un grand nombre d'Anglais, individus à taille relativement élevée et un nombre égal de Cochinchinois, individus à taille plus faible. La superposition des deux courbes en cloche que l'on aurait à faire ainsi donnerait une nouvelle courbe en forme de double cloche avec deux bosses au lieu d'une, l'une des bosses provenant presque uniquement de la masse de tous les Cochinchinois dont la taille est voisine de leur moyenne et de quelques Anglais à taille relativement faible, l'autre provenant de la masse des Anglais à taille voisine de leur moyenne et de quelques Cochinchinois à taille relativement grande. C'est au mathématicien qu'il appartient, ayant en mains cette courbe unique, de trouver par le calcul qu'elles sont les deux courbes binomiales dont elle représente le total. La figure 11 montre la répartition des longueurs des pinces de 543 perce-oreilles mâles des îles Farnaise. On a montré depuis que ces *carcinus menas* provenaient bien de deux catégories d'individus : les uns sont des mâles normaux, les autres des mâles parasités par la *saculina carcini* et qui, à cause de cela, ont une plus grande longueur de l'appendice frontal.

Citons encore parmi les études que nous avons entreprises il y a quelques années déjà celle

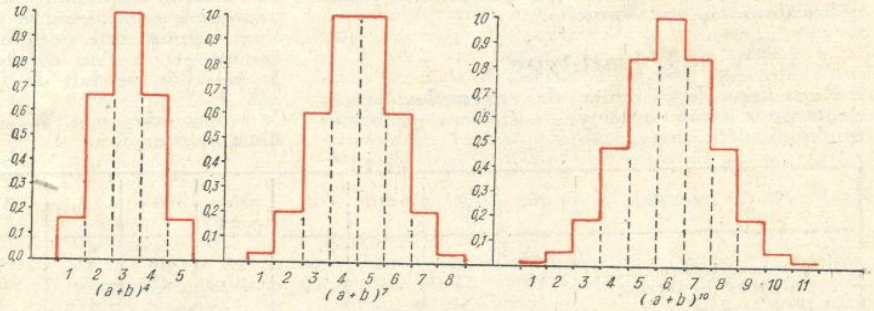


FIG. 8, 9 ET 10. — LES COEFFICIENTS DU BINOME

Ces graphiques représentent la répartition que donnent les coefficients du binome de $(a + b)^n$ *pour* $n = 4$, *ou 7, ou 10. Les échelles ont été divisées de façon que les dimensions extrêmes de chaque graphique soient les mêmes.*

(1) Son équation théorique, qui ne fait au fond que traduire la loi de distribution du hasard telle qu'elle résulte de considérations empruntées au calcul des probabilités est : $y = A\,e^{-h\,(x - x_0)^2}$. En appelant A et h deux paramètres convenables et x_0 l'abcisse du point le plus haut de la courbe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une statistique empruntée à Gustave le Bon qui avait relevé les longueurs de circonférences de plusieurs milliers de têtes de « bourgeois parisiens » et les avait réparties en deux groupes distincts (fig. 12).

Plus intéressants pour la doxométrie et plus fréquents aussi sont d'autres types de répartition. L'exemple de la répartition de revenus anglais frappés de supertaxes nous a donné au lieu d'une courbe en cloche une courbe d'ailleurs descendante que l'on peut appeler une courbe en J (en l'espèce il faudrait plutôt retourner la lettre J pour la remplacer par sa symétrique par rapport à un axe vertical). A vrai dire on pourrait penser que si l'on avait pris tous les revenus et non seulement les plus élevés, on aurait peut-être obtenu une répartition binomiale complète et que la courbe considérée n est alors que « la queue » d'une courbe en cloche. Mais une telle considération, si même elle avait quelque valeur ici, ne suffirait pas à expliquer tous les cas.

Nous trouverons plus loin d'autres types de répartition dont quelques-uns semblent provenir de la totalisation de deux courbes en J, l'une provenant d'un J descendant et l'autre d'un J ascendant, ce qui donne au total une courbe en U.

Nous verrons en examinant les polygones de fréquence ou histogrammes provenant de divers sondages combien il est parfois difficile de trouver les formules analytiques représentant tels ou tels graphiques.

Mais auparavant, il nous faut préciser un peu la nature des documents sur lesquels on travaille et voir d'un peu près comment on procède à un sondage.

Comment procède-t-on à un sondage?

Bien des méthodes peuvent être appliquées. Nous ne croyons pouvoir mieux faire que d'exposer avec quelques détails la façon dont M. Stoetzel a procédé dans les sondages dont il s'est occupé.

Il lui a fallu d'abord, de façon à pouvoir interroger de façon presque simultanée un grand nombre de personnes, avoir des correspondants munis de consignes uniformes. Une certaine variété devait être recherchée dans le choix de ces intermédiaires pour éviter dans

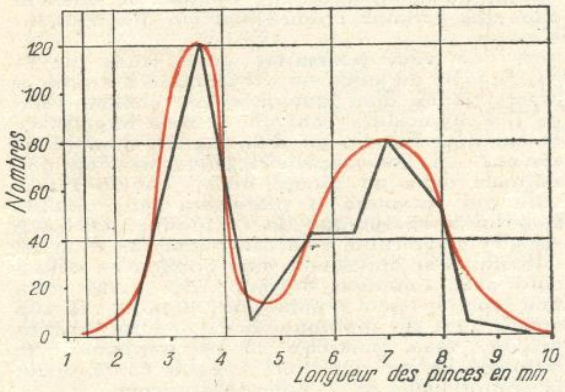


FIG. 11. — RÉPARTITION DES LONGUEURS DES PINCES DES PERCE-OREILLES

La courbe peut être considérée comme provenant de la superposition de deux courbes en cloche.

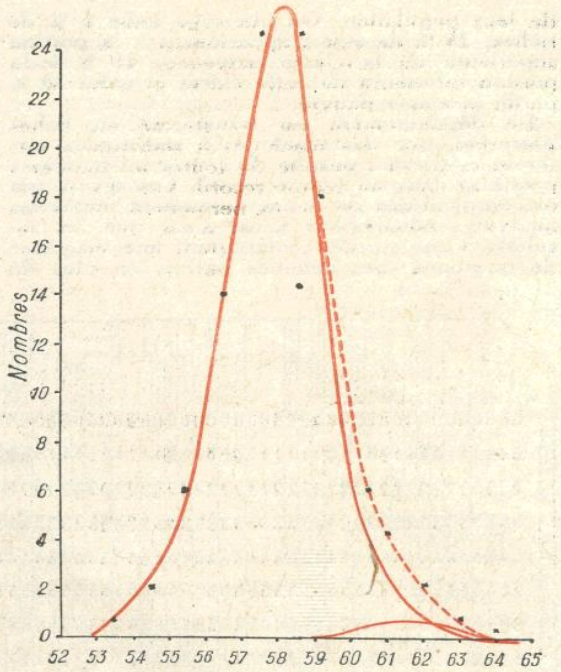


FIG. 12. — LONGUEURS DE CIRCONFÉRENCE DES TÊTES DE « BOURGEOIS PARISIENS »

Cette répartition est obtenue d'après une expérience de Gustave Le Bon. Ici encore on a la totalisation de deux courbes en cloche, dont une, à droite, très basse. On trouve une longueur moyenne de 57 cm pour les « bourgeois non savants » et 60,5 cm pour les « bourgeois savants ».

la mesure du possible l'influence des enquêteurs sur les enquêtes et atteindre des couches sociales variées. Les enquêteurs, faut-il le dire, doivent présenter de sérieuses garanties de loyauté, car le nom des enquêtés n'est jamais publié, et aussi une certaine compréhension de leur tâche. A l'usage, un très petit nombre d'entre eux seulement a dû être éliminé.

Il a fallu aussi, et c'est peut-être là la tâche essentielle, celle qui, menée à bien, a permis à MM. Roper et Gallup d'affirmer leur maîtrise, préparer très soigneusement le nombre et la répartition des enquêtés à interroger. Leur ensemble doit en effet être une image réduite de ce qu'est le pays tout entier, s'il s'agit d'une enquête pouvant intéresser le pays tout entier, s'il s'agit d'une enquête pouvant intéresser tous les individus d'un même état. Il faut donc tenir compte de très nombreux facteurs : situation géographique des individus, sexe, âge, catégories sociales, professions, éventuellement charges de famille, etc...

Voici par exemple comment en Amérique M. Roper procède pour les enquêtes de son organisation appelée « Fortune ». Il interroge 5 000 individus appartenant par moitié à l'un et l'autre sexe. Une moitié environ a de 20 à 40 ans, le reste dépasse 40 ans. Le territoire national est partagé en sept sections. Dans chacune, le nombre des individus interrogés est dans le même rapport avec le total des enquêtés que la population de la section avec la totalité de la population du pays. On procède de façon analogue pour la répartition des sujets entre les 80 localités choisies d'après la concentration

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de leur population. On interroge enfin 6 % de riches, 25 % de sujets appartenant à la portion supérieure de la classe moyenne, 41 % à la portion inférieure de cette classe et enfin 30 % parmi la classe pauvre.

Le dépouillement est transformé en fiches perforées, que des machines à statistiques claseront et trieront ensuite de toutes les manières possibles dans un temps record. Ces divers tris et comparaisons de fiches permettent toutes les analyses souhaitables. C'est ainsi que les résultats d'une enquête comportant une vingtaine de questions sont détaillés parfois en plus de

enquêtes et aux remarques mathématiques que l'on peut être amené à faire, nous préciserons cependant, à cause de leur intérêt, quelques points appartenant à la psychologie.

D'abord, nous dit M. Stoetzel, une opinion isolée n'a pas grande signification pour la personnalité d'un sujet et ne l'exprime pas exactement. De même qu'un sauteur réalise des performances tantôt supérieures, tantôt inférieures à sa performance normale, de même un sujet interrogé donnera à diverses reprises des réponses qui tantôt dépasseront, tantôt feront sous-estimer ce que l'on peut appeler sa pensée

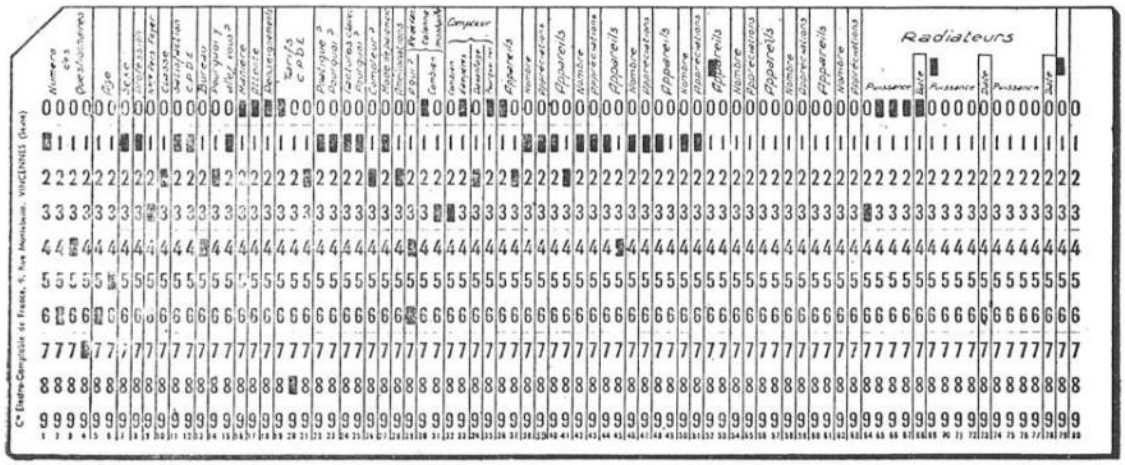


FIG. 13. — UNE CARTE PERFORÉE UTILISÉE DANS UNE ENQUÊTE CONCERNANT LA COMPAGNIE PARISIENNE DE DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ

La carte perforée reproduite ici contient l'une des 2 500 réponses faites par des usagers de la Compagnie parisienne de distribution de l'électricité à la suite d'une enquête de M. Jacques Dourdin. Une machine électro-comptable a permis le dépouillement rapide des résultats de cette enquête.

200 pages de texte serré contenant près de 2 000 éléments statistiques. On estime que, dans ces conditions, l'erreur ne doit guère dépasser 2 %. Toutefois certaines réponses portant sur des dépouillements partiels ne peuvent avoir cette valeur et l'erreur doit y atteindre 6 %.

Mais nous ne voulons pas soulever pour l'instant la question de savoir quelle est la valeur d'un de ces échantillonnages de population que constitue un sondage d'opinions, et nous allons revenir aux enquêtes effectivement faites en France.

La plupart des questions posées eurent trait à des problèmes économiques ou sociaux qui intéressaient les Français il y a quelques années et étaient alors d'actualité. Le choix des questions doit se faire avec quelque précaution, et elles ne peuvent être utilisées sur une grande échelle qu'après un contrôle préliminaire fait sur des individus déjà connus, ce contrôle pouvant amener à préciser la forme donnée à telle ou telle question. Il fallait éviter d'obtenir des réponses improvisées faites par des sujets qui n'avaient jamais réfléchi aux questions posées. Il fallait encore éviter, par des formulations tendancieuses, d'avoir des réponses ne traduisant pas la véritable opinion de l'enquêté.

La psychologie des sujets enquêtés

Quoique nous ayons l'intention de nous attacher surtout aux côtés techniques de ces

personnelle. Les causes qui influent sur sa réponse peuvent être des plus nombreuses : humeur particulière du moment, attitude à l'égard de l'enquêteur, une certaine maladresse dans l'usage du langage où les mots desservent parfois les idées, le caractère improvisé de la réponse, une indétermination réelle de la pensée. Il faut noter aussi qu'une opinion est souvent dans une certaine mesure fonction des opinions d'autrui.

Si l'on veut poursuivre cette étude de la psychologie du sujet, on est entraîné à examiner divers points dont quelques-uns, comme celui de l' « atypicalité » ont une grande importance et ont déjà fait l'objet d'un certain nombre de travaux. Si l'on appelle *typique* une opinion normale dans un groupe social donné, l'individu qui acceptera et professera cette opinion sera lui aussi *typique* de ce groupe. On peut appeler « typicalité » la caractéristique d'un tel individu. Par opposition, une opinion en désaccord avec l'opinion moyenne du groupe sera une opinion peu typique ou *atypique* et son auteur sera dit *atypique*. Sous une forme plus précise, mais peut-être moins frappante, on retrouve ici ce que l'on appelle couramment le conformisme et le non-conformisme.

Disons encore un mot sur les courants d'opinion, car c'est là une hypothèse qui aide à interpréter certains graphiques. Très souvent, surtout dans les sujets qui, politiques ou non,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

passionnent les gens, deux courants contraires d'opinion se font jour. Ils attirent la masse des hésitants, de ceux qui n'ont jamais une opinion vraiment personnelle et préfèrent suivre celle des voisins.

Cette masse se partage ainsi en deux et l'une des questions que l'on peut demander de résoudre au mathématicien est précisément de reconnaître sur les graphiques donnant les réponses l'existence de ces courants et leur importance relative quand ils existent.

Etude des histogrammes

Examinons maintenant les résultats partiels d'une des premières enquêtes de M. Stoerzel. Nous ne donnerons pas à dessein les énoncés des questions posées, car des débats d'actualité en 1938 sur la nécessité des décrets-lois par exemple n'ont plus, sauf pour les historiens, d'intérêt en 1944.

Une question en particulier demandait de classer par ordre de préférence décroissante six personnalités politiques parmi celles auxquelles le public songeait le plus. Chacune de ces personnalités pouvait avoir ainsi un rang allant de 1 à 6 dans la réponse de chaque sujet, ce qui revient à dire que pour chacun de ces hommes politiques la question posée à l'enquête appelait en réalité six réponses différentes. Le tableau IV donne la distribution des opinions de 261 personnes.

Les formules classiques ayant été reconnues incapables de rendre compte de telles répartitons, l'auteur fut conduit à en essayer d'autres, sur lesquelles nous n'insisterons pas, en s'appuyant sur les idées directrices que voici.

S'il s'agissait d'opinions privées non influencées par aucune opinion voisine ou aucune propagande, qu'elle émane ou non de la presse, la distribution devrait donner des répartitions analogues à celles que donne le hasard et conduire au moins grossièrement à une courbe en cloche. Si au contraire les réponses du groupe sont orientées dans un certain sens, l'allure de la courbe doit présenter une décroissance plus ou moins marquée dans un sens ou dans l'autre et donner une courbe en J. Souvent même, il y a non plus un mais deux courants d'opinions contraires ; un premier donnera une opinion favorable à la personnalité considérée, et un second une opinion défavorable. Ils peuvent naturellement être d'importance inégale et les courbes en U correspondantes peuvent avoir des branches très dissymétriques. Il n'est pas défendu de penser que dans certains cas, il viendra encore se superposer à ces deux courants un ensemble d'opinions isolées et plus indépendantes, qui sur le graphique soulèveront et bossèleront légèrement le fond de la courbe en U.

