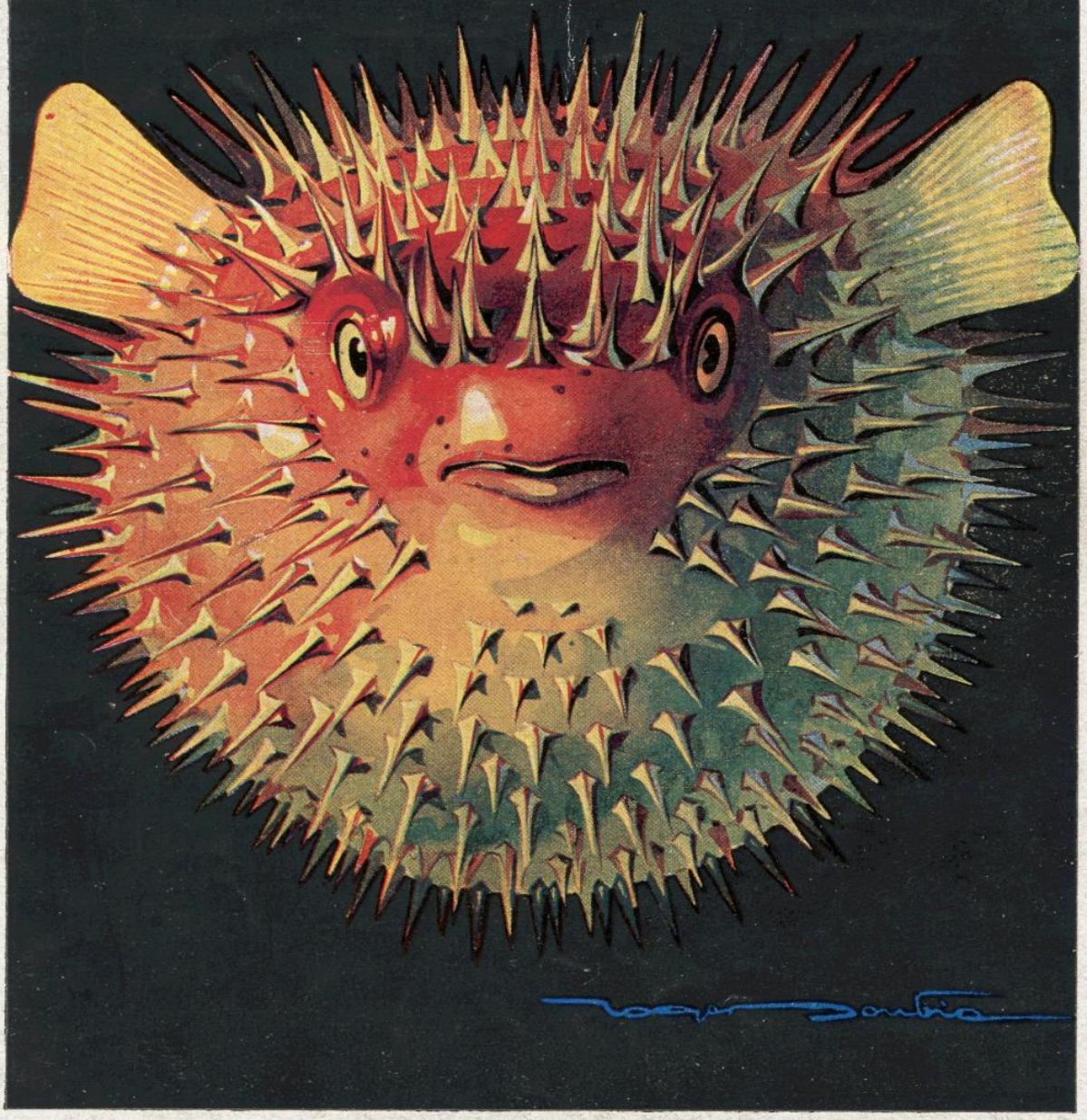
MAI 1944 Nº 321

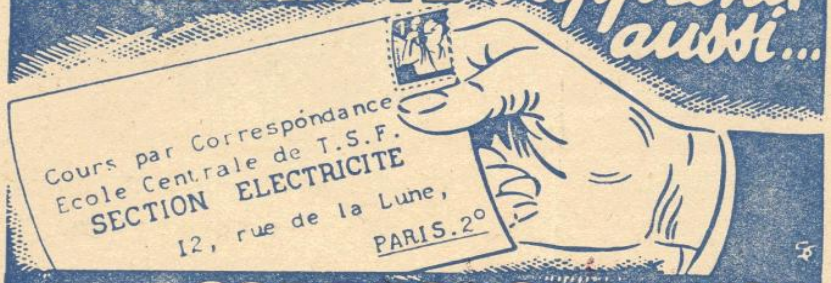
SCIENCE ET VIE



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.

PUBLICITÉS RÉUNIES

une RÉVÉLATION !...

Le NOUVEAU cours par correspondance "LE DESSIN FACILE"
inventé par Marc SAUREL

Croquis d'une élève de Marc SAUREL

Votre cours est pour moi une " révélation ", écrit un élève de Marc SAUREL, " Je vois tout avec des yeux neufs " ajoute un autre.

On sait que depuis 32 ans Marc SAUREL a formé, pour leur unanime satisfaction, des milliers de bon dessinateurs et détient, dans le domaine de l'enseignement du dessin par correspondance la plus vaste expérience existant actuellement en France. Sa connaissance profonde des élèves, l'a conduit à utiliser ingénieusement le document photographique pour faciliter à l'extrême les premiers pas. Son nouveau cours " LE DESSIN FACILE " comporte avec une multitude de croquis explicatifs, plus de 120 sujets photographiques spécialement établis, groupés en 36 magnifiques planches hors-texte tirées en hélio-gravure, documentation unique et toujours sous la main. Jeune, vivante, alerte, la méthode inventée par Marc SAUREL sera pour toute votre vie la révélation de joies inépuisables.

Brochure et notice illustrées contre Bon ci-contre et 4 fr. 50 en timbres. Indiquer vos préférences.

BON SV. 46

"LE DESSIN FACILE"
11, RUE KEPPLER - PARIS-XVI

LES COURS DE L'ÉCOLE MARC SAUREL

- **LE DESSIN FACILE** — *Cours de dessin pour adultes. Croquis portrait, paysage, etc...*
- **COURS SPÉCIAUX** — *Mode, Illustration, Publicité, Lettres, Dessin Animé.*
- **COURS de DESSIN INDUSTRIEL**
- **JE DESSINE** — *Cours pour enfants de 6 à 12 ans.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

GRACE A L'ÉCOLE UNIVERSELLE PAR CORRESPONDANCE

VOUS N'ÊTES PLUS SEUL

pour mener à bien vos études générales ou pour vous préparer à la carrière de votre choix. La direction et les professeurs de l'ECOLE UNIVERSELLE se sont appliqués, depuis trente-sept ans, à perfectionner sans cesse les méthodes d'enseignement par correspondance. Aussi ses élèves obtiennent-ils chaque année les plus brillants succès aux examens et concours officiels. L'Ecole Universelle est connue dans le monde entier. Dans beaucoup de pays elle a servi de modèle à de nombreux établissements privés et à de nombreux établissements bénéficiant de l'appui de l'Etat. Profitez à votre tour des facilités d'un enseignement qui vous offre le MAXIMUM DE CHANCES DE SUCCES et grâce auquel vous étudierez chez vous, à vos heures, quel que soit le lieu de votre résidence, avec le MINIMUM DE DEPENSES et dans le MINIMUM DE TEMPS.

Renseignez-vous, aujourd'hui même, gratuitement et sans aucun engagement, en demandant la brochure qui vous intéresse.

BROCHURE L. 19.534. — ENSEIGNEMENT PRIMAIRE : Classes complètes, depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet supérieur, Bourses, Brevets. C. A. P., etc.
BROCHURE L. 19.535. — ENSEIGNEMENT SECONDAIRE: Classes complètes depuis la onzième jusqu'à la classe de mathématiques spéciales incluse, Baccalauréats, etc.
BROCHURE L. 19.536. — ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : Licences (Lettres, Sciences, Droit) tous les professorats (classes élémentaires, lycées, collèges, etc.).
BROCHURE L. 19.537. — GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES.
BROCHURE L. 19.538 .— CARRIÈRES DE L'INDUSTRIE, des MINES et des TRAVAUX PUBLICS, etc.
BROCHURE L. 19.539. — CARRIÈRES DE L'AGRICULTURE et du Génie rural, etc.
BROCHURE L. 19.540. — CARRIERES DU COMMERCE, de l'INDUSTRIE HOTELIERE, des ASSURANCES, de la BANQUE, de la BOURSE, etc.
BROCHURE L. 19.541. — ORTHOGRAPHE, RÉDACTION, VERSIFICATION, CALCUL, DESSIN, ÉCRITURE.
BROCHURE L. 19.542. — LANGUES VIVANTES, TOURISME (Interprète), etc.
BROCHURE L. 19.543. — AIR, MARINE : Pont, Machine, Commissariat, T. S. F., etc.
BROCHURE L. 19.544. — SECRÉTARIATS BIBLIOTHÈQUES, etc.
BROCHURE L. 19.545. — ÉTUDES MUSICALES : Instruments, Professorats, etc.
BROCHURE L. 19.546. — ARTS DU DESSIN : Professorats, Métiers d'art, etc.
BROCHURE L. 19.547. — MÉTIERS de la COUTURE, de la COUPE, de la MODE, de la LINGERIE, de la BRODERIE, etc.
BROCHURE L. 19.548. — ARTS de la COIFFURE et des SOINS DE BEAUTÉ etc.
BROCHURE L. 19.549. — CARRIÈRES DU CINÉMA.
BROCHURE L. 19.550. — TOUTES LES CARRIÈRES ADMINISTRATIVES.

L'ÉCOLE UNIVERSELLE

répondra gracieusement, de façon détaillée, à toutes les personnes qui lui exposeront leur cas particulier.

12, pl. Jules-Ferry, Lyon — 59, bd. Exelmans, Paris

ETRSA

ÉCOLE TECHNIQUE DES SCIENCES APPLIQUÉES

2, RUE DU SALÉ, 2
TOULOUSE

L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE PAR CORRESPONDANCE

PRÉPARATION AUX DIPLOMES D'ÉTAT

COMPTABILITÉ
AIDE-COMPTABLE
TENEUR DE LIVRES
COMPTABLE-AGRÉÉ
EXPERT-COMPTABLE

DESSIN
DESSINATEUR-CALQUEUR
DESSINATEUR INDUSTRIEL
DESSINATEUR D'ÉTUDES

ÉLECTRICITÉ-RADIO
MONTEUR-DÉPANNEUR
RADIO-TECHNICIEN
OPÉRATEUR DES P. T. T.
RADIOTÉLEGRAPHISTE
DES STATIONS MOBILES

ENSEIGNEMENT GÉNÉRAL
FRANÇAIS
MATHEMATIQUES
CHIMIE-PHYSIQUE

TOUTES CES ÉTUDES PEUVENT ÊTRE ENTREPRISES AVEC, A LA BASE, UNE INSTRUCTION DU NIVEAU DU C. E. P.

BON 313 à joindre à toute demande de renseignements gratuits.
SPÉCIFIER LA CARRIÈRE CHOISIE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si vous pouvez écrire Vous pouvez DESSINER

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

Cette méthode, simple et directe, permet à un débutant de réaliser dès sa première leçon des croquis d'**après 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, les connaissances techniques d'un professionnel et bénéficier ainsi des nombreux débouchés qu'assurent au dessin les exigences de la vie moderne.

L'Ecole A. B. C. de Dessin est la plus importante école de dessin du monde ; sa réputation universelle est due autant à l'efficacité de son enseignement qu'aux succès professionnels de ses anciens élèves.

BROCHURE GRATUITE (spécifiez bien n° C. B. 22)

Demandez la brochure de renseignements n° C. B. 22 en joignant 5 francs en timbres pour tous frais. Indiquez le cours qui vous intéresse : Cours pour Adultes ou Cours pour Enfants.

Ce croquis précis et vivant est l'œuvre d'un de nos élèves.

ECOLE A. B. C. DE DESSIN

12, rue Lincoln, PARIS (8e) - 6, rue Bernadotte, PAU (Basses-Pyr.)

SACHEZ VOIR PLUS LOIN.. Que le présent

JEUNES GENS...

Ne vous laissez pas décourager par les sombres perspectives du moment... Tout n'a qu'un temps...

SEUL CAPITAL INDESTRUCTIBLE, L'INSTRUCTION DEMEURE! APPRENEZ UN BON METIER DANS LA RADIO, VOUS ASSUREREZ AINSI VOTRE AVENIR... POUR DEMAIN.

A temps perdu, sans rien changer à vos occupations, où que vous puissiez être

NOS COURS SPECIAUX
— sur place ou —
PAR CORRESPONDANCE

vous donneront le maximum de chances aux examens officiels.

N'hésitez pas à nous demander conseil, il vous sera répondu par retour du courrier

ECOLE DE RADIOELECTRICITE ET DE TELEVISION

15, RUE DU DOCTEUR BERGONIÉ — LIMOGES (H.V.) C.C.P. 406-05

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

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SCIENCE ET VIE

Tome LXV - N° 321 Mai 1944

SOMMAIRE

★ Les animaux venimeux et leurs venins, par Pierre Beck. 179

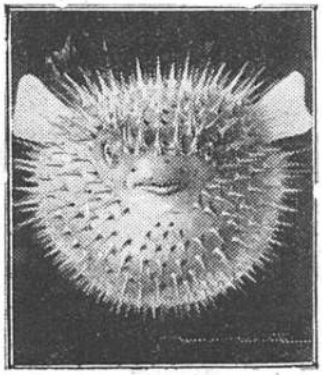
★ La production et les applications des ultrapressions, par Jean Francis..... 190

★ La technique du film scientifique se perfectionne sans cesse, par Pierre Brard et Guy Tassel..... 195

★ La science et la technique du caoutchouc bénéficient largement de l'emploi des rayons X, par J.-J. Trillat. 207

★ La gélification de l'océan par le plancton mort explique-t-elle les transgressions atlantiques? par Pierre Devaux. 213

★ Les A Côté de la Science, par V. Rubor..... 219



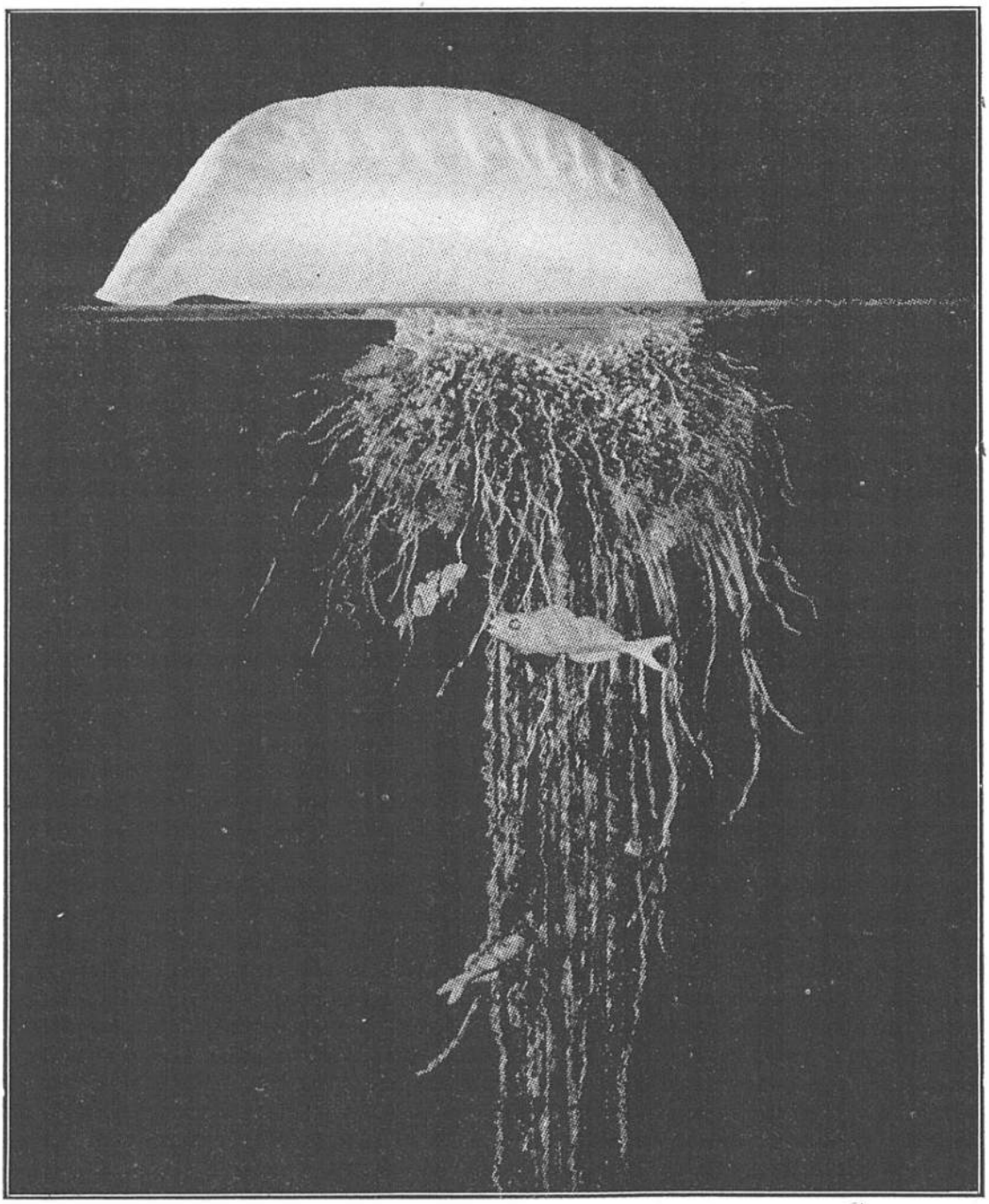
La chair de nombreux animaux est imprégnée de substances chimiques vénéneuses capables de provoquer des intoxications très graves. Certains poissons tropicaux sont ainsi mortels pour l'homme qui les consomme, et l'on connaît des cas de suicide par l'ingestion des « Muki-Muki », des îles Hawaï, ou des « Fugu » japonais, méthode d'ailleurs peu recommandable, car les symptômes d'empoisonnement sont terribles, la mort résultant de la paralysie du cœur et des muscles respiratoires après de longues convulsions, sans qu'on connaisse de contre-poison. Un exemple caractéristique de ces poissons vénéneux est fourni par le Diodon, que représente la couverture du présent numéro, et qui, couvert d'épines érectiles, habite toutes les mers tropicales, en particulier du Japon aux îles Hawaï, à la Californie et à la Floride. (Voir page 179 l'article consacré aux animaux vénéneux et venimeux et à leurs venins.)

« 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 : 60, rue Victor-Hugo, Lyon.

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. *Copyright by* « Science et Vie », Mai 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



UN DES ORGANISMES MARINS LES PLUS VENIMEUX : LA « PHYSALIE » OU « GALÈRE »

C'est une colonie de méduses de la classe des siphonophores, *brillamment et diversement colorées, que l'on rencontre dans toutes les mers chaudes. Elle comporte une volumineuse poche à air servant de flotteur, munie d'une membrane qui rappelle une voile et qui mesure jusqu'à 25 cm de longueur. Sous elle sont suspendus les individus, différenciés en plusieurs types, nourriciers, reproducteurs ou protecteurs. Ces derniers surtout, en forme de longs filaments s'étendant normalement vers le bas, portent des batteries de cellules urticantes, les nématoblastes, injectant un venin, l'actinocongestine, dans les proies qu'elles paralysent. Elles atteignent ainsi des petits poissons qui passent à leur portée, à l'exception de ceux appartenant à une espèce particulière* (Nomeus grovonii) *qui peuvent nager librement parmi les tentacules. C'est un exemple de commensalisme, le poisson en question étant supposé jouer le rôle d'appât et bénéficiant en retour de la protection des tentacules et se nourrissant sans doute aussi des restes des proies.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LES ANIMAUX VENIMEUX ET LEURS VENINS

par Pierre BECK
Professeur au Lycée de Tarbes

Un très grand nombre d'êtres animés ont le pouvoir d'élaborer des substances chimiques toxiques pour d'autres espèces. Les venins animaux peuvent être d'origine très diverse, les uns étant des produits du métabolisme général et imprégnant alors tout ou partie des tissus de l'animal vénéneux, les autres provenant de glandes cutanées, salivaires ou liées aux pièces buccales, abdominales, etc... Ainsi, sous le terme général de venins, on désigne en réalité tout un ensemble de substances qui remplissent sans doute d'importantes fonctions dans l'économie intérieure de l'animal qui les secrète et qui est fortement immunisé contre elles; accessoirement, elles peuvent être détournées au moins partiellement de leur rôle primitif et servir à paralyser ou tuer des proies, ou bien à protéger leur possesseur. Les animaux venimeux pourvus d'un appareil inoculateur souvent très perfectionné peuvent être très redoutables pour l'homme, qui sait cependant aujourd'hui, par les sérums polyvalents, s'en protéger efficacement.

La sécrétion de substances toxiques est un phénomène très général chez les animaux. Parmi ces substances, un grand nombre peuvent être dangereuses pour l'homme mais, fort heureusement, beaucoup d'entre elles ne peuvent être inoculées par l'animal qui les sécrète : tels les toxines du sérum d'anguille, les venins des batraciens. Si, de plus, elles sont détruites par la chaleur, on peut consommer, pour peu que le goût en soit agréable, la chair qu'elles imprégnent; tout le monde sait que l'on peut impunément manger de l'anguille, de la grenouille, voire du crapaud. Dans le cas contraire, on aura affaire à des animaux inoffensifs de leur vivant mais dont l'ingestion, après cuisson, provoquera des troubles graves : ce sont des animaux *vénéneux;* qu'il suffise de signaler que plusieurs poissons à aspect engageant peuvent ainsi provoquer de très graves empoisonnements. Des cas mortels ont même été observés après absorption de divers requins et surtout de poissons coffres du genre tétrodon et diodon, particulièrement à l'époque de la reproduction (fig. 1 et 2).

Lorsque l'animal aura à la fois une sécrétion toxique ou venin et un appareil inoculateur, il sera *venimeux*. Les animaux venimeux, de beaucoup les plus dangereux de tous les porteurs de toxines, sont variés, on en rencontre dans presque toutes les familles animales. Parmi les formes pouvant provoquer chez l'homme des intoxications graves, citons certaines grandes méduses (fig. 3), les gros mille-pattes du genre Scolopendra (fig. 4), les scorpions, de nombreux insectes, quelques poissons comme les vives et les murènes, un lézard : l'héloderme suspect du Mexique, de nombreux serpents et un mammifère : l'étrange ornithorynque. C'est en choisissant des exemples parmi ces espèces que nous allons étudier successivement quelques types d'appareils inoculateurs et quelques effets de venins.

Les appareils venimeux et inoculateurs

Les organes de sécrétion sont des glandes dont la position varie beaucoup suivant les espèces. Elles sont très souvent situées dans la région buccale comme cela est le cas chez les serpents, l'héloderme, les murènes, de nombreux insectes (mouches venimeuses, moustiques, puces, poux, punaises, etc...) mais on peut les rencontrer au contraire à l'extrémité de l'abdomen comme chez les scorpions, les abeilles, les guêpes ou les bourdons, sur la région operculaire et la région dorsale comme chez les vives, dans la cuisse comme chez l'ornithorynque ou même réparties sur presque tout le corps comme chez les méduses. Ces glandes sont souvent des organes existant chez les espèces non toxicophores, mais modifiés. Tel est le cas de celles des serpents, qui sont des glandes salivaires transformées. Dans les espèces venimeuses, elles sont en rapport plus ou moins étroit avec l'appareil inoculateur. Celui-ci peut être une simple épine canaliculée qui perce la peau de la victime et qui par un orifice terminal ou sub-terminal laisse s'écouler le venin, chassé des glandes par des contractions musculaires : tels sont les épines operculaires et dorsales des vives (fig. 5), l'aiguillon des scorpions (fig. 6), l'éperon de l'ornithorynque (fig. 7).

Il peut arriver, par contre, qu'il soit fort compliqué et d'un mécanisme très ingénieux comme celui des méduses et des insectes venimeux. Les méduses renferment dans leur épiderme des cellules urticantes qui sécrètent et inoculent le venin. Ces cellules ou *cnidoblastes* sont plus nombreuses sur les tentacules buccaux (fig. 3). Chacune d'elles renferme une ampoule ou *cnidocyste* contenant un liquide urticant. Dans le cnidocyste se trouve invaginé un long filament canaliculé et terminé par un harpon souvent barbelé. Le cnidoblaste porte vers l'extérieur un prolongement sensible : le *cnidocil* (fig. 8 A). Lorsque ce cnidocil est heurté, la dévagination du filament se produit très rapidement suivant un mécanisme non encore bien élucidé : contraction de fibres musculaires ou phénomène d'osmose. Le harpon pénètre dans le corps de l'animal qui avait frôlé le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

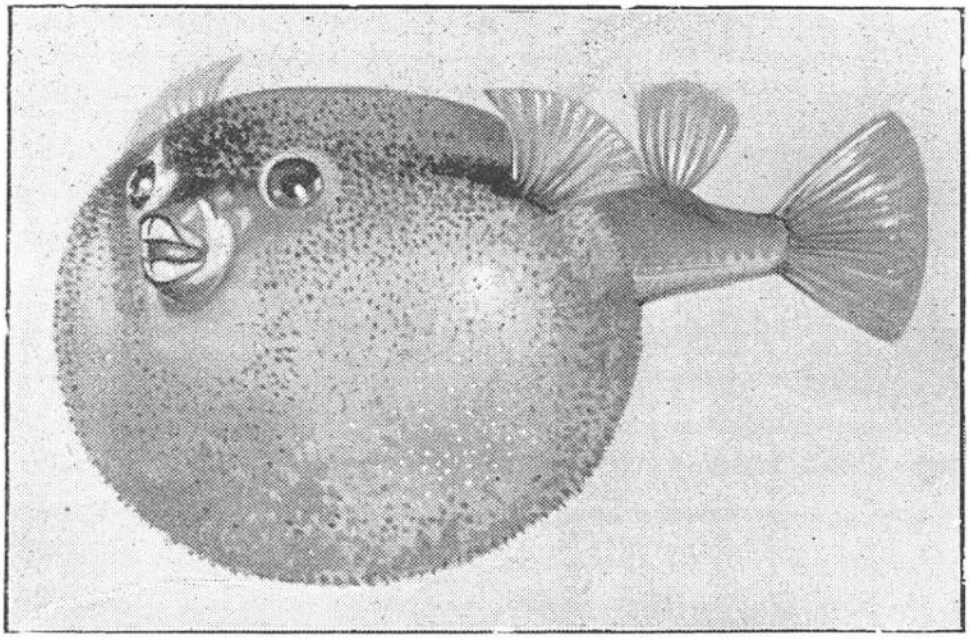


FIG. 1. — LE TÉTRODON, POISSON VÉNÉNEUX

La chair de ce poisson contient des toxines, non détruites par la chaleur, qui peuvent provoquer des accidents très graves. L'espèce représentée vit dans les mers du Japon.

cnidocil et laisse couler par un petit orifice, percé dans sa région terminale, le venin, jusqu'alors contenu dans le cnidocyste (fig. 8 B). Cet appareil fort remarquable l'est peut-être moins cependant que les extraordinaires organes vulnérants des insectes. Quoi de plus perfectionné, en effet, qu'une trompe de moustique ou un aiguillon d'abeille?

La trompe de moustique est composée d'un étui ou gaine formé par la lèvre inférieure ou *labium* fermé à sa partie supérieure par la lèvre supérieure ou *labre*. Cet étui renferme cinq stylets très fins et très résistants, souvent finement barbelés, constitués par les deux mandibules, les deux mâchoires et un prolongement chitineux du plancher buccal : l'hypopharynx (fig. 9). Ce dernier stylet renferme un canal par où s'écoule dans la blessure la salive venimeuse. Lors de la piqûre, la gaine, molle, ne pénètre pas dans les tissus, elle est refoulée vers le haut à mesure que les stylets s'enfoncent. Le sang est aspiré par une trompe suceuse constituée de l'hypopharynx creusé en gouttière et du labre qui vient recouvrir cette gouttière.

L'aiguillon des *hyménoptères aculéates*, dont l'abeille peut être prise pour type, n'est pas moins admirablement construit. Il se compose, chez l'abeille, d'un réservoir chitineux ou bulbe qui reçoit le contenu des deux glandes à venins : la glande acide et la glande alcaline. Le bulbe se prolonge par une tige pleine également chitineuse. Ces deux pièces constituent le gorgeret. Ce gorgeret porte ventralement sur toute sa longueur deux rails sur lesquels peuvent glisser les dards barbelés (fig. 10 A). Ces dards et le gorgeret limitent entre eux un canal dans lequel s'écoule le venin sortant du bulbe par une fente ventrale (fig. 10 B). Ce venin sera refoulé dans les tissus de la victime lors de la piqûre par une sorte de piston membraneux que le dard porte à sa partie supérieure. Les deux dards ont dans la plaie des mouve-

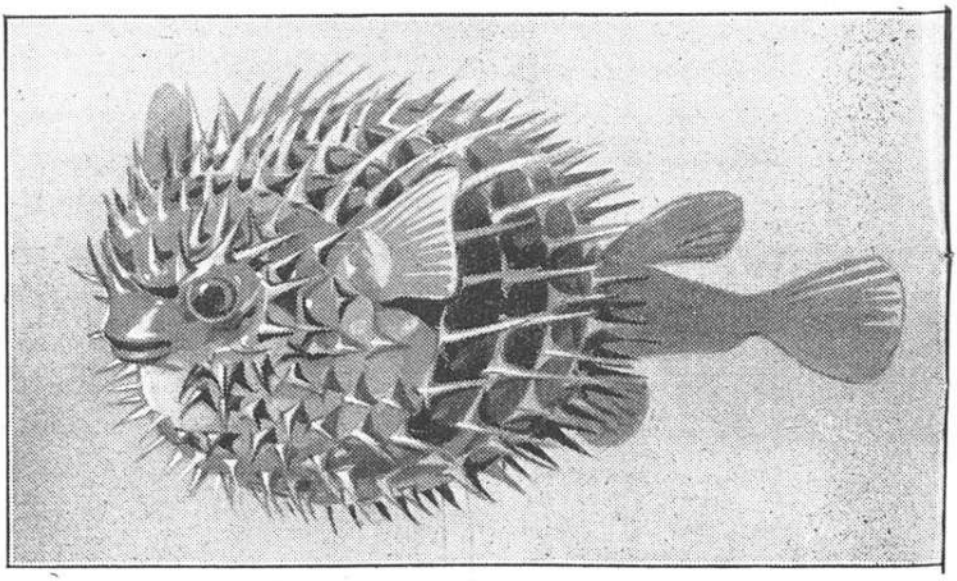


FIG. 2. — LE DIODON VÉNÉNEUX DES TROPIQUES

De la même famille que le tétrodon, le diodon est couvert d'épines érectiles et sa chair est particulièrement toxique. Il peut atteindre 50 cm de longueur. (Voir également la couverture de ce numéro.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ments alternés : l'un monte lorsque l'autre descend. De chaque côté de l'appareil vulnérant se trouvent deux palpes qui servent à explorer la partie à piquer avant l'entrée en action de l'aiguillon. Les dards étant barbelés ne peuvent pas être retirés lorsqu'ils ont pénétré dans des tissus suffisamment résistants et élastiques comme la peau humaine, et l'abeille doit, pour se libérer, les laisser dans la blessure avec une partie de ses organes abdominaux arrachés. Elle ne survit pas en général à une piqûre. Les guêpes ont un appareil très voisin, mais les dards non barbelés peuvent être sortis facilement de la blessure qu'ils ont produite. De plus, ils sont dépourvus de pistons et ne peuvent, par conséquent, refouler le venin; il est expulsé par les contractions des muscles entourant les glandes.