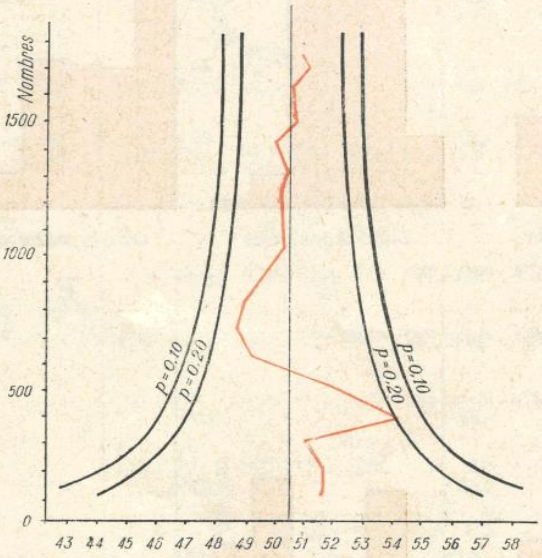


FIG. 14. — ÉTUDE D'UN SONDAGE FAIT EN 1942 PAR LA FONDATION FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE DES PROBLÈMES HUMAINS

Ce graphique, dû à M. Stoetzel, montre comment, au fur et à mesure que croît le nombre des échantillons, nombre qui est porté en ordonnées, la proportion p précisant la répartition de deux « opinions », tend asymptotiquement vers une valeur limite. Les valeurs de p évaluées en pour cent sont portées en abscisses. Elles partent de 52 % et tendent irrégulièrement, mais très nettement à partir de 1 000 échantillons vers la limite probable 50,4 %. Le nombre des enquêtés a été de 1 728. Les quatre courbes régulières tracées deux à droite et deux à gauche de la première indiquent les fluctuations ou erreurs auxquelles on pouvait s'attendre dans 10 % ou 20 % des cas si on avait recommence indéfiniment cette même épreuve. On remarquera que, une seule fois, cette proportion de 20 % a été dépassée pour 400 échantillons et que jamais on n'a commis une erreur à laquelle on puisse s'attendre avec une probabilité de 10 %. En prévoyant des erreurs que l'on risque de commettre avec une probabilité de 0,01 ou 0,001, on se donne donc une marge de sécurité considérable.

Voici, à titre d'exemple, quelques-uns des résultats obtenus par application de cette analyse mathématique à l'expérience considérée (fig. 15). Ils soulignent mieux l'intérêt qui peut s'attacher à de telles enquêtes. Les opinions concernant B et D lors du sondage effectué tendent à se distribuer normalement. Aucun mot d'ordre général n'existait les concernant et l'opinion publique était indifférente à leur égard. Par contre, au sujet de F il y avait deux courants de sens opposés, le courant défavorable étant nettement le plus fort. Un peu plus tard, une nouvelle enquête concernant les mêmes personnalités montrait qu'une petite masse d'opinions privées venait s'ajouter à ces deux courants et qu'une partie du public s'abstenait de prendre parti pour ou contre F. A la même époque, la distribution des opinions sur C affectait une forme analogue, mais retournée : un fort courant d'opinions favorables dominait une petite opinion publique défavorable. Une portion sensible du public restait indifférente. Enfin, pour E, il y avait deux groupes homogènes dans le public, l'un et l'autre manquant de passion collective : l'un plutôt disposé favorablement et l'autre défavorablement et ces deux groupes chevauchaient assez largement l'un sur l'autre.

Valeur des échantillonnages

Comme nous l'avons dit plus haut, il y a deux sortes de problèmes à considérer en doxométrie. Le premier consiste à étudier les répartitions et nous venons d'en dire quelques mots. Dans le second, on se demande *quelle est la*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FIG. 15 — CLASSEMENT FAIT PAR L'OPINION PUBLIQUE POUR SIX PERSONNALITÉS A, B, C, D, E, F

Ces six graphiques ou histogrammes montrent les formes très diverses que peut avoir une répartition d'opinions. Il s'agit ici d'un sondage fait en 1938-1939 par M. Stoetzel. Chaque enquête avait à classer par ordre de préférence décroissante, et en leur donnant par suite un rang de 1 à 6, les six personnalités désignées par A, B, C, D, E, F.

valeur d'un sondage forcément limité. Dans quelle mesure peut-on généraliser et accepter les chiffres donnés par un échantillonnage pour les étendre à la population totale ou, si l'on préfère, quelle est la probabilité pour qu'ils ne comportent pas une erreur de plus de deux pour cent, ou de dix pour cent, par exemple?

C'est là une question à laquelle il est essentiel de pouvoir répondre et il est cependant très délicat de le faire. Signalons de graves difficultés : limitation du nombre des épreuves, fractionnement de ces épreuves dans ce que l'on a appelé l'échantillonnage stratifié qui découpe le nombre déjà peut-être trop réduit en petits groupes distincts par l'âge, la catégorie sociale, la profession, le lieu d'habitation. Supposons même que l'on ait un groupe homogène, d'autres difficultés n'en subsistent pas moins : comment par exemple choisir « au hasard » les individus interrogés? Sans insister sur tout cela, nous supposerons qu'il s'agit d'une population homogène dans laquelle on choisit des individus pour faire un échantillonnage et nous reprendrons dans ce cas particulièrement simple le problème général de la valeur d'un tel échantillonnage.

Voyons d'abord ce que donne une expérience de sondage : M. Gallup, dont nous avons déjà parlé a posé la question suivante : « Would you like too see the N. R.A. revied? » demandant ainsi aux enquêtés s'ils voulaient voir remettre en chantier le N.R.A. (National Recovery Act.). Au 500e « ballot » dépouillé, les réponses donnaient 54,9 % non ; au 1 000e on en avait 53,9 %, au 5 000e on en avait 55,4 % ; au 10 000e on en avait 55,4 %. Enfin, au 30 000e on en avait 55,5 %. Ici encore, on pourrait avec intérêt soumettre utilement de tels chiffres au calcul.

Le problème de l'urne

Prenons encore une autre expérience, toute théorique, mais facile à imaginer et à analyser que M. Stoetzel appelle le problème de l'urne et pour cela reprenons l'urne dont il a déjà été question et supposons qu'elle contienne, par

RANG	A	B	C	D	E	F
6	25	2	13	44	43	126
5	92	9	10	61	62	39
4	13	72	42	67	36	26
3	24	85	41	57	39	15
2	37	73	40	24	59	28
1	70	20	115	8	22	27

TABLEAU IV. — DISTRIBUTION DES OPINIONS DE 261 PERSONNES SUR SIX PERSONNALITÉS POLITIQUES DÉSIGNÉES PAR DES LETTRES ET CLASSÉES DE 1 A 6 PAR DEGRÉ DE PRÉFÉRENCE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

parts rigoureusement égales, un très grand nombre de boules blanches et de boules noires.

Nous avons vu que 1 une fois sur 16 on aura, si l'on effectue des tirages, 4 boules blanches; 4 fois sur 16 on aura 3 blanches et 1 noire; 6 fois sur 16 on aura 2 blanches et 2 noires; 4 fois sur 16 on aura 1 blanche et 3 noires et enfin 1 fois sur 16 on aura 4 boules noires. Chacun de ces tirages de 4 boules est un échantillonnage de la composition de l'urne. Le problème qui nous intéresse est le suivant. Dans quelle mesure un de ces échantillonnages nous renseigne-t-il sur la composition de l'urne qui comprend des millions de boules et en quelque sorte sur son « opinion » en matière de couleur de boule? Ici son « opinion » exacte est qu'il y a moitié de blanches, tout comme une population que l'on consulterait sur une certaine question et qui serait partagée exactement par parties égales en deux groupes dont l'un voterait « blanc » et l'autre « noir ».

Nous voyons que 6 fois sur 16 nous aurons une réponse exacte : 2 blanches et 2 noires; 4 et 4, soit 8 fois sur 16, nous aurons une réponse moins exacte : 1 blanche et 3 noires ou 3 blanches et 1 noire. Donc en tout 14 fois sur 16 nous aurons une réponse exacte ou pas trop inexacte. Les réponses les plus mauvaises et qui nous tromperaient le plus sur la véritable répartition sont aussi les plus improbables et ne se produiraient que 2 fois sur 16.

Si l'on refaisait ce calcul pour le cas de 10 tirages de boules et non plus de 4 ce qui donne 1 024 cas, on trouverait que l'on a 252 fois plus de chances d'obtenir 5 boules blanches et 5 boules noires que d'obtenir 10 boules d'une même couleur. On peut dire encore que 252 fois sur 1 024, on aura la composition exacte de l'urne, 672 fois sur 1 024 l'erreur commise sera d'au plus 20 %. Enfin dans 912 cas sur 1 024 cette erreur sera inférieur ou égale à 40 %.

Supposons maintenant que notre urne contienne deux fois plus de blanches que de noires. Il y a ici 59 049 cas à considérer et l'on trouvera que 50 496 fois, soit dans 86 % des cas, le sondage fait avec 10 tirages donnera plus de blanches que de noires. Les cas où il y a autant de blanches que de noires ont été ici partagés en deux groupes égaux pour la facilité des calculs et l'on a admis que dans l'un des cas il y avait une légère supériorité de blanches et dans l'autre une légère supériorité des noires. On peut dire aussi que dans 73 % des cas on a trouvé une des répartitions : 8 blanches et 2 noires ou 7 blanches et 3 noires ou enfin 6 blanches et 4 noires, ce qui donne à 13 % près au moins la réponse exacte. Si l'on augmentait le nombre des tirages et si l'on en faisait quelques centaines, on aurait, est-il besoin

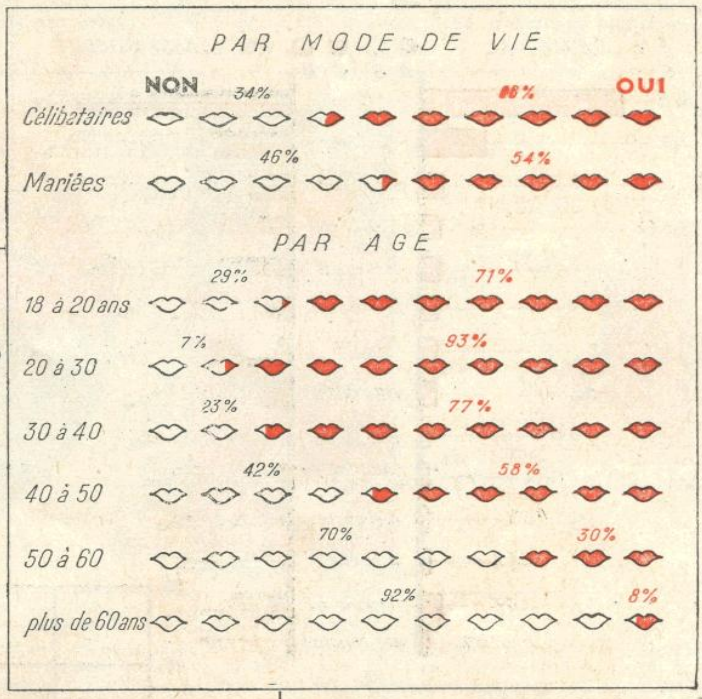


FIG. 16. — LES FEMMES SE SERVENT-ELLES DU ROUGE A LÈVRES?

Les quatre tableaux qui suivent sont les résultats d'une enquête faite en 1943 par les services de M. Jacques Dourdin. Ils font partie d'une série bien plus longue de documents dont nous ne reproduisons ici qu'un petit nombre. Ils ont porté sur la population féminine parisienne.

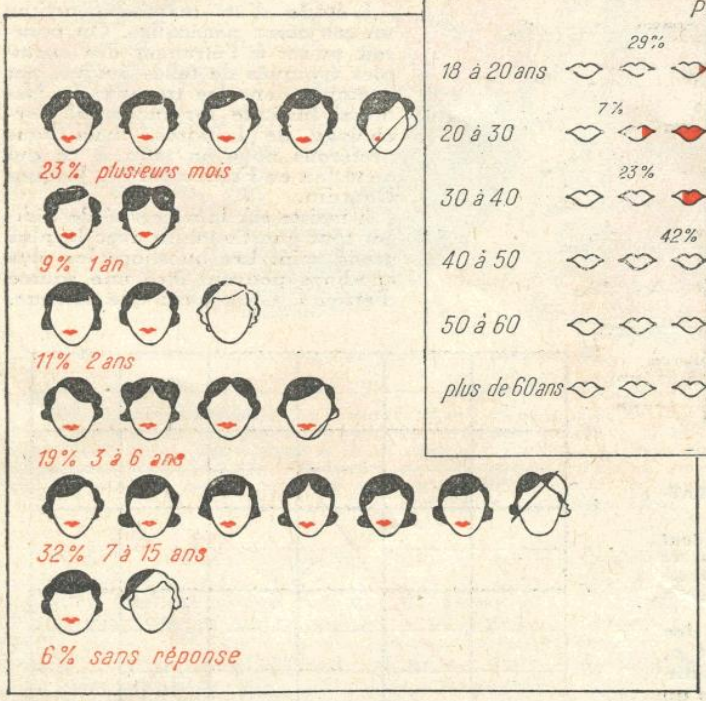


FIG. 17. — DEPUIS COMBIEN DE TEMPS LES PARISIENNES SE SERVENT-ELLES DU ROUGE A LÈVRES?

Il faut remarquer que les pourcentages indiqués portent ici seulement sur la portion de la population féminine qui utilise le rouge à lèvres, c'est-à-dire 57 % seulement de l'ensemble.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de le dire, des résultats autrement impressionnants.

Etude mathématique de l'échantillonnage

Abordons ce même problème de façon encore plus générale en caractérisant toujours par deux couleurs, noire et blanche, une certaine population et supposons que le rapport des « blancs » à la population totale soit p, nombre qui d'après sa définition même ne peut aller que de 0 à 1. Nous faisons un sondage portant sur n individus et nous trouvons p' avec une différence e, positive ou négative, suivant que p' est supérieur ou inférieur à p. Si l'on recommençait une infinité de fois une telle épreuve, on trouverait que la proportion des cas où l'on a trouvé chacune des valeurs de e est une certaine fonction de e qui a été étudiée par des mathématiciens. Elle se rattache au fameux problème de la probabilité des causes qui se trouve examiné dans tous les traités de calcul des probabilités. On peut ainsi en déduire le nombre de fois où l'erreur commise dépassera e. Par exemple pour $n = 4\,970$, et nous rappelons ici que des sondages de M. Roper portent sur 5 000 individus et pour $p = \frac{1}{2}$, ce qui est le cas de l'égalité entre les noires et les blanches, l'erreur commise dans un échantillonnage dépassera 2 centièmes dans 5 épreuves sur mille, ce qui est une probabilité très faible. Cela justifie les résultats donnés plus haut sur les erreurs que l'on peut attendre des sondages américains.

Disons encore que si l'erreur prévisible décroît naturellement avec le nombre d'épreuves, d'après la loi des grands nombres elle décroît comme la racine carrée du nombre des sujets enquêtés, ce qui est évidemment un peu décourageant puisqu'en multipliant par 100 le nombre des enquêtés on ne fait qu'obtenir une erreur 10 fois plus petite et que pour avoir une erreur probable encore 10 fois plus petite, il faudrait multiplier par 10 000 le nombre primitivement prévu.

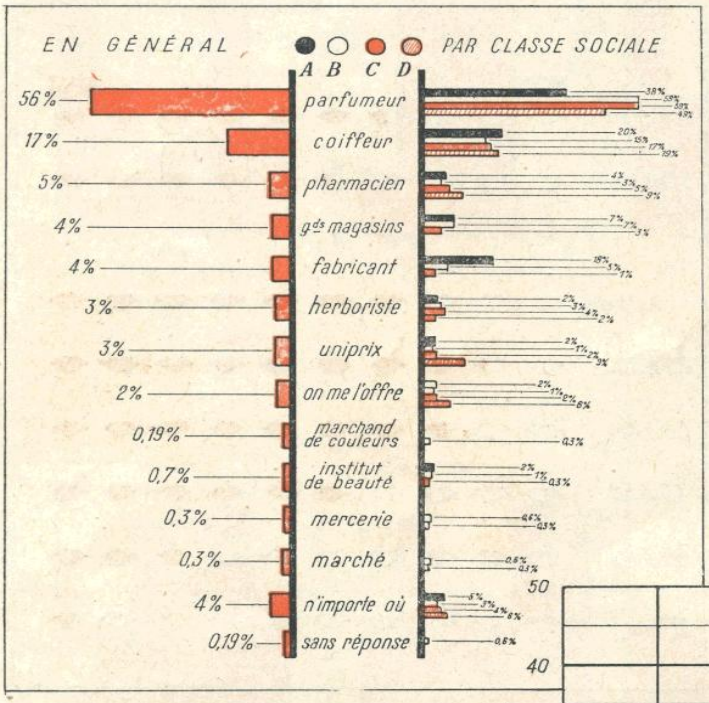


FIG. 18. — CHEZ QUI LES FEMMES ACHÈTENT-ELLES LEUR ROUGE A LÈVRES?

Les quatre catégories A B C D correspondent à quatre classes sociales dont les ressources vont en décroissant. Ici aussi 100 % correspondent à 57 % de l'ensemble.

Etude d'un marché

L'étude d'un marché constitue un cas assez particulier. On pourrait puiser à l'étranger des exemples typiques de telles études, par exemple dans les travaux du National Institute for Industrial Psychology de Londres, mais nous préférons nous en tenir à ce qui a été fait en France par M. Jacques Dourdin.

Il insiste sur la nécessité de rédiger tout questionnaire avec le plus grand soin. Les questions les plus anodines peuvent être une source d'erreurs. C'est ainsi que lorsque, avant la guerre, on demandait aux gens : « Quel poste entendez-vous? » ils répondaient : « Le Vatican », « New York » ou « Honolulu », tandis que si on demandait : « Quel poste écoutez-vous? » il répondaient le plus simplement du monde : « Le Poste Parisien » ou « Radio-Paris ».

Une fois le questionnaire établi et appris par cœur, les spécialistes chargés de l'enquête se rendent à l'improviste chez les gens qu'ils veulent interroger et ils le font de vive voix en enregistrant par écrit les réponses. Ceci permet d'éviter que les gens ne se concertent

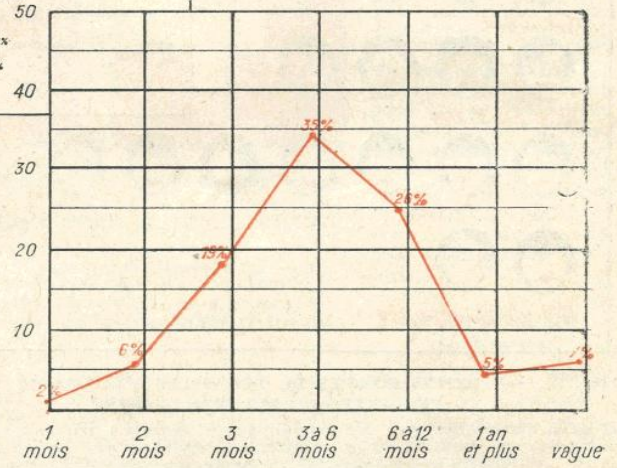


FIG. 19. — COMBIEN DE TEMPS DURE UN BATON DE ROUGE?

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à l'avance et supprime toute erreur de mémoire de la part de l'enquêteur qui pourrait rapporter une réponse autre que celle qui lui a été fournie. Bien des gens pensent que les Français se soumettent de mauvaise grâce à un questionnaire : il n'en est rien. Autant les gens sont réticents et méfiants quand il s'agit d'un questionnaire officiel, se demandant ce que leur veut l'Etat et ce que cache sa sollicitude apparente, autant ils sont accueillants dans le cas actuel. Une expérience portant déjà sur plus de 300 000 interviews montre au contraire qu'il est infiniment plus facile d'entrer chez les gens que d'en prendre congé. Ce qui de l'avis de M. Dourdin est le point capital à ne jamais perdre de vue et ce à quoi il s'est toujours attaché avec un soin extrême est de ne faire faire les enquêtes que par des spécialistes rompus au métier et qui ne procèdent jamais que par conversations directes avec les enquêtés, les sondages gardant toujours ainsi ce caractère oral qui seul met en confiance la personne dont on veut connaître l'opinion. C'est à cela qu'il attribue tous les succès qu'il a déjà obtenus.

Le nombre des personnes interrogées dépend de la précision avec laquelle on veut obtenir un résultat. C'est ainsi qu'en interrogeant 2 500 personnes dans Paris, M. Dourdin estime qu'il arrive à des résultats dont l'extrapolation comporte une erreur maximum de 4 %. Au cours d'une enquête sur l'électricité, il a pu connaître avec cette précision le nombre de postes de radio, de fers à repasser ou de radiateurs électriques, d'aspirateurs ou d'appareils frigorifiques utilisés dans Paris. Au moment où la vente du savon était libre, il a pu déterminer à 7 % près la quantité de savon vendue chaque mois dans la capitale par les diverses marques.

En octobre 1941, M. Dourdin a fait une enquête sur les conditions d'existence matérielle et morale des assurés sociaux de la région parisienne (1). Elle portait sur 2 500 foyers groupant un peu plus de 7 000 personnes. Glanons quelques chiffres au hasard dans les résultats ainsi obtenus. Dans 24 % des foyers on a pour vivre moins de 800 francs par mois et par foyer, dans 5 % des cas seulement de 3 000 à 5 000 francs; 19 % des foyers vivent avec entre 1 400 et 1 500 francs. Les dépenses représentent 99,5 % des ressources; près de 70 % de ces dépenses concernent la nourriture; 7,8 % le logement, on trouve enfin de 3 à 4 % pour chacun des postes suivants : chauffage, habillement, transport, etc... La moitié des gens équilibrent juste leur budget, un quart ont un léger excédent, un quart sont en déficit. 48 % déclarent qu'ils ne sont pas heureux, 43 % disent qu'ils le sont et 9 % déclarent qu'ils n'en savent rien.

Les figures 16 à 19 donnent les résultats d'une enquête, industrielle cette fois. M. Dourdin s'est placé là, sans doute, dans l'hypothèse où un nouveau fabricant de rouge à lèvres voudrait connaître l'état actuel du marché de façon à se rendre compte de ce que veulent les intéressés et des possibilités qu'il y aurait pour lui à lancer une nouvelle marque.

Nous pourrions citer d'autres enquêtes françaises faites par les autres organismes dont nous avons parlé plus haut ou par la Cegos : enquêtes sur le tabac pour laquelle une de nos figures donne quelques indications très sommaires, enquêtes sur la concurrence de la presse et de la radiodiffusion, sur l'attitude du public devant l'idée d'assurance ou devant les jeux

(1) *L'Illustration*, juillet 1942.

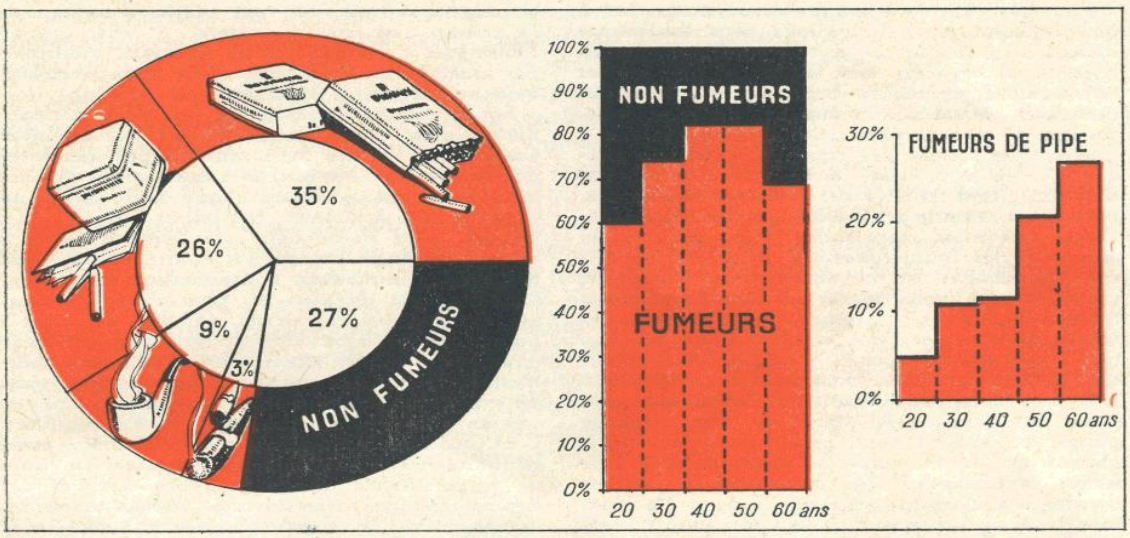


FIG. 20. — COMMENT FUME-T-ON EN FRANCE?

Ces trois figures traduisent les résultats d'une enquête faite en 1939 par l'Institut Français d'opinion publique et portant sur la population masculine. Ajoutons à ces graphiques que la pipe est surtout fumée par les paysans et les fonctionnaires et la cigarette roulée à la main par les paysans et les ouvriers. C'est dans les fonctionnaires et les personnes de professions libérales qu'on rencontre le plus de fumeurs. On fume de plus en plus jusqu'à 40 ans, puis cette habitude va en décroissant. Le pourcentage des fumeurs de pipe croît avec l'âge.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de hasard. C'est ainsi que 48 % des Français ne jouent pas aux cartes. La proportion des joueurs est de 39 % chez les femmes et de 60 % chez les hommes. Si les hommes estiment qu'ils ont plutôt de la chance au jeu, les femmes par contre pensent le plus souvent qu'elles n'en ont pas. En outre, 42 % des Français ne prennent pas de billets de la Loterie Nationale et moins de 20 % des personnes qui en prennent estiment avoir de la chance.

Conclusion

Pour conclure cette longue étude, nous dirons que le sondage des opinions sous toutes ses formes a devant lui un avenir extrêmement important. Il apporte des réponses précises et relativement rapides et économiques à bien des questions qu'un administrateur, un sociologue, un industriel peut avoir le plus grand intérêt à poser. Il apportera ces réponses avec une précision bien supérieure à ce que l'on obtient dans un grand nombre de domaines techniques, comme par exemple la résistance des matériaux. Cette précision serait-elle plus réduite et aurait-on des inquiétudes sur la valeur de tels échantillonnages qu'on serait bien obligé de constater que lorsqu'on ne sait rien et qu'il faut tout de même agir, la moindre indication devient précieuse et peut orienter toute une action : propagande sociale pour améliorer le sort des hommes, publicité pour lancer un produit...

Il faut noter cependant que celui qui veut poser une question est obligé de faire confiance pleine et entière aux associations ou organismes qui feront pour lui cette enquête. Le secret professionnel qui peut obliger certains d'entre eux à ne pas indiquer le détail de leurs méthodes ni à préciser quels sont leurs correspondants, l'anonymat strict qui doit entourer les noms des enquêtés rendent inévitable et obligatoire cette confiance aveugle, cette confiance dans la nuit qu'il faut accorder aux techniciens qui font de la doxométrie pratique. Tant vaut l'honnêteté de ces organisations d'enquêtes, et tant vaudra la réponse. Pour le moment, cette question ne se pose pas en fait ; elle se posera peut-être le jour où le succès amènera de telles entreprises à pulluler et à solliciter la clientèle par tous les moyens.

Par ailleurs, il faut prévenir les amateurs de précision exagérée qu'il ne faut pas demander à la doxométrie plus qu'elle ne peut donner. La masse humaine dans laquelle on prélève des échantillons est peu homogène. Les mouvements de l'opinion publique, même lorsqu'il s'agit de connaître le goût du public pour tel ou tel produit, sont parfois importants et imprévisibles. Par ailleurs, et comme nous l'avons dit plus haut, si l'on veut accroître du double la valeur d'un renseignement, il faut, comme l'enseigne la loi des grands nombres, multiplier par quatre l'effort à accomplir, donc corrélativement l'argent à dépenser.

Sur le terrain sociologique, où déjà la doxométrie s'est courageusement et profondément avancée, bien des remarques supplémentaires pourraient être apportées. Laissons de côté ici le plaisir tout intellectuel que peut avoir un psychologue à mieux connaître l'esprit d'un peuple, à le doser dans ses éprouvettes et à le chiffrer, mais notons par contre et non sans une secrète inquiétude une évolution irrésistible. L'homme est de plus en plus considéré dans les civilisations modernes comme un simple numéro dans un ensemble : qu'il s'agisse d'une équipe ou d'une nation. La doxométrie permettra de mieux connaître les ressorts réels de ces assemblages d'êtres humains, de mieux orienter une presse de propagande, de la guider. C'est là, dans le domaine intellectuel, une arme peut-être terrible que nous sommes en train de forger. Nous disons peut-être terrible, car depuis quelques décades nous voyons toutes les inventions de la science utilisées non seulement pour le bien mais aussi trop souvent pour le mal, et les libéraux impénitents se demandent, non sans angoisse, en songeant aux possibilités nouvelles qu'on est en train de créer, s'il y a pour eux lieu de s'en réjouir ou de s'en alarmer.

A. SAINTE-LAGUË.

Le grand chimiste français Georges Chavanne, mort à Bruxelles l'an dernier, avait consacré ses derniers travaux à résoudre le problème du ravitaillement en carburant lourd des régions coloniales éloignées des côtes (ce problème, particulièrement important pour le Congo Belge, se pose également en Afrique française). Le procédé mis au point par Chavanne consiste en l'*éthanolyse* de l'huile de palme : on traite cette dernière par l'alcool absolu et l'acide sulfurique concentré, et l'on obtient d'une part de la glycérine, de l'autre un carburant constitué par un mélange d'esters éthyliques des acides gras. Ce carburant est uniquement à usage colonial, car sa congélation débute à + 8°2. Il présente l'avantage d'être miscible au gasoil. La fabrication d'un kilogramme de carburant exige la mise en œuvre d'un kilogramme d'huile, de 185 grammes d'alcool absolu, de 15 à 20 grammes d'acide sulfurique concentré et d'un peu de chaux. Son coût serait réduit (environ 1 fr par kg), à condition que l'alcool soit produit sur place. Cette dernière condition est réalisable dans le voisinage de plantations de canne à sucre et de manioc, plantes facilement utilisables en distillerie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SOMMES-NOUS ARMÉS CONTRE LA POLIOMYÉLITE?

par Jean LABADIÉ

La poliomyélite, ou paralysie infantile, compte parmi les maladies contagieuses et épidémiques les plus justement redoutées, tant pour la soudaineté et la violence de ses attaques que pour les lésions plus ou moins graves qui souvent en résultent et pèsent sur l'existence ultérieure de l'individu atteint. On sait aujourd'hui que l'agent pathogène de la poliomyélite n'est pas un microbe, comme pour la diphtérie ou la tuberculose, mais un ultravirus, *comme pour la rage, c'est-à-dire une de ces particules à la frontière du monde vivant et des composés de la chimie organique, si ténue qu'elle traverse les filtres où sont arrêtés la plupart des microorganismes connus, et qu'elle n'a pu être aperçue et photographiée récemment que grâce au supermicroscope électronique. L'activité de cet ultravirus ne s'exerce que sur un nombre très restreint d'espèces animales, dont l'homme, et il possède une affinité rigoureusement élective pour le système nerveux central, en particulier la substance grise de la moelle épinière. La lutte contre la poliomyélite soulève des difficultés considérables; les cas sont, en règle générale, trop clairsemés pour que puissent être indiscutablement démontrés, d'une part, les conditions dans lesquelles s'acquiert l'immunité contre la maladie, d'autre part, le succès ou seulement l'inocuité des méthodes de lutte successivement préconisées.*

L'AUTRE guerre mondiale nous octroya la grippe espagnole. Celle-ci nous apporte une épidémie marquée de *poliomyélite*. Et la recrudescence, dans certaines villes françaises, de cette maladie infectieuse du système nerveux coïncide presque avec l'identification que deux savants suédois, Tisellius et Gard, ont faite de son virus, grâce au microscope électronique des établissements Siemens et Halske récemment décrit ici (1).

Rappelons brièvement que la poliomyélite infectieuse aiguë ou maladie de Heine-Medin est une maladie infectieuse et contagieuse due à un virus filtrant, atteignant surtout les enfants de 2 à 5 ans, caractérisée essentiellement par des paralysies flasques des membres. La maladie se déroule en deux phases, une phase aiguë qui dure quelques semaines dans lesquelles les lésions se constituent, évoluent et se résorbent partiellement; une phase chronique où les lésions sont définitivement fixées : c'est la période des séquelles qui dureront toute la vie.

Quelques signes bénins : fièvre, troubles gastro-intestinaux, coryza, angine rouge banale apparaissent brusquement chez un enfant bien portant et durent environ 48 heures. Ces troubles disparaissent, l'enfant paraît guéri, lorsque brutalement les paralysies s'installent : elles sont diffuses, portant sur un, plusieurs, quelquefois tous les membres. Toute mobilité spontanée est abolie. Il n'y a ni troubles sensitifs, ni troubles sphinctériens. La période de régression commence après deux semaines. La motilité revient à quelques groupes musculaires. Les progrès peuvent s'accentuer pendant 2 à 3 mois. A partir de ce moment les paralysies qui demeurent vont être définitives. Elles ne tardent pas à s'accompagner d'atrophie musculaire intense, de troubles trophiques (arrêt de développement) et de déformations (pieds bots).

Il semble que tous les problèmes de la microbiologie contemporaine se soient donné le mot pour converger sur l'étiologie, l'épidémiologie, le traitement enfin, de cette maladie terrible surtout pour les enfants; 84 % des cas concernaient l'âge préscolaire, lors de la dernière grande épidémie dont le foyer était situé dans le Bas-Rhin, tandis que 11 % des malades seulement étaient d'âge scolaire et 5 % d'âge postscolaire.