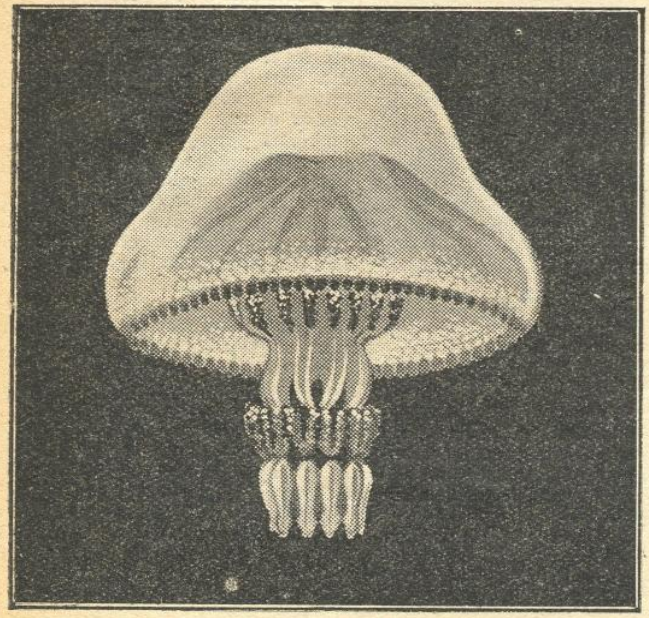


FIG. 3. — UNE GRANDE MÉDUSE, LE « RHIZOSTOMA PULMO »

Certaines grandes méduses peuvent produire des urtications assez douloureuses sur la peau du nageur qui les frôle. Ce sont les tentacules buccaux qui contiennent le plus d'organes venimeux. Le Rhizostoma ci-dessus, qui atteint 15 à 60 cm de diamètre, se rencontre en Méditerranée.

Tous les animaux venimeux ne sont pas aussi bien armés. Quelques-uns font des blessures avec des organes qui ne sont pas en rapport direct avec leurs glandes venimeuses. Ces blessures peuvent être ensuite plus ou moins enduites de venin. C'est ainsi que la plupart des fourmis sont dépourvues d'aiguillon; elles mordent avec leurs mandibules, puis, ramenant leur abdomen en avant, déposent une goutte de venin sur la morsure. Les murènes (fig. 11) mordent, et leur salive venimeuse pénètre dans la morsure.

Il existe, d'ailleurs, des intermédiaires entre les espèces utilisant des organes vulnérants indépendants des glandes à venins et celles ayant un organe inoculateur différencié. Dans le groupe des serpents, on peut suivre ainsi une très intéressante évolution allant de la dent ordinaire au stylet venimeux à structure d'aiguille de Pravaz. Toutes les espèces appartenant aux deux grandes familles des *colubridés* et des *vipéridés* possèdent une glande à venin, modification de la glande salivaire sus-maxillaire. Chez les *colubridés aglyphes*, dont on peut prendre pour type la couleuvre à collier si commune aux bords de nos cours d'eaux et de nos mares (fig. 12), aucune dent n'a subi de modification spéciale, le ve-

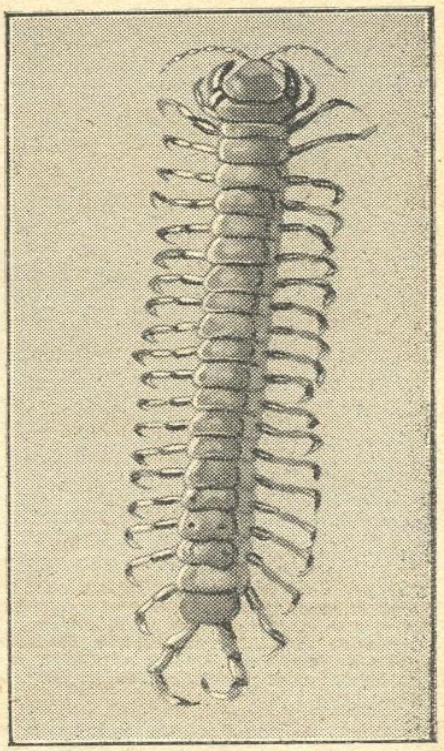


FIG 4. — LA GRANDE SCOLOPENDRE DES RÉGIONS MÉDITERRANÉENNES (« SCOLOPENDRA MORSITANS »)

Ce myriapode, vulgairement appelé mille-pattes, peut atteindre neuf centimètres de longueur et produit des morsures douloureuses à l'aide des deux crochets venimeux que l'on voit de part et d'autre de la tête. La scolopendre méditerranéenne est, heureusement, peu agressive, mais les espèces exotiques très venimeuses et pouvant atteindre 30 cm sont dangereuses pour l'homme.

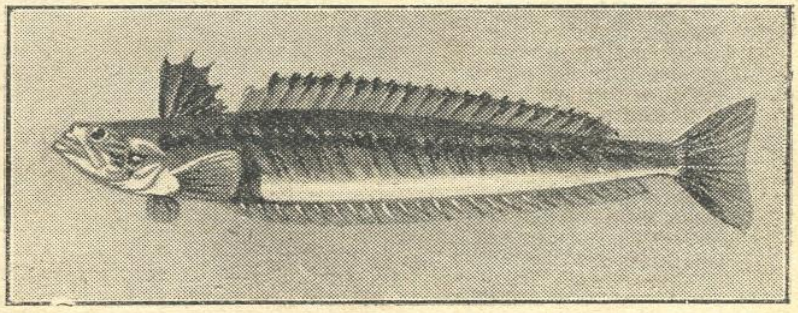


FIG. 5. — LA VIVE, POISSON COMMUN ET VENIMEUX

La vive est un poisson commun sur toutes nos côtes. Ses opercules et sa nageoire dorsale antérieure portent des piquants venimeux. Les blessures que l'on peut se faire avec eux en manipulant le poisson ou en mettant le pied dessus (car il s'enfonce dans le sable à faible profondeur) sont extrêmement douloureuses. Quelquefois des troubles nerveux à allure tétanique peuvent se produire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

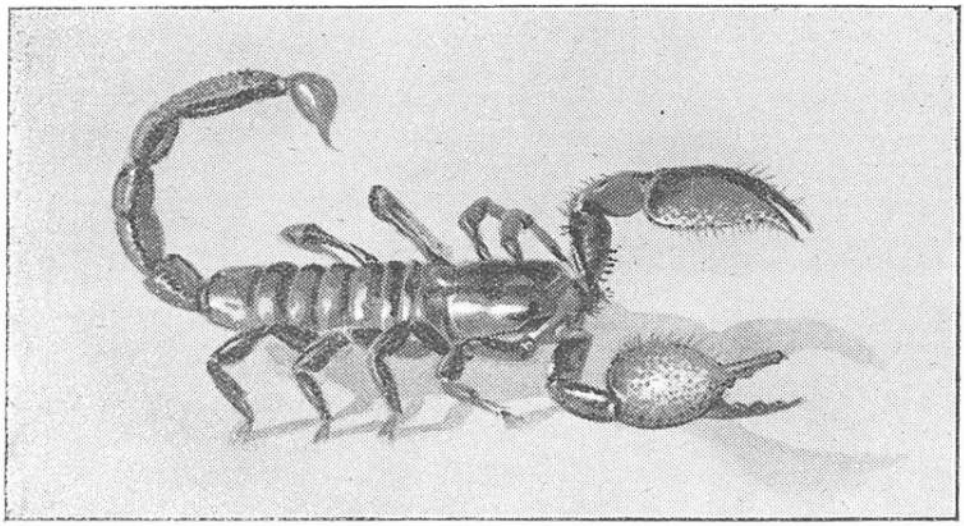


FIG. 6. — LE GRAND SCORPION DE CAYENNE

Les scorpions sont des arachnides dont l'abdomen se prolonge par un post-abdomen long et assez grêle. Celui-ci se termine par un article renflé renfermant les glandes à venins et portant un aiguillon inoculateur. La piqûre du scorpion jaune des bords de la Méditerranée, très douloureuse, n'est généralement pas dangereuse. Celle de certaines espèces exotiques peut avoir des suites extrêmement graves, mais rarement mortelles, au moins chez l'homme adulte et en bonne santé.

nin s'écoule dans la bouche et peut pénétrer dans les écorchures faites par les dents si elles sont bien ensalivées (fig. 13). Ces formes ne peuvent, pratiquement, être dangereuses pour l'homme. C'est à ce groupe qu'appartiennent presque toutes nos couleuvres françaises : couleuvre vipérine, couleuvre verte et jaune, couleuvre d'Esculape, coronelles.

Les *colubridés opisthoglyphes* ont des crochets à venins, c'est-à-dire des dents différenciées pour l'inoculation. Ces crochets sont insérés à la partie postérieure de la mâchoire supérieure. Il en résulte que, sauf cas exceptionnel, ils ne peuvent entrer en jeu que contre une proie engagée profondément dans la bouche. Les morsures infligées à l'homme ne sont en général pas dangereuses, car ce sont les dents antérieures non différenciées qui presque toujours entrent en acion. La couleuvre de Montpellier, qui appartient à cette famille, possède à la partie postérieure du maxillaire une seule dent venimeuse ou crochet qui porte sur toute sa longueur un sillon ouvert par où s'écoule le venin. Celui-ci, amené par le canal de la glande, s'accumule à la base de la dent entre celle-ci et une gaine qui l'entou-e (fig. 14).

L'appareil inoculateur devient vraiment efficace chez les *colubridés proteroglyphes*, dont le type le plus connu est le redoutable cobra de l'Inde. Les crochets sont antérieurs et entrent donc en jeu facilement lorsque l'animal mord. Ici aussi, le canal de la glande à venin vient s'ouvrir entre le crochet et sa gaine (fig. 15). Le crochet lui-même se perfectionne. Son sillon se referme de plus en plus, ce qui diminue les pertes de salive toxique vers la cavité buccale où elle se dilue. Chez le cobra, il est complètement fermé sauf un orifice basilaire par où le venin pénètre dans la dent et un orifice terminal par où il s'écoule dans la blessure (fig. 16).

Chez les *vipéridés* (fig. 17) enfin, les crochets,

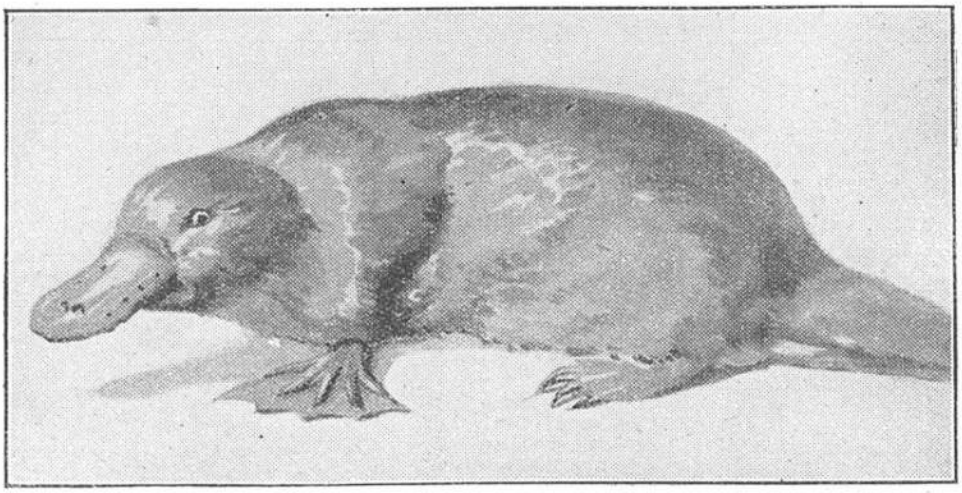


FIG. 7. — UN CURIEUX MAMMIFÈRE AUSTRALIEN : L'ORNITHORYNQUE

L'ornythorynque, vivant aux bords des eaux, a des caractères intermédiaires entre ceux des sauropsidés (oiseaux et reptiles) et des mammifères. Son corps, couvert de poils, est celui d'un mammifère, mais son bec corné aplati, qui lui sert à fouiller la vase pour y chercher les petits animaux dont il fait sa nourriture, est d'un canard. Il pond des œufs à coque parcheminée, semblables à ceux des reptiles, mais allaite les petits qui en sortent. Il possède un cloaque comme les oiseaux et les reptiles où débouchent le tube digestif et les organes génitaux et urinaires. Chacune de ses pattes postérieures porte un éperon venimeux. Les effets de son venin sont, en général, un affaiblissement cardiaque passager, une coagulation localisée du sang et une irritation locale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui sont également antérieurs et à sillon complètement refermé sauf les deux orifices d'entrée et de sortie du venin, sont portés sur un maxillaire très court qui peut basculer autour de son articulation avec l'os préfrontal. Ce mouvement a pour effet de projeter en avant, hors de la bouche, les crochets venimeux (fig. 17 B). L'animal peut ainsi les enfoncer dans les chairs de sa victime sans mordre. Il pique véritablement de ses deux stylets. Au repos, les crochets sont ramenés contre la voûte du palais (fig. 17 A). Ils peuvent donc être beaucoup plus longs que chez les autres serpents sans risquer d'empêcher l'animal de fermer la bouche.

Les venins

Tous ces organes doivent évidemment la crainte qu'ils inspirent aux venins qu'ils inoculent. Ces venins sont de composition chimique complexe et généralement mal connue; leurs effets physiologiques sont assez différents suivant les groupes considérés. Nous ne passerons pas ici en revue tous les groupes d'animaux venimeux. Certaines formes, comme les araignées, sont d'ailleurs beaucoup plus dangereuses par les microbes qu'elles inoculent en mordant que par leur sécrétion toxique. L'étude des venins du groupe le plus important des invertébrés venimeux, les insectes, et de ceux du groupe dominant des vertébrés venimeux, les serpents, suffira à donner une idée de l'importance et du danger des envenimations.

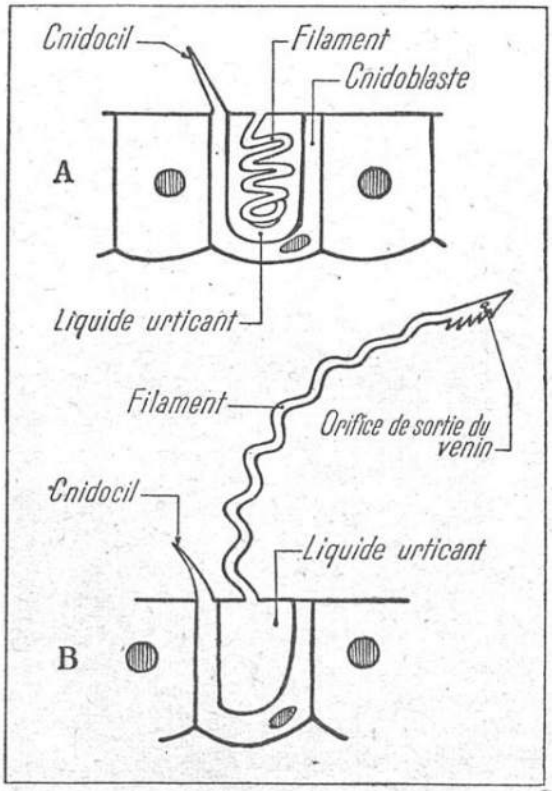


FIG. 8. — SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL INOCULATEUR DES MÉDUSES

L'appareil inoculateur se compose d'une cellule, ou cnidoblaste, renfermant une ampoule, ou cnidocyste, remplie de liquide urticant. Dans cette ampoule est invaginé un long filament qui peut se dévaginer brusquement et injecter le venin à l'aide de son harpon terminal lorsqu'un prolongement sensible du cnidoblaste, le cnidocil est heurté. En (A) est représenté l'appareil au repos, en (B) après dévagination.

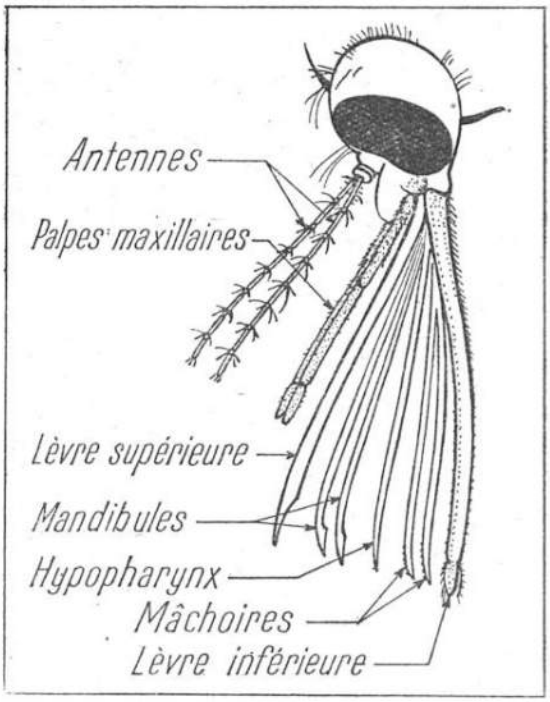


FIG. 9. — LA TROMPE DE MOUSTIQUE

La trompe de moustique se compose d'une gaine, molle, formée par la lèvre inférieure, creusée en gouttière, fermée par la lèvre supérieure, et de cinq stylets vulnérants : les deux mâchoires, les deux mandibules et l'hypopharynx, prolongement du plancher buccal qui contient le canal de la glande venimeuse et sert à l'inoculation.

Venins d'insectes

Même si on laisse de côté les maladies qu'ils peuvent propager en transmettant des microbes, les insectes venimeux sont dangereux. C'est ainsi que la salive des mouches Tsé-Tsé (*Glossina morsitans*, *Glossina palpalis*, fig. 18) rend très douloureuses leurs piqûres. Si celles-ci sont nombreuses, elles peuvent tuer un cheval sans qu'il y ait eu transmission d'une trypanosomiase (nagana ou maladie du sommeil). Tout le monde sait que la piqûre des femelles de taons est très pénible. Celle du grand taon (*Tabanus bovinus*, fig. 19) produit une tumeur rouge et indurée qui dure une dizaine de jours. La salive des moustiques femelles commence par avoir une action anesthésiante; on ne sent pas l'animal piquer; puis, après son envol, l'effet urticant se manifeste. Il est provoqué par la substance active du venin, la *culicine*, qui est également hémolytique, c'est-à-dire destructrice de globules rouges. Son action est maximum à 37°, s'atténue vers 50° pour disparaître à 70°. Des injections répétées finissent par provoquer la sécrétion d'antitoxines spécifiques dans l'or-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

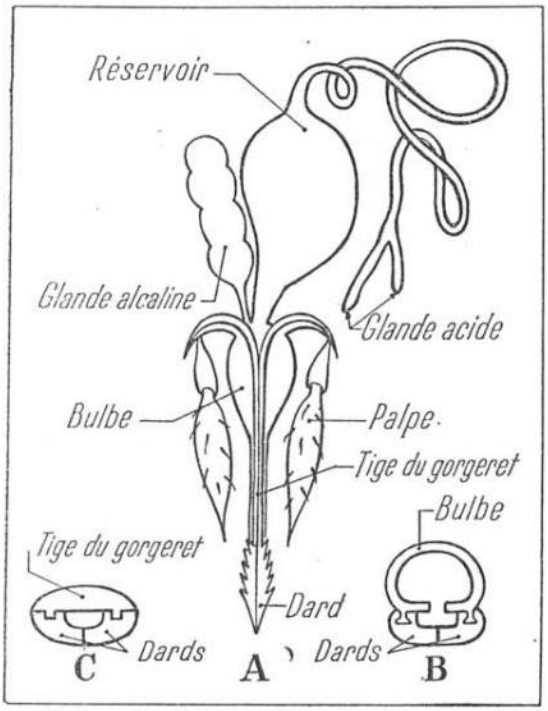


FIG. 10. — L'APPAREIL INOCULATEUR DE L'ABEILLE

L'abeille possède deux glandes à venins : une glande acide pourvue d'un réservoir et une glande alcaline. Elles débouchent toutes deux dans le bulbe du gorgeret. De là, le venin passe dans la cavité située entre le bulbe et les dards (voir B). Les dards barbelés glissent dans des rails tout le long du gorgeret (voir B et C). Deux palpes servent à explorer la région à piquer. En A, appareil venimeux et inoculateur entier; en B, coupe transversale au niveau du bulbe; en C, coupe au niveau de la tige du gorgeret.

rapidement couvert de piqûres. Celles-ci provoquent des troubles très graves : œdème, c'est-à-dire bouffissure de la peau sous l'afflux de lymphe dans le tissu sous-cutané, engorgement ganglionnaire, troubles pulmonaires et cardiaques. Puis c'est l'affaiblissement musculaire et quelquefois la mort qui peut survenir de une heure à cinq à six jours après les piqûres. Quelques invasions de ces terribles moucherons ont été signalées en France. C'est ainsi que Girard a observé dans les Basses-Alpes une nuée qui avait quinze cents mètres de long sur cinquante de haut et trente de large; mais c'est surtout en Amérique, en Afrique et dans les pays balkaniques qu'elles sont fréquentes. En 1923, dans quatre provinces roumaines (Transylvanie, Oltenie, Valachie, Banat) 16 000 animaux domestiques, dont près de 8 000 bovins, sont morts victimes de la simulie de Goloubatz. A Terre-Neuve et au Groenland, il est impossible de circuler dans les régions basses sans avoir la figure protégée d'une gaze, des vêtements

ganisme. C'est la vaccination naturelle. Une observation de Lépine, datant de 1902, montre même que l'immunité alors acquise peut être transmise par une femme enceinte à l'enfant qu'elle porte.

Les *simulies* sont des diptères comme les tsé-tsé, les taons ou les moustiques. Ce sont de petits moucherons à thorax bossu dont les larves vivent dans les eaux courantes. Très prolifiques, on les rencontre en nuées souvent innombrables. Les femelles faisant partie de ces nuées peuvent s'abattre sur un malheureux animal ou sur un homme dont le corps est

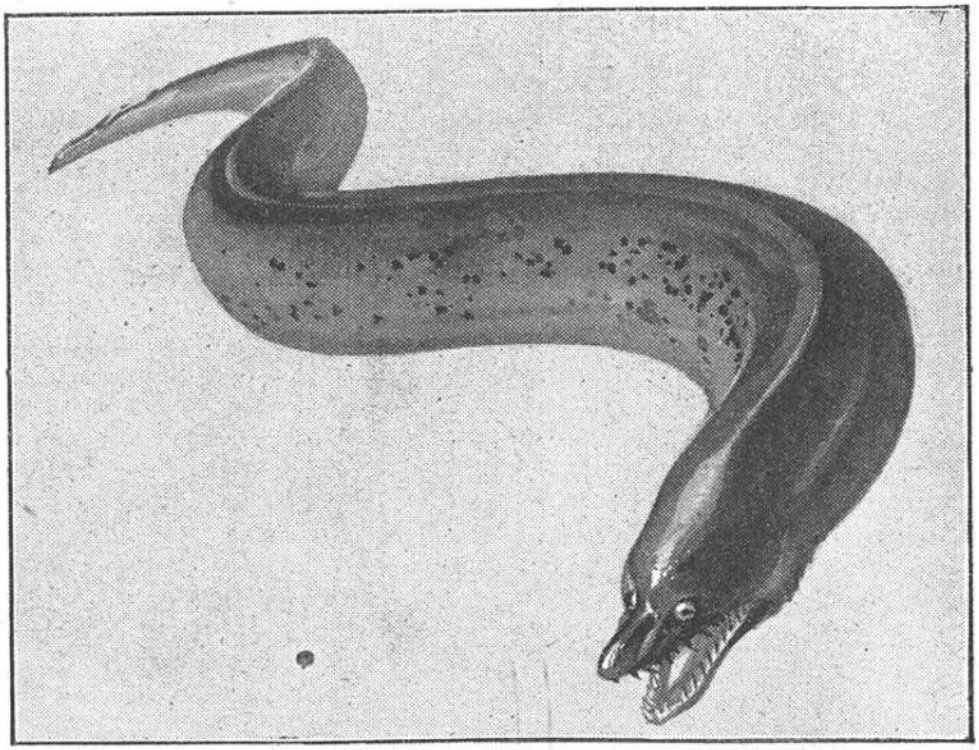


FIG. 11. — UN POISSON A LA SALIVE VENIMEUSE : LA MURÈNE

La murène (Muraena Helena), *assez commune en Méditerranée, a une salive venimeuse qui rend assez pénibles les morsures. Elle peut être consommée sans danger, sa sécrétion toxique ne résistant pas à la cuisson. Elle était même fort appréciée des Romains qui l'élevaient dans des viviers construits à grand frais, quelquefois assez loin de la mer. Certains patriciens n'hésitaient pas, dit-on, à nourrir leurs murènes d'esclaves vivants ou morts. Certains grands exemplaires peuvent atteindre un mètre cinquante de longueur.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bien serrés au cou, aux poignets et aux chevilles, de gros gants aux mains à cause d'une simulie (*Simulium reptans*).

La famille des diptères n'est pas la seule à jouir du triste privilège de compter des formes venimeuses. Les punaises, en particulier la punaise des lits (*Cimex lectularius*), les poux provoquent des démangeaisons dues à une salive urticante. Les mieux connus des insectes venimeux sont les *hyménoptères aculéates* : abeilles, bourdons, guêpes, fourmis. Le venin d'abeille, le plus étudié, est sécrété par deux glandes : une grande glande acide et une petite glande alcaline (fig. 10 A). C'est un liquide incolore, acide, soluble dans l'eau, à odeur aromatique et à saveur amère. Les propriétés toxiques sont conservées dans le venin desséché. Une théorie déjà ancienne admettait que toutes les sécrétions toxiques d'aculéates étaient formées par des solutions d'albumine dans l'acide formique. En réalité, dans le venin d'abeille il y a bien de l'acide formique, mais

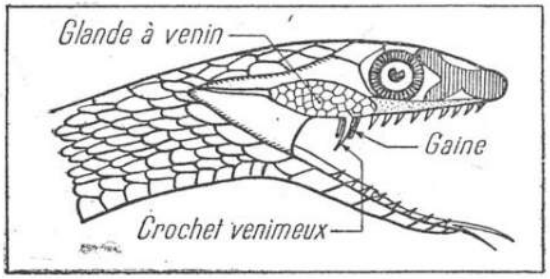


FIG. 13. — CHEZ LES COLUBRIDES AGLYPHES, LA GLANDE A VENIN DÉBOUCHE DANS LA CAVITÉ BUCCALE SANS ÊTRE EN RAPPORT AVEC DES CROCHETS INOCULATEURS. TOUTES LES DENTS SONT SEMBLABLES

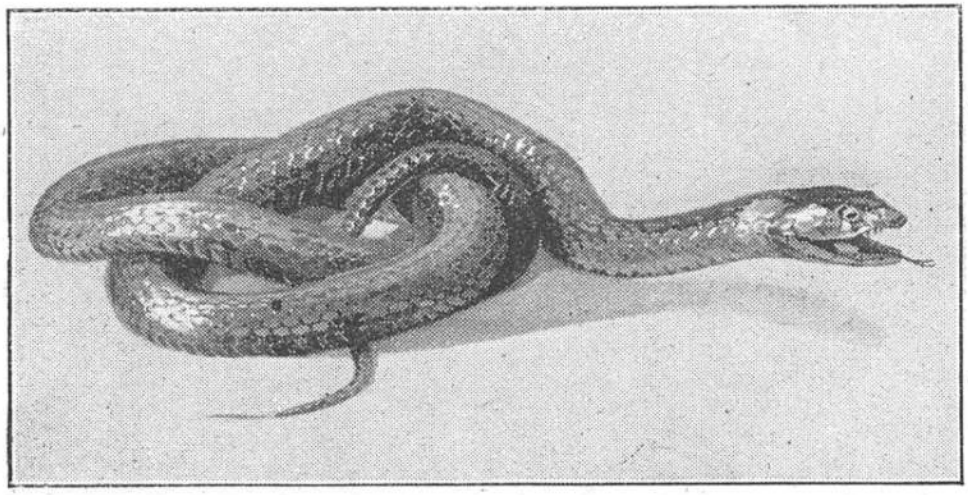


FIG. 12. — LA COULEUVRE A COLLIER (« NATRIX NATRIX ») VIT AU BORD DES EAUX OU ELLE SE NOURRIT DE BATRACIENS ET DE POISSONS

il n'en est pas le principe actif. En effet, l'envenimation se produit lorsque l'acide a été au préalable neutralisé par le carbonate de soude. Nous avons vu que la dessiccation ne détruit pas les propriétés venimeuses, or l'acide formique disparaît au cours de ce traitement. Enfin, l'acide injecté seul sous la peau de l'homme y produit une faible douleur et une légère inflammation locale, très différentes des effets du venin. Ces effets sont, d'après les études expérimentales de Césaire Phisalix sur le moineau, une irritation locale très vive, des phénomènes convulsifs suivis de stupeur et de troubles respiratoires, puis c'est la mort de l'oiseau. Chez l'homme, l'action s'en tient en général aux phénomènes locaux; cependant, dans le cas de piqûres multiples, les phénomènes tétaniques et stupéfiants peuvent se produire et des cas mortels ont été signalés. Phisalix admet trois principes actifs, qui seraient des bases organiques voisines des alcaloïdes végétaux. Il s'agirait d'une substance irritante à action locale, détruite au bout d'un quart d'heure de chauffage à 100°, d'une substance convulsivante qu'il faut une demi-heure à 100° pour détruire, et enfin d'une substance stupéfiante plus résistante. Les principes irritant et stupéfiant proviendraient de la glande acide, et le principe convulsivant de la glande alcaline. Il est intéressant de souligner l'existence dans un même venin de deux sécrétions à effets physiologiques opposés : convulsivants pour l'une, stupéfiants pour l'autre.

Venins de serpents

Nous verrons des faits analogues dans les venins des serpents, en général beaucoup plus dangereux. L'animal venimeux le plus redouté de nos régions est la vipère aspic (*Vipera aspis*). Ce dangereux serpent est très variable de coloration, il ressemble souvent à l'inoffensive couleuvre vipérine dont on peut le distinguer par des caractères d'écaillures de la tête et par l'aspect de la pupille

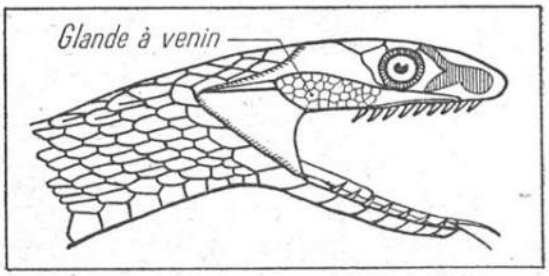


FIG. 14. — APPAREIL VENIMEUX DE LA COULEUVRE DE MONTPELLIER

La couleuvre de Montpellier (Malpolon Monspessulana), *prise comme type des colubrides opisthoglyphes, a un crochet venimeux, mais situé au fond de la bouche. La glande à venin débouche à la base de ce crochet entre lui et une gaine qui l'entoure.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

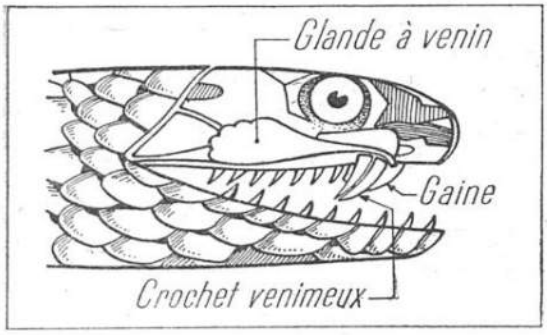


FIG. 15. — APPAREIL VENIMEUX DU COBRA

Les cobras, comme tous les colubridés protéroglyphes, *ont leurs crochets venimeux antérieurs. La glande à venin débouche à la base de ses crochets, entre eux et leur gaine.*

qui est en fente verticale alors qu'elle est ronde chez la couleuvre (fig. 20). Ses glandes à venin renferment de 30 à 40 milligrammes de venin frais, ce qui correspond à 10 à 25 milligrammes de venin sec. La dose mortelle pour l'homme adulte est, en général, voisine de 15 milligrammes de venin sec. Il ne faut pas oublier que la vipère pique rapidement, de ses crochets protractés et n'injecte ainsi qu'une partie du contenu de ses glandes; on peut donc dire que, pratiquement, il est rare que l'envenimation soit mortelle. La mortalité est de 14 % environ et porte, presque uniquement, sur des cas où la résistance est faible : vieillards, très jeunes enfants. Le venin est un liquide jaune d'or, limpide, sans saveur et sans odeur, acide. La toxicité est atténuée par chauffage à partir de 65° C; elle disparaît complètement par filtration sur porcelaine, le ou les principes actifs étant retenus. On peut distinguer, lors de la piqûre, des effets locaux et des symptômes généraux.