Le virus poliomyélitique fait partie de la classe des virus filtrants et, d'une manière à peu près certaine, de celle des virus chimiques appelés encore « ultravirus » (1).

Enfin, la théorie des « maladies inapparentes » de Charles Nicolle semble devoir s'appliquer à la poliomyélite : ses porteurs de germe adultes ne sont pas malades, au sens clinique du mot, mais n'en restent pas moins contagieux.

Le virus poliomyélitique voyage en « passager clandestin »

On sait que Charles Nicolle reliait à sa théories des maladies infectieuses inapparentes la conception d'une évolution microbienne (2).

Rappelons l'exemple devenu classique sous

(1) Voir : « Le supermicroscope électronique » *(Science et Vie,* n° 257, novembre 1938).

(1) Voir : « Les virus-protéines » *(Science et Vie,* n° 306, février 1943).

(2) Voir : « Comment se conservent, se propagent et évoluent les maladies infectieuses » *(Science et Vie,* n° 227, mai 1936).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

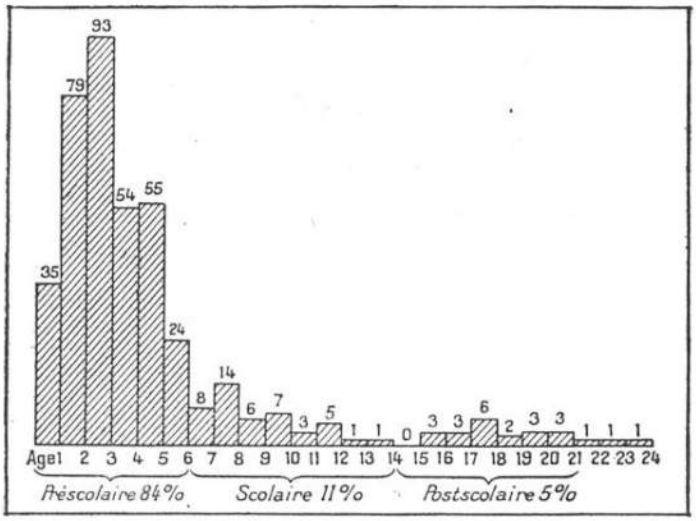


FIG. 1. — LA MORBIDITÉ DE LA POLIOMYÉLITE SUIVANT L'AGE LORS DE L'ÉPIDÉMIE DU BAS-RHIN EN 1930 (D'APRÈS LEVADITI, SCHMUTZ ET WILLEMIN)

la plume de cet auteur : la « maladie des jeunes chiens » et sa très forte mortalité, ruineuse pour les éleveurs, persistent malgré toutes les mesures prophylactiques, parce que le virus, mortel pour le jeune chien mais bénin pour l'homme, se loge et prolifère dans l'organisme de ce dernier. L'éleveur devient ainsi un foyer épidémique permanent pour l'animal qu'il soigne d'autre part, avec tant de sollicitude. En sorte qu'il n'a jamais été possible aux vétérinaires de situer un « foyer » d'infection proprement canin.

Ecoutez maintenant M. Codvelle, directeur de la Santé Publique, au sujet de la paralysie infantile : « Il n'y a pas à proprement parler de foyer à Paris, mais des cas essaimés au hasard des arrondissements. Ce qui est dangereux, c'est le manque de diagnostic dans les formes légères. L'exemple typique est le suivant : un enfant passant ses vacances dans le Puy-de-Dôme est malade. Son père, qui est allé le voir, se porte normalement depuis son retour à Paris. Cependant un jeune Parisien de son entourage est contaminé à son tour. Le père était porteur du virus... »

Il n'y a qu'un mot à changer à ces lignes et qu'à parler de « formes inapparentes » de la maladie au lieu de « formes légères », pour retrouver la théorie de Nicolle.

Mais encore, si l'on admet avec Nicolle que la maladie des jeunes chiens figure le résidu *actuel* d'une très ancienne maladie infectieuse de l'homme devenue inoffensive pour ce dernier, il faut admettre que le virus humain aurait évolué, en s'atténuant, à notre égard, par une sorte d'autovaccination de notre espèce, tandis que son « passage » sur l'espèce canine aurait ravivé sa virulence spécifique. Thèse essentiellement logique qui, transposée à une foule d'épidémies historiques, expliquerait : 1° leur disparition locale sans motif apparent; 2° leur atténuation dans le temps, au point que leurs rares foyers actuels n'offrent qu'une virulence atténuée ou tout au moins modifiée; 3° leur resurgence subite dans une forme évoluée.

Aussi bien, certaines maladies apparaissent-elles comme « nouvelles », telle l'influenza de 1890 ou la « grippe espagnole » de 1914-1918, dont la « nouveauté » tiendrait seulement à l'ignorance où nous sommes de leur relation avec quelques maladies très anciennes dans les chroniques de l'humanité.

Ne serait-ce pas justement le cas de la poliomyélite? Avec cette particularité que le virus, avant de lâcher prise, s'attarde sur la portion infantile de l'humanité.

La virulence variable du virus

L'Europe semblait ignorer la poliomyélite avant l'année 1881 durant laquelle fut mise en évidence, par Bergenholtz et Médin, la forme nettement épidémique de la *paralysie infantile* qui sévissait à cette époque en Scandinavie.

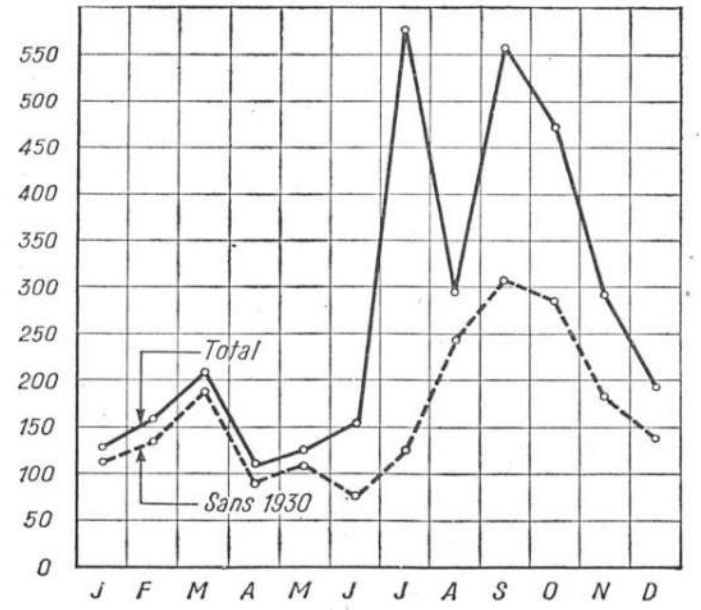


FIG. 2. — MORBIDITÉ MENSUELLE DE LA POLIOMYÉLITE EN FRANCE DE 1924 A 1932

Dans le tracé de la courbe en pointillé n'ont pas été compris les cas de poliomyélite de l'année 1930, pendant laquelle eut lieu l'épidémie du Bas-Rhin. La courbe en trait plein indique le nombre total de cas, 1930 compris. Ces courbes mettent en évidence la recrudescence de la maladie pendant les mois chauds. (D'après Hormus.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et ne cessa de se développer jusqu'à faire de la Suède, en 1905, « le foyer initial » d'où sont parties la plupart des épidémies qui depuis sévirent en Europe. On suppose, ajoute le rapporteur de la section d'hygiène de la Société des Nations, « que c'est d'Europe que la maladie a été transportée, par des émigrants, en Amérique ».

Ce qui complique encore l'étude épidémiologique de la poliomyélite, c'est l'*inégale réceptivité* des sujets exposés à un même danger de contagion. Alors que la rougeole, la scarlatine, la typhoïde, se dispersent avec une régularité quasi physique sur une aire géographique déterminée, ou dans une agglomération humaine bien définie, les spécialistes chargés de lutter en 1930 contre l'épidémie du Bas-Rhin purent constater des singularités étonnantes : « Dans une caserne de Wissembourg, où logeaient, dans des conditions d'hygiène absolument insuffisantes, de nombreuses familles pauvres *comportant une centaine d'enfants de tout âge*, un seul cas de paralysie infantile et quelques formes frustes se sont déclarées ». D'ailleurs, il est relativement rare de constater l'apparition simultanée ou successive de plusieurs cas de poliomyélite dans la même famille.

« Ajoutons, écrit M. Levaditi, que dès les premières recherches épidémiologiques de Zippert (1909) il fut établi que la *pauvreté ou la richesse*, pas plus que *les mauvaises conditions d'hygiène*, n'influencent la contagion. »

On cite l'observation de jumeaux partageant le même lit sans que la paralysie infantile de l'un soit transmise à l'autre. Il faut bien conclure que la contagiosité de la maladie n'est pas fatale, inévitable! Et pourtant la contagiosité

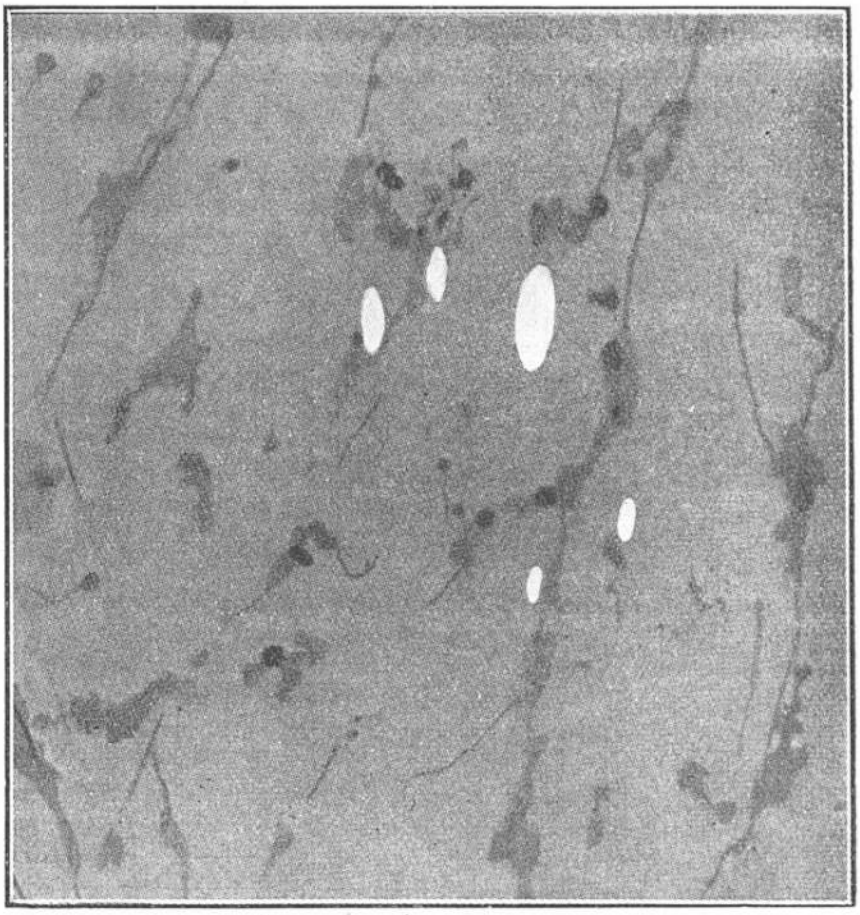


FIG. 4. - LE VIRUS DE LA POLIOMYÉLITE ISOLÉ DE LA MOELLE ÉPINIÈRE HUMAINE ET PHOTOGRAPHIÉ AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE

Cette photographie et la précédente ont été obtenues par les Suédois Tiselius et Gard à l'aide du microscope électronique Siemens. Le virus apparaît sous la forme de filaments dont les dimensions confirment les évaluations d'après les méthodes physiques (constante de sédimentation, de diffusion, etc.) : diamètre 12,5 millimicrons, longueur 580 millimicrons. L'analyse chimique indiquerait une teneur en azote de 16 % et en phosphore de 0,6 %. Ce serait, d'après les auteurs précédents, une nucléoprotéine de poids moléculaire élevé, voisin de 57 millions.

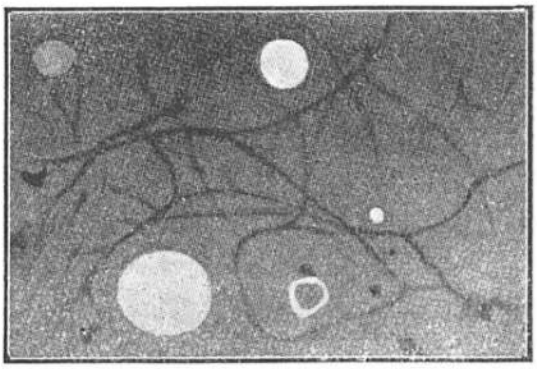


FIG. 3. — LE VIRUS DE LA POLIOMYÉLITE MURINE ISOLÉ DU CERVEAU DE LA SOURIS

La poliomyélite murine est une maladie de la souris étroitement apparentée à la poliomyélite humaine, cliniquement, anatomiquement et épidémiologiquement. Les recherches ont montré jusqu'ici que le virus de cette maladie n'était pas distinguable physiquement et chimiquement du virus de la maladie humaine. C'est donc un matériel expérimental précieux pour l'étude de la poliomyélite humaine, les résultats obtenus avec la souris fournissant des indications en grande partie transposables sur l'homme.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ne saurait être mise en doute, puisque, répétons-le, l'origine de certaines épidémies se trouve dans l'immigration de personnes venant de contrées infectées : en 1931, par exemple, le foyer épidémique de la Haute-Savoie avait été ensemencé *l'été précédent* par une colonie de vacances venue d'Alsace où, l'année d'avant, la poliomyélite avait fait 500 victimes.

La contagiosité est, du reste, géométriquement établie par la répartition des cas le long des voies de communication routières, ferroviaires et fluviales. On cite encore des « maisons à poliomyélite » où la maladie est apparue successivement pendant deux ou trois ans dans un même immeuble.

D'autre part, voici une observation intéressante pour éclairer cette contagiosité : *lorsque deux frères ou sœurs se paralysent, la poliomyélite se déclare chez eux simultanément*. Ceci paraît indiquer (étant donné ce qui précède) que les deux enfants ont été contaminés par une même source et non par transmission de l'infection de l'un à l'autre. En d'autres termes, les divers porteurs de germe seraient *inégalement contagieux*. Autrement dit encore, le virus comporterait un coefficient de virulence dépendant de l'individu porteur. Ce qui n'a rien d'étonnant pour un ultravirus dont on discute encore de savoir s'il est lui-même « vivant » ou si sa « vie apparente » n'est pas autre chose qu'une « autocalyse » qu'il déclanche dans les cellules de l'organisme où il se développe.

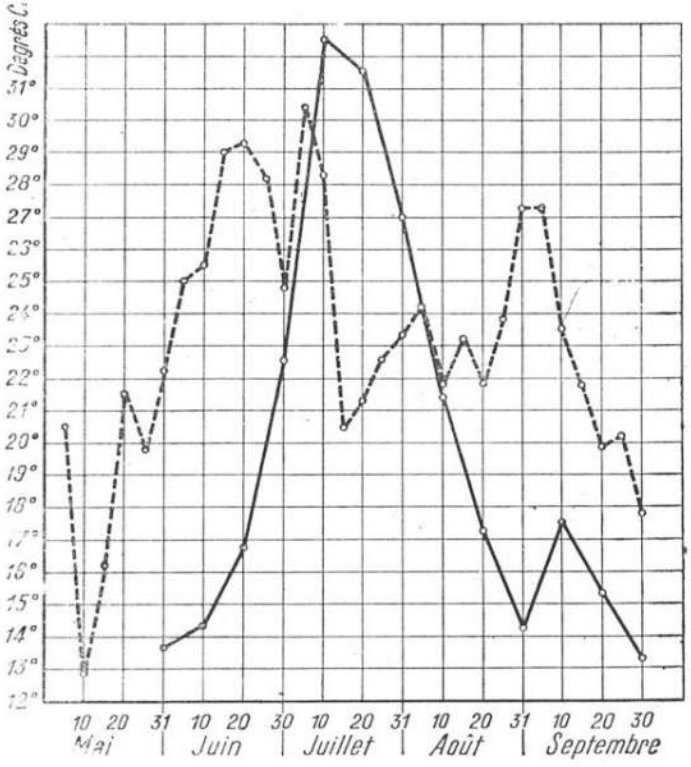


FIG. 5. — RAPPORT ENTRE LA MORBIDITÉ DE LA POLIOMYÉLITE ET LA TEMPÉRATURE AMBIANTE LORS DE L'ÉPIDÉMIE DE 1930 DANS LE BAS-RHIN (D'APRÈS LEVADITI, SCHMUTZ ET WILLEMIN)

Y a-t-il des prédispositions à l'infection ?

On a donc été conduit à rechercher les causes prédisposant à la maladie.

Le sexe ? En gros, les garçons sont plus vulnérables que les filles à la morbidité *simple* : 60 % contre 40 %. Par contre, la paralysie proprement dite semble toucher les filles plus que les garçons.

La race ? Aux Etats-Unis, les Ecossais, les Irlandais et les Allemands se sont révélés de quatre à cinq fois moins sensibles que les Scandinaves, les Russes et les Autrichiens.

Les groupes sanguins ? (1) Deux observateurs étudiant ce point de vue ont relaté 56,4 % de cas dans le groupe A, lors de l'épidémie du Bas-Rhin, tandis que les groupes B et 0 n'en apportaient que 14,5 et 29,1 % et que le groupe AB se révélait entièrement préservé.

Toutefois, en d'autres pays c'est le groupe 0 qui fournit le maximum de morbidité et le groupe B le minimum. Au Danemark (1934) Jensen étudia la répartition parallèle, dans une même population, des cas de poliomyélite et des groupes sanguins. Il découvrit que les deux « fréquences » étant *sensiblement les mêmes*, les statistiques concluaient à neutraliser purement et simplement la corrélation du groupe sanguin et de la morbidité.

Y aurait-il enfin des *prédispositions familiales* ? On a cru constater que certaines familles à antécédents névropathiques fournissent un contingent morbide plus élevé que la moyenne générale. D'autre part, une statistique bien documentée de Lloyd Aycock étudiant 682 observations, montre que la poliomyélite apparaît fréquemment dans certaines familles à parents, grands-parents ou aïeux déjà touchés par la maladie. Il y aurait donc une prédisposition héréditaire.

Le même observateur a mis en évidence un autre facteur probable de prédisposition, dans la présence des amygdales. Sur cent malades observés, soixante-dix avaient leurs amygdales et trente seulement en avaient été débarrassés. Les amygdales favoriseraient, en conséquence, la pénétration du germe infectieux, ce qui *confirme le rôle du naso-pharynx en tant que porte d'entrée de l'ultravirus poliomyélitique*. Cette observation a porté sur 714 cas dans l'épidémie de 1926 et sur 1 224 de l'épidémie américaine. Ces faits ne semblent tout de même pas justifier de conseiller l'ablation des amygdales (tonsillectomie) car il reste à savoir si ces glandes n'ont pas par ailleurs quelque fonction hormonique inconnue.

Par contre, le caractère saisonnier de la poliomyélite ne fait plus de doute. L'étude géné-

(1) Voir : « Les quatre groupes sanguins » (*Science et Vie*, n° 284, avril 1941).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rale des épidémies a montré que la température de l'air jointe à son état hygrométrique, à sa conductance électrique, etc., tel qu'il se caractérise d'ordinaire à l'époque la plus chaude de l'année constitue le complexe le plus favorable au déclenchement de la maladie. Durant l'épidémie du Bas-Rhin (1930) un été tardif a été marqué par une reprise de la maladie.

Pourquoi en est-il ainsi? Est-ce l'organisme qui se trouve mis en état d'infériorité? Est-ce l'activité pathogène du virus qui se trouve avivée par ces conditions climatiques? Nous touchons là un problème infiniment général, *celui de la périodicité saisonnière des maladies infectieuses*. Or, il est très probable qu'aucun être vivant, quel qu'il soit, ne demeure semblable à lui-même durant l'année entière. La vie normale participe à la périodicité saisonnière; la maladie également. Raison de plus pour tenter de découvrir les facteurs exacts de la résistance ou de la non résistance de l'organisme en fonction de la saison. Il y a là sans doute d'utiles découvertes thérapeutiques à faire.

Quant aux variations saisonnières de la virulence du germe lui-même, elles sont peu vraisemblables.

L'origine et la nature obscures des « anticorps » du virus poliomyélitique

Comme tous les virus spécifiques du système nerveux, celui de la poliomyélite s'apparente au virus de la rage par son caractère filtrant. Son terrain d'élection est la *substance grise* (gris *polios*, en grec) des cornes antérieures et postérieures de la moelle. Cependant une étude histo-pathologique approfondie de la poliomyélite humaine révèle l'extrême dispersion des altérations cellulaires et la substance blanche nerveuse n'en est pas préservée. Ces altérations peuvent gagner les ganglions. En tous cas, c'est par le système neuro-moteur que le virus attaque l'organisme, provoquant ainsi une paralysie, plus ou moins radicale, lorsqu'il ne tue pas.

L'ultramicroscope électronique a permis, répétons-le, d'identifier le virus dont le siège avait été déjà repéré dans certaines inclusions granulées visibles au microscope ordinaire. Il se présente sous la forme de filaments enlacés, dont le diamètre est de l'ordre du dix-millionième de millimètre. Ceci peut aider les chercheurs dans leurs travaux sur le vaccin antipoliomyélitique qui n'est pas encore découvert mais qui, logiquement, doit l'être un jour, puisque d'ores et déjà les épidémies ont mis en évidence le caractère *immunisant* de la maladie et qu'il existe, par la voie indirecte du sang des convalescents, une sérothérapie de la poliomyélite.

FIG. 6. — FORME PARAPLÉGIQUE DE LA POLIOMYÉLITE CHEZ LE SINGE (MACACUS RHESUS)

Les cas de poliomyélite sont, en général, trop clairsemés pour favoriser les recherches touchant l'immunité. Mais les *récidives* individuelles sont tellement rares qu'on peut les considérer plutôt comme des « rechutes » et considérer qu'une *guérison véritable* apporte avec elle l'immunité. Et c'est pourquoi le sérum des convalescents est « neutralisant » vis-à-vis du virus. Netter et Levaditi furent les premiers à démontrer en 1910, à l'Institut Pasteur, ce pouvoir neutralisant.

La nature immunisante de la maladie ressort encore d'une observation courante concernant les localités atteintes une première fois. Lors d'une seconde invasion épidémique, la maladie les épargne et la « durée de sécurité » s'avère d'autant plus longue que la première atteinte a été plus sévère.

Il restait à étudier expérimentalement l'immunité anti-poliomyélitique, afin de découvrir, si possible, une méthode efficace de vaccination. Pour cela, il fallait un matériel biologique : c'est le singe qui se trouva tout désigné par la découverte que fit Landsteiner de sa susceptibilité vis-à-vis du virus. Dès 1910, le pouvoir virulicide du sérum des singes convalescents a été démontré par Landsteiner et Levaditi.

Mais l'immunité (et par suite le sérum neutralisant) obtenue par convalescence ne pouvait aboutir à une thérapeutique rationnelle. Trois singes sur sept succombent. Il fallait rechercher avant tout la *nature* et *l'origine* des « anticorps » neutralisants. Une expérience classique, *l'électrophorèse*, appliquée au complexe « virus-substances neutralisantes » dissocie ce complexe : c'est la preuve que le virus est « neutralisé » par inhibition et non par destruction. On en conclut que le sérum immunisant agit en *empêchant le virus de pénétrer dans la cellule sensible*.

Quant à l'origine des « anticorps » neutralisants, elle est des plus obscure. C'est ainsi que la sœur d'un malade atteint de paralysie infantile fournit à Netter et Levaditi un sérum neutralisant, bien que cette personne n'ait jamais été malade elle-même. Toujours suivant la doctrine de Nicolle, l'existence d'une forme apparente (ou abortive) de la maladie infectieuse explique le phénomène : l'immunisation se produirait ainsi, pour certains sujets, par le seul contact avec des malades ou plus simplement encore (observations américaines) avec des porteurs de germes ne présentant eux-mêmes aucun symptôme morbide. Et pourtant il est établi

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que le simple contact avec le virus n'entraîne aucune immunité pour les singes expérimentés : il y faut l'injection sous-cutanée, c'est-à-dire l'infection nettement morbide.

En présence de ces contradictions expérimentales les expérimentateurs se trouvent désorientés.

La complexité du problème de l'immunité dans la poliomyélite

D'innombrables techniques de vaccination ont, en effet, été essayées. Aucune ne confère un état réfractaire analogue à celui des vaccinations pastoriennes classiques.

La méthode d'immunisation par le virus tué ne laissait *a priori* aucun espoir : les ultravirus ne se développent qu'en milieux vivants et c'est la moelle du lapin que Pasteur dut offrir au virus rabique pour en préparer le vaccin.

La méthode d'atténuation du virus par chauffage n'a pas mieux réussi.

L'atténuation par dessiccation des moelles prélevées sur les singes poliomyélitiques — imitant le procédé antirabique de Pasteur — fut essayée avec succès par Landsteiner et Levaditi. Desséchées sur de la potasse caustique et conservées à 22°, *dans l'obscurité* (le virus étant particulièrement photosensible) de telles moelles, prélevées en pleine évolution morbide, se révélèrent capables de conférer au *Macacus rhésus* un état réfractaire manifeste après des injections sous-cutanées de 2 cm³. Les animaux ainsi vaccinés résistèrent à des inoculations virulentes intracérébrales *mortelles pour les témoins*. Malheureusement ces mêmes moelles conservant toute leur virulence par inoculation transcranienne et même, très souvent, par injection sous-cutanée, les succès de laboratoire de Landsteiner et Levaditi n'ont pu engendrer aucune thérapeutique. Les tentatives du même ordre faites par d'autres chercheurs (Aycock et Kagan) n'ont pas avancé la question.

La même incertitude, la même alternance d'immunité et d'infection morbide, sont demeurées attachées à tous les autres modes de vaccination expérimentés : l'atténuation chimique du virus (par l'acide phénique, par le formol, par l'acide tannique, par le ricinoléate de soude) l'atténuation physique par dilution ou encore par photosensibilisation en présence de bleu de méthylène; l'atténuation biologique par « souches » méthodiquement cultivées, ou encore par mélange du virus avec un sérum neutralisant, humain ou simien, toutes ces méthodes ont suscité les mêmes espoirs aussitôt effondrés sous les mêmes désillusions.

Des praticiens américains ont appliqué à l'homme le vaccin préparé par Kolmer au ricinoléate de soude. Sur six singes traités par Kolmer, deux avaient cependant contracté la maladie durant l'immunisation ! Chez les sujets humains traités, neuf cas de poliomyélite se sont révélés comme une conséquence évidente de la vaccination ainsi que le démontrèrent le délai d'incubation et le processus de la paralysie qui débuta par le membre où avait été faite la piqûre.

Concluons : il n'existe, à l'heure présente, aucun vaccin thérapeutique.

Seule a pu apparaître valable la sérothérapie empirique au moyen des sérums neutralisants que fournissent les convalescents.

FIG. 7. — PARALYSIE FACIALE POLIOMYÉLITIQUE CHEZ LE SINGE (MACACUS CYNOMOLGUS) (D'APRÈS LEVADITI ET STANESCO).

Malheureusement il semble bien que dans les maladies à virus, l'immunité est d'origine tissulaire et non d'origine humorale. Comme le fait remarquer Lepine, la présence d'anticorps circulants traduit le contact de l'organisme avec le virus mais n'a que des rapports indirects avec l'état réfractaire dont elle n'est ni la cause ni l'effet.

Etat présent de la sérothérapie

D'ailleurs (et cela résulte immédiatement des singularités signalées), le pouvoir neutralisant des sérums offerts aux praticiens doit être soigneusement vérifié. L'immunité varie en effet suivant les sujets : alors que, pour certains, elle persiste jusqu'à la fin de leur existence, pour d'autres, cette immunité n'est que passagère. D'autre part, il serait bon, tout comme pour les donneurs de sang, de prospecter les sujets doués (comme nous avons dit) du pouvoir neutralisant sans qu'ils aient eux-mêmes été touchés par la maladie. En d'autres termes, beaucoup de sérums « normaux » sont pratiquement neutralisants et utilisables comme tels — compte tenu du groupe sanguin.

La mesure de la puissance neutralisante d'un sérum se heurte toujours à de sérieux obstacles. On peut faire varier dans une proportion très large les quantités de virus et de sérum neutralisant sans modifier les résultats de l'inoculation ultérieure. Pratiquée *in vitro*, la neutralisation n'offre aucune sécurité quant aux doses relatives du sérum et du virus : elle peut être jugée *qualitativement* mais non quantitativement. Pratiquée *in vivo*, sur le singe, la neutralisation n'offre pas moins d'incertitude quantitative. On inocule le virus au singe. La neutralisation, qui s'effectue par injections intrarachidiennes du sérum, dépend alors du délai d'incubation imparti au virus et aussi des *prédispositions individuelles du sujet*.

Comment, dans ces conditions, privé de toute base certaine de dosage, le praticien pourrait-il opérer une sérothérapie aussi totalement dépouillée d'empirisme que le sont, par exemple, la sérothérapie antidiphtérique ou l'antityphoïdique ?

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'idéal thérapeutique serait d'obtenir un sérum homogène, de pouvoir neutralisant constant, à partir d'une source biologique spécifique *standard*. C'est lui qu'a poursuivi Pettit à l'Institut Pasteur de Paris. Il s'est adressé d'abord au mouton dont les prédispositions spécifiques neutralisantes étaient depuis longtemps mises en évidence. Inoculé avec la moelle d'un singe mort de poliomyélite, le mouton fournit, au bout de cinq mois, un sérum neutralisant le virus *in vitro*. Mais appliqué à l'homme, le sérum de mouton provoque des réactions intolérables.

Pettit s'adressa donc au cheval avec le sérum duquel les réactions sur l'organisme humain sont bénignes. Il immunisa l'animal par injections intraveineuses. Et le sérum obtenu fut assez rapidement employé, en thérapeutique humaine. Les résultats furent encourageants. Mais la mesure exacte du pouvoir neutralisant, essentielle pour une diffusion véritablement générale de la thérapeutique, laissait à désirer, faute des singes dont l'Institut Pasteur devrait disposer en abondance et qu'il n'eut jamais.

En Angleterre, on voulut perfectionner le sérum Pettit. Par injections intramusculaires, Fairbrother obtint un sérum parfaitement virulicide *in vitro* mais... sans effet thérapeutique, ni curatif, ni préventif. Autre part on essaya des injections intrarachidiennes faite au cheval sans dépasser les résultats de Pettit dont les insuffisances paraissent relever, en définitive, de ce que « tous les chevaux sont loin de se comporter de la même manière : si certains fournissent assez rapidement un sérum à pouvoir neutralisant élevé, d'autres se révèlent absolument réfractaires » (Levaditi). Il n'est guère que 30 % des chevaux qui se prêtent à l'immunisation.

Il semble bien qu'à l'heure actuelle la plupart des auteurs soient d'accord pour douter de l'efficacité du sérum de convalescent employé comme moyen thérapeutique dans la maladie déclarée. Le rôle prophylactique de ce sérum et celui du sérum de cheval préparé par Pettit paraît plus certain, mais demeure encore discutable.

Ainsi, au bord de la réussite, le mystère s'approfondit. Son éclairement dépend, très probablement, d'une théorie plus exacte, à formuler, des ultravirus.

L'étroite connexion de la pathologie des ultravirus et de la physiologie : l'autarcésis

Les relations qui rattachent la virulence des ultravirus à la vie propre de l'organisme qu'ils élisent pour terrain de culture, semblent recéler la clé de l'énigme. Les groupes sanguins et les fonctions hormonales paraissent jouer, en tout ceci, un rôle capital, en sorte que le *pouvoir neutralisant* mesuré *in vitro* diffère totalement de l'immunité proprement dite, qui, essentiellement biologique, n'apparaît jamais que *in vivo*.

C'est pourquoi un spécialiste de la poliomyélite, Aycock, a introduit la notion nouvelle *d'autarcesis* : il dénomme ainsi le pouvoir protecteur dont jouit l'organisme en raison de son activité physiologique *normale* et *équilibrée*. Ce pouvoir se différencie de l'immunité, forme de résistance spécifique de l'organisme à l'invasion virulente. Le sujet bien équilibré répond au contact du virus par l'immunité : le non équilibré par la maladie. Le premier figure assez bien une forteresse se défendant victorieusement sur ses remparts, le second une place qui, d'abord forcée, rejette l'ennemi après une lutte intérieure sévère et, par suite, immunisante *a posteriori*. Mais la victoire est toujours incertaine.

Aycock a fourni là-dessus d'étonnantes précisions touchant les facilités de pénétration rencontrées par le virus *au niveau des muqueuses respiratoires et digestives* qui sont les voies d'accès reconnues du virus dans l'organisme. Aycock castre dix guenons. Après 24 jours, il administre à cinq d'entre elles pendant 12 jours consécutifs en injections intramusculaires, 2 000 *unités* d'oestrine (hormone femelle). Trente-deux jours après la castration, il inocule ses guenons par *instillations nasales* du virus. Un seul des cinq sujets préparés à l'oestrine succombe tandis que les autres cinq, castrés et non traités succombent. Voilà qui est net, touchant le rôle de l'hormone femelle dans la protection de l'organisme. Aycock précise encore que ce rôle consiste à renforcer les muqueuses (ces remparts de la défense) puisque d'autres expériences, classiques, montrent que la muqueuse vaginale s'amincit par la castration. Tant qu'on n'aura pas développé ce genre d'expériences séparant les deux « tactiques » de la défense organique, on se trouvera désarmé pour rechercher les véritables *anticorps* capables de fournir le sérum rationnel contre la paralysie infantile. En attendant, nous ne disposons que de peu de moyens de lutte contre l'apparition de la maladie. On peut utiliser les sérums de convalescents humains; c'est là que semblent se trouver les plus grandes chances d'aider le malade à vaincre le mal, par son *autarcesis*.