Localement, on observe une tuméfaction qui peut s'étendre plus ou moins loin du point piqué, accompagnée d'une douleur souvent assez vive rappelant celle d'une brûlure. Des taches livides provoquées par des hémorragies sous-cutanées apparaissent. Quelquefois une hémorragie prolongée, due à l'incoagulabilité du sang, se produit par les points de pénétration des crochets, cela pour des doses faibles ou moyennes de venin. Pour des doses fortes, il n'y pas écoulement de sang, celui-ci coagulant très vite. Nous verrons ultérieurement l'explication de ces faits en apparence contradictoires. La très petite dimension des trous produits par les dents venimeuses fait d'ailleurs que, lorsque l'hémorragie a lieu, elle ne présente pas de gravité. Souvent, des abcès se produisent autour des points piqués dus au fait que des tissus imprégnés de venin résistent beaucoup moins au développement des bactéries.

Si le venin d'abeille, grâce à son acide formique est antiseptique, celui de vipère a au contraire une action antibactéricide.

A ces symptômes locaux s'ajoutent des phénomènes généraux qui se manifestent, essentiellement, comme dus à des altérations du système nerveux. On note une profonde prostration accompagnée de vives douleurs stomacales et intestinales. Vomissements et diarrhée sont fréquents. Le corps se couvre de sueur froide et visqueuse. La soif est ardente. Puis se sont des crampes, des convulsions souvent accompagnées de délire. Il y a paralysie, mais les muscles répondent à des excitations des nerfs moteurs, il n'y a donc pas curarisation (1). Des troubles circulatoires se produisent : les extrémités se refroidissent, il y a vaso-dilatation et affaiblissement des mouvements cardiaques, ce qui a pour conséquence de faire baisser la pression artérielle. Dans le cas observé d'une piqûre à la lèvre, cette pression a baissé en l'espace de dix minutes de 170 millimètres à 45. La respiration est faible et peut même s'arrêter, c'est alors la mort.

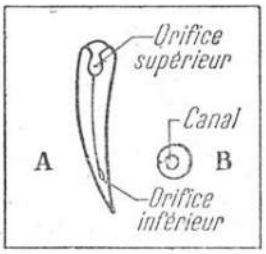


FIG. 16. — LE CROCHET VENIMEUX DES COBRAS

Le crochet venimeux des cobras possède un canal presque complètement fermé, par où s'écoule le venin. Celui-ci pénètre dans la dent par l'orifice supérieur. On voit la ligne de suture suivant laquelle la gouttière d'écoulement s'est refermée. En B, coupe transversale dans la région médiane du crochet.

A la suite des travaux de Césaire Phisalix et de ses successeurs, on admet que le venin de vipère contient trois groupes de substances :

1° L'*echidnase* qui est en réalité un ensemble complexe comprenant une cytolysine, une hémorragine, une hémolysine et une substance coagulante. La cytolysine, qui attaque les cellules vivantes autres que les neurones et les globules du sang, provoque des nécroses autour du point piqué et souvent dans le foie, les reins, les poumons et les muscles. L'hémorragine serait une globuline agissant en détrui-

(1) La curarisation est une action analogue à celle du curare, poison végétal, dont le résultat est qu'un muscle ne se contracte plus lorsqu'on excite le nerf moteur qui s'y rend.

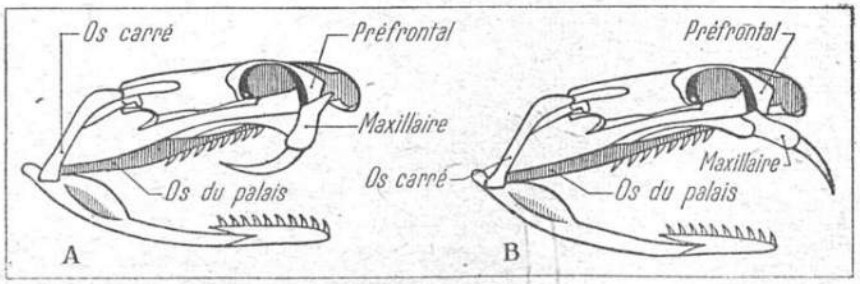


FIG. 17. — TÊTE OSSEUSE DE VIPÈRE EN POSITION DE REPOS (A) ET AVEC LE CROCHET AU DÉBUT DE LA PROTRACTION (B)

Lorsque l'animal ouvre la gueule, l'os carré, en avançant, pousse les os du palais qui, à leur tour, poussent le maxillaire, lequel pivote autour de son articulation avec le préfrontal.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sant les parois des vaisseaux sanguins; c'est elle qui produit les hémorragies sous-cutanées signalées plus haut. L'hémolysine détruit les globules rouges du sang, libérant ainsi l'hémoglobine; son action est très lente et généralement très peu marquée. La substance coagulante, lorsqu'elle est à dose élevée, produit la coagulation rapide du sang, que nous avons précédemment signalée. Pour comprendre le mode d'action de cette substance, il faut avoir présente à l'esprit la théorie moderne de la coagulation du sang due à Morawitz. D'après cet auteur, le fibrinogène contenu dans le plasma sanguin se transforme en fibrine, qui précipite en fibrilles enchevêtrées formant le caillot, et ceci sous l'action d'un ferment : la thrombine. Cette thrombine est combinée, normalement, dans le sang à une substance antagoniste : l'antithrombine qui l'empêche d'agir; elle est libérée lorsque de petits éléments nommés plaquettes sanguines, qui constituent avec les globules les éléments figurés du sang, se dissocient, ce qui se produit au contact de la peau lors d'une blessure ou des parois d'un récipient où l'on recueille le sang. Cette dissociation met en liberté un corps : la thrombokinase qui, activée par les sels calcaires du plasma, détruit l'association de l'antithrombine avec la thrombine. La substance coagulante du venin de vipère provoque la coagulation sans dissociation des plaquettes. Comment agit-elle? Deux hypothèses ont été émises : ou bien elle contient de la thrombine libre, ou bien un produit détruisant l'antithrombine et permettant ainsi à la thrombine du sang d'agir. Nous avons vu que lorsque la dose de venin injecté n'est pas très élevée le sang devient au contraire incoagulable. Comment expliquer cela? Il se produit en réalité une coagulation, mais très lente, la fibrine au lieu de se prendre en masse et de former un caillot se dépose en fils isolés sur les globules et les parois des vaisseaux. Au bout d'un certain temps elle est entièrement déposée et le sang, resté liquide, ne peut former de caillot;

2° L'*echidno-toxine* ou neuro-toxine, substance précipitable par l'alcool, très lentement dialysable, provoque l'hypothermie, l'hypotension et les phénomènes paralytiques, c'est-à-dire les troubles d'origine nerveuse. Cette toxine agit en effet sur le tissu nerveux provoquant la dégénérescence des fibres des nerfs, altérant les cellules de la moelle épinière et du bulbe rachidien;

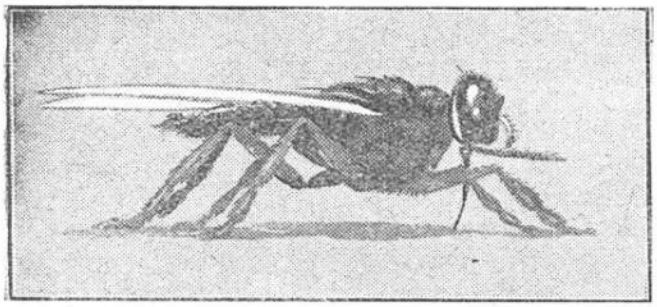


FIG. 18. — LA MOUCHE TSÉ-TSÉ (« GLOSSIMA PALPALIS »)

La mouche Tsé-Tsé d'Afrique Equatoriale est dangereuse, non seulement par les microbes qu'elle peut transmettre, mais également par la salive toxique qu'elle inocule par sa trompe vulnérante. Cette mouche est vivipare, elle met au monde des asticots déjà âgés et prêts à se métamorphoser.

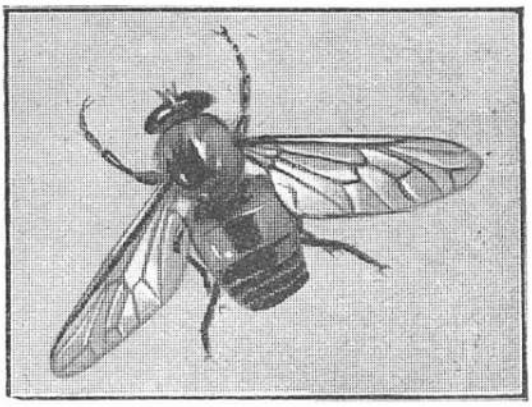


FIG. 19. — LES TAONS FEMELLES PROVOQUENT PAR LEURS PIQURES DE VIVES DOULEURS LOCALES

3° Césaire Phisalix a découvert que le venin renfermait une substance vaccinante contre ses propres effets, substance qu'il a nommée *echidno-vaccin*. On peut l'obtenir isolément par chauffage du venin à 80° C pendant cinq minutes, ce qui détruit l'echidnase et l'echidnotoxine.

Ces divers ensembles peuvent être isolés les uns des autres. Mme Phisalix et M. le colonel Pasteur ont réussi, en 1936, à les séparer par l'action des rayons infrarouges. D'autre part dans la nature, on rencontre dans certaines régions ou à certaines périodes des vipères dont les venins manquent d'un ou de deux de ces groupes de substances. Au printemps, aussitôt après l'hivernage, le venin est dépourvu d'échidnase et d'echidno-vaccin et ne produit que les effets nerveux qui sont, d'ailleurs, les plus graves. Mme Phisalix a signalé que celui des jeunes vipéraux manque d'échidno-vaccin, il n'apparaît qu'après le quinzième jour. Elle a découvert, en 1939, que les vipères de deux communes du Gers étaient toute l'année dépourvues de cette même substance.

En résumé, le venin de vipère aspic est neurotoxique, mais non curarisant, hémorragique et coagulant à fortes doses. C'est le cas également de ceux de tous les autres Viperidés (vipères, crotales, trigonocéphales, etc...) et des colubridés protéroglyphes d'Australie.

Les autres serpents venimeux ont un venin dont les effets physiologiques sont différents. Prenons comme exemple le cobra de l'Inde (Naja tripudians) (fig. 21). Les glandes de ce redoutable serpent contiennent 230 à 254 milligrammes de venin sec, alors que 10 à 14 milligrammes suffisent à tuer un homme. De plus, l'animal, au lieu de piquer rapidement comme la vipère, mord véritablement et conserve ses machoires refermées dans la chair de sa victime jusqu'à ce que tout son venin soit passé dans la plaie. Les symptômes locaux consistent essentiellement en une vive douleur brûlante et persistante et un écoulement par les trous de pénétration des crochets de sang hémolysé non coagulable. Une demi-heure après l'attaque commencent à apparaître les symptômes généraux : somnolence, faiblesse des jambes. Puis c'est la paralysie qui gagne de proche en proche tous les muscles. Cette paralysie, comme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'ont montré des expériences sur des animaux, est accompagnée de curarisation. Quelques mots sur le phénomène de la contraction musculaire sont nécessaires pour faire comprendre en quoi consiste cette curarisation. Un muscle ne se contracte que pour une excitation agissant un temps donné pour une intensité donnée. L'excitant est l'influx nerveux. Chaque muscle reçoit un nerf moteur dont l'influx a une longueur d'onde qui correspond au temps nécessaire, étant donnée son intensité, pour que le muscle réponde. Le curare et les poisons à action identique rendent le muscle moins excitable : pour une même intensité d'excitant il faut un temps d'action plus long ; or l'influx du nerf moteur ne variant pas il ne peut plus faire contracter le muscle, sa longueur étant maintenant insuffisante. C'est ce qui se produit avec le venin de cobra.

En même temps que gagne la paralysie, des nausées et des vomissements deviennent de plus en plus fréquents. La respiration est très affectée, elle devient de plus en plus lente puis s'arrête : c'est la mort fatale, si l'on n'emploie pas à temps le sérum. Elle se produit suivant les cas une demi-heure à 24 heures après la morsure. Pendant tout ce temps, la conscience reste complète, le cœur est peu ou pas affecté, le pouls et la température sont normaux. A l'autopsie on constate une altération de la moelle épinière et une hémolyse marquée dans la région de la morsure. Le sang ne peut pas coaguler.

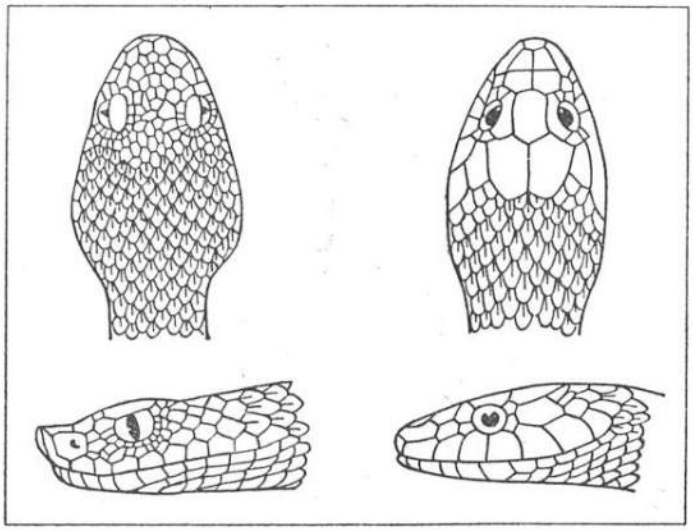


FIG. 20. — VIPÈRE ASPIC ET COULEUVRE VIPÉRINE

La vipère aspic (Vipera aspis) *peut quelquefois se confondre avec la couleuvre vipérine* (Natrix viperina). *La tête est cependant différente. Le museau de la vipère est relevé, non celui de la couleuvre. Chez la vipère, l'œil, dont la pupille est en fente transversale, est séparé des plaques de la lèvre supérieure par une série de petites écailles, chez la couleuvre il repose directement sur les plaques labiales et sa pupille est ronde. Le dessus de la tête est couvert de petites écailles chez l'aspic, porte quelques grandes plaques chez la vipérine.*

Les substances actives sont :

1° Un complexe echidnasique qui comprend une cytolysine à action beaucoup moins marquée que celle de vipère, une hémolysine beaucoup plus active (il lui faut cinq minutes pour produire les mêmes effets qu'une quantité égale d'hémolysine de vipère produirait en plus de soixante minutes), une antikinase qui détruit la thrombokinase et empêche ainsi la coagulation dans la région de la morsure, peu ou pas d'hémorragine ;

2° Une neuro-toxine à action plus rapide que chez la vipère. Elle est de plus curarisante.

Le venin de cobra, curarisant, non hémorragique, fortement hémolytique et anti-coagulant est le type de toute une série de venins, ceux de tous les colubridés protéroglyphes non australiens.

La lutte antivenimeuse

Ces quelques exemples suffisent à montrer le grand danger que présentent pour nous les animaux venimeux et plus particulièrement les serpents. De tout temps, on a cherché à lutter contre les effets de leurs piqûres ou morsures. Dès que le venin a été déposé on peut essayer de le détruire par la cautérisation, procédé qui n'est d'ailleurs pas à conseiller, ou par l'emploi de substances chimiques. C'est ainsi que l'on peut employer de la teinture d'iode ou un mélange de formol et d'alcool contre le venin de moustique ou celui d'abeille. On doit tenter également, en cas où sa destruction est impossible, d'empêcher sa diffusion dans l'organisme ; c'est à quoi tend le procédé de la ligature. Lorsque le poison a été injecté dans un membre, on place un lien entre le point de pénétration et le cœur : il faut utiliser un lien élastique déplacé de demi-heure en demi-heure vers le cœur suivant la coutume des Indiens et non le lien rigide souvent employé qui risque de provoquer la gangrène par stagnation totale du sang. Lorsque le venin s'est répandu on peut stimuler son élimination par les reins à l'aide d'injections d'eau salée ou d'absorption de boissons diurétiques. On cherchera à atténuer les effets les plus graves de l'envenimation : dans le cas des piqûres multiples d'abeilles, des injections d'huile camphrée affaiblissent les convulsions ; des boissons stimulantes peuvent diminuer légèrement les effets stupéfiants des venins de serpents.

Ces divers procédés, qui sont les seuls employés dans le cas d'envenimations peu graves comme celles provoquées par la plupart des insectes, ne sont dans les cas graves que des palliatifs très insuffisants, permettant seulement de faire durer la victime jusqu'à ce qu'on puisse injecter le sérum. C'est là le seul moyen efficace de lutter contre le venin de serpent et ceux de certains scorpions. On recueille, suivant les procédés habituels de la sérothérapie, le sérum d'un cheval ou d'un mulet qui a, au préalable, reçu des injections de venin à doses faibles et par suite a sécrété par ses globules blancs une antitoxine. Un sérum donné est to-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

talement inefficace contre un venin autre que celui à l'aide duquel il a été formé. C'est un inconvénient pour l'emploi pratique dans les pays où il existe plusieurs espèces venimeuses. Bien peu de victimes des serpents ont les connaissances ou le temps nécessaires pour déterminer exactement leur agresseur. On a tourné cette difficulté par l'emploi de sérums polyvalents. Dans une même ampoule on mélange des sérums contre les principales espèces d'une région donnée. L'Institut Pasteur fabrique un sérum polyvalent pour l'Afrique du Nord, un autre pour l'A. O.F., un autre pour l'A.E.F., etc... En France, le seul sérum antivipère suffit.

Cette lutte antivenimeuse a pris une extension considérable et en dehors des services spécialisés de l'Institut Pasteur, des établissements sont nés à l'étranger, dont l'unique activité est la mise au point de sérums contre les venins : tel le célèbre Institut Vital-Brazil de Butantan aux environs de Sao Paulo (Brésil). qui produit un sérum polyvalent contre les principales espèces de serpents venimeux d'Amérique du Sud et un autre contre les scorpions les plus dangereux des mêmes régions.

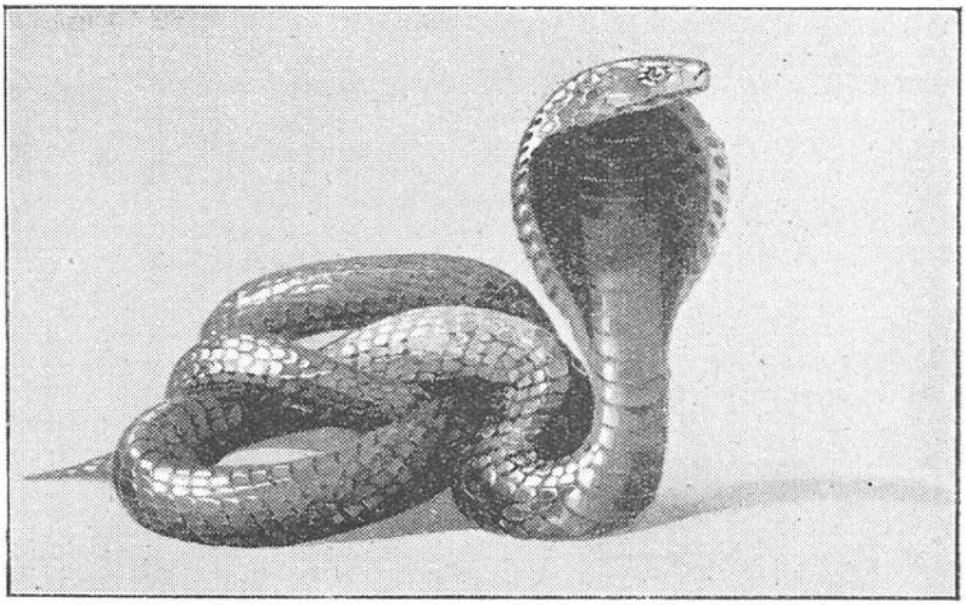


FIG. 21. — LE COBRA DE L'INDE (« NAJA TRIPUDIANS »)

C'est, peut-être, le serpent qui fait le plus de victimes humaines. Quinze mille à vingt mille morts par an, tel serait son tableau de chasse d'après des statistiques anglaises publiées vers 1914. Lorsqu'il est irrité, il peut dilater son cou (c'est ce que représente la figure), et il laisse voir une marque sombre ressemblant vaguement à une paire de lunettes d'où son nom vulgaire de serpent à lunettes.

Le venin est-il utile à l'animal venimeux ?

Ces venins, que nous réussissons à combattre, quel est leur rôle physiologique? A quoi servent-ils pour les animaux qui les sécrètent? Evidemment, ceux-ci les utilisent pour se défendre, du moins lorsqu'ils sont munis d'un appareil inoculateur, et pour diminuer et même empêcher toute réaction de défense de la proie attaquée. Nous avons signalé, cependant, que certains animaux, tels beaucoup de batraciens, produisent un venin qu'ils ne peuvent injecter. Dans ce cas ils ne peuvent s'en servir pour paralyser leurs proies ou assurer leur défense, sauf peut-être vis-à-vis d'ennemis qui les mangent. Souvent d'ailleurs l'ennemi le plus redoutable lui est insensible : la couleuvre à collier avale impunément les batraciens les plus vénéneux. On peut donc supposer que ces deux rôles, quelquefois évidents, souvent discutables, ne sont pas les seuls.

Des fonctions très variées suivant les groupes semblent, en réalité, dévolues aux venins. Quelquefois la substance toxique joue un rôle digestif : c'est le cas de celle des araignées. Chez certains insectes sociaux comme les abeilles et les fourmis, elle est un antiseptique qui empêche les provisions accumulées de fermenter : si le miel, par exemple, se conserve si bien, c'est parce qu'il en contient quelques gouttes. Très souvent, il semble que passant dans le sang elle y joue le rôle d'une sécrétion interne agissant sur les principales fonctions. Le venin des abeilles ou des fourmis est tonimusculaire et serait responsable de la très grande activité de ces insectes. Celui des serpents aurait une action régulatrice du système nerveux, celui des batraciens agirait sur le métabolisme de ces animaux. Ces diverses propriétés font que bien des venins, s'ils sont employés à des doses assez faibles pour éviter des troubles sérieux, peuvent être utilisés en médecine.

Sous le terme général de venins, on désigne en réalité un ensemble de substances élaborées par l'animal en vue de fonctions internes, mais qui, secondairement, peuvent être toxiques pour d'autres espèces. Elles le sont également pour l'animal qui les secrète, mais il est fortement immunisé. Elles peuvent être détournées de leur rôle primitif, du moins partiellement, et servir à paralyser ou tuer des proies, à défendre leur possesseur.

Pierre BECK.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LA PRODUCTION ET LES APPLICATIONS DES ULTRAPRESSIONS

par Jean FRANCIS

La technique des ultrapressions est de création très récente. Elle a soulevé de nombreux problèmes inédits pour la réalisation d'un puissant appareillage qui permet d'atteindre couramment 40 000 kg/cm² et exceptionnellement 300 000 kg/cm², et dont ne disposent encore aujourd'hui que de rares laboratoires spécialisés. Les recherches qui y sont poursuivies et qui ont permis de mettre en évidence des anomalies imprévisibles dans les propriétés physiques et chimiques de la matière, n'ont guère dépassé le stade expérimental. Mais d'ores et déjà il semble que les ultrapressions, qui se sont révélées comme un des plus précieux moyens d'investigation pour un grand nombre de problèmes fondamentaux relevant de la physique, de la chimie et de la biologie, offrent surtout des perspectives intéressantes du point de vue industriel dans le domaine de la chimie en général et de la synthèse de l'ammoniac en particulier.

Les résultats acquis par la science moderne nous permettent de compléter l'œuvre de la nature dans un certain nombre de domaines. La chimie organique, par exemple, dispose aujourd'hui de moyens d'action beaucoup plus généraux, sinon aussi précis que les processus naturels, et peut ainsi créer journellement des corps dont il est fort probable qu'un grand nombre n'ont jamais existé dans la nature (dérivés halogénés notamment). Par d'autres aspects, au contraire, la nature nous surpasse encore largement, et les ressources qu'elle possède restent pour le moment hors de notre portée. C'est ainsi que la plus haute température que nous savons produire (3 500° C dans le cratère de l'arc électrique) est bien inférieure aux 6 000° du soleil, et surtout aux quelque 20 000° de l'étoile Rigel. La puissance toujours croissante des moyens d'action mis en œuvre par l'homme se rapproche cependant peu à peu de celle de la nature, et d'immenses progrès ont été réalisés ces dernières années, en particulier dans le domaine des très hautes pressions ou *ultrapressions*. On est encore loin probablement des pressions qui ont provoqué l'orogenèse (1), mais on a déjà atteint la valeur formidable de 300 000 kg/cm², c'est-à-dire à peu près 300 000 fois la pression atmosphérique, ou encore la pression exercée par une colonne d'eau haute de 3 000 kilomètres (moitié du rayon terrestre).

La nécessité du frettage

La principale difficulté qu'il fallait vaincre pour obtenir des pressions élevées résidait dans la réalisation de récipients suffisamment résistants : le problème du mode de rupture des tubes à parois épaisses s'est ainsi trouvé posé. Son étude a permis de constater qu'il n'existe pas un mode unique de rupture.

Pour les métaux à faible résistance et à grand allongement, il y a un déchirement suivant une génératrice et sa propagation se fait de façon relativement lente de l'extérieur vers l'intérieur, dans une direction inclinée par rapport au rayon. Ce mode de déchirement, théoriquement anormal, s'explique par le fait que les couches internes du métal, appliquées par une sorte de forgeage sur les couches externes, présentent des propriétés de plasticité et de déformation complètement différentes de celles-ci et peuvent en particulier présenter des allongements énormes par rapport à ceux que l'on observe sur éprouvettes.

Pour les métaux à haute résistance et à faible allongement, l'éclatement se fait normalement : la déchirure a lieu suivant une génératrice et se propage de l'intérieur vers l'extérieur en direction radiale. Entre les deux types extrêmes, l'expérience montre que tous les modes de rupture intermédiaires peuvent se présenter. Comment éviter qu'une telle rupture se produise?

Les efforts développés par la pression dans un tube sont contenus par les tensions qui prennent naissance par réaction dans les parois distendues par la pression. Or, ces tensions s'amortissent très rapidement pour un tube massif à mesure qu'on s'éloigne de son axe. La contention de pressions très élevées n'est donc possible qu'à condition de produire par une action extérieure des forces centripètes qui s'opposent à la dilatation de l'enceinte : il faut employer des tubes *frettés* ou *autofrettés*. A dimensions égales, le frettage augmente la limite de contention élastique et la limite de contention totale d'un tube. L'autofrettage n'augmente que la limite de contention élastique.

La production et la mesure des ultrapressions

L'utilisation de tubes d'acier frettés ou autofrettés permet d'atteindre des pressions considérables. C'est ainsi qu'on a pu réaliser des appareils à presses hydrauliques en série qui travaillent normalement sous 25 000 kg/cm² (fig. 1). On peut aller jusqu'à 75 000 kg/cm² avec des machines semblables, à condition de mettre en œuvre des matériaux plus résistants

(1) L'orogenèse est la surrection des chaînes montagneuses au cours des époques géologiques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que l'acier, comme les carbures de tungstène ou de tantale. Le refroidissement de ces appareils aux environs de — 200° C (température de l'air liquide) permet d'accroître encore leur résistance et l'on peut ainsi atteindre la valeur considérable de 100 000 kg/cm². Pour obtenir des pressions encore plus élevées, Bridgmann enferme une petite presse dans le milieu sous pression d'une seconde presse plus grande. Enfin, des pressions de l'ordre de 300 000 kg/cm² (valeur la plus haute que l'on ait atteinte jusqu'ici) ont été réalisées dans de très petits volumes de matière comprimés entre de petites surfaces ménagées dans des blocs de carbure (fig. 2).

La mesure des hautes pressions ne peut se faire directement au moyen du manomètre absolu d'Amagat (1) que jusqu'aux environs de 15 000 atmosphères, valeur à partir de laquelle la précision devient insuffisante. La mesure des ultrapressions se fait avec des manomètres étalonnés au moyen d'appareils de tarage spéciaux (fig. 3). Les manomètres peuvent utiliser soit les variations de résistance électrique d'un fil métallique, soit simplement la déformation élastique d'un tube manométrique. La précision des mesures est de 3 %.

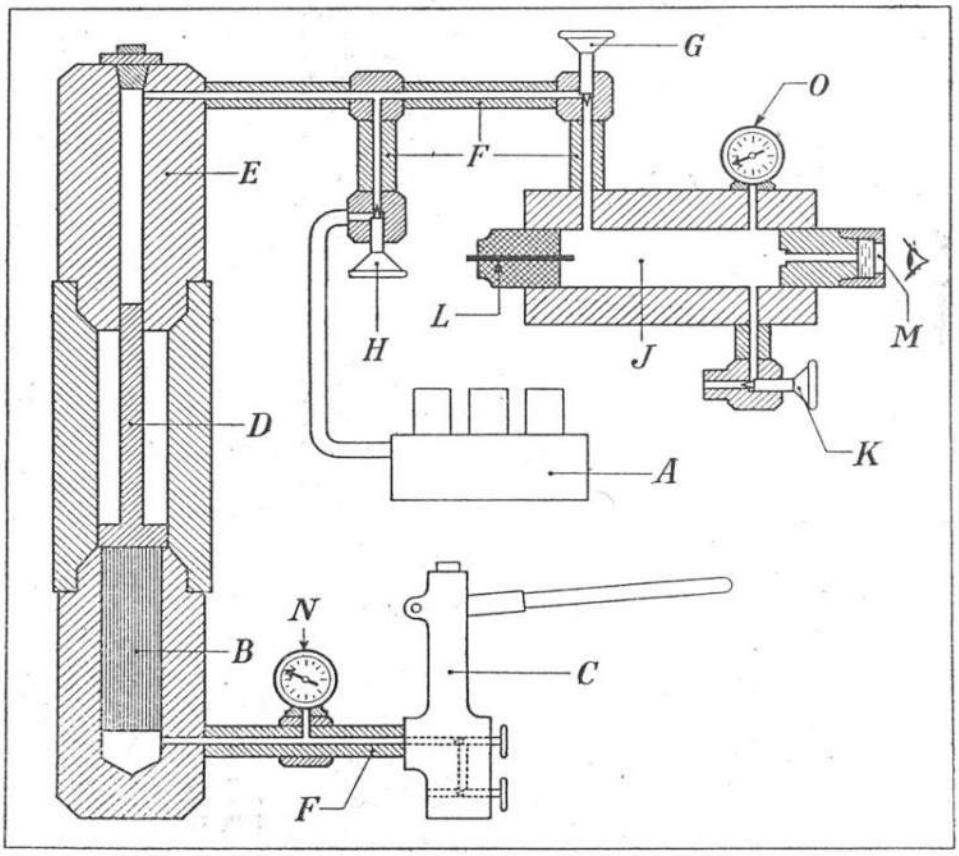


FIG. 1. — SCHÉMA D'UN COMPRESSEUR DE GAZ POUR 25 000 KG/CM²

Le robinet H étant ouvert et le robinet G fermé, on remplit le pot de presse E de gaz comprimé à 1 000 km/cm² au moyen du compresseur A. Après avoir fermé le robinet H, on actionne ensuite la presse primaire B au moyen de la pompe hydraulique C. Le double piston D transmet au pot de presse E la pression produite de la sorte en B, en la multipliant par le rapport des carrés des diamètres de ses faces opposées. Le gaz contenu dans E se trouve ainsi « ultracomprimé ». On le fait alors pénétrer dans la chambre à expériences J en ouvrant le robinet G. A, compresseur de gaz à 1 000 kg/cm²; B, presse primaire; C, pompe hydraulique à main à 1 000 kg/cm²; D, piston; E, pot de presse à ultrapression; F, tuyauteries; G, H, K, robinets; J, chambre à expériences; L, électrode; M, observation oculaire; N, manomètre; O, manomètre à ultrapressions.