De plus, il convient de venir au secours de l'organisme, préventivement, en aidant les muqueuses nasales et pharyngieuses à défendre l'organisme en temps d'épidémie. Appliquez aux tout petits et à vous-même (éventuel porteur inconscient de germes virulents) des pulvérisations nasales (dont la formule vous sera donnée par votre médecin) à base d'alun, d'acide picrique et de sel marin. Cela dès qu'un foyer épidémique est signalé, même loin de votre résidence, si vous apercevez la moindre possibilité de ces contacts indirects dont nous avons, ci-dessus, marqué le caractère.

Jean LABADIÉ.

L'expérience est la source unique de vérité; elle seule peut nous apprendre quelque chose de nouveau.

H. POINCARÉ.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LES RADIOÉLÉMENTS ARTIFICIELS VONT RÉVOLUTIONNER LES MÉTHODES DE LA CHIMIE BIOLOGIQUE

par Jean COURTOIS
Pharmacien des hôpitaux de Paris
Docteur ès Sciences physiques

L'une des applications les plus intéressantes de la découverte de la radioactivité artificielle par M. et Mme Joliot-Curie et de la mise au point d'un appareillage varié et puissant pour la synthèse des radioéléments par bombardement atomique, est l'emploi de ces éléments inédits dans les recherches biologiques. Aucune méthode physicochimique nouvelle ne s'est aussi rapidement imposée dans ce domaine, et en quelques années des résultats remarquables ont été obtenus. C'est que, pour la première fois, des isotopes radioactifs permettent de « marquer » spécifiquement les corps dont on veut suivre l'évolution dans un organisme vivant et de mettre en évidence les modalités de leur résorption, de leur accumulation dans tel ou tel organe, de la mobilisation de ces réserves en cas de besoin, des transformations qu'elles subissent et de leur excrétion sous forme de déchets, le tout avec une précision stupéfiante, étant donné l'extrême sensibilité des instruments de mesure de la radioactivité.

Le « marquage » en biologie

Le biologiste poursuit ses recherches dans un domaine extrêmement mouvant et complexe, celui de la vie. Il a toujours dans la majorité des cas à craindre d'être débordé, de perdre de vue l'objet de ses recherches. S'il porte son attention sur un animal particulier, ne va-t-il pas bientôt le voir disparaître parmi la foule des êtres de même espèce où il ne l'identifiera peut-être jamais plus? S'il suit le développement d'une cellule et de sa descendance au sein d'un organisme en formation, comment la retrouver entre les millions de cellules de toute espèce qui constituent l'être adulte? S'il administre un composé chimique simple ou complexe à un être vivant, comment suivre sa trace et ses multiples transformations dans les organes où il accède le plus souvent à l'état de traces, et où il n'en joue pas moins un rôle que l'on peut supposer capital?

Aussi le biologiste aspire à « marquer » l'objet de ses recherches pour en fixer l'identité d'une manière indélébile pourrait-on dire, et le reconnaître ensuite avec certitude s'il parvient à le retrouver. Ce « marquage » est plus ou moins facile à réaliser. La méthode la plus élégante sans contredit est le baguage des oiseaux migrateurs qui a fourni tant de beaux résultats en ornithologie.

Suivre le sort d'un animal est encore relativement aisé; suivre le sort d'une substance chimique à l'intérieur de ce même animal est infiniment plus difficile. Le plus souvent on se contente d'établir des « bilans ». Dans quelques cas isolés cependant on a pu « marquer » la substance chimique. En voici deux exemples :

L'acide benzoïque a des propriétés antiseptiques, et à ce titre les benzoates de soude, de lithium ou de fer sont utilisés en thérapeutique. L'acide benzoïque s'emploie parfois pour la conservation des produits alimentaires, mais cette application est interdite par les règlements dans de nombreux pays. Comment suivre l'acide benzoïque dans un organisme vivant où on l'a introduit, et comment étudier son « métabolisme » (1)? On avait recours pour cela à l'un de ses dérivés, l'acide nitrobenzoïque qui est obtenu par fixation d'un groupement nitré dans la molécule de l'acide benzoïque. Cet acide nitrobenzoïque est facile à caractériser et par conséquent à retrouver; on pouvait supposer que dans l'organisme il subissait le même sort que son proche parent l'acide benzoïque.

Autre exemple. Les graisses renferment presque toujours un acide gras particulier, l'acide oléique. Pour le suivre dans l'organisme, on a fait appel à une autre acide, l'acide élaïdique qui possède la même constitution et les mêmes propriétés chimiques que l'acide oléique; il n'en diffère que par la disposition dans l'espace d'une fraction de sa molécule; c'est ce que l'on dénomme un « isomère stéréochimique ». L'acide élaïdique ne se rencontre pas dans les graisses naturelles, il ne diffère de l'acide oléique que par certaines propriétés physiques, en particulier son point de fusion bien plus élevé. De ce fait, les graisses renfermant de l'acide élaïdique sont solides à la température ordinaire donc facilement reconnaissables, tandis que les graisses riches en acide oléique sont liquides à cette température. On a pu

(1) On sait qu'on désigne sous le nom de *métabolisme* d'une substance l'ensemble des transformations qu'elle subit dans l'organisme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fabriquer de toutes pièces, c'est-à-dire synthétiser, des graisses à acide élaïdique, les administrer à un animal et en suivre ainsi le sort dans l'organisme.

Une grosse objection pouvait être faite à ces méthodes de marquage : rien ne prouve que les tissus, avec leur extrême sensibilité, ne font pas de différence entre le corps biologique normal et son proche parent non biologique « marqué ». Il semble bien qu'une telle objection ne puisse être faite à l'emploi des *isotopes marqués*.

La synthèse des éléments radioactifs

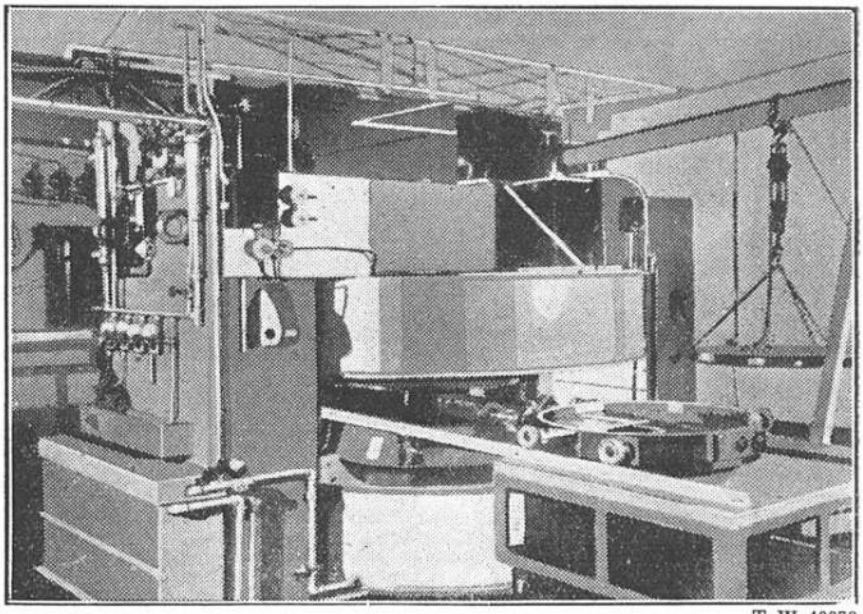
Avant de parler des isotopes, il est utile de rappeler brièvement quelques notions classiques. Il y a déjà longtemps, William Prout (1786-1850) avait remarqué que les poids atomiques des différents éléments étaient des multiples simples du poids atomique du plus petit d'entre eux, l'hydrogène.

Ceci permettait de supposer l'existence de particules communes entrant en nombre variable dans la constitution des différents éléments. Les théories actuelles admettent que l'atome est constitué par un noyau central où l'on trouve des *protons*, particules à charge positive et des *neutrons*, particules électriquement neutres; autour de ce noyau gravitent, disposés en plusieurs couches concentriques, des *électrons*. L'électron est l'unité naturelle d'électricité. A l'inverse des protons, les électrons sont chargés négativement; leur juxtaposition en nombre égal confère donc à l'atome une charge électriquement neutre. Le nombre des électrons (et donc des protons) est le nombre atomique de l'élément et fixe sa place dans la classification. Les propriétés chimiques ne dépendent que du nombre des électrons et de leur disposition en couches concentriques à la périphérie de l'atome. Les corps simples possédant le même nombre de protons, donc le même nombre d'électrons, auront les mêmes propriétés chimiques, même s'ils possèdent des neutrons en nombre différent. Par contre ils pourront posséder des propriétés physiques différentes : ce seront des *isotopes*. Il en résulte qu'il sera impossible de séparer les isotopes par des techniques purement chimiques; par contre, cette séparation est plus ou moins aisément réalisable par des techniques physiques délicates.

On désigne les isotopes en indiquant en bas à gauche du symbole atomique leur nombre atomique (nombre d'électrons) et en haut leur poids (nombre total de protons et de neutrons). Ainsi on représentera les deux azotes $^{14}_{7}N$ et $^{15}_{7}N$ et les deux phosphores $^{31}_{15}P$ et $^{32}_{15}P$.

On connaît, dans les éléments et les composés qu'étudie la chimie, un certain nombre d'isotopes naturels; ils sont pour la plupart stables. Mais on sait aujourd'hui fabriquer aussi de nombreux *isotopes artificiels* qui présentent en général la propriété d'être instables. Ce sont de véritables éléments radioactifs et comme tels facilement décelables dans les composés les plus complexes de la chimie biologique.

Les neutrons expulsés du béryllium par le rayonnement du radium, les protons accélérés par les impulsions du cyclotron de E.-O. Lawrence à des énergies de 6 à 9 millions d'électrons-volts, atteignant les noyaux atomiques des éléments qui leur sont offerts pour cibles les déséquilibrent. A la suite d'échanges et d'expulsions de rayonnements et de corpuscules divers, le réarrangement des particules nucléaires aboutit à la formation de nouveaux éléments synthétiques presque tous instables, et de ce fait radioactifs, et qui sont nécessairement des isotopes d'éléments déjà connus, mais stables.



T W 40078

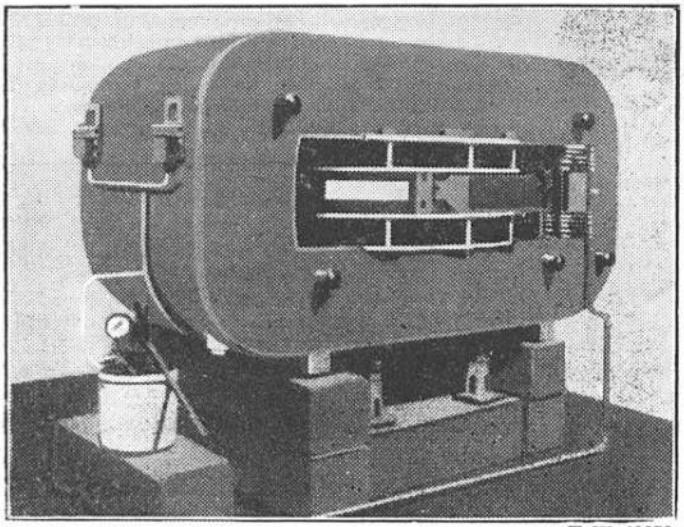
FIG. 1. — LE CYCLOTRON DE LA FONDATION DE RECHERCHES BIOCHIMIQUES DU FRANKLIN INSTITUTE DE PHILADELPHIE (ETATS-UNIS)

La première synthèse d'un élément radioactif artificiel isotope d'un élément stable, fut la synthèse de l'azote $^{13}_{7}N$ par deux savants français : Mme I. Joliot-Curie et M. F. Joliot. Ces radioéléments émettent des radiations au cours de leur « vie » plus ou moins longue, au terme de laquelle ils donnent d'autres éléments stables ou instables à leur tour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La technique nouvelle des indicateurs biologiques

En quelques années, près de trois cents nouveaux éléments synthétiques ont été ainsi préparés ; certains sont les isotopes d'éléments entrant dans la constitution de la matière vivante et ont donc pu être utilisés comme *indicateurs biologiques*. On peut mettre en évidence leur présence dans les tissus, soit directement, soit après destruction des matières organiques.



T W 40079

L'ÉLECTROAIMANT DU CYCLOTRON DE M. FRÉDÉRIC JOLIOT AU COLLÈGE DE FRANCE

L'émission d'électrons par le composé radioactif est mesurée dans un compteur.

L'emploi des isotopes offre un grand intérêt en biologie, car *les organismes et les diastases ne font pas de différence entre les isotopes, et surtout ne les séparent pas*. Ceci a été établi avec les isotopes stables utilisés en biochimie depuis quelques années. L'eau, par exemple, obtenue par combustion ou distillation des matières organiques naturelles, renferme autant d' « eau lourde » que les eaux d'alimentation. En d'autres termes, le *deutérium*, isotope lourd de l'hydrogène, s'y retrouve dans la même proportion sous forme de protoxyde. L'azote obtenu par combustion des protides, dénomination chimique des matières albuminoïdes, renferme 3,66 pour mille d'azote lourd $^{15}_{7}N$ comme l'azote atmosphérique qui est constitué par plus de 99,6 % d'azote ordinaire $^{14}_{7}N$

L'un des grands avantages de l'emploi des isotopes artificiels réside dans l'extrême facilité avec laquelle on peut déceler des quantités infinitésimales de ces radioéléments. Une explosion atomique par seconde révèle ainsi par exemple la présence de 6×10^{-9} *gamma* de phosphore radioactif $^{32}_{15}P$ (le *gamma* est le millième de milligramme). L'une des techniques qui permet d'obtenir de l'acide phosphorique à phosphore radioactif ne donne qu'un milliardième de gramme de cet acide, mais on peut mesurer avec précision la radioactivité de la millionième partie de cette dose déjà plus qu'infinitésimale d'acide phosphorique.

L'isotope peut donc être administré à de faibles doses qui ne perturbent pas le métabolisme normal. Si on administre ainsi à un rat un demi-milligramme de phosphore « marqué » de cette manière, on peut mettre en évidence au bout de trois semaines 0,12 mg dans le squelette, 0,014 mg dans les dents, 0,0085 mg dans le foie ; enfin 0,24 mg ont été éliminés par l'urine et les matières fécales. Un rat contient en moyenne 1 500 mg de phosphore, ce qui fait que l'on a pu suivre avec précision le sort de 1/3 000e du phosphore total.

L'organisme ne renfermant pas normalement de substances radioactives, on est certain que la radioactivité mesurée provient exclusivement de l'isotope instable administré ; on n'a donc pas à obvier au dosage simultané et interférant de composés voisins, comme cela se produit fréquemment en biologie.

Les premières recherches sur l'emploi en biologie d'isotopes radiactivés ne remontent qu'à 1937 ; les résultats obtenus ont été si encourageants que le nombre des travaux s'accroît continuellement. Ces résultats obtenus sont très rarement publiés par un seul auteur ; ils sont en général le fruit de l'harmonieuse collaboration d'une équipe de savants. Le développement des sciences s'est accompagné d'une spécialisation croissante des chercheurs. Il y a un siècle, Pasteur pouvait faire de prodigieuses découvertes dans des disciplines aussi distinctes que celles de la chimie minérale, de la chimie biologique et de microbiologie. Ses contemporains, moins brillants certes que ce savant génial, pouvaient encore exceller dans plusieurs domaines. Aujourd'hui ceci est presque impossible, et les recherches sur les isotopes en biologie peuvent symboliser en quelque sorte cette nouvelle orientation de la recherche scientifique. Le physicien qui prépare les radioéléments s'est associé au physicochimiste qui en mesure l'activité, au biochimiste qui les intègre dans des substances chimiques, au physiologiste et à l'anatomiste qui effectuent les recherches sur l'animal. De 1937 à 1940, plus de 125 mémoires ont exposé les résultats obtenus dans des recherches biologiques en utilisant 12 radioéléments différents. Ce sont principalement le phosphore (66 publications) et les métaux alcalins (33 publications) qui ont été étudiés. Certaines recherches ne sont encore que préliminaires ; elles engendrent de nouvelles hypothèses, exigent des confirmations, des précisions ultérieures. D'autres travaux, au contraire, forment déjà des ensembles homogènes. Nous donnerons un aperçu des recherches disparates en cours, puis ensuite nous décrirons plus en détail un problème typique ayant provoqué un ensemble homogène de travaux : l'emploi du phosphore radioactif comme indicateur dans la fermentation alcoolique ou la glycolyse musculaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quelques exemples de l'emploi en biologie des éléments radioactifs

Les premières recherches ont eu en général pour but d'étudier la répartition puis l'élimination de l'isotope injecté. C'est ainsi que l'on a observé que le *fluor* passe rapidement dans les dents. *L'iode* s'accumule de préférence dans la glande thyroïde qui, à poids égal, en fixe vingt fois plus que le tissu hépatique. Ceci n'est pas pour surprendre, car la richesse en iode de la thyroïde est connue depuis longtemps, et on a même retiré de la thyroïde une combinaison organique iodée.

Les sels de *potassium* sont résorbés très rapidement; trente minutes après l'ingestion par voie buccale, près de 90 % de ces sels ont franchi la paroi gastro-intestinale et ont été répartis dans l'organisme par l'intermédiaire du sang. L'élimination urinaire de ces sels s'effectue ensuite régulièrement. Le *fer* radioactif est résorbé plus rapidement par l'animal sain que par l'animal anémique; ce fer s'accumule dans les organes sanguiformateurs : rate, moelle osseuse. Il est donc utilisé rapidement pour la synthèse du pigment respiratoire, l'hémoglobine, qui renferme du fer dans sa molécule. D'autres organes non sanguiformateurs comme le cœur, le rein, le poumons, fixent très peu de fer; le cerveau et le muscle encore moins.

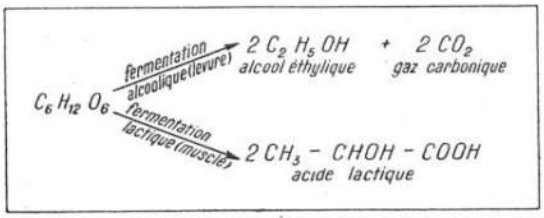


FIG. 3. — ÉQUATION DE PRINCIPE DE LA DÉGRADATION DES SUCRES PAR LA LEVURE ET DANS LE MUSCLE

De nombreux mémoires ont été consacrés à la répartition du *phosphore* radioactif. Administré sous forme de phosphates, on le retrouve rapidement en forte proportion fixé sur le tissu osseux. Cet échange entre les phosphates du tissu osseux et ceux du sang peut d'ailleurs être réalisé *in vitro*. Si on met en contact une solution de phosphate radioactif avec du phosphate tricalcique, on observe rapidement que ce phosphate tricalcique insoluble fixe le phosphate radioactif. Le phosphate tricalcique constitue plus de la moitié des substances minérales de l'os, et il est vraisemblable que cet échange se produit aussi *in vivo*.

La forme sous laquelle on administre le phosphore radioactif conditionne son absorption. La résorption est aussi rapide avec deux acides oxygénés du phosphore, les acides pyro- et orthophosphoriques; ceci est dû au fait que l'organisme renferme en abondance une diastase, la pyrophosphatase, qui hydrolyse l'acide pyrophosphorique en deux molécules d'acide phosphorique. Le phosphore métalloïdique (blanc ou rouge), au contraire, est résorbé bien plus lentement, comme s'il devait être oxydé au préalable par l'organisme. Signalons à ce sujet que l'on emploie en thérapeutique le phosphore métalloïdique, les sels de ses composés oxygénés et des dérivés organiques. Le phosphore métalloïdique est d'ailleurs de moins en moins employé, les phosphates lui étant substitués. L'emploi d'un indicateur radioactif a donc permis de confirmer les observations des pharmacologues; nous assistons ainsi à l'introduction des radioéléments artificiels dans l'étude de la résorption des médicaments, domaine où ils devraient constituer une magnifique méthode d'investigation.

Les étapes de la fermentation alcoolique sont révélées par les radioéléments artificiels

Il n'est pas de problème biochimique ayant provoqué autant de recherches et suscité des hypothèses de travail aussi nombreuses. Ces hypothèses furent parfois confirmées, mais le plus souvent profondément modifiées, ce qui est la loi de l'évolution scientifique.

La fermentation alcoolique est la dégradation, par un certain nombre de diastases (ces « ferments solubles » du siècle dernier), des sucres simples. Elle conduit aux termes finaux alcool éthylique et gaz carbonique. L'équation globale, indiquée par Gay Lussac au siècle dernier, représente très schématiquement l'ensemble du processus. Elle reste à l'heure actuelle parfaitement exacte (fig. 3).

Les principales sources de diastases provoquant la fermentation alcoolique sont des microorganismes : les levures. C'est à des levures présentes sur la pellicule des fruits de la vigne que l'on doit la fermentation du glucose et du fructose du raisin en alcool. La levure de bière transforme en alcool les sucres obtenus par saccharification de l'amidon de l'orge.

Chez les animaux, on a pu déceler un processus physiologique qui présente de nombreuses analogies biochimiques avec la fermentation alcoolique, c'est la *glycolyse* ou *glycogénolyse* musculaire. Ce processus est parfois dénommé fermentation lactique musculaire, car le glucose, ou plus exactement son produit de condensation le glycogène, est transformé en acide lactique. Claude Bernard découvrit la formation d'acide lactique dans le muscle en travail, il formula une équation qui rend compte très schématiquement de ce processus (fig. 3).

Au simple examen des deux équations, ces processus peuvent sembler relativement simples; en réalité entre le corps initial glucose et les deux termes finaux possibles : alcool éthylique ou acide lactique, on a pu mettre en évidence une multitude de composés intermédiaires. Jusqu'à ces dernières années ces composés pouvaient être décelés de deux façons distinctes :

1° En captant ou bloquant, à l'aide d'un réactif approprié, le corps au fur et à mesure de sa formation; c'est ainsi que les composés à fonction aldéhydique peuvent être captés par le bisulfite ou une hydrazine.

2° Suppression de l'une des fermentations intermédiaires. Un certain nombre de diastases distinctes transforment successivement les composés intermédiaires; l'action de certaines de ces diastases peut être supprimée en utilisant certains composés chimiques inhibiteurs, ou en éliminant un activateur de la diastase. Dans ces conditions le composé intermédiaire, transformé par la diastase, ne peut être attaqué et s'accumule dans le milieu.

On pouvait reprocher à ces deux groupes de méthodes d'agir brutalement et de risquer de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

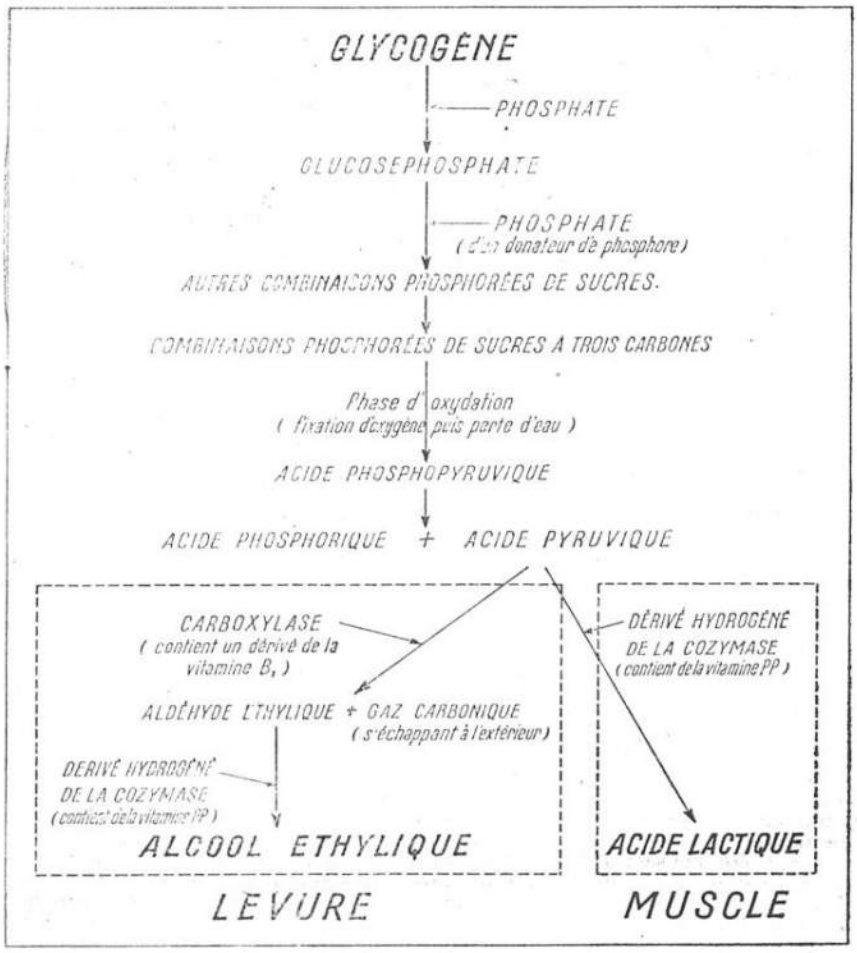


FIG. 4. — SCHÉMA TRÈS SIMPLIFIÉ DES ÉTAPES DE LA FERMENTATION ALCOOLIQUE DE LA LEVURE ET DE LA FERMENTATION LACTIQUE DU MUSCLE

Dans les premières étapes communes, on voit l'importance des dérivés phosphorés. Ce rôle du phosphore a pu être vérifié et confirmé par l'emploi de phosphore radioactif artificiel. Les étapes ultimes des deux fermentations diffèrent à partir du stade où le phosphore n'intervient plus; il se forme de l'alcool avec la levure et de l'acide lactique dans le muscle.

dévier le cours de réactions aussi sensibles que ces réactions biochimiques. L'emploi d'un indicateur radioactif constitue le troisième groupe de techniques. Ces nouvelles recherches ont permis de confirmer et préciser les résultats obtenus par les deux autres méthodes. Comme indicateur radioactif on a eu recours au phosphore radioactif; les dérivés phosphorés constituent en effet la majeure partie des termes intermédiaires de la fermentation alcoolique et de la glycolyse musculaire.

La première étape (fig. 4) est la dépolymérisation du glycogène, substance qui se rapproche de l'amidon, et est un polymère du glucose (1). Cette opération, sous l'action d'une préparation fermentaire, exige la présence de phosphates et d'un activateur particulier, l'acide adénylique; l'acide adénylique est un nucléotide, c'est-à-dire un constituant des nucléoprotéides, ces éléments essentiels des noyaux cellulaires, et, comme tel, sa molécule comporte du phosphore (1).

Certains auteurs avaient émis l'hypothèse que l'acide adénylique intervenait en cédant provisoirement son phosphore, c'est-à-dire en le fixant sur le glycogène, puis le récupérant ensuite à partir des phosphates du milieu. Comme nous en trouverons d'autres exemples dans la suite de cet exposé, certains nucléotides possèdent la propriété de donner puis de reprendre leur phosphore; c'est pourquoi on les dénomme *transporteurs de phosphore*. Ce n'est pas le cas ici, car, si on utilise un acide adénylique à phosphore radioactif, le glucosephosphate qui se forme renferme du phosphore ordinaire et ne contient pas de métalloïde radioactif. L'emploi de l'indicateur radioactif a donc permis de résoudre élégamment un problème fort difficile à éclairer au moyen des techniques purement chimiques.

Le glucosephosphate obtenu se transforme alors en un autre glucosephosphate : il y a ce qu'on appelle une *transposition* de la liaison ester phosphorique qui passe d'une extrémité de la chaîne carbonée du glucose à l'autre extrêmité; une diastase dénommée *phosphoglucomutase* provoque cette réaction qui est assez simple, et la migration du phospore se réalise sans libération intermédiaire de l'acide phosphorique dans le milieu ambiant. En effet, si on effectue cette réaction diastasique dans un milieu contenant du phosphate radioactif, on ne retrouve pas de ce dernier dans le nouveau glucosephosphate, dont tout le phosphore vient donc du premier glucosephosphate.

Le second glucosephosphate est l'objet d'une nouvelle réaction diastasique; elle ne porte plus sur la partie du glucose unie au phospore mais sur le reste de sa chaîne carbonée; on obtient

(1) Le glycogène répond à la formule $(C_6H_{10}O_5)_n$ qui marque que, dans la condensation du glucose $C_6H_{12}O_6$, chaque molécule perd un H_2O.

(1) Un nucléotide résulte de la combinaison de l'acide phosphorique à un sucre qui est lui-même relié à une base azotée complexe de constitution voisine de celles de la caféine et de l'acide urique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ainsi, par suite d'un équilibre, un mélange de glucosephosphate avec les dérivés phosphorés de deux sucres voisins, le mannose et le fructose. Le fructose est un sucre qui accompagne le glucose dans les sucs de fruits; on le dénommait autrefois lévulose. Le fructosephosphate fixe alors une nouvelle molécule d'acide phosphorique et donne le fructosediphosphate; cet acide phosphorique lui est fourni par un autre nucléotide, *l'adénosinetriphosphate*, qui, cédant deux de ses trois acides phosphoriques à deux molécules de fructosemonophosphate, se trouve ainsi ramené en acide adénylique.

L'adénosinetriphosphate est un *transporteur de phosphore*, comme a permis de le confirmer l'emploi du phosphore radioactif. En utilisant de l'adénosinetriphosphate à phosphore marqué on retrouve quantitativement ce dernier dans la seconde fonction ester phosphorique du fructosediphosphate. Ce transport de phosphore s'effectue directement, sans libération intermédiaire de ce dernier, car les phosphates minéraux présents dans le milieu n'acquièrent aucune radioactivité.

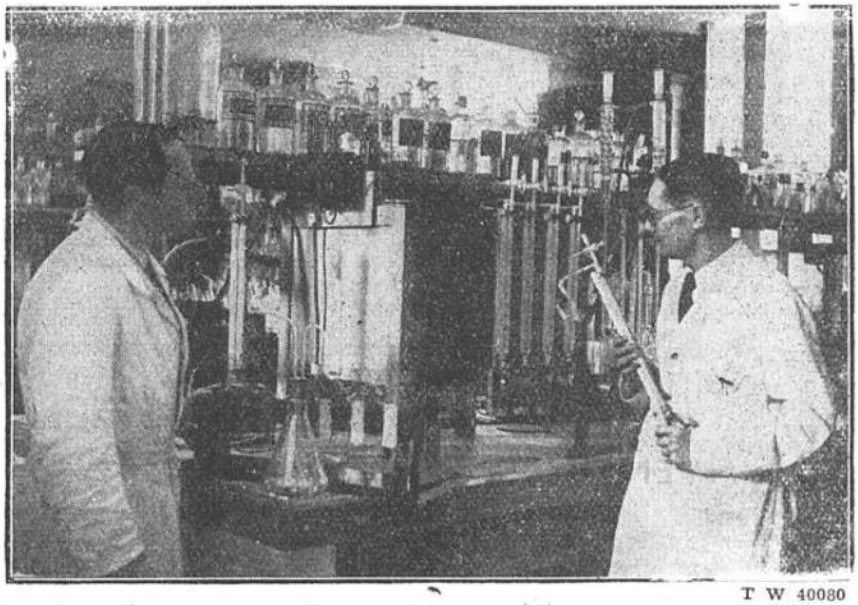
L'hexosediphosphate, sous l'influence d'une autre diastase, est alors coupé en deux par rupture au milieu de sa chaîne de six atomes de carbone; il se forme ainsi deux esters de sucres nouveaux, les triosephosphates. Ces composés sont ainsi dénommés, car ils résultent de l'estérification par une molécule d'acide phosphorique de sucres à trois atomes de carbone ou trioses.

Des diastases oxydantes transforment alors ces triosephosphates en acide phosphopyruvique. L'une des diastases qui intervient dans cette réaction assez complexe a, comme partie active, un troisième nucléotide : la cozymase. La cozymase est un composé phosphoré provenant de l'association de l'acide adénylique à la combinaison d'un sucre avec l'amide nicotinique. L'acide nicotinique n'est autre que la vitamine PP ou antipellagreuse. Ce sont deux biochimistes réputés, Hans von Euler et Otto Warburg, qui découvrirent l'existence de la vitamine PP dans la cozymase. Cette découverte remarquable a contribué à lever le voile sur le rôle physiologique inconnu des vitamines. Elle a montré que des *vitamines pouvaient former la partie active des diastases*, ces catalyseurs qui, à la température du corps humain, provoquent des réactions chimiques que l'on ne peut généralement reproduire qu'avec des réactifs énergiques à des températures supérieures à 100°.

L'oxydation des triosephosphates s'effectue avec décomposition de l'eau dont ils fixent l'oxygène; les deux hydrogènes libérés sont alors fixés par la vitamine PP de la cozymase. Cette cozymase hydrogénée restituera d'ailleurs les deux hydrogènes au cours des étapes ultimes de la fermentation. L'emploi du phosphore radioactif a montré qu'au cours de ces réactions la cozymase n'échangeait pas son phosphore, tandis que, par contre, l'acide adénylique était transformé en adénosinetriphosphate, dont nous avons vu précédemment le rôle de transporteur de phosphore. L'acide phosphopyruvique prend naissance par perte d'une molécule d'eau et est alors dédoublé en acides phosphorique et pyruvique.