Les changements d'état aux ultrapressions

Bridgmann et ses élèves ont étudié systématiquement les courbes de fusion, d'ébullition, etc., de nombreux corps sous ultrapressions. Leurs travaux sur les changements d'état de l'eau, du benzène, du phosphore, du bismuth, etc., sont aujourd'hui classiques. Ils ont, par exemple, pu établir qu'il existe en réalité six variétés différentes d'eau à l'état solide, chacune étant stable sous certaines conditions définies de température et de pression. On constate aussi d'importantes variations des *points de fusion* aux pressions élevées : celui du gaz carbonique passe de — 55° C à + 92° C et celui du potassium de + 62° C à + 180° C quand la pression croît de 1 à 12 000 kg/cm². Pour l'eau, la variation est inverse, et le point de fusion de la glace descend jusqu'à — 22° C pour une pression de 2 100 kg/cm².

Parmi les autres phénomènes physiques modifiés par les très hautes pressions, signalons encore la solubilité des gaz dans l'eau, qui ne suit plus les lois valables dans le domaines des basses pressions et présente l'anomalie remarquable de passer par un maximum pour décroître ensuite. La résistivité des conducteurs électriques varie également : elle décroît jusqu'à un minimum (pour des pressions de l'ordre de 25 000 kg/cm²) et croît ensuite à nouveau. Ce phénomène fournit une variable manométrique commode, utilisée dans les manomètres à résis-

(1) Le principe de ce manomètre consiste à équilibrer par des poids la poussée exercée par la pression sur un piston, en prenant des précautions pour éliminer les erreurs dues au frottement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

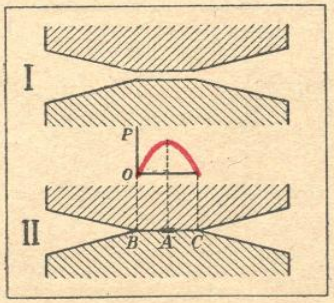


FIG. 2. — DISPOSITIF POUR L'OBTENTION DE PRESSIONS DE L'ORDRE DE 300 000 KG/CM²

La compression se fait entre deux blocs de carbure de tungstène. La courbe OP montre que la pression maximum est atteinte au point A, où l'on place l'objet de l'expérience.

tance électrique mentionnés plus haut.

James Basset (1) a étudié en France de façon systématique les états du carbone. Les ultrapressions lui ont permis de réaliser la première liquéfaction incontestable de cet élément. La courbe de fusion du carbone a été établie sous atmosphère d'argon (gaz inerte par excellence) jusqu'à 12 000 kg/cm²; à cette pression le carbone fond à 4 200° K (2). Le point d'équilibre des trois états solide, liquide et gazeux, ou *point triple*, se situe à 100 kg/cm² et 4 000° K, valeur confirmée par les travaux du Dr Steinle, de Göthingen. La courbe de vaporisation du carbone n'est pas encore définitivement établie sur toute sa longueur : sous 1 500 kg/cm², le carbone bout aux environs de 5 000° K. Ces divers résultats ont permis de construire le *diagramme des états du carbone* (fig. 4) d'un intérêt théorique considérable pour le physicochimiste.

Les ultrapressions et la synthèse de l'ammoniac

Toute réaction chimique est limitée par la réaction inverse : il y a entre les deux réactions un équilibre déterminé par les proportions des corps en présence, la température et la pression du milieu. Pour qu'une réaction soit la plus complète possible dans un sens déterminé, il faut réaliser des conditions de température et de pression favorables au déplacement de l'équilibre dans le sens désiré. Or, la nécessité d'une *vitesse de réaction* suffisante conduit souvent à dépasser largement la température optimum pour l'équilibre, et l'on est alors conduit à influer sur celui-ci en appliquant, lorsque c'est possible, la *loi des pressions* : un accroissement de la pression amène un déplacement de l'équilibre dans le sens de la réaction qui s'accompagne d'une contraction de volume.

La synthèse de l'ammoniac fournit le type même d'une réaction à laquelle s'appliquent ces considérations (3). C'est un refroidissement qui serait favorable au déplacement de l'équilibre dans le sens de la formation d'ammoniac, et l'on est cependant obligé de chauffer, car en dessous de 400° C, la réaction est extrêmement lente, quel que soit le catalyseur employé. Pratiquement, il faut même aller jusqu'à 600° C, température à laquelle le milieu réactionnel en équilibre ne contiendrait que 0,05 % d'ammoniac. On est donc conduit à comprimer jusqu'à 1 000 atmosphères pour obtenir un rendement suffisant (procédés Haber, G. Claude, etc...). Mais, bien qu'exploités industriellement sur une vaste échelle, les procédés actuels semblent susceptibles d'importants perfectionnements, et chaque année un grand nombre de travaux sont consacrés dans tous les pays du globe à la recherche de meilleurs catalyseurs et de meilleures conditions de température et de pression.

Dans cet ordre d'idées, il semble que les ultrapressions soient susceptibles d'une application pratique importante (1). En effet, la synthèse de l'ammoniac sous ultrapression ne nécessite pas l'emploi de catalyseurs. Or, on sait que l'action des catalyseurs est inhibée par la présence de traces de certains corps dits « poisons des catalyseurs » (par exemple l'hydrogène sulfuré) qu'il faut donc éliminer totalement du milieu réactionnel. En rendant inutile l'emploi d'un catalyseur, les ultrapressions éviteraient la complication considérable que constitue la nécessité d'opérer avec des gaz *purs* : on pourrait tolérer jusqu'à 5 % d'hydrogène sulfuré et 25 % d'oxyde de carbone. De plus, une pression de quelques milliers d'atmosphères déplace suffisamment l'équilibre pour qu'on puisse se permettre de chauffer jusqu'à 900° C sans nuire de façon excessive à ce déplacement : cette élévation de température provoque une augmentation de la vitesse de réaction et, par consé-

(1) Voir : « Les ultrapressions révolutionneront-elles la science et l'industrie? » *(Science et Vie,* n° 192, juin 1933).

(2) Les températures exprimées en degrés Kelvin sont mesurées à partir du zéro absolu (— 273° centésimaux). La température en degrés K est donc égale à la température en degrés C plus 273.

(3) L'équation de cette réaction est :

$$N_2 + 3\ H_2 \rightleftarrows 2\ NH_3 + 2 \times 12 \text{ calories.}$$

1 vol. 3 vol. 2 vol.

Il y a donc contraction volumétrique de moitié dans le sens de gauche à droite.

(1) Voir : « La synthèse industrielle et la chimie des ultrapressions » *(Science et Vie,* n° 240, juin 1937).

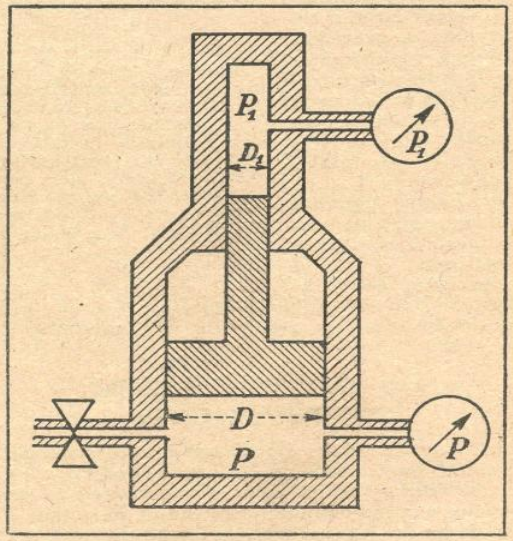


FIG. 3. — TARAGE DES MANOMÈTRES A ULTRAPRESSIONS

Cet appareil est fondé sur le principe que dans des presses en série les pressions sont inversement proportionnelles aux surfaces des pistons en opposition (c'est-à-dire aux carrés de leurs diamètres). A chaque valeur lue en P correspond une valeur P_1 égale au produit de P par le rapport du carré des diamètres des pistons.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quent, du débit horaire des appareils. En opérant à 850° C sous 4 500 kg/cm², sans catalyseur et avec un débit de 10 grammes par heure et par centimètre cube de la chambre à réaction, la transformation est pratiquement intégrale (fig. 5). Dans les mêmes conditions, mais sous 2 000 kg/cm², elle atteint déjà 40 %, alors qu'elle ne dépasse pas 3 % sous 1 000 kg/cm² (limite des pressions actuellement réalisables dans l'industrie)

De 1 000 à 4 500 kg/cm², la distance ne semble pas infranchissable : de même que G. Claude a pu résoudre les problèmes posés par la porosité des aciers de construction à 600° C et sous 1 000 kg/cm², il est parfaitement légitime d'espérer atteindre 850° C sous 4 500 kg/cm². Les progrès récents dans la connaissance de l'état métallique justifient cet espoir (1). D'ailleurs, comme le travail nécessaire pour comprimer un gaz croît comme le logarithme de la pression, il n'augmenterait que de 22 % (2).

Outre la synthèse de l'ammoniac, plusieurs autres réactions chimiques sont avantageusement influencées par les ultrapressions. C'est ainsi qu'en mettant en présence à 850° C sous 3 600 kg/cm² de la potasse avec un mélange d'oxygène et d'azote à 33 % d'oxygène, on réalisera la synthèse du salpêtre avec une transformation pratiquement totale (1).

(1) Voir : « Pourrons-nous un jour décupler la résistance des métaux? » *(Science et Vie,* n° 315, novembre 1943).

(2) En effet :
log 4 500 : log 1 000 = 3,65 : 3 = 1,22.

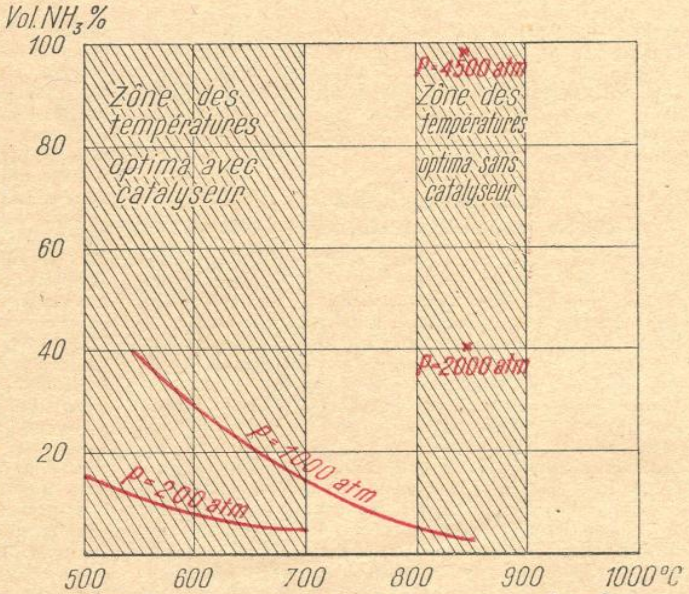


FIG. 5. — CONCENTRATIONS D'AMMONIAC RÉALISÉES A DIVERSES PRESSIONS ET TEMPÉRATURES

Ce graphique montre tout l'intérêt qu'il y aurait à pouvoir utiliser industriellement des pressions de 2 000 à 5 000 atmosphères. Les aciers de construction ne permettant pas pour le moment de dépasser un millier d'atmosphères, l'emploi de catalyseurs est indispensable, car l'on ne peut dépasser la température de 700° C sous peine d'une diminution trop notable du rendement. En autorisant l'emploi de températures supérieures, les ultrapressions permettraient à la réaction de se faire plus rapidement, avantage qui s'ajouterait à celui du rendement volumétrique accru : à 850° et sous 4 500 atmosphères, la transformation en ammoniac du mélange azote-hydrogène est pratiquement complète.

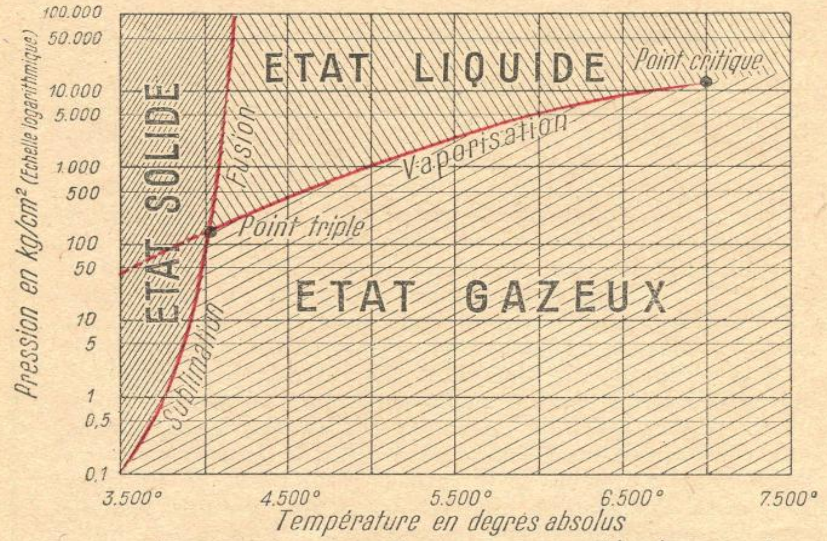


FIG. 4. — DIAGRAMME DES ÉTATS DU CARBONE (D'APRÈS BASSET)

Les conditions d'équilibre des différents états du carbone sont représentées ici. Dans les zones hachurées, le carbone ne peut exister qu'à l'un des états solide, liquide ou gazeux. Les courbes de fusion, de vaporisation, de sublimation, sont au contraire le lieu des points d'équilibre de deux des trois états. Enfin le point triple représente les conditions pour lesquelles les trois états peuvent exister simultanément. La courbe de vaporisation s'arrête au point critique, au delà duquel n'existe qu'un fluide unique qui peut passer, par variations insensibles et sans discontinuité, des propriétés de l'état liquide à celles de l'état gazeux.

Les ultrapressions et la matière vivante

Basset et Macheboeuf ont étudié l'effet des très hautes pressions sur divers organismes vivants et substances biologiques (2). Les cellules cancéreuses sont détruites sous 1 500 à 2 000 kg/cm², les bactériophages sous 3 000 à 4 000, les virus des animaux sous 4 000 à 5 000, les bactéries non sporulées sous 6 000 à 7 000, les virus des plantes (mosaïque du tabac) sous

(1) La réaction est la suivante :
$2\ N_2 + 5\ O_2 + 2\ K_2O \rightarrow 4\ NO_3K$.

(2) Voir : « Microbes, toxines, venins aux ultrapressions » *(Science et Vie,* n° 244, octobre 1937).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

10 000, les diastases et toxines sous 15 000 à 20 000; enfin, les spores bactériennes résistent à plus de 20 000 kg/cm². La spécificité anaphylactique (1) est modifiée sous 5 000 kg/cm². Enfin sous 5 000 à 10 000 kg/cm² les globulines (2) sont coagulées, tandis que les albumines restent intactes.

Les ultrapressions et le problème du diamant

La préparation artificielle du diamant a-t-elle été réalisée? Bien qu'elle ait fait l'objet d'un grand nombre de recherches, cette question reste encore sans réponse définitive. On sait que Moissan affirma avoir obtenu des diamants en très petite quantité en refroidissant rapidement une solution de carbone dans du fer. L'opération était délicate, car il fallait ensuite isoler quelques milligrammes de diamant de plusieurs kilogrammes de fonte, et surtout détruire le carbone amorphe et le graphite, bien plus abondants que le diamant, sans toucher à celui-ci. Divers auteurs ont repris les travaux de Moissan, généralement par la même méthode, et ont obtenu des résultats tantôt positifs, tantôt négatifs. Il semble que l'expérience de Moissan n'ait été confirmée que lorsqu'on a refroidi la masse brusquement, sans qu'une pression élevée, même de plusieurs milliers de kg/cm², puisse suppléer à ce refroidissement. Cependant, tout récemment (1943), Gunther, Geselle et Rebentisch ont répété les expériences de Moissan avec un dispositif expérimental perfectionné, et le résultat a été négatif.

Les mêmes auteurs ont également fait d'autres expériences en utilisant un appareil spécialement conçu et susceptible de fournir pendant un temps très court une pression instantanée de 120 000 kg/cm². En soumettant à de telles ultrapressions du graphite et des bâtonnets de carbone amorphe chauffés à très haute température (3 000° C), aucune transformation en diamant n'a été observée. Ces résultats concordent avec ceux de Basset qui, un peu plus tôt, avait également utilisé des ultrapressions et des températures de l'ordre de 3 000° C sans jamais pouvoir obtenir de diamant, quel que soit le mode de libération du carbone : abandon par des solutions métalliques saturées, décomposition de solides, liquides ou gaz carbonés, etc... L'instabilité à haute température du diamant par rapport au graphite est donc confirmée, et le problème du diamant reste non résolu. Il n'est cependant pas exclu que des recherches fondées sur l'étude du diagramme des états du carbone (dont il a été question plus haut) permettent un jour prochain de mettre fin à cet état de choses. L'emploi des ultrapressions permettra alors de réaliser des conditions expérimentales analogues aux conditions géologiques qui ont présidé à la formation du diamant naturel.

Jean FRANCIS.

(1) L'anaphylaxie est la propriété que possèdent certains poisons, comme les toxines microbiennes, de diminuer l'immunité spécifique quand ils sont injectés à des doses non mortelles.

(2) Les globulines sont des protéines contenant à peu près tous les acides aminés, y compris le glycocolle qui fait défaut dans les albumines.

Jusqu'à ces dernières années, les fluides frigorigènes utilisés dans les machines frigorifiques étaient presque exclusivement l'anhydride sulfureux (SO_2), l'ammoniac (NH_3), l'anhydride carbonique (CO_2) et le chlorure de méthyle (CH_3Cl). Mais depuis 1930, la découverte des propriétés thermodynamiques des dérivés fluorés et chlorofluorés d'hydrocarbures, aliphatiques tels que le méthane, l'éthane, le propane, le butane, etc... a produit dans ce domaine une véritable révolution. L'emploi de ces dérivés est d'ailleurs d'autant plus avantageux que la plupart d'entre eux sont non toxiques et ininflammables. C'est surtout le dichlorodifluorométhane, appelé techniquement « Fréon 12 » qui s'est avéré d'une grande valeur, puisqu'il est même supérieur à l'ammoniac par certaines de ses propriétés thermodynamiques. Il est aujourd'hui employé sur une vaste échelle, surtout dans les installations de conditionnement d'air, où l'on apprécie particulièrement son innocuité physiologique.

A la suite du « Fréon 12 » on a étudié de nombreux autres dérivés fluorés et chlorofluorés que l'on a groupés sous le nom générique de *Fréons* et parmi lesquels se trouvent notamment les corps de formules $CFCl_3$, CF_3Cl, $CHCl_2F$, CHF_3, $C_2F_3Cl_3$, $C_2Cl_2F_4$, etc... On dispose ainsi de toute une gamme d'agents frigorigènes dont chacun est spécialement approprié à une utilisation particulière et pami lesquels on est par avance certain de trouver dans chaque cas celui qui remplira parfaitement les conditions requises. Le nombre des dérivés chlorés et fluorés qu'admettent les premiers termes de la série des hydrocarbures aliphatiques est d'ailleurs si considérable (il y en a 54 pour le seul éthane) que les possibilités sont loin d'être épuisées dans ce domaine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LA TECHNIQUE DU FILM SCIENTIFIQUE SE PERFECTIONNE SANS CESSE

par MM. Pierre BRARD et Guy TASSEL
Anciens élèves diplômés de l'Ecole Technique de Cinématographie de Paris

La valeur éducative du cinéma est apparue à l'évidence dès l'origine; à l'époque du film muet déjà, des bandes de grande valeur ont pu être réalisées, et il est évident que les possibilités ont été considérablement étendues par la mise au point du film sonore et du film en couleur. On peut dire qu'il n'est pratiquement plus aujourd'hui de domaine de la science ou de la technique dont le cinéma ne puisse contribuer à la vulgarisation ou faciliter l'enseignement. L'adulte comme l'enfant s'instruisent surtout par la vue et on ne saurait discuter la supériorité de la « leçon de choses » sur le raisonnement abstrait, et de l'observation directe sur la simple évocation. Mais le cinéma peut faire plus que transposer la réalité brute sur un écran : le microscope et même l'ultramicroscope l'aident à faire pénétrer l'étudiant dans le monde mystérieux de l'infiniment petit; les rayons X lui révèlent un grand nombre de mécanismes cachés; ralentis et accélérations mettent en évidence les phénomènes trop rapides ou trop lents pour être analysés sans expédient; enfin et surtout, la technique du dessin animé vient apporter ses infinies possibilités pour l'animation des graphiques et des schémas explicatifs. Ainsi l'illustration des leçons magistrales, jusqu'ici inanimée parce que exclusivement livresque, a acquis le mouvement, le bruit, la vie en un mot, et le cinéma scientifique, bien qu'encore insuffisamment généralisé, peut être considéré aujourd'hui comme un des moyens de diffusion et d'enseignement les plus puissants et les plus précieux.

DEPUIS 1895, date à laquelle Auguste et Louis Lumière ont créé le premier « cinématographe », dont le principe essentiel est encore aujourd'hui en vigueur, une première partie du problème de l'enseignement par l'image pouvait être considérée comme résolue. Avec du temps, de l'audace et un peu d'ingéniosité, il semblait même que tout fût à la portée du cinéma, et, effectivement, tout ce que l'œil humain peut observer *directement* sur un point quelconque de notre globe nous fut apporté à l'écran ou eût pu l'être. La technique cinématographique se perfectionnant, non seulement le mouvement, mais encore les bruits, les couleurs, le relief même furent respectés et composaient une évocation vraiment satisfaisante de la réalité, dans laquelle l'enseignement a pu puiser d'innombrables documents qu'il n'a cependant pas jugés suffisants pour constituer à eux seuls des leçons, mais qu'il a seulement utilisés comme compléments.

C'est que le cinéma « documentaire », tel que nous venons de le définir, ne fait que nous rapporter sur un écran les images fidèles de la réalité, son « reflet » en quelque sorte. Or certains phénomènes, les plus simples en apparence, ne nous révèlent à l'examen direct rien ou pas grand'chose de leur nature intime.

La rapidité, l'extrême lenteur, la petitesse, l'inaccessibilité, la complexité sont autant d'obstacles à l'examen que l'œil humain, livré à ses seules ressources ou aidé du seul objectif photographique, est impuissant à surmonter. Le véritable « cinéma scientifique » exige la combinaison ingénieuse des possibilités déjà merveilleuses du cinéma avec les moyens nouveaux et puissants que la science et la technique modernes mettent à notre disposition.

La mise en évidence des phénomènes trop lents ou trop rapides

L'œil étant un instrument très imparfait, certains mouvements peuvent lui échapper uniquement en raison de leur vitesse, même s'ils sont par ailleurs très simples et alors que ni l'aspect, ni les dimensions, ni la position du corps en mouvement ne pourraient gêner leur perception. Qui de nous, par exemple, a pu suivre une balle sortant de la bouche d'une arme à feu, ou discerner les battements d'ailes d'un moustique? Pour des raisons inverses, qui sont leur extrême lenteur, nous demeurons aveugles devant d'autres phénomènes courants, comme la croissance d'un arbre par exemple, et nous ne pouvons que *constater l'existence* de ces phénomènes grâce à leurs résultats et en étudier certains caractères à l'aide de nos autres sens. Ainsi sans avoir pu discerner les mouvements de l'aile du moustique, nous en déduirons cependant la fréquence, grâce au son qu'ils émettent. Cependant, les sens autres que la vue ne peuvent nous renseigner sur certaines caractéristiques du phénomène, telles que la forme du mouvement ou son amplitude. C'est au cinéma scientifique de les *adapter* aux possibilités de notre œil.

On sait que le principe essentiel du cinéma

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est l'*analyse*, puis la *synthèse* du mouvement. L'analyse consiste simplement à prendre un certain nombre de vues « instantanées » du sujet, par seconde, et constituera donc une *série discontinue* de ses positions successives dans l'espace et dans le temps. Cet enregistrement incomplet du mouvement donnera pourtant, lors de la synthèse, une illusion parfaite de la continuité de ce mouvement, à condition toutefois que la succession des images devant notre œil soit *suffisamment rapide* (persistance rétinienne).

L'analyse constituant la *prise de vues* et la synthèse la *projection*, ces deux opérations sont habituellement exécutées exactement à la même cadence, ce qui fait qu'il n'y a dans leur résultat final ni accélération, ni ralentissement du mouvement original (voir fig. 1 A, exemple du mouvement sinusoïdal).

Si, par contre, sans modifier la cadence de prises de vues, nous *accélérons* la vitesse de défilement des images à la projection, il est évident que nous accélérerons le mouvement final par rapport au mouvement original (fig. 1 B).

Par contre, en *ralentissant* la vitesse de projection, nous obtiendrons un ralentissement de ce mouvement (fig. 1 C).

Nous avons là un moyen de modifier la vitesse apparente des phénomènes; voyons s'il est utilisable pratiquement.

Depuis l'avènement du cinéma parlant, la cadence de succession des images, qui ne tenait compte antérieurement que des nécessités de la persistance rétinienne et avait été fixée, pour ce faire, à 16 images par seconde, a été portée, afin de permettre un enregistrement et une restitution meilleures des hautes fréquences (7 500 à 8 000 périodes par seconde), à 24 images par seconde. Etant donné qu'à une cadence inférieure à 16 images par seconde l'œil perçoit l'extinction qui sépare en fait la projection de deux images successives, la marge de ralentissement à laquelle nous pouvons prétendre en agissant sur la seule vitesse de projection se réduit à 8 images par seconde, c'est-à-dire un ralentissement d'un tiers seulement, ce qui est *absolument inopérant* pour des vitesses de l'ordre de celles dont nous avons parlé tout à l'heure. Enfin ce ralentissement serait obtenu au détriment des qualités du son.

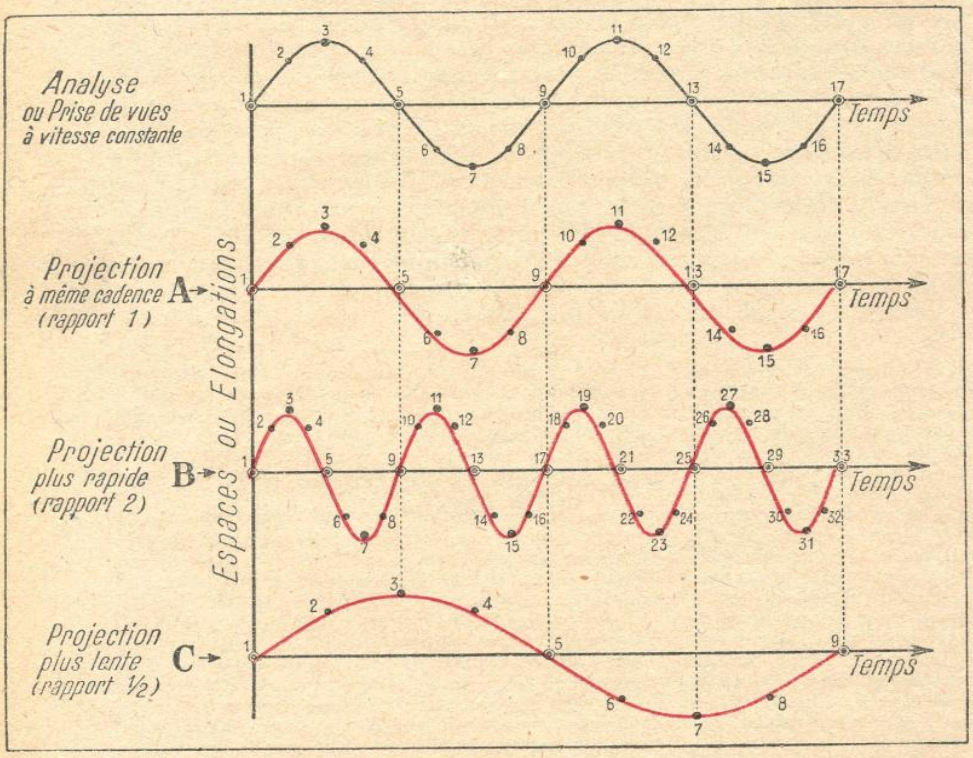


FIG. 1. — LE PRINCIPE DE L'ACCÉLÉRATION ET DU RALENTISSEMENT D'UN MOUVEMENT CINÉMATOGRAPHIÉ

On a pris ici pour exemple le cas d'un mouvement sinusoïdal simple. Les courbes représentent le mouvement continu, les points numérotés figurant les différentes positions enregistrées. On voit que la courbe A, correspondant à une projection à la même cadence que la prise de vues, est une reconstitution fidèle du mouvement. Avec la courbe B, résultant d'une projection de vitesse double, deux oscillations complètes sont restituées pendant une période complète du mouvement original, qui apparaît ainsi accéléré. Avec la courbe C, obtenue avec une projection plus lente, pendant une période complète du mouvement original, une demi-oscillation seulement est restituée, l'oscillation complète n'étant obtenue qu'en un temps double, d'où un ralentissement apparent. On voit sur cet exemple que seul le rapport de la cadence de projection à la cadence de prise de vues intervient pour l'accélération ou le ralentissement apparents du mouvement original lors de la projection.

Voyons pour l'accélération. On sait que le film défile dans la projection d'une façon saccadée, de manière que chaque image vienne s'immobiliser dans la fenêtre pendant sa projection sur l'écran. Cette condition est indispensable, avec les mécanismes utilisés, pour obtenir des images stables verticalement et éviter ce qu'on appelle le « filage », sensation qu'on conçoit aisément même quand on ne l'a pas constatée « de visu ». A la cadence normale, 24 images devront donc se succéder de façon saccadée devant la source lumineuse, en une seconde, et cette nécessité laisse un temps déjà bien court pour chaque substitution, si l'on tient compte qu'il faut déduire, du temps dont on disposerait si chaque arrêt n'était qu'instantané, le temps d'arrêt effectif de chaque image, dont dépend *directement*, on le conçoit, la luminosité de la projection. En fait, la mise en mouvement du film doit être très brusque et les efforts d'inertie résultant des très grandes accélérations de ce mouvement sont considé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rables malgré le petit nombre d'images, c'est-à-dire la faible masse du film qui se trouve sollicitée. L'entraînement de la pellicule se fait, ne l'oublions pas, à l'aide de deux simples griffes engrenant dans des perforations pratiquées dans la bande elle-même. Les efforts d'inertie doivent être supportés par une très petite surface de matière plastique et la pression qui en résulte est d'autant plus grande. Dans ces conditions, le nombre de passages qu'on peut demander à une copie est déjà trop souvent abrégé par le déchirement des perforations; il est donc difficile d'envisager l'augmentation de cette vitesse. Bien entendu, il existe d'autres moyens optiques de projection qui permettraient d'éliminer cet obstacle, mais leur entretien serait trop délicat; d'ailleurs, l'accélération de la projection n'est pas un moyen rationnel d'accélérer les mouvements apparents, car elle exige de grandes longueurs de film pour des scènes relativement courtes à la projection, et cela devient un gros inconvénient lors de la distribution dans les salles, c'est-à-dire au stade de l'exploitation commerciale du film. Bien au contraire, en jouant sur *la cadence de la prise de vues*, nous allons voir qu'une marge bien plus grande nous est permise tant dans les accélérations des mouvements initiaux que dans leur ralentissement.

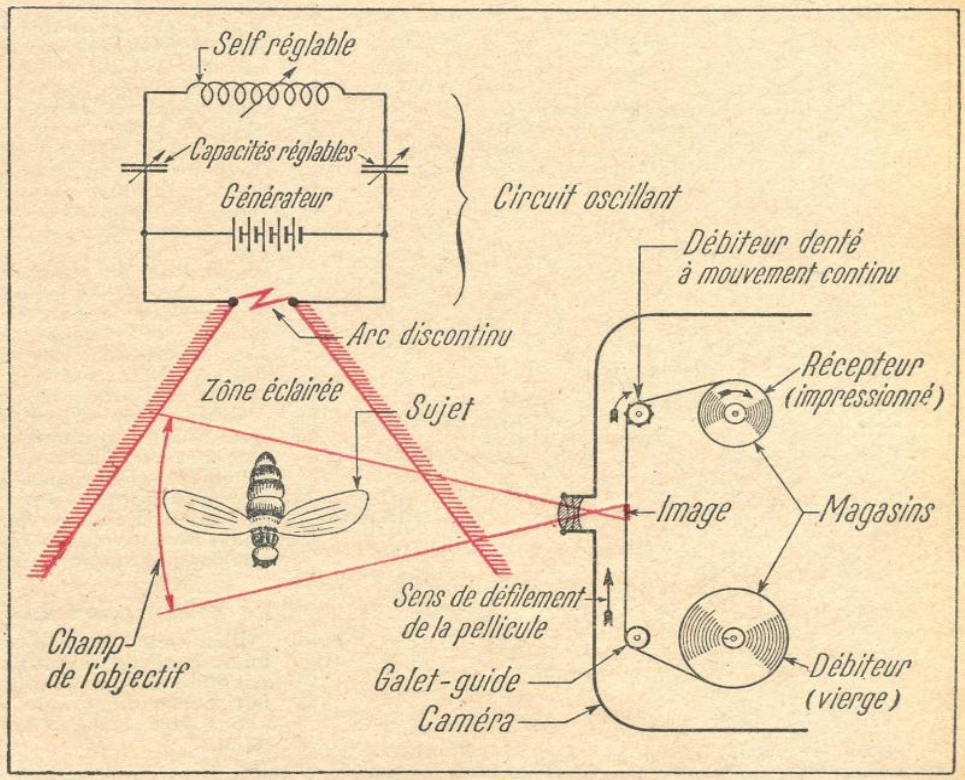


FIG. 2. — SCHÉMA DE PRINCIPE SIMPLIFIÉ D'UNE CAMÉRA POUR PRISES DE VUES ULTRARAPIDES

La pellicule défile d'une manière continue et à grande vitesse devant l'objectif de la caméra. L'objet à cinématographier est éclairé par une source spéciale, étincelle à haute fréquence. Chaque décharge dure un temps très court, si court que malgré les mouvements rapides, tant de l'objet que de la pellicule, chaque image enregistrée demeure nette.

Si nous continuons à projeter à 24 images par seconde un film dont nous aurons impressionné seulement *une* image dans le même temps, il est clair que cela reviendra au même qu'accélérer la vitesse de projection, pour la porter à 24×24 images par seconde, en conservant par ailleurs une cadence de prise de vues de 24 images par seconde; en effet, ce qui compte pour le résultat final, c'est le *rapport des deux cadences* et non leurs valeurs absolues, qui n'interviennent en rien, ainsi que nous l'avons constaté (fig. 1, A, B, C).

Or, rien ne nous empêchera d'effectuer la prise de vues à une cadence beaucoup plus lente encore, telle qu'une image par heure, par jour, par mois ou par an. Nous obtiendrons ainsi des accélérations sans autres limites que celles de notre patience, et nous pourrons, en projetant nos films à la cadence normale, voir en quelques instants se développer des phénomènes qui demandent en réalité une durée telle qu'elle les met hors de nos possibilités d'observation directe. C'est ainsi qu'en ayant soin d'amener *l'éclairement du sujet à une valeur constante* lors de chaque prise de vues journalière, mensuelle ou annuelle, nous pourrons admirer l'évolution complète d'un arbre au cours d'une leçon, laquelle nous mettra ainsi en présence du phénomène concret, *respecté dans tous ses caractères*, sauf sa vitesse d'évolution, et qui nous apparaîtra simplement comme si nous l'avions *directement observé*, en faisant « marcher le temps » 1 000, 10 000 fois plus vite, puisque notre œil complètera les infinités d'étapes manquantes en *liant* les images entre elles comme si elles étaient sans discontinuité, grâce à la cadence de projection et à ses conséquences physiologiques déjà citées. Tous les phénomènes très lents seront ainsi mis à la portée de l'éducateur (réactions lentes, cristallisations, métamorphoses, croissances végétales, phénomènes d'érosion, mouvement des glaciers, etc.).

Comment allons-nous maintenant « ralentir » les phénomènes trop rapides? Pour arriver à ce résultat, nous l'avons vu, il est nécessaire que la cadence de projection soit plus lente que leur prise de vues. Puisque nous ne pouvons ralentir sensiblement la première, il s'agit donc d'accélérer la seconde. Or, nous nous

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

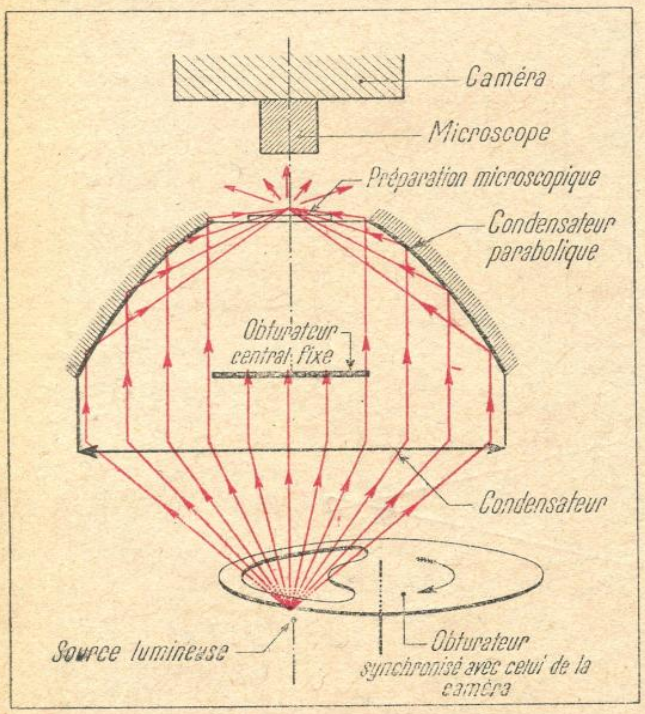


FIG. 3. — UN DES MONTAGES OPTIQUES PERMETTANT L'ÉCLAIRAGE LATÉRAL DES PRÉPARATIONS POUR L'ULTRAMICROSCOPIE

Après réflexion sur un condensateur parabolique, les rayons lumineux frappent la préparation et subissent la réflexion totale, de sorte qu'aucun rayon direct ne tombe sur l'objectif. Seuls sont reçus les rayons diffusés par les particules de la préparation qui apparaissent ainsi brillantes sur un fond sombre. Un obturateur supplémentaire synchronisé avec celui de la caméra soustrait les préparations fragiles à l'action constante des rayons lumineux.

sommes heurtés, lorsque nous avons envisagé une accélération du défilement du film à la projection, au problème de la résistance de ses perforations. Il est évident que, si nous conservons pour la prise de vues le même processus d'entraînement de la bande, nous nous heurterons aux mêmes inconvénients. Il est vrai qu'ici le film n'a qu'un nombre très limité de passages à effectuer, *généralement même un seul*, et par conséquent chaque perforation n'a qu'une traction à subir. Mais encore faut-il qu'elle puisse résister à cette traction, ce que nous ne pourons obtenir au delà de cadences de l'ordre de 100 images par seconde. Cette marge étant insuffisante dans de nombreux cas, on a imaginé et réalisé différents systèmes ingénieusement conçus dont nous retiendrons seulement celui qui a généralement prévalu pour des raisons de simplicité mécaniques et d'éclairement.

Voici ce procédé (fig. 2).

En faisant défiler la pellicule d'un *mouvement continu* devant la fenêtre d'impression (ce qui supprime tout effort d'inertie, l'accélération du mouvement étant nulle), on éclaire le sujet à analyser *par intermittence*, grâce à un circuit électrique « oscillant » produisant entre des éclateurs un arc interrompu. On règle la fréquence de l'étincelle grâce à une modification des valeurs de la self et de la capacité, et on peut obtenir ainsi des fréquences de l'ordre de 100 000 périodes par seconde, ce qui nécessite qu'on « souffle » l'arc obtenu par un jet de gaz comprimé pour lui conserver sa discontinuité. La durée de chaque illumination de l'objet est de l'ordre du millionième de seconde, ce qui explique que l'image obtenue soit pratiquement nette malgré le défilement continu de la surface sensible et la vitesse linéaire considérable du mobile. En calculant convenablement, en fonction de la fréquence des éclairages, la vitesse constante de déplacement à donner à la pellicule, on obtiendra entre chaque étincelle un déplacement égal à la longueur d'une image, si bien que le film se composera d'une suite normale d'instantanés qu'on pourra projeter exactement dans les conditions habituelles et qui reconstitueront le mouvement initial ralenti 100 000 : 24 fois, soit environ 4 000 fois.

Grâce à un tel procédé, nous pourrons analyser d'une façon suffisamment poussée les phénomènes les plus rapides, pour les rendre *parfaitement observables* à l'écran, et c'est ainsi que nous assisterons par exemple aux battements des ailes d'un insecte, à la propagation des ondes sonores ou au mouvement d'un projectile quelconque sur sa trajectoire.

Le microscope auxiliaire de la caméra

Bien que l'étude des phénomènes à l'échelle microscopique ne soit pas l'exclusivité du cinéma scientifique au même titre que la précédente, elle fait partie intégrante de son domaine, nous allons voir grâce à quelles ingénieuses adaptations.

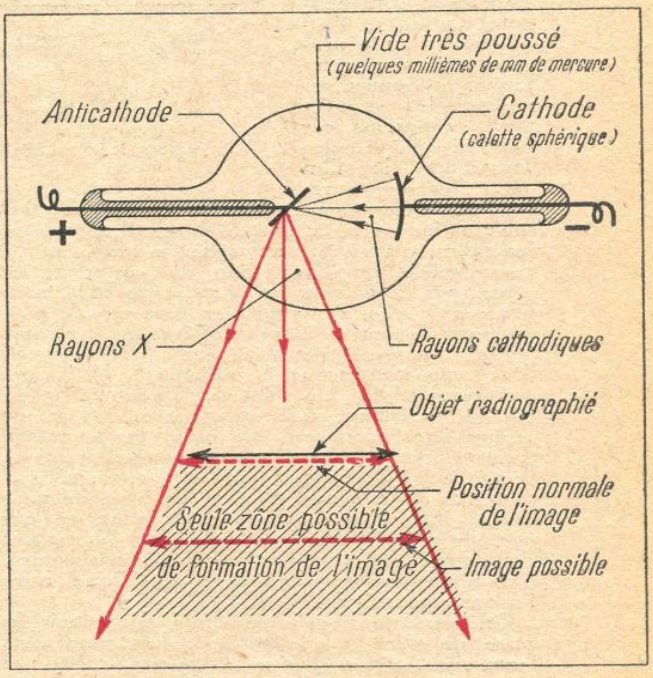


FIG. 4. — LE PRINCIPE DE LA RADIOGRAPHIE

Les rayons X issus de l'anticathode frappent l'objet à radiographier et en donnent une image par transparence sur un film photographique. Les dimensions de cette image sont toujours au moins égales à celles de l'objet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Notre œil n'ayant pas une acuité suffisante pour percevoir tous les corps, nous sommes astreints, pour pouvoir observer ceux dont les dimensions réelles ou apparentes sont trop réduites, à recourir à des systèmes optiques spéciaux. *Microscope* et *télescope* conviennent parfaitement à l'étude *individuelle*. Ils cessent par contre d'être, seuls, efficaces, pour l'enseignement en groupe et pour l'observation de phénomènes ultrarapides ou extrêmement lents. Il était donc indispensable, pour compléter leur pouvoir d'investigation, d'allier leurs moyens à ceux du cinéma.

Si nous adaptons convenablement un microscope, par exemple, sur la caméra, il peut jouer le rôle d'objectif et permettre de photographier l'image qu'observe habituellement l'œil de l'étudiant. Dans la généralité des cas, ce simple procédé nous permettra d'assister aux évolutions des infiniment petits sur un écran ; mais les microbes ne se livrent pas tous à l'examen ordinaire, et il a été nécessaire, pour différencier certains d'entre eux, de les colorer grâce à divers procédés (de Gram, de Ziehl, etc.) et de les examiner alors *directement fixés* sur une lame, avec l'*objectif à immersion*, c'est-à-dire en interposant entre la lame et la lentille frontale de l'objectif, une goutte de liquide de fort indice de réfraction qui augmente l'ouverture de l'objectif et par conséquent sa luminosité.

Mais ce procédé, qui peut convenir parfaitement au bactériologiste, à qui il permet de déceler la présence de telle bactérie, a l'inconvénient, fatal pour le cinéma, de priver les « sujets » de leurs mouvements, car il est nécessaire de *sécher les préparations* avant leur coloration.

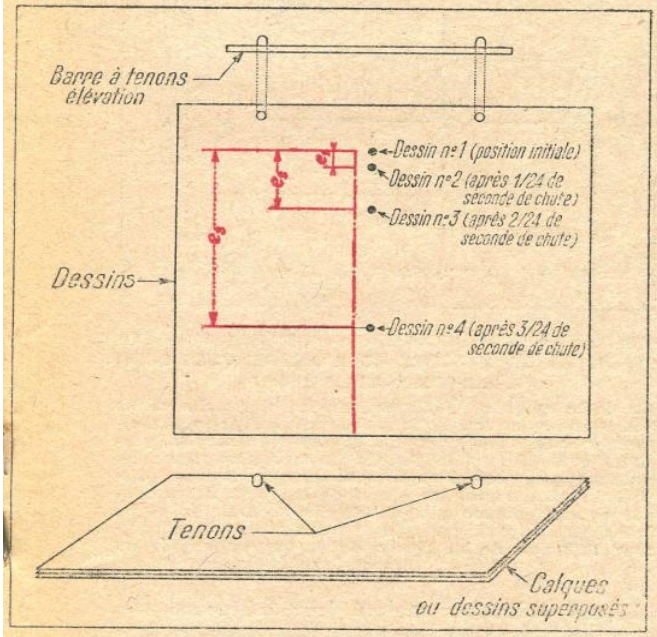


FIG. 5. — EXEMPLE DE DESSINS SUCCESSIFS POUR L'ANIMATION D'UN GRAPHIQUE

Il s'agit ici d'un graphique représentant la chute libre d'un corps dans le vide, sans vitesse initiale. Les positions du corps sont calculées à des intervalles de temps de 1/24 de seconde et reportées sur autant de calques différents dont les positions sont fixées avec précision lors du dessin et lors de la prise de vue grâce à une barre à tenons.

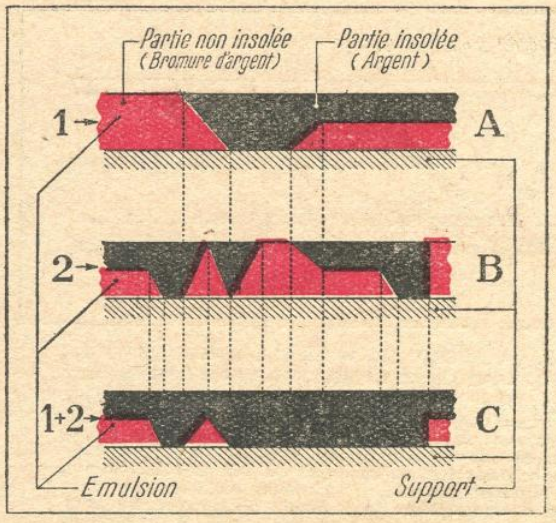


FIG. 6. — LE RÉSULTAT DE LA SUPERPOSITION DE DEUX IMAGES PHOTOGRAPHIQUES A DEMI-TEINTES

En A est représentée une coupe du négatif développé portant la première image seule. En B, le négatif porte la seconde image seule. En C, le négatif a reçu successivement les images 1 et 2. On constate que seules les parties demeurées vierges sur un des deux premiers clichés conservent leur caractère lors de la surimpression (parties à l'extrême gauche et à l'extrême droite du cliché C).

Pour étudier des particules encore plus ténues, que leurs dimensions trop réduites ne permettent plus d'observer quel que soit le grossissement, par suite de l'inévitable phénomène de diffraction, on utilise sans difficultés spéciales les procédés de l'ultramicroscopie. On sait que leur principe réside dans l'abandon de l'habituel éclairage par transparence en faveur d'un éclairage exclusivement latéral.

En effet, nous avons tous remarqué que les poussières fines, invisibles au dehors ou dans une pièce éclairée de toutes parts, deviennent parfaitement décelables dans un rayon de soleil entrant dans une pièce sombre. Elles diffusent en effet dans toutes les directions la lumière qui les frappe latéralement et deviennent ainsi visibles en tant que points brillants sur un fond sombre. De même, les particules ultramicroscopiques éclairées latéralement apparaissent sur un fond sombre, comme des taches de diffraction d'autant plus brillantes que les particules sont plus grosses.

La figure 3 représente un des dispositifs adoptés pour l'ultramicroscopie : On fait arriver sur un *condensateur parabolique* (paraboloïde de révolution), dont l'axe coïncide avec l'axe optique du microscope servant d'objectif à la caméra, un faisceau de rayons lumineux *parallèles à cet axe*, les rayons centraux étant interceptés par un diaphragme circulaire pour éviter qu'ils ne viennent frapper directement la préparation. Les rayons marginaux, après réflexion sur le paraboloïde, sont renvoyés sur la préparation sous un angle d'incidence supérieur à 42° (angle limite air-verre) et se *réfléchissent* alors *totalement* sur la face supérieure de la lamelle pour s'échapper latéralement vers le bas, sans avoir pénétré dans l'objectif. Les seuls rayons lumi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

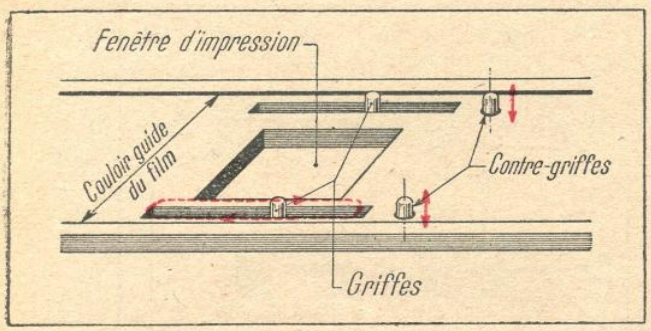


FIG. 7. — SCHÉMA DU SYSTÈME D'ENTRAINEMENT ET D'IMMOBILISATION DE LA PELLICULE DANS UNE CAMÉRA

Les griffes d'entraînement ont pour mission de provoquer le déplacement de la pellicule image par image; elles sont animées d'un mouvement de va-et-vient, de bas en haut et de haut en bas, pour s'introduire dans les perforations du film et l'entraîner. Les contre-griffes, dont la position est fixe, sont destinées à immobiliser la pellicule d'une manière très précise; elles sont animées seulement d'un mouvement de haut en bas et de bas en haut.

neux qui parviendront à celui-ci sont ceux diffusés par les organismes de la préparation, brillamment éclairés sur tout leur pourtour, et les espaces vides intermicrobiens, *ne pouvant diffuser aucune lumière*, apparaîtront comme un fond parfaitement noir sur lequel s' « ébattront » les microorganismes, réalisant ainsi les meilleures conditions de leur visibilité. Si nous avons, par ailleurs, la précaution, pour prolonger la vie de ceux-ci, de ne pas les soumettre à un éclairage trop considérable, grâce à une *obturation synchrone* de la source lumineuse et de la caméra, nous pourrons observer, et par conséquent enregistrer, des scènes assez longues et d'un intérêt exceptionnel. En soumettant ceux de ces phénomènes qui l'exigent à une adaptation ultérieure au point de vue vitesse, et facultativement aux autres adaptations que nous permettra le cinéma scientifique, nous serons capables de révéler au spectateur tous leurs caractères.

Rayons X et cinéma

Certains phénomènes sont cachés à nos yeux par l'enveloppe opaque de l'organisme qui les contient. Leur existence a été longtemps ignorée, puis mal connue grâce à la dissection d'organismes morts. Leur observation *in vivo* a été

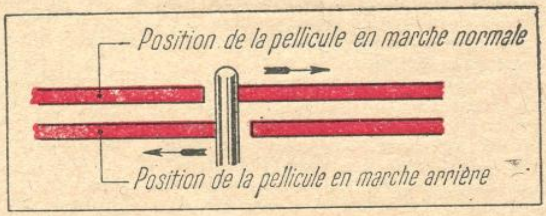


FIG. 8. — LA SUPERPOSITION CORRECTE DES IMAGES DANS LES DEUX SENS DE LA MARCHE NE PEUT ÊTRE ASSURÉE PAR SUITE DU JEU DES PERFORATIONS

La griffe est représentée en position d'arrêt, au moment d'une prise de vue. Le jeu dans la perforation provoque un décalage inévitable entre les positions de la pellicule suivant que celle-ci est entraînée en marche avant ou en marche arrière. L'emploi de contre-griffes est alors indispensable.

enfin accordée à quelques privilégiés et aux professionnels grâce à la découverte des rayons X par le physicien allemand Roentgen.

Les rayons X, qui ont la propriété de traverser plus ou moins complètement certaines substances de poids atomique faible, opaques aux radiations du spectre visible, et, en particulier, les tissus animaux et végétaux, sont émis, comme l'on sait, par tout obstacle (anticathode) placé sur le trajet des *rayons cathodiques* (fig. 4). L'œil n'y est pas sensible, mais fort heureusement, ils ont la propriété de rendre certaines substances lumineuses, *fluorescentes* (platinocyanure de baryum par exemple), ce qui rend leur observation possible (radioscopie). D'autre part, ils impressionnent les émulsions photogra-

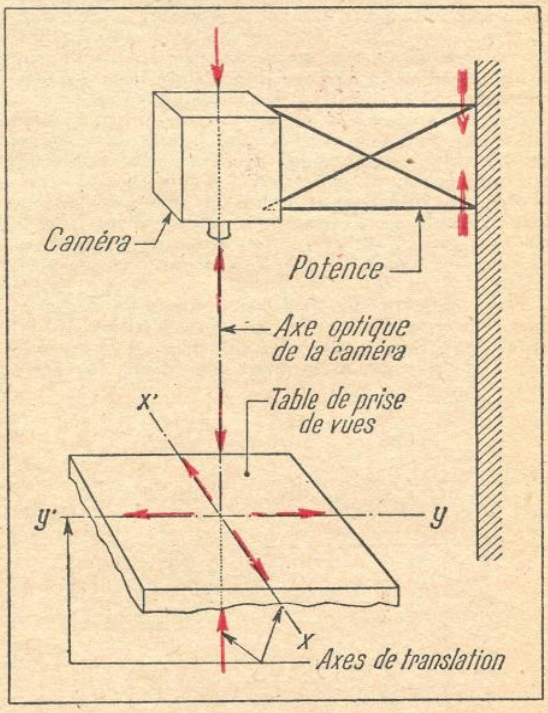


FIG. 9. — LES MOUVEMENTS QUE DOIT POUVOIR EFFECTUER LE MATÉRIEL DE PRISE DE VUES POUR L'ANIMATION DES DESSINS

La table peut se déplacer suivant deux directions horizontales rectangulaires, ce qui lui permet d'effectuer dans son plan toutes les translations possibles suivant une loi fixée à l'avance. En outre, sa hauteur peut varier à volonté. La caméra est disposée verticalement au-dessus de la table et suspendue à une potence qui permet de la soulever et de l'abaisser suivant que l'on veut donner au spectateur l'illusion de s'éloigner ou de se rapprocher du dessin.

phiques ordinaires malgré leur fréquence très supérieure à celles des derniers ultraviolets actiniques (radiographie).

Cependant, le cinéma ne peut utiliser directement les rayons X. En effet, ceux-ci ne suivent pas les lois optiques applicables aux autres radiations et, par exemple, ne se réfléchissent pas, ne se réfractent pas et n'interfèrent pas, du moins dans les conditions habituelles aux radiations du spectre visible. Ces particularités interdisent la formation d'une image optique de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rayons X et l'objectif ordinaire sera sans pouvoir de définition sur eux. Quant à les recevoir directement sur la surface sensible, on ne saurait y songer, car, se propageant en ligne droite, comme les autres rayonnements, ils donnent des images dont les dimensions sont nécesairement supérieures à celles du sujet, puisqu'il n'y a pas de réfraction ni de réflexion possibles, et l'image sera toujours homothétique de l'objet dans un rapport plus grand que 1 (fig. 4). L'analyse cinématographique directe est donc impossible, et on est ainsi conduit à enregistrer l'*image visible* qu'ils forment en frappant un écran fluorescent. Cette image est parfaitement photographiable par les procédés habituels et, par conséquent, la caméra sera, là encore, mise en mesure d'analyser de nouveaux phénomènes que le cinéma scientifique nous restituera ensuite à l'écran, parfaitement adaptés aux nécessités de l'observation.

L'animation des graphiques

Le cinéma scientifique ne saurait borner son domaine d'action aux sujets qui ressortissent aux procédés précédents, par lesquels l'objectif de la caméra et celui de l'appareil de projection ne font après tout que transmettre, en en modifiant seulement le rythme et les dimensions, des images réelles, sans les interpréter. Or innombrables sont les phénomènes qui demeurent hors de la portée de l'objectif, soit parce qu'ils sont matériellement inaccessibles (fonctionnement interne d'une machine en marche, mécanisme des réflexes nerveux, circulation sanguine, etc.), soit parce qu'ils sont trop complexes, soit enfin parce qu'ils font appel à des notions abstraites (variations de fonctions, dérivées, accélérations, etc.).

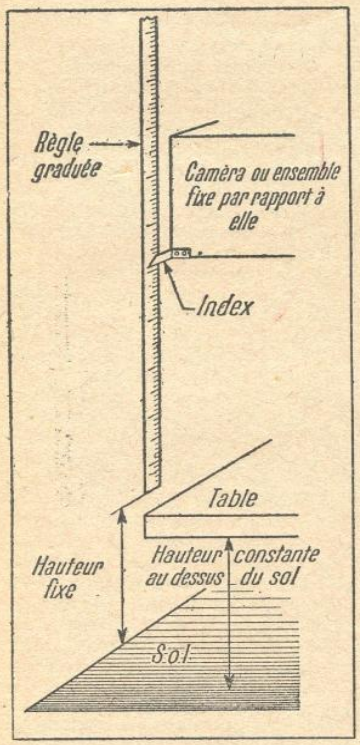


FIG. 10. — COMMENT ON REPÈRE LA POSITION DE LA CAMÉRA POUR LES SURIMPRESSIONS

Un point quelconque de la caméra est muni d'un index qui permet de contrôler ses différentes positions en hauteur sur la potence, à laquelle est fixée une règle graduée fixe. Ainsi la caméra peut être ramenée toujours à la même position pour une même image.

Dans la plupart de ces cas on a l'habitude d'« aménager » la réalité et de concrétiser l'abstrait par des représentations graphiques qui symbolisent les raisonnements ou par des schémas qui ne retiennent que les principes essentiels. Le cinéma scientifique utilisera ces moyens d'expression mais en leur ajoutant le mouvement.

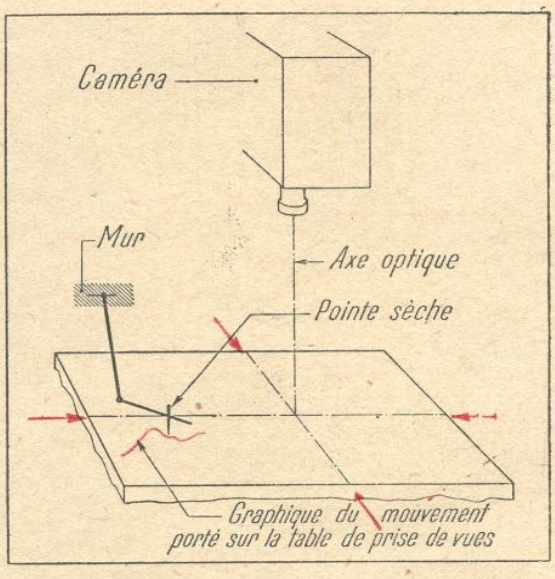


FIG. 11. — COMMENT ON RÈGLE LES MOUVEMENTS DE LA TABLE PORTANT LES DESSINS A ANIMER

Cette table est portée par deux chariots mobiles dans deux directions rectangulaires. On règle leurs mouvements pour qu'un repère fixe par rapport à l'axe optique de la caméra suive un graphique tracé à l'avance. Ce dernier matérialise les déplacements successifs du centre du cadrage de la caméra. On pourrait également décomposer ce graphique suivant ses coordonnées; on porterait alors pour chaque image la valeur de l'abscisse et celle de l'ordonnée sur les réglettes de contrôle du chariot correspondant.

Jusqu'ici, nous avions pris le mouvement dans le monde réel; maintenant, ce n'est plus la « chronophotographie » qui nous fournira les images du film, c'est nous qui devrons les imaginer et les combiner pour reconstituer le mouvement voulu à l'aide de dessins différents : cette technique a pour nom l'*animation*.

Supposons que nous ayons par exemple à « reconstituer » le mouvement de chute libre d'un corps dans le vide. Nous partirons de l'expression cinématique de ce mouvement, qui nous donnera, en fonction des temps de chute et de l'accélération due à la pesanteur, les espaces parcourus par un mobile de vitesse initiale nulle.

Puisqu'il faut 24 images du film pour faire une seconde de projection, le temps qui séparera, dans le temps, deux dessins consécutifs à la projection sera donc de 1/24 de seconde. Comme nous voulons reproduire sans modification de vitesse le mouvement réel, c'est donc tous les 1/24 de seconde qu'il faudra déterminer les distances parcourues par le mobile et les reporter *sur des dessins consécutifs*.

On voit que le problème « constructif » d'un mouvement d'équation connue est toujours simple; il suffit de ne pas perdre de vue le nombre d'images devant défiler normalement en une seconde de projection, ou de choisir un nombre supérieur ou inférieur à celui-ci, si l'on veut *ralentir* ou *accélérer* le mouvement réel.

Cependant, la plupart des phénomènes orga-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

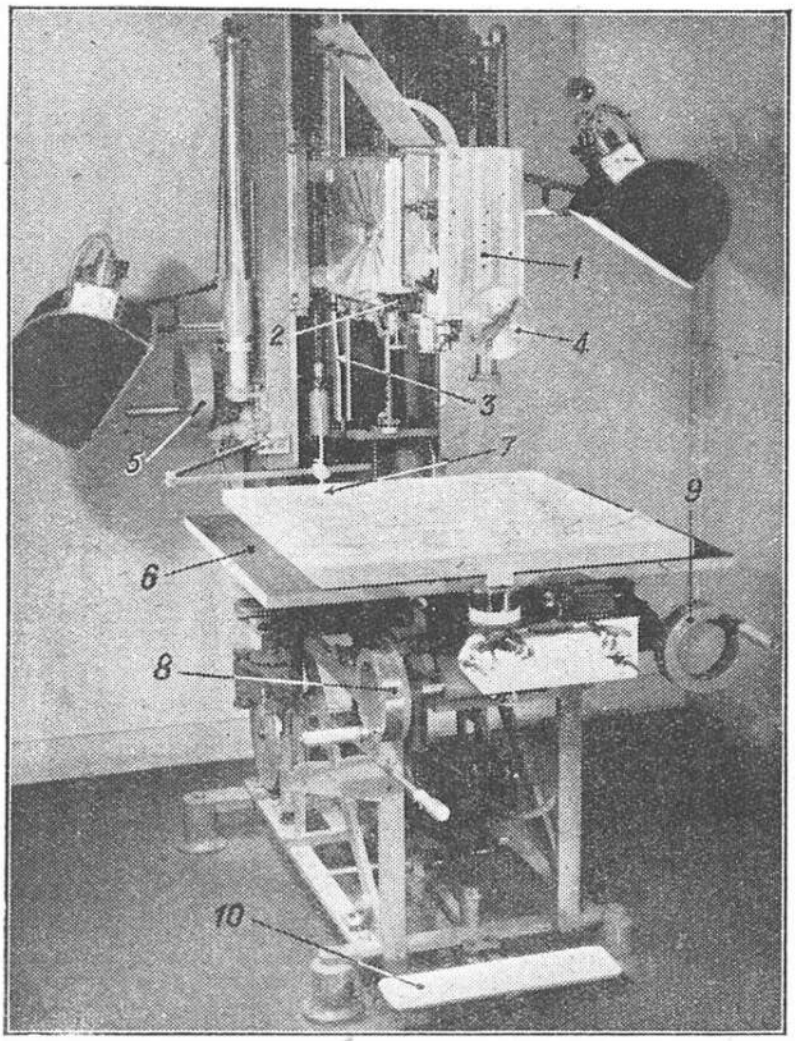


FIG. 12. — CAMÉRA SPÉCIALISÉE ET TABLE DE PRISE DE VUES SPÉCIALEMENT CONÇUE POUR LES FILMS SCIENTIFIQUES

Sur la caméra 1 suspendue verticalement, on aperçoit la loupe de visée à prisme 2. Au fond, à l'intérieur du bâti, se trouve la règle-came 3 de mise au point automatique. Sur le devant de la caméra elle-même, le disque 4 de commande de l'obturateur à ouverture variable. La hauteur de la caméra au-dessus de la table peut être modifiée à l'aide du volant 5. On voit, en 7, le style servant de repère pour les mouvements latéraux de la table, obtenus à l'aide des volants 8 et 9. Enfin, en 10, sous le bâti de la table, se trouve la pédale de commande du dispositif de prise de vues « image par image ». (Photo Brard. Caméra « Eclair ».)

niques évoluent selon des lois qui échappent généralement aux équations les plus complexes et alors, seuls, l'observation, la réflexion et le raisonnement nous permettent de décider des transformations successives à apporter à notre schéma.

Voici comment on procédera pratiquement pour ces enregistrements :

Lorsque la figure dessinée ne se limite pas à un point, il peut y avoir à la fois certaines parties fixes (axes de coordonnées par exemple), tandis que d'autres doivent se mouvoir (courbes représentatives). Répéter à chaque dessin toutes les parties qui n'ont subi aucune modification serait à la fois fastidieux et peu rationnel. En effet, la nécessité de conserver une *similitude parfaite* d'un dessin à l'autre obligerait à exécuter toute cette série avec un soin extrême. On tourne la difficulté en prenant plusieurs photographies successives sur une même « image ». On enregistrera aussi *séparément* les parties mobiles et les parties fixes, utilisant pour celles-ci un seul dessin qui « resservira » pour toutes les photographies, et en ne reportant sur les autres dessins que les seules parties en mouvement.

Lorsque, en photographie courante, il nous arrive de prendre des vues sur la même partie de la pellicule, le résultat est catastrophique, et nous obtenons, non pas deux images complètes et distinctes, mais une image plus ou moins bizarre qui n'est autre que la *somme arithmétique* de ces deux impressions et qui ne conserve le caractère d'aucune des images (fig. 6).

Si nous utilisons par contre comme dessins des figures en blanc sur fond noir, seuls les endroits du négatif correspondant au dessin seront impresionnés, le noir ne diffusant pratiquement pas de lumière. Nous pourrons donc ensuite photographier autant de dessins différents entre eux que cela sera nécessaire sans avoir à craindre de superpositions.

Il est indispensable que les positions de ces dessins les uns par rapport aux autres soient immuables, sans flottement. Pour réaliser cette condition, tant au dessin qu'à la prise de vues, on perce dans tous les supports, avant leur tracé, deux ou plusieurs perforations dans lesquelles peuvent s'engager des *tenons* qui les maintiendront et les ramèneront toujours en coïncidence et par conséquent replaceront les dessins dans des conditions de repérage invariables (fig. 5); lors des prises de vues les dessins viendront tour à tour se placer de la même façon les uns par rapport aux autres oue lors de l'exécution, grâce à leur immobilisation par des tenons dont la position par rapport à la caméra sera *constante* ou *repérable*. Moyennant ces précautions, les parties mobiles pourront venir se raccorder exactement sur les parties fixes et sembleront faire partie du même dessin.

Grâce à la précision de l'outil remarquable qu'est une bonne caméra, il sera possible d'effectuer ces surimpressions d'une façon plus pratique qu'en procédant, pour chaque image, à toutes les impressions de dessins différents, avant de passer à une image suivante.

En effet, les griffes dont la caméra normale est munie pour l'entraînement de la pellicule, permettent à celle-ci de défiler indifférem-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

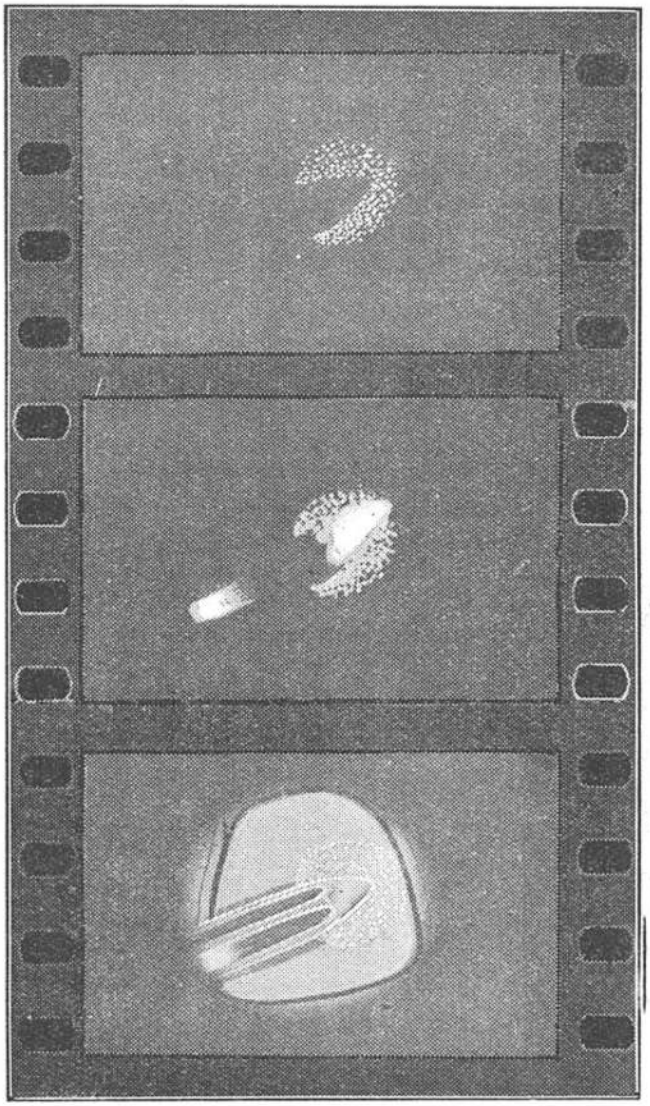
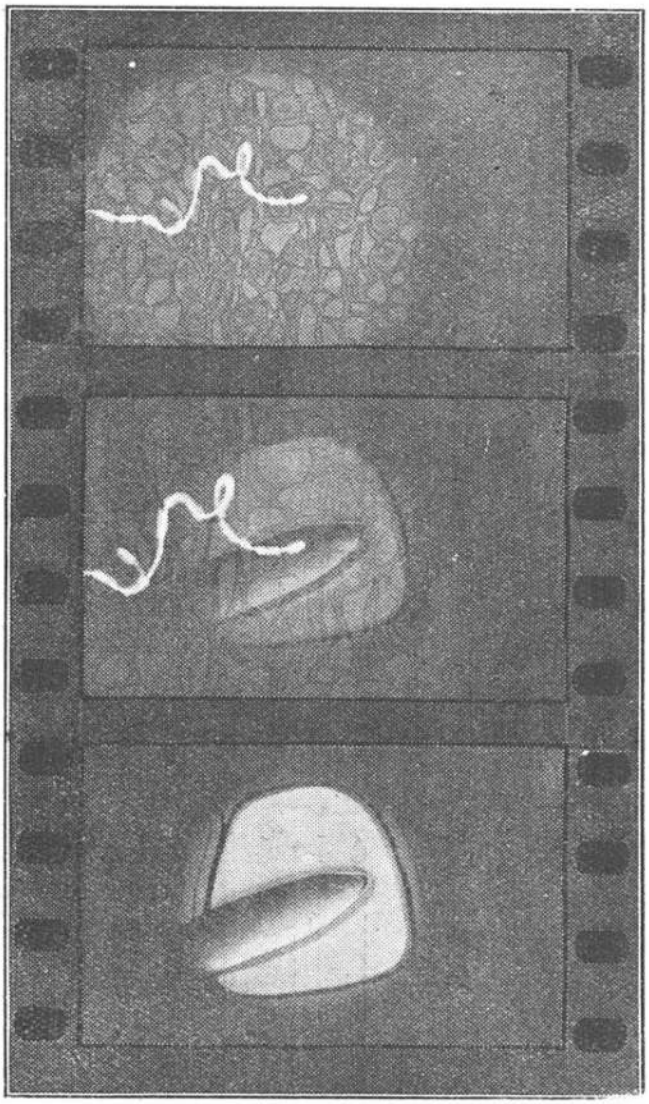


FIG. 13. — UN EXEMPLE DE FORMATION D'UNE IMAGE COMPLEXE PAR SURIMPRESSIONS SUCCESSIVES

En haut : nécrose salivaire; au centre, nécrose salivaire avec mouvement de sève et de salive du pou; en bas : pointe du rostre en coupe à l'intérieur d'une cellule végétale avec le mouvement sève-salive et la nécrose salivaire (voir fig. 15).



Prises de vues Guy Tassel, matériel « Eclair ».

FIG. 14. — EXEMPLE DE PASSAGE PROGRESSIF D'UN DOCUMENT A UN AUTRE (« ENCHAINÉ »)

L'image centrale porte à la fois les deux images destinées à se succéder, la première va en s'estompant progressivement pour ne plus laisser que la vue de la pointe du rostre du « pou de San José » dans une cellule végétale (voir fig. 15).

ment dans les deux sens. Un compteur d'images spécialement adapté à la caméra spécialisée, totalisant en marche normale et décomptant en marche arrière, permet donc de revenir autant de fois que l'on veut à la même image. Celle-ci, pendant son impression, étant en outre immobilisée par des contre-griffes dont la position est fixe par rapport à la fenêtre d'impression, et qui ne font que s'effacer et ressortir sur place à chaque image, nous sommes par conséquent certains que la pellicule viendra se placer *toujours de la même façon* pour une image déterminée, comme si celle-ci était restée en place (fig. 7).

Comme il est nécessaire, chaque fois qu'il y a mouvement, de changer ou de transformer entre chaque impression le dessin qui se trouve sous la caméra, celle-ci est commandée de telle façon qu'elle puisse prendre *une seule image* puis s'arrêter automatiquement, l'*obturateur en position fermée*, c'est-à-dire pendant « l'escamotage » de la pellicule, opération durant laquelle la lumière n'est pas admise dans la chambre noire. Ainsi nous pourrons tranquillement procéder aux substitutions ou aux modifications nécessaires, à l'*animation* en un mot, avant de prendre une nouvelle photographie. L'arrêt de la caméra étant provoqué toujours au *même stade* du mouvement de l'image,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

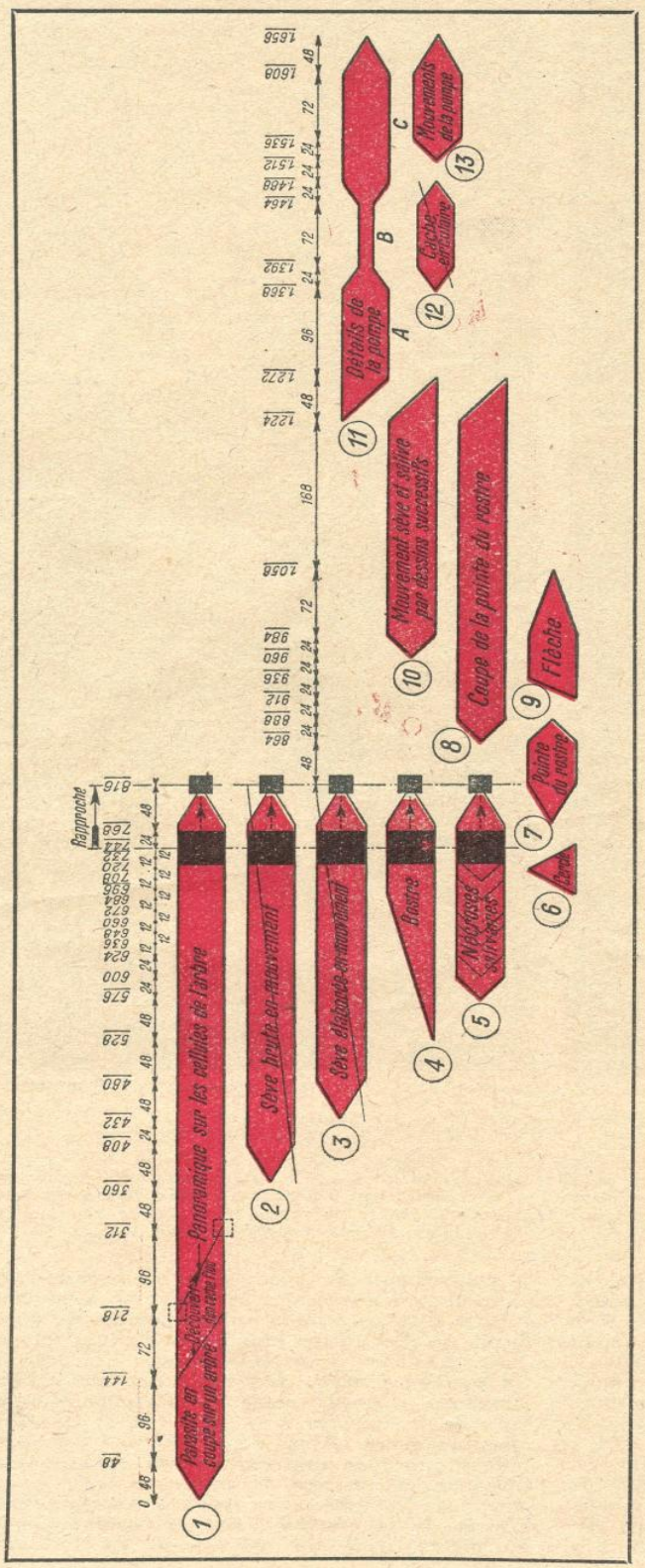


FIG. 15. — EXEMPLE DE DÉCOUPAGE TECHNIQUE POUR L'ANIMATION DES SCHÉMAS D'UN FILM D'ENSEIGNEMENT SUR LE « POU DE SAN JOSÉ »

Le « pou de San José » est un parasite des arbres fruitiers qui se reproduit très rapidement, en particulier sous le climat méditerranéen (une seule femelle y donne naissance à 160 000 insectes adultes entre le mois d'avril et le mois de septembre). Il se présente sous la forme d'un bouclier légèrement conique; collé sur l'écorce des arbres, il se nourrit de leur sève élaborée qu'il atteint à travers les cellules végétales grâce à un « rostre » très extensible qui s'insinue entre les cellules à parois épaisses et digère les éléments de celles qu'il traverse par des injections de salive qui en provoquent la nécrose partielle. Le rostre parvenu dans les cellules du liber, le pou aspire la sève élaborée qui y circule, grâce à un tube accolé à celui qui conduit la salive et dans lequel se produisent des aspirations provoquées par un jeu de muscles très puissants. Le découpage technique imaginaire ci-dessus, fondé sur ce thème, montre comment l'on procède pratiquement, lors d'une prise de vue, aux impressions successives. Grâce à ce schéma, constamment sous les yeux de l'opérateur, la synthèse des images sera parfaite et chaque image définitive semblera n'être qu'un seul dessin complexe, alors qu'elle sera en réalité constituée par plusieurs dessins partiels juxtaposés sur la pellicule. Ici, par exemple, on procédera aux impressions 1, 2, 3, ... 13, en allant, pour chacune d'elles, jusqu'à la fin avant de procéder à la suivante. Le résultat final à la projection sera le suivant : Apparition progressive du parasite collé sur l'écorce (en coupe) (de l'image 0 à l'image 48); les cellules se découvrent vers le cœur du bois (144 à 216), puis la caméra elle-même continue ce mouvement (216 à 312); la sève brute apparaît dans son mouvement ascensionnel (360 à 408); la sève élaborée descendante s'y ajoute (432 à 480) et le rostre du parasite se fraie un passage à travers les cellules (528 à 696) pour atteindre la sève élaborée et produit des nécroses salivaires (576 à 732) dans les parois cellulaires; un cercle se trace et s'efface rapidement autour de la position atteinte par la pointe du rostre (696 à 744) et la caméra se rapproche sur cette vue qui s'enchaîne avec un gros plan de ce rostre (768 à 816), lequel fait bientôt place à une coupe de cet organe (864 à 888); deux flèches se tracent, indiquant l'emplacement des deux canaux et le sens de circulation du liquide dans chacun d'eux (912 à 936), puis s'estompent lentement (984 à 1056), tandis que la sève et la salive apparaissent en mouvement dans le rostre (960 à 984); ce mouvement fait place, par effacement et substitution, au schéma de la pompe qui crée ce mouvement (11 A, 1224 à 1272); puis l'ensemble du schéma s'estompe, sauf une partie de l'image (11 B, 1368 à 1392) où subsistent les points intéressants; le cadre se déplace pour montrer la forme et la fonction de chacun des organes (1368 à 1488), puis l'ensemble de l'image réapparaît (11 C, 1464 à 1488), tandis que la pompe se met en mouvement (1512 à 1536); enfin l'ensemble se fond au noir (1608 à 1656).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

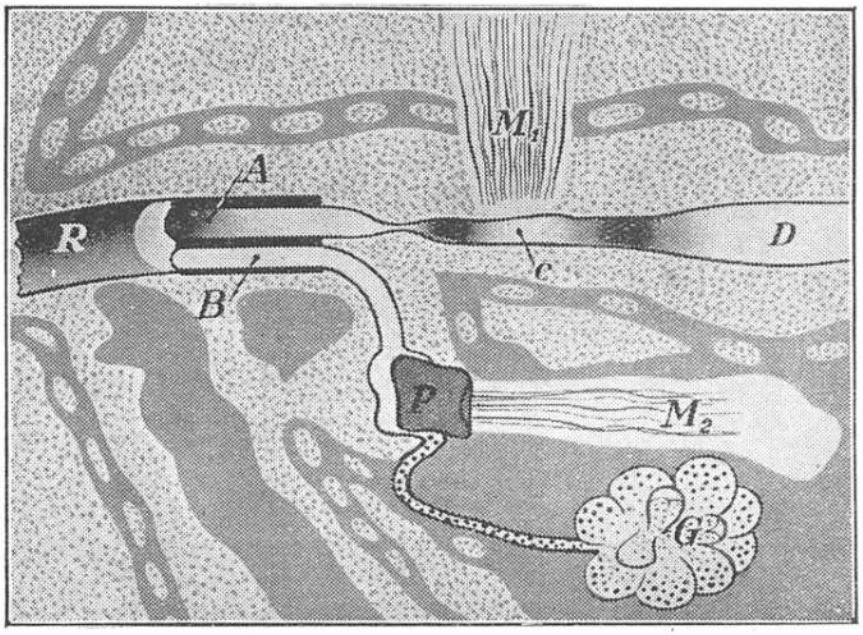


FIG. 16. — SCHÉMA DE LA POMPE ALIMENTAIRE DU « POU DE SAN JOSÉ »

On voit ci-dessus en G les glandes salivaires, en P le piston et le corps de la pompe aspirante et foulante qui refoule la salive dans le canal d'injection B (le muscle M_2 actionne la pompe). Le rostre, dont l'amorce apparait en R, comporte un deuxième canal A servant à l'aspiration de la sève. Celle-ci est conduite dans la cavité C extensible grâce au muscle M_1; elle passe de là dans le tube digestif D.

l'emploi des contre-griffes n'est même plus indispensable pour des surimpressions *dans le même sens de marche* exclusivement. En effet, le jeu des perforations sur les griffes amène une légère différence de position de l'image selon le sens de la marche, qui interdit les surimpressions dans les deux sens sur les appareils non munis de contre-griffes (fig. 8).

Etant donnée la nécessité de travailler sur les dessins en place sous la caméra, on a adopté pour la table qui porte ceux-ci une position horizontale, qui facilite toutes les opérations. La caméra est disposée verticalement au-dessus de la table. Lorsque le sujet aura à accomplir simplement des déplacements relatifs, tels que translations, rapprochement ou éloignement par rapport à l'observateur, il est logique, au lieu de procéder à une animation longue et superflue, de pouvoir déplacer l'*ensemble du dessin*, c'est-à-dire la table elle-même ou la caméra.

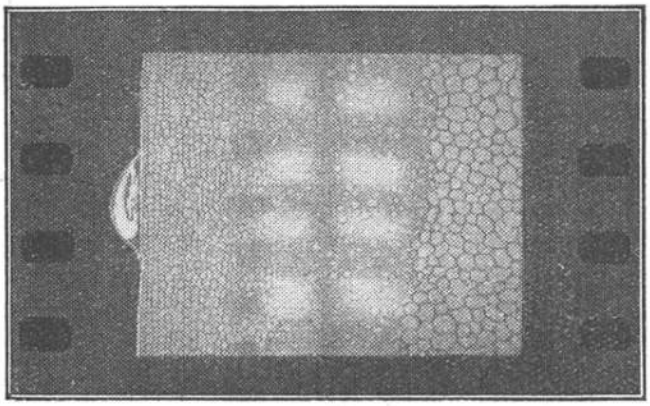
Pour des raisons de précision d'abord, et de simplification mécanique ensuite, on a adopté généralement la disposition suivante (fig. 9) :

La caméra, placée verticalement au-dessus de la « table d'animation », peut s'en rapprocher ou s'en éloigner suivant son axe. La table est elle-même rendue mobile suivant *deux directions perpendiculaires entre elles* et respectivement *parallèles aux côtés de l'image photographiée*. Grâce à la combinaison judicieuse de ces trois mouvements à double sens, on peut obtenir tous les déplacements relatifs imaginables dans l'espace.

Il suffira que nous repérions avec précision les positions successives tant de la caméra que du plateau, grâce à des réglettes graduées par exemple (fig. 10) ou des graphiques (fig. 11) pour que nous puissions adopter le procédé le plus pratique et le plus rationnel de surimpression.

Au lieu de procéder comme en photographie où, l'émulsion sensible restant en place, on enregistre à la suite l'un de l'autre tous les documents à additionner sur le cliché, il est logique, en cinématographie, de garder en place sous l'appareil chaque dessin pendant le nombre d'images où il reste valable. La supériorité de ce moyen apparaît encore plus évidente quand l'animation comprend un dessin de base devant rester fixe pendant toute la durée du film. Avec le procédé « photographique », il faudrait enlever le dessin à chaque image, puisque les autres dessins doivent à leur tour prendre place sous la caméra *avant qu'on puisse passer à l'image suivante;* si 6 dessins, par exemple, sont à « additionner » sur le film pendant toute sa longueur, ce procédé demanderait obligatoirement 6 *n* opérations de substitution complète pour un film de *n* images. Si au contraire, on procède *par dessin* et non *par image*, le nombre de ces opérations de substitution peut se réduire à 6 si chaque dessin est fixe pendant toute la durée du film, et il n'atteindra qu'exceptionnellement le nombre de 6 n (jamais pratiquement).

Grâce au compte-images, aux griffes et



Prises de vues Guy Tassel, matériel « Eclair ».

FIG. 17. — UN « POU DE SAN JOSÉ » VU EN COUPE SUR LA COUPE D'UN ARBRE OU SONT REPRÉSENTÉS LES COURANTS DE SÈVE BRUTE ET ÉLABORÉE (IMAGE 500 ENVIRON DU DÉCOUPAGE DE LA FIG. 15)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contre-griffes et aux moyens de contrôle de chaque déplacement, rien n'empêchera d'adopter le système rationnel qui autorise, non seulement une bien plus grande rapidité, mais aussi une plus grande *souplesse d'animation*, car on peut ainsi vraiment suivre l'évolution de chaque dessin, que l'on garde constamment sous les yeux pendant toute sa transformation.

Grâce à des fiches de prise de vues ou « découpages techniques » (fig. 15), l'opérateur conservera le synchronisme indispensable entre les différentes parties de l'image que ce procédé pourrait lui faire perdre de vue, et il pourra suivre, pour un seul dessin à la fois, les opérations qui lui permettront d'obtenir en définitive le résultat exactement escompté.

Deux autres perfectionnements non négligeables de la caméra « spécialisée » seront :

1° La mise au point automatique de la caméra suivant sa position le long de la potence verticale qui la porte (elle sera obtenue à l'aide d'une *came* qui règle, grâce à une liaison quelconque, le tirage de l'objectif) ;

2° Le prisme de visée à réflection totale donnant le champ exact enregistrable sur la pellicule il permettra la mise en place et le repérage des images sur la table.

La réalisation d'un film scientifique

Un film scientifique, pour satisfaire pleinement au but de l'enseignement ou de la vulgarisation, doit allier à l'explication d'un phénomène son aspect familier. Il doit donc relier sans cesse la réalité aux images schématiques. Le film de géographie, après avoir situé un pays sur la carte, défini son mode de formation géologique, renseigné sur la nature du sol et du sous-sol grâce au dessin animé, montrera les résultantes effectives de ces caractères dans l'aspect, le relief, la végétation, les groupements humains, à l'aide de vues réelles. Le film de physique, après avoir démontré le mécanisme secret des phénomènes, en reproduira les manifestations dans la réalité. Ainsi la mise en œuvre judicieuse de tous les moyens à la disposition du cinéaste est indispensable pour la réalisation d'une bande de vulgarisation vraiment scientifique ; ce sera la tâche de l'*équipe réalisatrice* de faire le choix entre ces moyens et de juger de leur opportunité.

Le « metteur en scène », en fonction de ce que veut exprimer l'éducateur, doit bâtir le scénario, discuter avec ceux que leur initiative et leur expérience mettent en mesure d'apprécier, de critiquer ou de modifier les moyens d'expression proposés ou le rythme envisagé (directeur de production, chef dessinateur, opérateur).

Prises de vues directes et animation restent en relations constantes et, une à une, les scènes sont, soit tournées avec art et soumises aux différentes opérations que nous avons vues, soit créées, dessinées, « découpées » (mise en scène technique pour la prise de vues) et enfin enregistrées ; puis, projetées, elles subissent une première critique impartiale de l'équipe de réalisation d'abord, sont corrigées, remaniées et tournées à nouveau si le but n'a pas été atteint ou si la vision de cette première conception a évoqué, dans des esprits toujours attachés à perfectionner leur instrument, d'autres idées plus expressives.

L'éducateur en fait alors la critique du point de vue pédagogique, que le dessinateur et l'opérateur traduisent techniquement.

Chaque scène, parfaitement au point enfin, est liée aux autres, soumise encore parfois à des opérations techniques supplémentaires qui lui confèrent de nouvelles possibilités et dont nous citerons l'une des plus simples et cependant non des moins utiles, *l'arrêt sur l'image ;* cette opération, tout à fait postérieure à la prise de vues, puisqu'elle s'exécute au laboratoire, à la « truca » (tireuse optique), consiste à tirer une image choisie par l'éducateur pour sa valeur exceptionnelle au point de vue documentaire, en la répétant sur la copie positive aussi longtemps qu'on le souhaite en immobilisant simplement le négatif sur cette image pendant que le positif continue à défiler. La « truca » permet d'ailleurs bien d'autres manœuvres, telles que l'inversion de l'ordre des images, et par conséquent l'obtention de toutes les reconstitutions « rétrogrades » imaginables. Mais ces derniers moyens ne sont pas particuliers au cinéma scientifique et ils ne font qu'en étendre encore les possibilités grâce à des trucages purement mécaniques et optiques.

Pierre BRARD et Guy TASSEL.

N. D. L. R. — Deux documents illustrant notre article « Comment un Dessin Animé est conçu et réalisé » (*Science et Vie*, n° 317, janvier 1944) et se rapportant, l'un à l'animation mécanique (figure 12), l'autre à la prise de vues en couleurs (figure 13), ont été établis d'après des dessins originaux de M. Pierre Bourgeon.

Le métaphysicien, le scolastique et l'expérimentateur procèdent tous par une idée à priori. La différence consiste en ce que le scolastique impose son idée comme une vérité absolue qu'il a trouvée, et dont il déduit ensuite par la logique seule toutes les conséquences. L'expérimentateur, plus modeste, pose au contraire son idée comme une question, comme une interprétation anticipée de la nature, plus ou moins probable, dont il déduit logiquement des conséquences qu'il confronte à chaque instant avec la réalité au moyen de l'expérience. Il marche ainsi des vérités partielles à des vérités plus générales, mais sans jamais oser prétendre qu'il tient la vérité absolue. Celle-ci, en effet, si on la possédait sur un point quelconque, on l'aurait partout ; car l'absolu ne laisse rien en dehors de lui.

Claude BERNARD.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LA SCIENCE ET LA TECHNIQUE DU CAOUTCHOUC BÉNÉFICIENT LARGEMENT DE L'EMPLOI DES RAYONS X

par J.-J. TRILLAT
Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon
Directeur de l'Equipement Scientifique et Technique

Le caoutchouc, utilisé dans la vie courante sur une si grande échelle, est un corps sur lequel nous ne possédions, il y a seulement quelques années, que peu de renseignements. Sa structure, l'origine de son élasticité, les phénomènes de vulcanisation, constituaient autant de problèmes mal connus, auxquels les chimistes et les physiciens n'avaient pu apporter que des solutions incomplètes et provisoires. C'est en grande partie grâce à la diffraction des rayons X (1) qu'un pas énorme put être franchi et que des aperçus tout à fait nouveaux furent dévoilés, contribuant par là aux progrès étonnants de la chimie des hauts polymères organiques. Mais les rayons X n'ont pas seulement apporté une importante contribution à la solution du problème de la structure du caoutchouc; ils ont également permis d'améliorer les techniques de contrôle et de fabrication des divers objets ayant pour base cette matière première.

La structure du caoutchouc révélée par les rayons X

La constitution du caoutchouc, étudiée d'abord par Bouchardat et bien d'autres, fut définitivement établie à la suite des travaux de Staudinger. Ce dernier démontra qu'il appartient au groupe général des hauts polymères (2) à longue chaîne. Le caoutchouc naturel est en effet un carbure d'hydrogène non saturé dont la formule brute $(C_5 H_8)^n$ révèle qu'il résulte de la combinaison d'un grand nombre de groupes d'atomes identiques, ayant pour formule $C_5 H_8$. Ces composés isolés sont bien connus et portent le nom d'isoprène (ou butadiène) (fig. 1).

Ce résultat fut confirmé et étendu par les travaux de Katz, Meyer et Mark et leurs élèves, utilisant la diffraction des rayons X. De l'ensemble de ces travaux ont découlé un nombre important de recherches pures et appliquées.

L'étude du caoutchouc par les rayons X

On sait qu'en envoyant un fin pinceau de rayons X de longueur d'onde déterminée à travers une substance cristalline, le pinceau est diffracté par le réseau triplement périodique constitué par la répétition, suivant trois directions, des atomes, ions ou molécules qui forment le corps étudié. Ces atomes ou molécules se groupent eux-mêmes en une « cellule élémentaire », réalisant le plus petit élément cristallin possible, qui, en se répétant à la façon du motif d'un papier peint, constitue le cristal macroscopique. Les clichés ou diagrammes obtenus permettent de déterminer cette cellule et la position des atomes qui y entrent; nous ne reviendrons pas plus longuement sur cette question devenue tout à fait classique.

Si l'on examine ainsi, au moyen d'un spectographe approprié (fig. 2), une mince bande de caoutchouc naturel au repos, on obtient un cliché constitué par un halo assez flou (fig 3) caractérisant un état amorphe, et ne permettant pas de tirer de renseignements intéressants sur la constitution du caoutchouc; par contre — et ce fut là la découverte fondamentale de Katz — le même caoutchouc examiné à l'état étiré (au delà de 300 %) donne un cliché formé de taches de diffraction régulièrement disposées (fig. 4). Ce diagramme est la preuve d'une véritable structure cristalline du caoutchouc, structure d'ailleurs d'autant plus accentuée que l'étirement est plus grand; une fois relâché, le caoutchouc redonne le diagramme de la figure 2, correspondant à l'état amorphe, et ainsi de suite.

Voici, sans entrer dans les détails, l'essentiel des phénomènes observés. Quels sont les renseignements que l'on en peut tirer? Tout d'abord, ce fait essentiel que, en fonction de l'allongement, tout se passe comme s'il se formait des cristaux orientés parallèlement à la

(1) Voir : « Les rayons X et la structure de la matière » *(Science et Vie,* n° 239, mai 1937).

(2) Les hydrocarbures non saturés peuvent facilement se transformer en hydrocarbures ayant la même composition centésimale, mais un poids moléculaire multiple de celui de l'hydrocarbure primitif. La réaction s'appelle une polymérisation et le composé obtenu un polymère.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

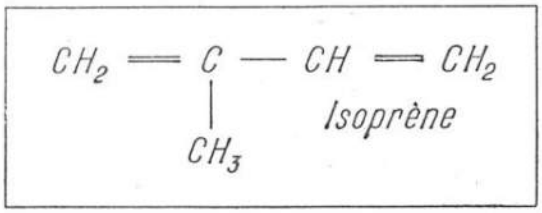


FIG. 1. — LA MOLÉCULE D'ISOPRÈNE, QUI SE SOUDE A D'AUTRES MOLÉCULES IDENTIQUES POUR FORMER LA LONGUE CHAINE DE LA MOLÉCULE GÉANTE DE CAOUTCHOUC

direction de traction, et susceptibles par conséquent de donner lieu à un « diagramme de fibres » semblable à celui donné par les métaux tréfilés ou la cellulose native.

En réalité, il ne s'agit pas à proprement parler de cristaux au sens habituel; une étude plus poussée permet en effet de conclure à l'existence, dans le caoutchouc étiré, de longues chaînes linéaires d'atomes, correspondant à l'existence de macromolécules filiformes, dont le motif de structure est l'isoprène.

L'analyse aux rayons X confirme donc que le caoutchouc est un haut polymère linéaire, comme l'avait supposé d'abord Staudinger, mais avec les groupements CH_3 disposés alternativement de part et d'autre de la chaîne, d'où l'explication du fait que la période d'identité calculée d'après les clichés, 8,2 Angströms (1), est exactement le double de la longueur d'un groupe isoprène (fig. 5).

Ce simple schéma permet d'expliquer beaucoup de choses : en effet, à l'état étiré, les macromolécules filiformes ayant la structure ci-dessus se disposent parallèlement les unes aux autres, leurs atomes en regard les uns des autres, créant ainsi un véritable réseau cristallin *temporaire;* lorsque la tension cesse, les macromolécules se replient sur elles-mêmes, grâce aux possibilités de libre rotation des atomes autour des liaisons de la chaîne, et toute structure ordonnée disparaît pour faire place à une structure amorphe (fig. 6). Une nouvelle traction déplie et déroule ces chaînes macromoléculaires, d'où l'allongement de la substance et la régularisation de l'arrangement.

Dans la réalité, certains groupes de molécules du caoutchouc moyennement étiré (300 à 400 % par exemple) sont complètement déroulés et donnent lieu au diagramme cristallin; d'autres au contraire ne le sont pas ou ne le sont que partiellement, d'où sur le cliché superposition du halo amorphe et des taches cristallines et ceci d'une façon en quelque sorte complémentaire.

Bien entendu, l'on n'est arrivé à ces conceptions si simples qu'après de longues recherches et de nombreuses hypothèses que nous passons sous silence; les résultats acquis ont permis d'aller encore beaucoup plus loin dans la connaissance de la structure et des propriétés du caoutchouc. C'est ainsi qu'en étudiant la disposition et l'intensité des taches de diffraction (fig. 4), Meyer et Mark sont parvenus à établir le modèle de la cellule élémentaire du caoutchouc (fig. 7); celle-ci serait orthorhombique (1).

Ce n'est pas tout : l'étude détaillée de la structure du caoutchouc permet également de se faire une idée de la forme et de la longueur des chaînes dans le réseau; celles-ci, en s'accolant, constituent des « cristallites » — qui seraient l'équivalent du cristal réel — dont la longueur, correspondant à la longueur même des macromolécules, serait supérieure à 600 Angströms, la largeur de l'ordre de 500 Angströms et l'épaisseur de l'ordre de 150 Angströms, ce qui leur donne l'apparence de longues boîtes aplaties. Ces chiffres peuvent d'ailleurs être déterminés, et d'une façon plus précise, par des mesures de viscosité; il semble qu'ils doivent être en réalité notablement plus grands que ceux fournis par les rayons X, et que la masse moléculaire du caoutchouc varie entre 150 000 et 300 000 (Staudinger), ce qui signifie que la macromolécule comprend 2 500 à 5 000 groupes isoprène (indice de polymérisation).

L'origine des propriétés élastiques du caoutchouc

Les considérations précédentes permettent d'expliquer maintenant l'origine de cette propriété si remarquable du caoutchouc. Ainsi que nous l'avons dit plus haut, c'est par l'effet de la tension que se déroulent les longues chaînes isopréniques, enroulées au repos d'une manière désordonnée; en même temps, elles s'orientent parallèlement, donnant ainsi naissance à la formation de ces éléments cristallins appelés assez improprement cristallites. Mais cet état artificiel n'est qu'accidentel et provoqué par une cause extérieure; il est moins probable au sens thermodynamique que l'état désordonné, et par conséquent le caoutchouc étiré, aura tendance à revenir spontanément à l'état désordonné; c'est bien ce que montrent les diagrammes X pris en fonction

(1) La forme fondamentale du système cristallin orthorhombique est le prisme droit à base losange. Le système orthorhombique comporte trois axes de symétrie binaires.

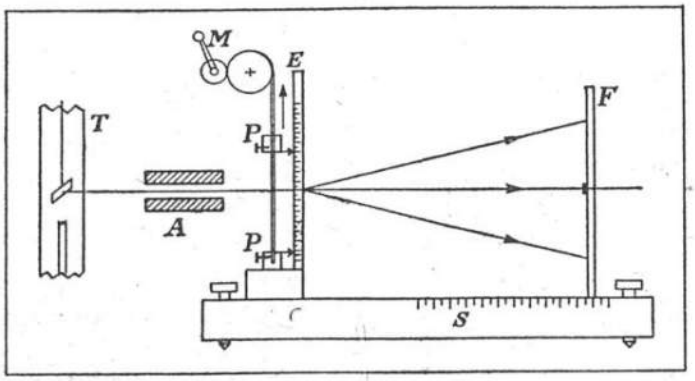


FIG. 2. — SCHÉMA D'UN SPECTOGRAPHE A ÉTIREMENT POUR L'ÉTUDE DU CAOUTCHOUC

T, tube à rayons X; A, collimateur; P, pinces maintenant étirée la bande de caoutchouc; M, manivelle; E, échelle graduée pour la mesure de l'allongement; S, support gradué; F, film photographique.

(1) L'Angstrom est une unité de longueur qui vaut un dix-millionième de millimètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du temps. De plus, nous avons vu que, relâché, il y revient également, et cela sous l'influence des attractions entre les doubles liaisons échelonnées le long des macromolécules filiformes.

On peut se demander ici ce qui différencie le caoutchouc, élastique, des autres polymères organiques simplement plastiques, et qui, eux, *conservent* la déformation qui leur a été imposée. C'est précisément la structure filiforme du caoutchouc qui en donne l'explication. Dans les polymères plastiques, tels que les polystyrols, les polyoxyméthylènes, la bakélite, etc., les chaînes filiformes, au cours de la polymérisation, se soudent transversalement les unes aux autres et leurs liaisons se développent dans les trois directions de l'espace pour donner d'immenses molécules tridimensionnelles. Les longues chaînes macromoléculaires en se soudant *transversalement* perdent leur liberté relative, et la plasticité diminue et même disparaît totalement à mesure que les liaisons transversales se développent : c'est le cas des matières plastiques thermodurcissables. Par contre, des macromolécules filiformes comme la cellulose, la soie artificielle, le nylon (1), forment un réseau cristallin naturel, préexistant à la traction; mais elles ne présentent que des propriétés élastiques peu importantes. C'est qu'en effet il leur manque ce qui caractérise la molécule d'isoprène, à savoir la présence de doubles liaisons, dont les attractions réciproques tendent à ramener la chaîne à la plus courte longueur possible, par le processus d'enroulement dont nous avons parlé. Ce sont ces doubles liaisons qui jouent en quelque sorte le rôle de forces de rappel, de ressort, et ce sont elles qui sont, comme nous allons le voir, à la base du phénomène de vulcanisation.

La vulcanisation du caoutchouc

On sait que le caoutchouc naturel ne possède pas les propriétés d'élasticité suffisantes pour la plupart des emplois techniques; il ne revient que lentement à sa forme primitive, et conserve une déformation rémanente importante. Au contraire, certains processus dits de « vulcanisation » influencent dans de très larges limites les propriétés mécaniques et l'élasticité du caoutchouc, en lui conférant ces qualités si appréciées qui ont fait de ce corps un élément essentiel de la vie moderne.

(1) Voir : « Les nouvelles fibres de synthèse » (*Science et Vie*, n° 296, avril 1942).

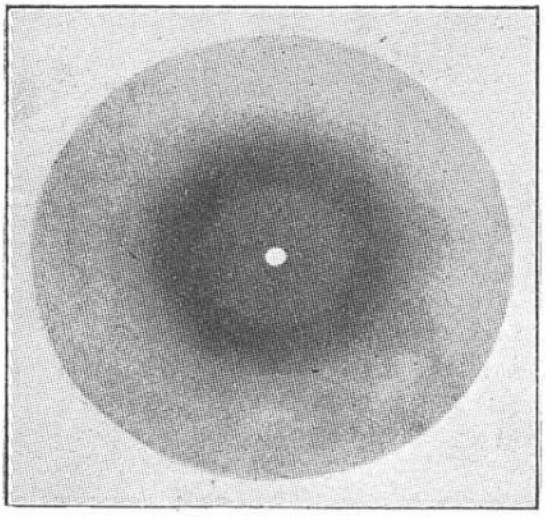


FIG. 3. — DIAGRAMME X DU CAOUTCHOUC NON ÉTIRÉ

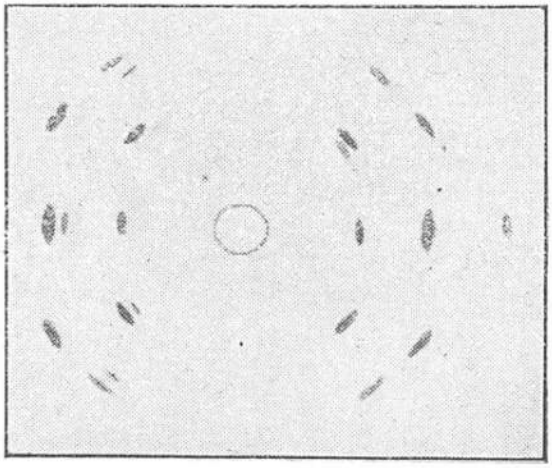


FIG. 4. — DIAGRAMME X DU CAOUTCHOUC ÉTIRÉ EN BANDE MINCE

La vulcanisation est une réaction chimique, dont Meyer et Mark ont pu éclaircir le mécanisme en se basant sur les données de l'analyse aux rayons X et les résultats de recherches physicochimiques et chimiques. La caractéristique de cette réaction, c'est la création de « ponts » de soufre entre deux molécules voisines; en moyenne, quelques atomes de soufre se fixent sur chaque macromolécule, avec une répartition d'ailleurs irrégulière, quelques chaînes demeurant libres, d'autres liées à une ou plusieurs chaînes (fig. 8).

La présence d'un certain nombre de ces ponts de soufre diminue la mobilité relative des chaînes isopréniques les unes par rapport aux autres et contribue ainsi à ramener toute déformation extérieure à l'état initial. Mais lorsque la quantité de soufre croît, la multiplicité des ponts entre chaînes finit par donner lieu non plus à des molécules lamellaires, mais à d'immenses molécules tridimensionnelles. La plasticité de la substance diminue à mesure que ces liaisons se développent, et disparaît totalement lorsque la macromolécule ne forme plus qu'un bloc où les groupes d'atomes ne peuvent plus se déplacer ni glisser les unes par rapport aux autres. On obtient alors un produit dur, non élastique, *l'ébonite*.

Remarquons, d'ailleurs, que ce mécanisme de liaison par des ponts de soufre n'exclut pas la possibilité de liaisons par d'autres procédés, puisque la vulcanisation est essentiellement un processus de liaisons latérales entre chaînes; on peut arriver au même résultat, en l'absence de soufre, par l'action de la lumière ultraviolette ou des courants de haute fréquence, qui, en ouvrant les liaisons éthyléniques des chaînes, permettent le raccordement de ces liaisons entre chaînes différentes. De même des substances comme le carbone à l'état de noir de fumée, l'oxyde de zinc ou de titane qui sont fortement absorbés par l'hydrocarbure caoutchouc, consolident le produit et étayent ainsi la vulcanisation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

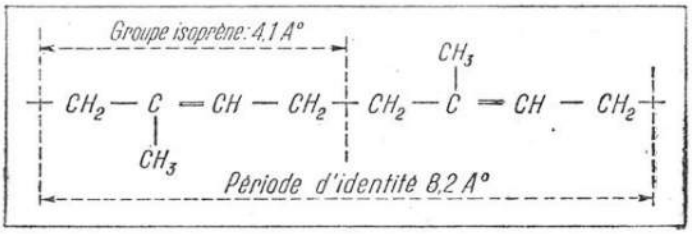


FIG. 5. — STRUCTURE SCHÉMATIQUE DE LA MOLÉCULE DE CAOUTCHOUC

Les groupes isoprènes de la figure 1 sont soudés les uns aux autres en une longue chaîne se poursuivant dans les deux sens, vers la droite et vers la gauche. On remarquera que les groupements CH_3 sont disposés alternativement de part et d'autre de la chaîne. On dit pour cela que le caoutchouc possède une structure « trans », par opposition avec la structure « cis » où les CH_3 sont tous du même côté de la chaîne.

Applications techniques des rayons X dans les industries du caoutchouc

Après avoir montré les progrès qu'ont permis l'emploi des rayons X dans notre connaissance du caoutchouc, nous allons passer en revue leurs principales applications dans le domaine technique des industries utilisant la gomme. Celles-ci peuvent être classées en deux catégories, suivant qu'elles sont basées sur la diffraction (analyse cristalline) ou sur l'absorption (radiographie).

Les applications basées sur la diffraction des rayons X

L'un des problèmes qui se pose au technicien est celui de l'influence des *charges*. On sait que les diverses charges utilisées dans l'industrie du caoutchouc ont des propriétés bien différentes; tandis que certaines ne sont que de simples additions, d'autres au contraire communiquent au caoutchouc manufacturé des propriétés spéciales que l'on constate sans trop en connaître le mécanisme. La plupart de ces substances sont cristallines — oxyde de zinc, sulfate de baryum, magnésie, carbonate de magnésie, etc. — et donc justiciables de l'analyse aux rayons X. Les examens sont effectués avec du caoutchouc ne contenant d'abord qu'une seule charge, et examiné sous des étirements variables. On peut suivre ainsi la façon dont s'orientent les charges au cours de la traction; et cette connaissance n'est pas sans intérêt, puisque l'on sait, par l'exemple des métaux, de la cellulose et du caoutchouc lui-même, que lorsque les éléments d'un corps s'orientent dans une direction donnée, la résistance dans ce sens est accrue de ce fait même.

D'une façon générale, l'étude de l'orientation en fonction de l'allongement permet de classer les diverses charges, et d'établir une relation avec les courbes d'allongement du produit manufacturé. Parmi les charges qui s'orientent le mieux, citons le carbonate de magnésie. Le soufre libre, non combiné, ne s'oriente jamais.

L'aspect des anneaux de diffraction renseigne également sur la dimension des grains avant et après vulcanisation, un aspect granuleux indiquant des dimensions élevées des cristaux, d'où la possibilité de suivre la structure des charges au cours de la cuisson.

L'analyse aux rayons X permet aussi, dans une certaine mesure, de mettre en évidence les réactions qui se produisent au cours de la vulcanisation, et de voir si elles donnent lieu à la formation de substances cristallines par réaction du soufre avec les charges par exemple.

On connaît l'importance primordiale de l'adjonction au caoutchouc de *noir de carbone* (« carbon black », noir de pétrole, noir de fumée), se traduisant par une action renforçatrice très marquée et par une amélioration de certaines propriétés comme la résistance à l'abrasion. Bien des théories ont été proposées pour expliquer ce phénomène, en faisant intervenir la dimension des particules, leur forme, la nature de leur surface, leurs propriétés d'adsorption; les rayons X ont apporté ici aussi leur contribution en fournissant des données précises sur les dimensions des particules de noir et leur structure. Quelque étonnant que cela paraisse, le noir de fumée n'est pas amorphe, mais formé de cristaux extrêmement petits du type graphite; les anneaux de diffraction sont d'autant plus estompés que la taille des cristaux est plus petite, et la mesure de ce « flou » (effectuée au microphotomètre enregistreur ou au compteur à photons) permet de calculer leurs dimensions, de classer entre eux les diverses variétés de noir, et d'établir une relation entre les propriétés techniques du caoutchouc et la structure du noir. Une autre méthode — le microscope électronique (1) — permet de compléter ces résultats et de donner une image de de la répartition des particules dans la gomme.

Le mécanisme de l'action des noirs de carbone est dû sans doute à leur adsorption dès la température ordinaire par les chaînes d'isoprène; il se crée ainsi des forces de liaison élastique entre molécules de caoutchouc et particules de noir, qui jouent en quelque sorte un rôle analogue à celui des « ponts » de soufre formés au cours de la vulcanisation.

Enfin, on peut citer encore d'autres applications de l'analyse aux rayons X; l'une des plus intéressantes est le *contrôle des textiles* utilisés dans la fabrication des pneumatiques

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

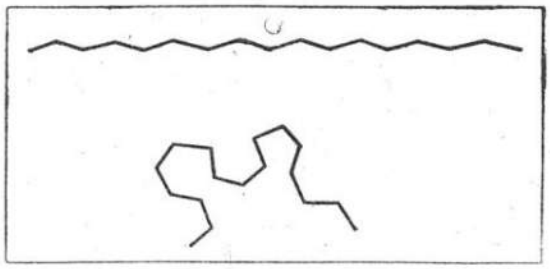


FIG. 6. — DEUX FORMES POSSIBLES POUR UNE MACROMOLÉCULE

En haut, forme allongée, régulière; en bas, forme enroulée quelconque. Lorsque toutes les macromolécules ont pris une de ces dernières formes, toute trace de structure ordonnée a disparu.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sous forme de nappes incorporées au pneu. Ces fibres doivent avoir des qualités de premier ordre, et leur contrôle doit s'exercer d'une façon rigoureuse. Le spectrographe X (1) apporte ici un précieux appoint, car le coton, le lin, les fibres artificielles donnent lieu à des diagrammes caractéristiques, d'où il est possible de tirer un grand nombre de renseignements sur les propriétés physicochimiques et mécaniques de ces matériaux.

Nous limiterons là ces quelques exemples d'applications de la diffraction des rayons X; il est évident que bien d'autres peuvent être encore envisagées, selon la nature des problèmes posés.

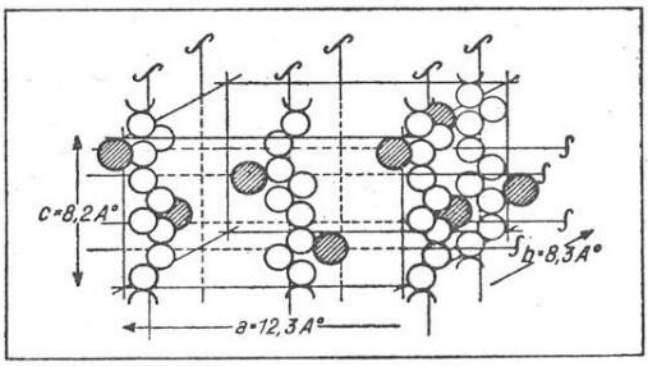


FIG. 7. — SCHÉMA DE LA CELLULE ÉLÉMENTAIRE DU CAOUTCHOUC

Ce serait une cellule orthorhombique (le système cristallin orthorhombique comporte trois axes de symétrie binaires; sa forme fondamentale est le prisme droit à base losange). L'axe C correspond à la direction de traction. La cellule contiendrait huit groupes isoprènes orientés parallèlement à cet axe et capables en outre de tourner autour de celui-ci. La densité calculée d'après ce modèle correspond bien à la densité réelle du caoutchouc, soit 0,92.

Les applications basées sur l'absorption des rayons X

Ici aussi, nous ne ferons que donner quelques exemples destinés surtout à montrer les possibilités de l'emploi des rayons X dans les industries caoutchoutières et particulièrement du pneumatique.

La disposition correcte des toiles à l'intérieur d'un pneu peut être décelée par l'emploi de la radiographie, moyennant certaines précautions; les nappes de fils sont en effet très peu absorbantes vis-à-vis de la carcasse du pneu, fortement chargée en éléments minéraux. Le meilleur procédé consiste à imprégner les toiles, avant leur montage, d'une solution contenant des éléments lourds (acétate de plomb par exemple) qui les rend beaucoup plus opaques et augmente ainsi le contraste. De cette façon, il est possible de suivre la fabrication et de contrôler la disposition correcte des nappes; il est également possible — et c'est là un résultat intéressant — de suivre leurs déplacements ou ruptures en cours d'essais.

La façon dont la gomme elle-même se déforme à l'intérieur du pneu au passage d'obstacles peut également être suivie en injectant dans la carcasse, aux points à étudier, une pâte opaque aux rayons X ayant la forme d'un filament. On définit ainsi un certain volume, un cube par exemple, dont la radiographie enregistre les modifications, ce qui permet de contrôler et de calculer les déformations d'un élément déterminé. Des clichés stéréoscopiques, restituant dans l'espace la position de cet élément, peuvent également être pris et fournissent des renseignements d'un grand intérêt, en relation avec la déformation produite qui peut être chiffrée au laboratoire d'essais.

Enfin, l'absorption des rayons X peut être utilisée pour le contrôle de l'*homogénéité* des mélanges. Le caoutchouc non chargé est en effet très transparent aux rayons X, puisqu'il n'est composé que d'éléments légers, carbone et hydrogène. Les charges au contraire absorbent d'autant plus que les numéros atomiques des atomes qui les constituent sont plus élevés (on sait en effet que l'absorption des rayons X, pour une longueur d'onde donnée, croît comme le cube du numéro atomique de l'élément irradié).

Imaginons maintenant une bande de caoutchouc d'épaisseur constante, et ne contenant qu'une seule charge (sulfate de baryte par exemple). Envoyons à travers cette bande (fig. 9) un faisceau de rayons X *d'intensité constante*, et délimité par une fente de dimension déterminée. Le faisceau sortant a subi une certaine absorption du fait de la présence de la charge; si celle-ci est répartie d'une façon absolument homogène dans la feuille de caoutchouc, le faisceau émergeant aura toujours la même intensité; si au contraire la répartition n'est pas homogène, l'intensité du faisceau variera en plus ou en moins suivant l'endroit exploré. Il suffit donc de faire défiler la feuille de caoutchouc devant le faisceau incident et de mesurer en chaque point, ou en des points variables fixés à l'avance, l'intensité restant après absorption pour déterminer l'homogénéité de la répartition de la charge.

Cette mesure peut s'effectuer au moyen d'un appareil convenable, tel que chambre d'ionisation ou compteur à photons (1). Il est même

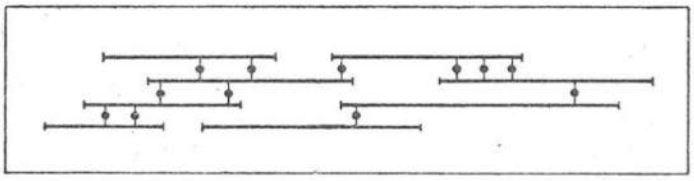


FIG. 8. — SCHÉMA DE LA VULCANISATION DU CAOUTCHOUC

Les traits allongés figurent les macromolécules, de longueurs d'ailleurs variables. Les points noirs représentent les atomes de soufre, formant des « ponts » entre macromolécules voisines.

(1) Voir : « Le rayonnement X » *(Science et Vie,* n° 270, décembre 1939).

(1) Voir : « Les rayons cosmiques » *(Science et Vie,* n° 294, février 1942).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

possible d'amplifier le courant d'ionisation qui est proportionnel à l'intensité du faisceau X, et d'enregistrer graphiquement les variations d'homogénéité.

La fente exploratrice ayant une largeur variable permet de définir la sensibilité convenable; avec une fente très fine, on obtient en quelque sorte l'élément différentiel, avec une fente large, l'intégrale. Pour une seule charge, on peut calculer exactement la teneur par éléments de volume; pour plusieurs charges, l'enregistrement graphique fournira simplement une courbe d'homogénéité statistique, à moins d'employer autant de longueurs d'onde X qu'il y a d'éléments à doser

Enfin, un perfectionnement important peut être envisagé en utilisant une chambre d'ionisation différentielle, ne nécessitant pas la constance du rayonnement X incident et ne fonctionnant que si, pour deux points voisins, il existe une hétérogénéité que l'on peut d'ailleurs fixer à l'avance. Un tel appareil pourrait à coup sûr être employé avec succès dans l'industrie du caoutchouc, comme d'ailleurs dans les industries des peintures et vernis.

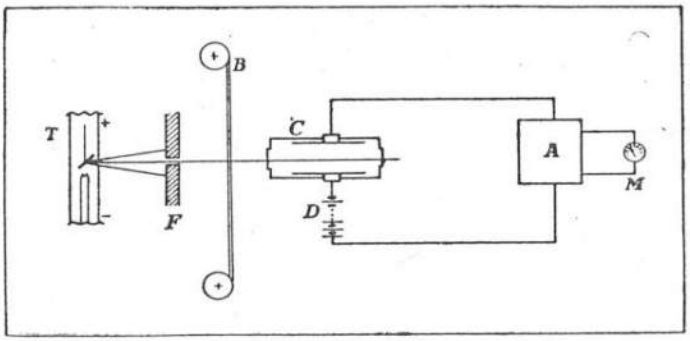


FIG. 9. — SCHÉMA DE LA MESURE DE L'HOMOGÉNÉITÉ D'UN CAOUTCHOUC INDUSTRIEL

T, tube à rayons X; F, fente réglable; B, feuille de caoutchouc étudiée; C, chambre d'ionisation; D, piles; A, amplificateur à courant continu; M, appareil de mesure (milliampèremètre par exemple).

Conclusion

De l'ensemble de cet exposé, il résulte que les rayons X apportent une contribution intéressante à l'étude scientifique et technique du caoutchouc et de ses dérivés. Bien entendu, cette méthode n'est pas universelle; elle doit être combinée aux autres procédés d'investigation ou de contrôle pour permettre d'en tirer tout le fruit.

J.-J. TRILLAT.

Sous le nom de « Green Act », le Congrès américain a adopté l'an passé une loi autorisant le Trésor américain à vendre ou à prêter tout l'argent-métal en sa possession pour être employé dans l'industrie des armements. Il est intéressant de remarquer que jusque-là seul le prêt était possible, de sorte que les emplois de l'argent appartenant au Trésor étaient limités à des applications où ce métal n'était pas effectivement consommé. On pouvait, par exemple, le substituer au cuivre dans l'équipement des installations de transport et de distribution d'énergie électrique, mais on ne pouvait le faire entrer dans des alliages ou des soudures. On devait dans ce dernier cas, aux Etats-Unis, faire exclusivement appel au métal acquis sur le marché libre. Le Trésor américain peut même aujourd'hui, d'après le « Green Act », prêter l'argent qui couvre la circulation des silver-certificate; mais celui-ci devant toujours demeurer exigible, des mesures spéciales doivent être prises pour sa conservation. Il est utilisé actuellement sur une grande échelle pour l'équipement électrique des nouvelles usines d'armement. C'est que les réserves d'argent du Trésor américain sont considérables. Il était, avant la guerre, le principal acheteur d'argent sur le marché mondial, à côté de certains pays d'Extrême-Orient où ce métal était thésaurisé. Il pourrait alimenter la consommation intérieure pendant plusieurs années. Cependant, devant la pénurie croissante de cuivre et d'étain, métaux que l'argent remplace aujourd'hui dans une certaine mesure, des inquiétudes ont commencé à se faire jour et d'ores et déjà un décret a interdit l'emploi de l'argent pour de nombreux usages civils non essentiels, tels qu'en joaillerie. Les applications de l'argent dans l'industrie sont fondées sur la facilité avec laquelle ce métal se travaille, sur sa grande conductibilité électrique, supérieure à celle du cuivre, et sur sa résistance aux agents atmosphériques. C'est pourquoi on fait appel à lui en électrotechnique, tant pour les conducteurs que pour les contacts électriques et les alliages de brasure. On l'utilise en outre pour les placages, la construction de certaines pièces de machines, comme catalyseur, dans la soudure plomb-argent qui peut remplacer les soudures plomb-étain, etc...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LA GÉLIFICATION DE L'OCÉAN PAR LE PLANCTON MORT EXPLIQUE-T-ELLE LES TRANSGRESSIONS ATLANTIQUES ?

par Pierre DEVAUX
Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

Pour les hydrographes du dix-neuvième siècle, la masse énorme des eaux océaniques se présentait comme une substance approximativement homogène, sans cesse brassée par les courants et les marées depuis les âges géologiques. Nombreuses, assurément, étaient les exceptions locales à cette règle, telles que les grands courants permanents ou la célèbre mer des Sargasses; mais ces perturbations mêmes reconnaissaient des causes particulières, et les savants eussent difficilement admis qu'un océan, tel que l'Atlantique, soit formé de « mers » superposées et mobiles, aussi « immiscibles », aussi incapables de se mélanger qu'une nappe d'eau et une nappe d'huile. C'est une telle architecture stratifiée que lui assigne cependant la grandiose et récente théorie des transgressions *de M. Le Danois, confirmée par de nombreuses mesures de température et de salure au cours de croisières océaniques et des prévisions maintes fois vérifiées touchant le rendement des campagnes de pêche. Les milliards d'animaux et de végétaux microscopiques à la vie brève qui constituent le* plancton *semblent être à l'origine de la formation de ces « cloisons » transocéaniques, par l'accumulation de masses importantes de matière organique gélifiée aux points où se heurtent des eaux de température et de salures différentes.*

DEPUIS que le conquistadore Ponce de Léon, en 1513, découvrit un courant rapide, aux eaux chaudes et bleues, qui s'échappait du détroit de Floride, d'innombrables géographes se sont efforcés de préciser ses prolongements vers l'Europe. D'après le lieutenant Maury, de la marine américaine, dont les recherches ont servi à l'établissement des cartes hydrographiques, le Gulf-Stream sort du « canal » de Floride — entre la Floride et les îles Bahamas — à une vitesse de 6 à 8 milles à l'heure (11 à 15 km à l'heure), véritable vitesse de torrent, avec une largeur de 80 km et une épaisseur verticale de près de 1 000 mètres. A 500 milles dans l'Est (900 km), la vitesse est devenue tout à fait insensible, tandis que la largeur s'accroît au delà de toutes limites, variant de 1 200 à 1 800 km, suivant les auteurs, sur le méridien de Terre-Neuve. Et l'on est en droit de se demander si un « courant » aussi diffus est réellement capable de traverser la totalité de l'Atlantique.

Expérimentalement, c'est en vain que l'on tenta de vérifier l'existence du Gulf-Stream. Le Prince de Monaco, à bord de son yacht océanographique *Princesse Alice*, jeta à la mer un grand nombre de « flotteurs submergés », constitués par de petites bouteilles soustraites à l'action du vent; Krummel établit un catalogue de la dérive des épaves, que vint compléter l'expérience internationale de grande envergure constituée par le repêchage des mines de la guerre 1914-1918. Or, ces différents « tests » concordèrent remarquablement à l'encontre du Gulf-Stream : on reconnut que les épaves émergentes avaient simplement obéi aux vents alizés et au vent d'ouest dominant sur l'Atlantique nord; quant aux flotteurs submergés, tels que les mines, on les retrouva aux Açores, alors que le tracé classique du Gulf-Stream aurait dû les conduire aux côtes de Norvège !

Principe du « non-mélange »

C'est pour suppléer l'hypothèse défaillante du Gulf-Stream, sur l'initiative de M. Edmond le Danois, directeur de notre Office National des Pêches maritimes, qu'a été émise dans ces dernières années la théorie grandiose des *transgressions atlantiques*.

On savait déjà (1) depuis Wywille Thomson (1868) que l'Atlantique est formé de deux sortes d'eaux. Les deux bassins arctique et antarctique, ainsi que le fond de l'Océan et le voisinage des côtes, sont occupés par des *eaux polaires* froides et dont la salure est inférieure à 35 pour mille. Les eaux supérieures, appelées *eaux atlantiques*, se présentent comme un immense ménisque, épais en moyenne de 1 800 m, étalé sur des

(1) Voir : « La vie de l'océan Atlantique » *(Science et Vie*, n° 266, août 1939).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

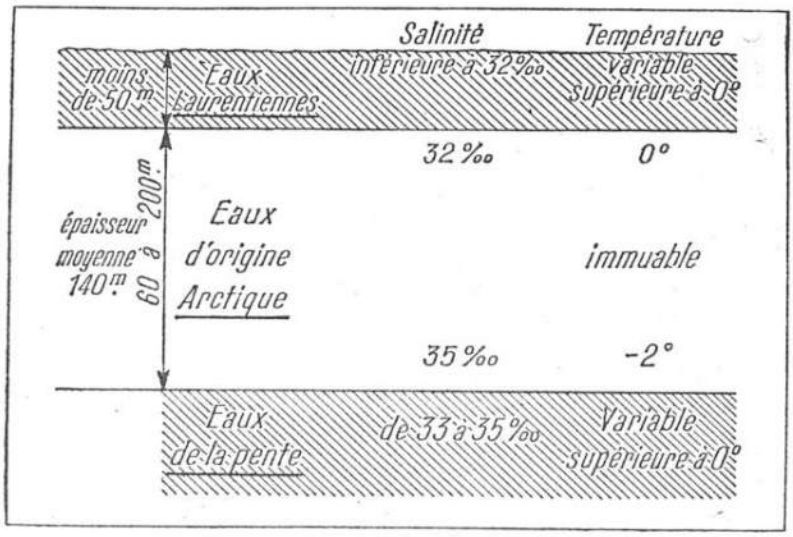


FIG. 1. — RÉPARTITION DE DIFFÉRENTES EAUX EN COUCHES SUPERPOSÉES DANS LE GOLFE DU SAINT-LAURENT

En haut, les eaux du fleuve, peu salées et de température supérieure à zéro; en sandwich, couche épaisse d'eaux polaires, dont la concentration varie régulièrement de 32 à 35 pour mille avec la profondeur; parallèlement, la température s'abaisse jusqu'à — 2° C, l'eau demeurant néanmoins liquide à cause de la pression. En bas, eaux locales dites « de la pente » parce qu'elles demeurent collées au relief continental; leur salure varie de 33 à 35 pour mille et leur température est supérieure à zéro.

milliers de kilomètres; leur température est relativement élevée et leur salure varie entre 35 et 36 pour mille.

Ainsi suspendues, ces eaux atlantiques ne conservent pas un contour immuable. Soumises, comme la mer tout entière, aux attractions différentielles du Soleil, de la Lune et de la planète Jupiter, elles subissent de véritables marées, dont le rythme est extrêmement lent : on y retrouve en effet, superposés, des rythmes de 9, de 11 et de 111 ans, familiers aux astronomes qui étudient l'activité solaire. Il y a là un mouvement alternatif de contraction qui ramasse les eaux tièdes au centre de l'Atlantique et d'expansion qui les applique le long des côtes européennes et les envoie parfois au delà du Cap Nord, glissant sur les eaux froides sous-jacentes.

Que l'on admette l'existence du Gulf-Stream, fleuve chaud et salé coulant entre deux « rives » d'eaux froides ou que l'on se rallie à la théorie des transgressions, un fait indiscutable et paradoxal subsiste : ce grand *principe de l'immiscibilité des eaux en masse* que Thomson a formulé ainsi :

« Deux eaux de températures et de salures différentes, prises en grandes masses, ne se mélangent pas. »

De ce principe général, l'océanographie fournit les exemples les plus curieux. Les croisières de la *Dana* et du *Mercator* ont révélé la présence, au voisinage de Sainte-Hélène et de la côte du Pérou, de trois « mers mortes », privées d'oxygène et où les animaux marins ne peuvent vivre. Le *Président-Théodore-Tissier* a découvert au large d'Arcachon un « îlot liquide », situé à 500 m de profondeur, où vit une espèce particulière de zoophytes à tige flexible, les Encrines. Dans le golfe de Gascogne, au nord de Santander, existe une nappe salée permanente semblable « à une goutte d'huile en suspension sur l'eau ».

Dans le golfe de Saint-Laurent et autour de Terre-Neuve, ces phénomènes prennent une ampleur extraordinaire. L'imbrication des eaux locales peu froides, des eaux polaires et des eaux déversées par le Saint-Laurent devient telle que l'on trouve des couches froides prises en sandwich entre des couches chaudes et inversement. A titre d'exemple, voici quelques mesures exécutées par le commandant Beaugé à bord du navire hôpital *Jeanne-d'Arc* en 1925 :

18 juillet, à 2 h. Lat. 44,30 N. Long. 53,16 W.
Surface ..... + 15°
A 50 m..... — 2°
A 100 m..... + 5°

Il s'agit là d'une couche froide comprise entre deux couches chaudes. Voici la disposition inverse :

4 mai, à 20 h. Lat. 45,37 N. Long. 55,52 W.
Surface ..... + 3°3
A 25 m ..... + 4°
A 50 m ..... + 0°5

Dans les eaux de Terre-Neuve, on trouve une illustration pratique de cette proximité des eaux différentes. La morue, pour son « habitat », affectionne l'eau entre 2° et 4°; mais elle apprécie comme nourriture l'encornet qui, lui, préfère

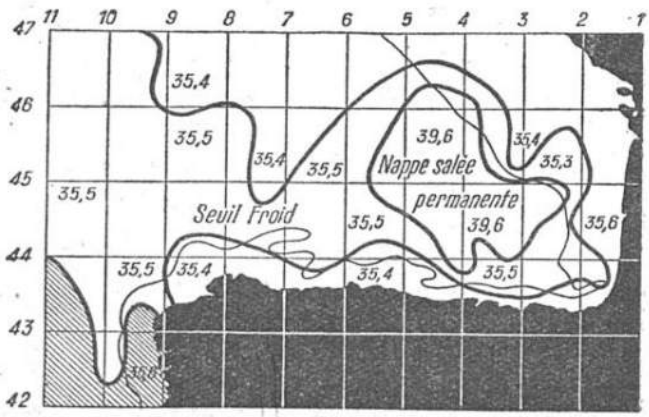


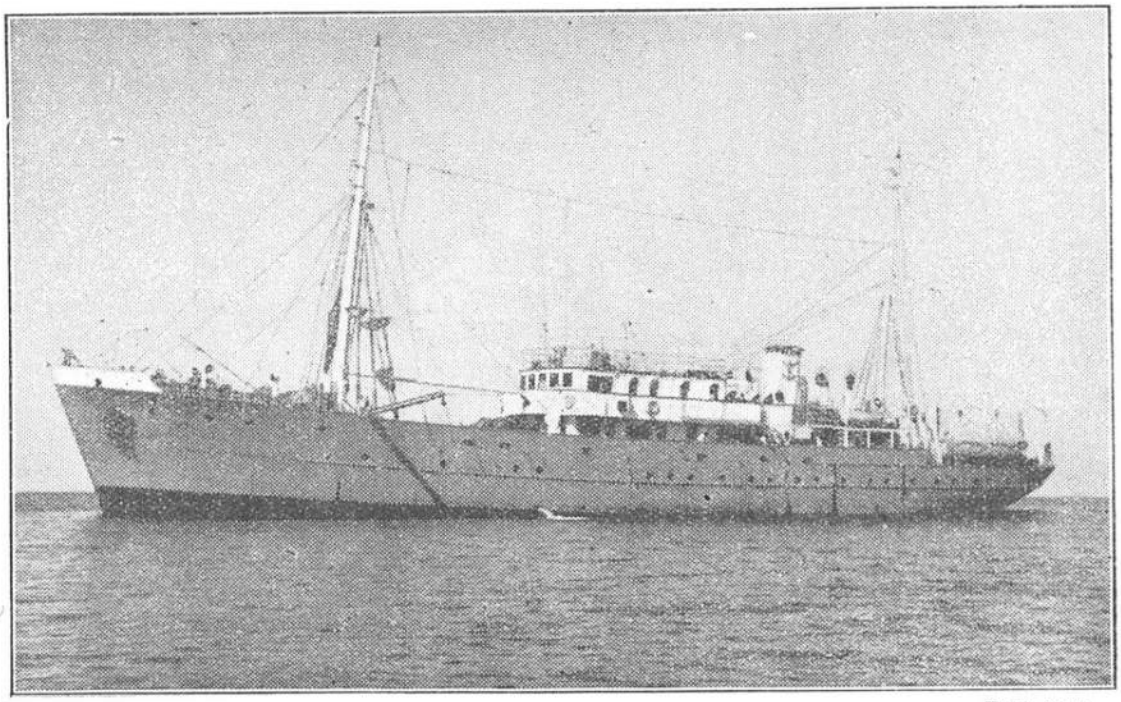
FIG. 2. — UNE NAPPE CHAUDE ET SALÉE FORME UNE PETITE MER AUTONOME DANS LE GOLFE DE GASCOGNE

Les chiffres indiquent la teneur de l'eau (en juin-juillet 1922) en sels en grammes pour mille.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'eau plus chaude. Certaines années, sur les Bancs, les deux couches à 3° et 15° se trouvent superposées, l'épaisseur de cette dernière ne dépassant pas une quarantaine de mètres. Pour saisir sa proie, la morue n'a qu'un trajet de quelques mètres à parcourir en eau chaude et revient aussitôt en eau froide. Des conditions aussi favorables déterminent une accumulation énorme de morues; le thermomètre plongeur, judicieusement utilisé, permet de conduire les morutiers à des pêches miraculeuses.

qui s'étendent du 40e parallèle au 50e parallèle nord, sur 10 000 km. Leur profondeur moyenne est de 200 m, atteignant toutefois 800 m vers le 30e parallèle nord. Cette « flaque » d'eaux équatoriales repose sur une masse d'*eaux atlantiques*, de salure comprise entre 35 et 36,5 pour mille et qui flottent elles-mêmes sur les eaux polaires, de salure inférieure à 35 pour mille, formant le soubassement énorme de l'édifice océanique. La forme de la masse des eaux atlantiques est analogue à celle de la masse



T W 40081

FIG. 3. — LE NAVIRE OCÉANOGRAPHIQUE FRANÇAIS « PRÉSIDENT-THÉODORE-TISSIER »

L'océan est « cloisonné »

Dans l'Atlantique, les eaux sont disposées en « couches stratifiées » *isothermes* et *isohalines*, c'est-à-dire que la température et la salure sont constantes dans toute l'étendue d'une couche donnée. Pour une température de surface de 16°, par exemple, on trouvera 10° à 500 m de profondeur, 5°4 à 1 000 m, 2°5 à 2 000 m et 1°8 à partir de 2 500 m jusqu'au fond. D'est en ouest, les couches stratifiées ont une faible inclinaison, mais elles se relèvent brutalement à la verticale au voisinage de la côte américaine; les couches océaniques inférieures viennent ainsi former une muraille froide de quelques milliers de mètres d'épaisseur, que l'on a appelée le « cold wall » ou mur froid. Pour un navire qui pénètre sur le « cold wall », il n'est pas rare de trouver, sur un même plan horizontal, des différences de température de 10° à quelques milles de distance.

Quant à la « lentille » rétractile d'eaux chaudes et salées occupant la surface centrale de l'Atlantique, elle a été décrite par Würtz, qui y distingue deux parties superposées. A la surface, flottent des eaux dites *équatoriales*, de salure très élevée (supérieure à 36,5 pour mille), des eaux équatoriales; elles affleurent en surface sur le pourtour, avec une largeur de 5° au sud et de 10° au nord; leur épaisseur ne dépasse guère 400 m, sauf au-dessous du maximum de profondeur des eaux équatoriales, où elles forment une poche ou « affaissement » descendant à 2 500 mètres.

Telles est l'architecture complexe, à la fois statique et dynamique, de l'océan Atlantique. Un fait essentiel la domine : cette structure est *cloisonnée*. Qu'il s'agisse d'eaux en mouvement, comme au débouché du canal de Floride et du Saint-Laurent, ou d'eaux en repos relatif, comme à la limite de la « flaque équatoriale », tout se passe comme si des cloisons étanches séparaient effectivement les eaux différentes. « Il semble, écrit Rallier de Batty, que les masses d'eau soient séparées par une *membrane* souple et imperméable. »

Ces cloisons invisibles, ces « membranes » barrant l'océan, ont-elles une existence réelle? Et quelle peut bien en être la nature?

L'architecture interne de l'eau

Remarquons tout d'abord l'illogisme du « principe d'immiscibilité » tel qu'on le pré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

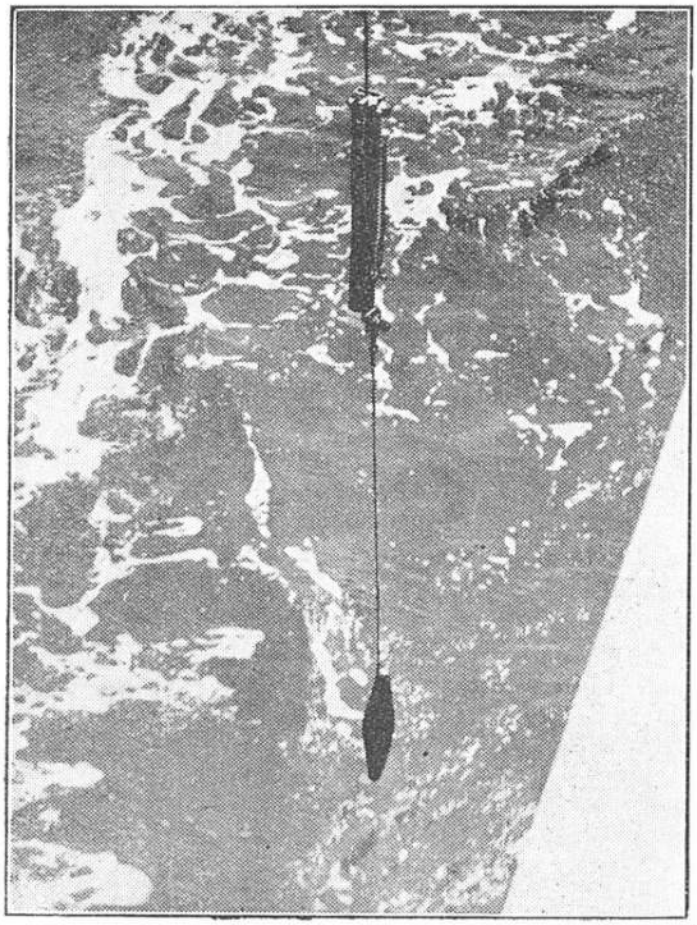


FIG. 4. — MISE A L'EAU D'UNE BOUTEILLE DE PRISE D'EAU AUTOMATIQUE POUR LE PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS D'EAU A DIVERSES PROFONDEURS

sente d'habitude. « Deux eaux différentes, prises en masse... » On ne voit véritablement pas en quoi le fait que des nappes d'eau s'étendent à des milliers de kilomètres pourrait influer sur leur comportement dans la zone de contact. Le problème est essentiellement *local* et c'est sous cet angle qu'il convient de l'envisager.

Dans un ouvrage récemment paru, *l'Etat liquide de la matière*, M. Eugène Darmois, professeur à la Sorbonne, a résumé les travaux considérables auxquels a donné lieu le grand problème de la « constitution de l'eau ». Bernard et Fowler, dans un mémoire fondamental, ont attribué à l'eau une structure très différente de celle des liquides monoatomiques. Pour le mercure, par exemple, la masse liquide est constituée par un empilement d'atomes sphériques, analogue à un amoncellement de billes de billard et formant par conséquent un assemblage compact. Un tel arrangement, si on l'adoptait pour l'eau, donnerait une densité très élevée, voisine de 1,85; il est donc exclu.

L'étude de l'eau par la méthode féconde de diffraction des *rayons X* a permis de préciser partiellement cette structure « quasi-cristalline ». Les diagrammes de diffraction révèlent que les molécules ne sont pas situées à des distances quelconques les unes des autres, mais que les distances se groupent systématiquement autour de 2,9 et 4,5 angströms (1 angström vaut 1 dix-millionième de millimètre). Ceci rapproche l'eau du type cristallisé « quartz », mais il existe aussi de nombreuses molécules situées à des distances intermédiaires, ce qui révèle la présence de vides ou *lacunes* dans le cristal d'eau.

« Au lieu de considérer l'eau comme un pur liquide, conclut M. Eugène Darmois, la physique moderne serait tentée de se représenter *une masse d'eau quelconque* comme une gigantesque molécule à *liaisons internes mobiles, mais cependant solides*, avec des vides importants dont le comblement partiel explique l'anomalie de densité.

Ces « *liaisons* » intérieures, accompagnées de « cohésion », de « rigidité » et de « viscosité », sont probablement de nature, quand on aura étendu ces théories aux gigantesques masses océaniques, à expliquer bien des phénomènes de non-mélange. Des

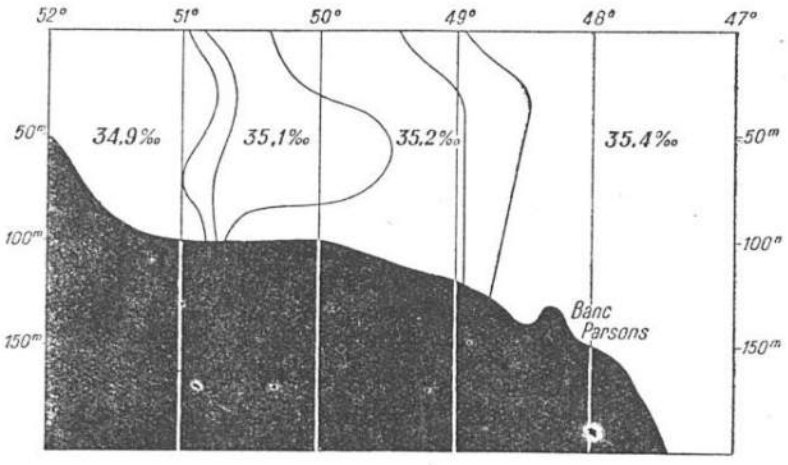


FIG. 5. — RÉPARTITION DES EAUX DE DIFFÉRENTES SALURES EN MURAILLES SUCCESSIVES QUASI VERTICALES AU BORD DU PLATEAU CONTINENTAL, EN HIVER, A PROXIMITÉ DE LA COTE D'ISLANDE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

expériences de laboratoire, actuellement en cours, montrent que dans l'*électrophorèse*, autrement dit dans le transport des très petites particules, sous l'influence de l'électricité, au sein d'un liquide, il existe des « freinages », des arrêts, comme si les particules devaient « traverser des surfaces intérieures » résistantes, infranchissables. Il semble par ailleurs que les ions libres viennent s'in-

la baleine gobe deux tonnes d'eau, qu'elle rejette à travers le filtre naturel de ses fanons pour se nourrir du plancton. L'huître plate « filtre » un litre d'eau à l'heure, ce qui suffit pour assurer sa nourriture.

Le plancton est formé d'éléments extrêmement variés. On y trouve en abondance des *diatomées*, petites algues formées d'une goutte de protoplasma enfermé dans une minuscule

T W 40083

FIG. 6. — FILET A PLANCTON MIS A LA TRAINE ET MAINTENU OUVERT PAR DES FLOTTEURS EN VERRE

sérer dans les lacunes, dans les vides de l'architecture de l'eau, soit pour la consolider, soit pour la disjoindre. On conçoit ainsi — dans une certaine mesure — que des eaux marines dont la concentration en sels divers est différente puissent se comporter l'une vis-à-vis de l'autre comme deux liquides presque aussi étrangers que de l'eau et de l'huile.

Le rôle du plancton mort

Une théorie remarquable, due à un océanographe français, M. J. Tenaille, est venue apporter tout récemment une explication toute différente du principe d'immiscibilité des eaux.

Dans tous les océans du globe, mais plus particulièrement dans les eaux polaires, l'eau est peuplée d'un nombre immense d'animaux et de végétaux microscopiques formant le *plancton*. Dans nos régions, un filet de soie conique, mis à la traîne derrière une barque, se couvre en vingt minutes d'un enduit gélatineux de plancton que l'on peut recueillir pour des examens microscopiques. D'innombrables animaux marins se nourrissent de cette manne errante:

bonbonnière de silice, des *globigérines*, algues à capsule calcaire de 0,2 mm à 0,5 mm, des radiolaires, de microscopiques célentérés, apparentés aux méduses, de petits crustacés, tels que les *copépodes*, dont les larves passent à travers les tissus les plus fins des filets pélagiques.

Allen, à Plymouth, a dénombré près de cinq cent mille êtres vivants par litre d'eau de mer; sur les côtes d'Islande, on compte 5 milliards de diatomées par mètre cube. Lahrmann, en employant la centrifugation, a isolé plus de 300 g de matière vivante par mètre cube d'eau de mer.

Ces petits êtres possèdent une rapidité de reproduction invraisemblable, qui n'a d'égale que leur énorme mortalité. Tous les œufs sont à développement rapide, les larves forment « de véritables nuages » dans la mer; par beau temps, les noctiluques se multiplient avec une telle rapidité que « la mer en est épaissie ». La durée de vie d'une diatomée est d'un jour ou deux; Ehrenberg affirme que si des causes de destruction n'intervenaient pas, une seule diatomée pourrait produire en huit jours une masse vivante comparable à celle de la Terre!

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le déchet est donc énorme : plus encore que par le plancton vivant, l'océan est encombré par une quantité gigantesque de *plancton mort*, par une masse de matière organique en suspension, qui forme des floculations, des nuages visqueux, et se trouve renouvelée en quelques heures.

Comment la mer se « gélifie »

M. Lecomte du Noüy, dans ses études sur la tension superficielle des solutions de protéines, a montré que des solutions au 1/150 000 pouvaient fournir, dans certaines conditions, un « film » parfaitement élastique et de rigidité mesurable. Les concentrations de matières organiques existant dans la mer sont beaucoup plus élevées, *en particulier dans les zones de contraste* où voisinent des eaux de salures différentes; presque tout le plancton est en effet « sténotherme » et « sténohalin », c'est-à-dire qu'il succombe instantanément à la moindre variation de la température ou de la teneur en sels.

Une véritable « gélification » de la mer peut ainsi se produire avec une intensité extraordinaire, l'eau se trouvant seulement vingt fois moins concentrée en matière organique que le corps d'une méduse! Les molécules du plancton mort ne se putréfient pas; elles se réassocient en formant des groupes appelés en anglais « oily » par Loeb, du mot *oil*, huile, pour indiquer leur peu d'affinité pour l'eau, et que nous appelons *groupes éléiques*. Ces groupes de molécules possèdent une grande affinité réciproque; ils sont capables de former de vastes membranes, analogues aux membranes de collodion, qui arrêtent les gros ions de la matière morte errante et cloisonnent la mer en zones de forte et de faible concentration organique.

Telle serait l'explication de ces « cloisons » transocéaniques, de ces zones de barrage et de glissement qui forment autour de la Haque équatoriale, de la mer des Sargasses, des différentes eaux de Terre-Neuve, des courants de Floride, de permanentes enveloppes. Dans tout le bassin atlantique au nord du parallèle de Gibraltar prospère en outre une algue de l'espèce lichen, *Condius crispus*, qui forme des « géloses », colloïdes gélifiants extraordinaires, accroissant la *rigidité* des eaux; or, c'est précisément dans cette zone que l'on constate le plus spectaculairement le non-mélange des eaux différentes.

Ajoutons que la théorie océanographique du « plancton mort » explique le phénomène classique de l'*eau morte*. On sait qu'il s'agit d'un freinage énergique qui s'exerce sur les navires de faible tonnage quand ils naviguent sur une couche d'eau à faible salure reposant elle-même sur une couche profonde plus salée. On admet généralement que le freinage est dû à une absorption d'énergie par des ondulations intenses créées à la surface de séparation des deux couches par le passage du navire. Mais il est non moins légitime de penser que la rigidité et la viscosité de la couche de séparation, conditionnées par la teneur différente en matières organiques, intervient également. Il est frappant, en tout cas, de constater que les cas d' « eau morte » observés se présentent en des points où se heurtent des eaux de température et de salure inégales : Bosphore, côte du Labrador, côtes de Norvège, fjords, embouchures des grands fleuves tels que le Congo et l'Orénoque; ce sont là les conditions les plus favorables à la formation de vastes masses de plancton mort.

Pierre DEVAUX.

La vitamine B_1 supporte relativement bien des températures élevées telles que celles utilisées pour les préparations culinaires. La vitamine C au contraire, beaucoup plus fragile, est détruite très facilement par la cuisson. Dans les fours de boulangerie, où on atteint environ 250° C, il est évident que la vitamine B_1 devrait être radicalement détruite comme la vitamine C. Mais une telle température n'est atteinte effectivement qu'à la surface du pain, sur la croûte; la mie intérieure demeure à une température qui dépasse de peu 100° C par suite de l'évaporation de l'eau qui y est présente. C'est pourquoi on peut s'attendre à constater une diminution appréciable de la teneur en vitamine B_1 dans la croûte et à son voisinage seulement. C'est ce qu'ont vérifié W. Heupke et J. Kittelmann sur différentes sortes de pains. Toujours de très fortes différences ont été observées entre la croûte et la mie, quant à la teneur en vitamines, le taux de destruction dans la croûte étant en moyenne de 30 à 50 %. A première vue, cette perte paraît ne pas devoir avoir d'effet sensible pour l'alimentation normale, car la proportion de croûte semble toujours très faible. Il n'en est pas ainsi en réalité, car la croûte représente, en poids, 30 % en moyenne d'un pain, proportion qui est naturellement d'autant plus élevée que les dimensions du pain sont plus faibles. Si l'on considère que le pain constitue une des principales sources de vitamine B_1 dans l'alimentation humaine, on voit quel bénéfice pourrait être retiré d'un mode de cuisson qui préserverait de la destruction la précieuse vitamine dans toute sa masse. La vitamine B_1, en effet, préside à l'utilisation par l'organisme des hydrates de carbone (amidons, sucre, etc.) et à l'élimination des déchets toxiques (acide pyruvique, acide lactique, etc.), provenant de la combustion du glycogène dans le muscle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LES A COTÉ DE LA SCIENCE

INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

Hélices à pas variable dans la marine de commerce

LES nombreux changements de régime nécessités par les manœuvres des navires s'accompagnent toujours d'une baisse de rendement du moteur. Mais plus néfastes encore sont les renversements de sens de la marche, obtenus par l'inversion du sens de rotation de l'hélice. En effet, le freinage de la masse en mouvement, dont l'inertie est souvent considérable, entraîne non seulement une grande lenteur de manœuvre, mais encore une fatigue anormale de l'appareil moteur, surtout s'il s'agit de turbines. La solution comportant un embrayage avec dispositif de changement de marche sur l'arbre porte-hélice, si elle autorise un sens constant de rotation du moteur, n'évite pas les efforts supplémentaires exigés du mécanisme au cours des manœuvres et n'accélère pas celles-ci.

Une troisième solution s'offre enfin pour ce problème délicat. Elle consiste à utiliser des hélices à pas variable; de même que, sur les avions (1), ce type d'hélice permet de régler l'effort propulsif suivant les conditions du vol, de même, pour les bateaux, la variation du pas de l'hélice assure, pour une même vitesse de rotation du moteur et de l'hélice, la marche plus ou moins rapide du navire (2). Mieux encore, l'intégralité de variation du pas permet, sans toucher au moteur, de renverser le sens de marche de l'embarcation, une position intermédiaire des pales correspondant à une propul-

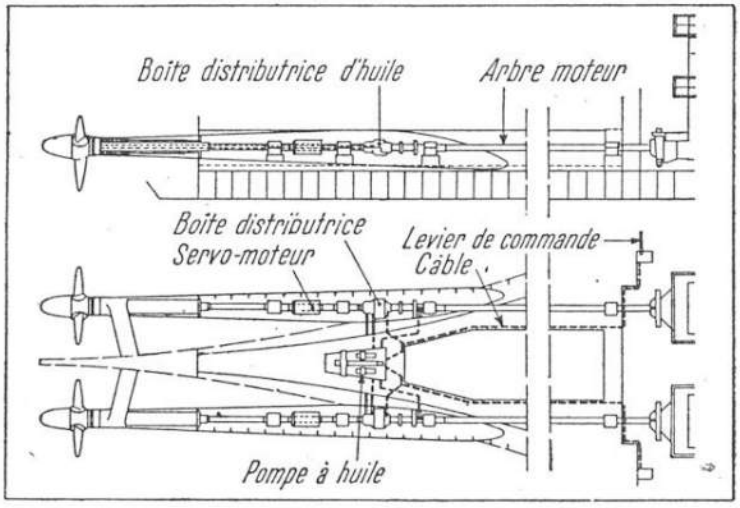


FIG. 2. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA COMMANDE DE L'HÉLICE A PAS VARIABLE KAMOWA (GÖTAVERKEN)