Nous voici arrivés au stade où l'acide phosphorique, qui a accompagné le radical carboné tout au long de sa transformation, va enfin le quitter. Parnas a découvert que cet acide phosphorique n'est pas rejeté dans le milieu; il est alors fixé par l'acide adénylique ainsi transformé en adénosinetriphosphate. Cet adénosinetriphosphate va faire rentrer le phosphore dans le cycle en allant phosphoryler le fructosemonophosphate au cours des étapes initiales de la fermentation. Le transport s'effectue directement de l'acide phosphopyruvique sur l'acide adénylique. En utilisant de l'acide phosphopyruvique à phosphore radioactif on obtient de l'adénosinetriphosphate radioactif; le milieu ne s'enrichit que d'une façon insignifiante en phosphore radioactif. Il n'y a donc pas libération d'acide phosphorique dans le milieu puis fixation de ce dernier sur l'acide adénylique.

C'est à partir du stade acide pyruvique que



T W 40080

FIG. 5. — L'APPAREIL MANOMÉTRIQUE D'OTTO WARBURG POUR LA MESURE PRÉCISE DE FAIBLES VOLUMES GAZEUX

Cet apareil se compose d'une grande cuve d'eau maintenue à température constante par une résistance électrique avec régulateur de chauffe, l'eau étant brassée continuellement par un jeu de palettes. Les petits récipients où s'effectue la réaction biochimique absorbant ou dégageant des gaz plongent dans la cuve. Ils sont reliés à un manomètre finement gradué. Cet appareil a rendu les plus grands services dans l'étude des processus de la fermentation alcoolique et de la glycolyse musculaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

se différencient la fermentation alcoolique et la glycolyse musculaire. La levure renferme une diastase, la *carboxylase* dont le groupe actif est un ester phosphorique de la vitamine antinévritique B_1. La carboxylase transforme l'acide pyruvique en aldéhyde éthylique et gaz carbonique; ce dernier se dégage en grande partie dans le milieu extérieur, comme il est facile de l'observer. C'est ce gaz carbonique qui fait lever le pain dans la fermentation panaire, ou bien qui, restant partiellement dissous, donne une partie de leur saveur à la bière ou au champagne. L'aldéhyde éthylique va être réduit en alcool par les deux hydrogènes fixés sur la vitamine PP de la cozymase. La cozymase ainsi réoxydée pourra participer à nouveau à la réaction antérieure d'oxydation.

Il n'y a pas de carboxylase dans le muscle et les deux hydrogènes de la cozymase seront fixés sur l'acide pyruvique ainsi réduit en acide lactique.

L'avenir des indicateurs radioactifs

Cet exposé peut paraître complexe. Il est en réalité très schématique, car la plupart des réactions sont bien moins simples qu'il ne l'apparaît à la lecture de ce chapitre. Les processus vitaux sont fort complexes, leur analyse est particulièrement délicate; c'est pourquoi l'emploi de moyens d'investigation aussi sensibles que les radioéléments artificiels se sont révélés d'un grand secours. Les résultats obtenus en biologie grâce aux indicateurs radioactifs sont multiples, variés, probants. Si nous voulons bien considérer qu'ils ont été acquis en quelques années et dans quelques laboratoires seulement, nous pouvons pressentir quel magnifique champ d'action ils laissent entrevoir.

Il est un vaste domaine qui demeure inexploré, celui des applications thérapeutiques. La difficulté de mettre en œuvre des doses notables de radioéléments artificiels n'a pas encore permis d'entreprendre cette étude. Si on en juge par les progrès réalisés dans la préparation de ces éléments ce domaine pourra être prochainement exploré. En effet nous n'en sommes encore qu'à la phase toute préliminaire d'investigation, mais déjà la découverte de Mme et M. Joliot-Curie a fourni aux biologistes une merveilleuse méthode d'exploration physiologique.

Jean COURTOIS.

LES A COTÉ DE LA SCIENCE

INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

Une nouvelle famille d'édulcorants synthétiques

SI l'on admet généralement aujourd'hui que — sauf pour certains sujets spécialement sensibles — la saccharine ne présente pas de toxicité à faible dose, n'étant pas décomposée par l'organisme et s'éliminant en nature, il n'en est pas de même des autres édulcorants synthétiques que l'on connaissait jusqu'ici, comme la glucine (du groupe des thiazines) et la dulcine (une urée substituée), qui sont nettement toxiques. Voici que Blanksma et Van der Weyden viennent de découvrir un nouveau groupe de substances douées d'une saveur sucrée, en l'espèce une série de dérivés de la métanitraniline. Parmi ceux-ci figure le composé le plus sucré connu : son pouvoir sucrant est 4 000 à 5 000 fois supérieur à celui du saccharose, c'est-à-dire dix fois supérieur à celui de la saccharine. La formule de ces substances est peu encourageante quant à leur toxicité possible, mais leur grand pouvoir sucrant permettrait de les employer à des doses si minimes qu'elles seraient certainement inoffensives à moins qu'il n'y ait — ce qui reste à démontrer — des phénomènes d'accumulation dans l'organisme par un usage prolongé. Ce sont donc les recherches en cours qui décideront des possibilités d'utilisation pratique de ces substances.

V. RUBOR.

Pour être sûr de lire régulièrement SCIENCE ET VIE, abonnez-vous :

	France	Etranger
Envois recommandés.....	110 francs	200 francs
Envois simplement affranchis.....	140 francs	250 francs

Tous les règlements doivent être effectués par chèque postal : 184.05 Toulouse. — Nous n'acceptons pas les timbres-poste.

Prière de joindre 3 francs pour les changements d'adresse.

La *table générale des matières* n° 1 à 186 (1913-1932) est expédiée franco contre 25 francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LES MEILLEURES ÉTUDES PAR CORRESPONDANCE

se font à l'ECOLE DES SCIENCES ET ARTS où les *meilleurs* maîtres, appliquant les *meilleures* méthodes d'enseignement par correspondance, forment les *meilleurs* élèves.

LA CELEBRE METHODE DE CULTURE MENTALE DUNAMIS

... permet à chacun, moyennant vingt à trente minutes par jour d'exercices attrayants, de développer au maximum son *attention*, son *intelligence*, sa *mémoire*, son *imagination*, sa *volonté*, d'acquérir la *confiance en soi* et, selon l'expression d'un éminent pédagogue, de FORCER LE SUCCES EN TOUS DOMAINES. Elle s'adresse à tous ceux, hommes et femmes, qui veulent non seulement conserver intact, mais encore accroître, chaque jour, le trésor de leurs facultés mentales. Demandez la notice gratuite *numéro R. 346*.

LA METHODE PHONOPOLYGLOTTE

... unit les avantages de l'*enseignement par correspondance* et du *phonographe*, et surclasse tous les autres systèmes actuellement en usage; professeur impeccable, Phonopolyglotte ne vous fait entendre que des accents parfaitement purs, et vous permet, à la suite d'études agréables, de comprendre, de parler, de lire et d'écrire l'allemand, l'anglais, l'espagnol ou l'italien, selon la langue choisie. Demandez la brochure gratuite *numéro R. 347*.

LE COURS DE DESSIN

... où, pour la première fois dans l'histoire de l'enseignement des arts graphiques, a été appliqué le principe : « APPRENDRE A DESSINER, C'EST APPRENDRE A VOIR; QUI SAIT VOIR, SAIT DEJA DESSINER », vous rendra capable de dessiner *paysages*, *natures mortes* et *portraits;* en outre, il vous permettra, le cas échéant, de vous spécialiser dans une des nombreuses *carrières ouvertes aux dessinateurs*. Demandez la notice gratuite *numéro R. 348*.

LE COURS D'ELOQUENCE

... vous rendra maître de votre langage, vous affranchira de la funeste timidité, vous donnera le moyen de vous *exprimer dans les termes les plus choisis et les plus persuasifs;* vous permettra, d'une part, d'improviser compliments, speeches ou allocutions dans toutes les circonstances de la vie familiale ou professionnelle, et, d'autre part, de préparer aisément des conférences, des discours selon les meilleures et les plus sûres traditions de l'art oratoire. Demandez la brochure gratuite *numéro R. 349*.

LE COURS DE PUBLICITE

... essentiellement pratique, mettra à votre disposition tous les secrets de la technique publicitaire sous toutes ses formes, et vous permettra soit de vous créer une situation dans la publicité, soit de développer dans des proportions inespérées le volume de vos affaires, quelle qu'en soit l'importance actuelle. Demandez la notice gratuite *numéro R. 350*.

Si vous désirez faire des ETUDES PRIMAIRES OU SECONDAIRES, n'oubliez pas que l'efficacité de l'enseignement de l'ECOLE DES SCIENCES ET ARTS est consacrée par les nombreux et brillants succès que remportent ses élèves au BREVET ELEMENTAIRE, au B.E.P.S., au CERTIFICAT D'ETUDES CLASSIQUES ou MODERNES et au BACCALAUREAT. Demandez l'envoi gratuit de la brochure *numéro R. 351* (études primaires) ou *numéro R. 352* (études secondaires).

ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS

81, boulevard des Belges, LYON (Rhône). 16, rue du Général-Malleterre, PARIS (16e).

Si vous pouvez écrire Vous pouvez DESSINER

CETTE FORMULE N'EST PAS UNE SIMPLE AFFIRMATION. LA PREUVE EN EST FAITE PUISQUE, GRACE A LA METHODE A.B.C. PLUS DE 70.000 PERSONNES ONT, DEPUIS 24 ANS, APPRIS A CONNAITRE LES JOIES DU DESSIN

Cette méthode, absolument unique, permet à un simple débutant de réaliser dès sa première leçon des croquis d'APRES NATURE développant ainsi très rapidement sa personnalité.

Chaque élève de l'Ecole A.B.C. dirigé individuellement selon ses goûts et ses aptitudes, peut acquérir en peu de temps, le métier, les connaissances techniques d'un professionnel et bénéficier ainsi des nombreux débouchés qu'assurent au dessin les exigences de la vie moderne.

Remarquable dessin de raccourci exécuté au pinceau par un de nos élèves.

l'Ecole A. B. C. de Dessin est non seulement la première en date et la plus importante école de dessin du monde, mais elle s'affirme la plus moderne.

BROCHURE GRATUITE (spécifiez bien N° C. B 21)

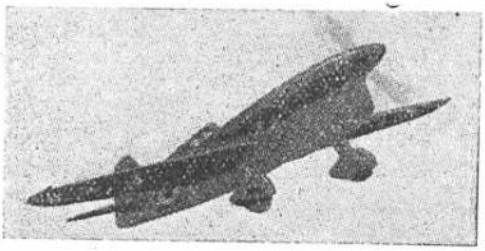
Demandez la brochure de renseignements n° C.B. 21 en joignant 5 francs en timbres pour tous frais. Indiquez le cours qui vous intéresse : Cours pour Adultes ou Cours pour Enfants.

ÉCOLE A. B. C. DE DESSIN

12, Rue Lincoln, PARIS (8e) — 6, Rue Bernadotte, PAU (Bas.-Pyr.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

JEUNES GENS !



SAVEZ-VOUS que chaque avion moderne est une véritable centrale électrique ?
SAVEZ-VOUS que sa construction et son entretien exigent des milliers d'Electro-Techniciens qualifiés ?

FAITES VOTRE CARRIÈRE DANS L'AVIATION

Devenez rapidement CHEF ÉLECTRO-TECHNICIEN d'Aviation, en suivant par correspondance les cours de l'

ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE (Section Aviation)
51, Boulevard Magenta, PARIS (10e)
Demandez la documentation gratuite.

AUTOMOBILE - AVIATION - CINEMA - COMMERCE - VENTE
ET PUBLICITÉ - CUISINE - DESSIN - DICTIONNAIRES ET
ENCYCLOPÉDIES - ÉLECTRICITÉ - ÉLEVAGE - ENSEIGNE-
MENT GÉNÉRAL - FINANCE ET BOURSE - JARDINAGE
JEUX DE SOCIÉTÉ - MAGNÉ-
TISME - ASTRO MARINE
ET YACHTING GIÈNE
MENUIS HILA
TÉLIE IMIE
RADIF VAUX
AUTO ENTE
ET PL ES ET
ENCY SEIGNE-
MENT RDINAGE
JEUX D. MAGNÉ-
TISME - AST E - MARINE
ET YACHTING - M NE ET HYGIÈNE
MENUISERIE - MODÈLES RÉDUITS - PÊCHE - PHILA-
TÉLIE - PHILOSOPHIE - PHOTO - PHYSIQUE ET CHIMIE
RADIESTHÉSIE - RADIO - TÉLÉVISION - TRAVAUX
D'AMATEURS - SCIENCES NATURELLES - ARTISANAT

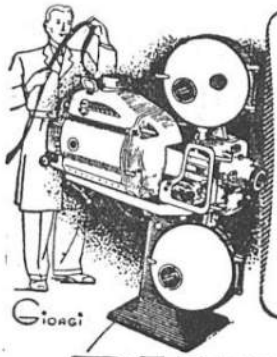
TOUS LES OUVRAGES TECHNIQUES ET DE VULGARISATION SCIENTIFIQUE

SCIENCES ET LOISIRS
17, AV. DE LA RÉPUBLIQUE, PARIS
LISTE DE NOS LIVRES SÉLECTIONNÉS CONTRE 5 f EN TIMBRES

Ce qu'il faut savoir des
BONS DU TRÉSOR

- Ils vous permettent de tirer **profit** de tout l'argent liquide dont vous n'avez pas immédiatement besoin
- Les **échéances** sont à 6 mois, 1 an, 2 ans.
- Les **coupures** sont de 1.000 francs, 5.000, 10.000 et au-dessus.
- **L'intérêt, payé d'avance,** est de : 1,75 % pour un Bon à 6 mois ; 2,25 % pour un Bon à 1 an ; 2,50 % pour un Bon à 2 ans.
- Les Bons sont délivrés **au porteur** ou **à ordre.**
- *VOUS TROUVEREZ DES BONS : dans les Caisses Publiques et les Banques ; chez les Agents de change et les Notaires ; auprès des Caisses d'Epargne.*

AC 9



Appareils de cinéma
Les salles les plus modernes sont équipées avec le matériel PHILIPS (projecteurs, lecteurs de sons, redresseurs, amplificateurs, haut-parleurs) qui assure une parfaite reproduction de l'image et du son.

PHILIPS

De **multiples** activités dans tous les domaines de l'Électronique moderne mais **une seule** qualité ont fait la réputation de

PHILIPS

S.A. PHILIPS, ECLAIRAGE ET RADIO - 50, AVENUE MONTAIGNE — PARIS 8e

Le gérant : L. LESTANG. T W 12767 - 20 mars 1944. Impr. Régionale. - Toulouse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LA RADIO manque DE SPECIALISTES !

JEUNES GENS !

Pour répondre aux besoins sans cesse grandissants de la Radio française en cadres spécialisés, nous conseillons vivement aux jeunes gens de *s'orienter délibérement* vers les carrières de la T.S.F.
AVIATION CIVILE ET MILITAIRE, INDUSTRIE, MARINE MARCHANDE ET MARINE NATIONALE, COLONIES, MINISTERES ET ADMINISTRATIONS.
Ces carrières réaliseront les aspirations de la jeunesse moderne, puisqu'elles joignent à l'attrait du scientifique celui de travaux manuels importants.

PREPAREZ CES CARRIERES
en suivant nos cours spécialisés
PAR CORRESPONDANCE
conçus d'après les méthodes les plus modernes de l'enseignement américain.

INSCRIPTIONS A TOUTE EPOQUE DE L'ANNEE
TOUS NOS COURS COMPORTENT DES EXERCICES PRATIQUES A DOMICILE

PLACEMENT
A l'heure actuelle, nous garantissons le placement de tous nos élèves opérateurs radiotélégraphistes *diplômés.*
L'Ecole délivre des CERTIFICATS DE FIN D'ETUDES conformément à la loi du 4 août 1942.

Notices gratuitement sur demande.

ECOLE GENERALE PROFESSIONNELLE RADIOTECHNIQUE

RUE DE BRETAGNE & RUE DU MARECHAL LYAUTEY—VICHY—(ALLIER)
ADRESSES DE REPLI

PUB. R. DOMENACH M.C.S.P.

MÉTÉORE

Qualité d'abord

s'impose au monde entier

LA PLUME "VÆDIUM"
Même technique - Même usage
Même garantie que la plume "OR"

DARGAUD S.A.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NITROLAC

LA GRANDE MARQUE DE PEINTURE

NITROLAC

98, ROUTE D'AUBERVILLIERS - St DENIS (SEINE) - PLAINE : 16.55

IMPR RÉGIONALE 59 RUE BAYARD TOULOUSE. I C.O 31-2650

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires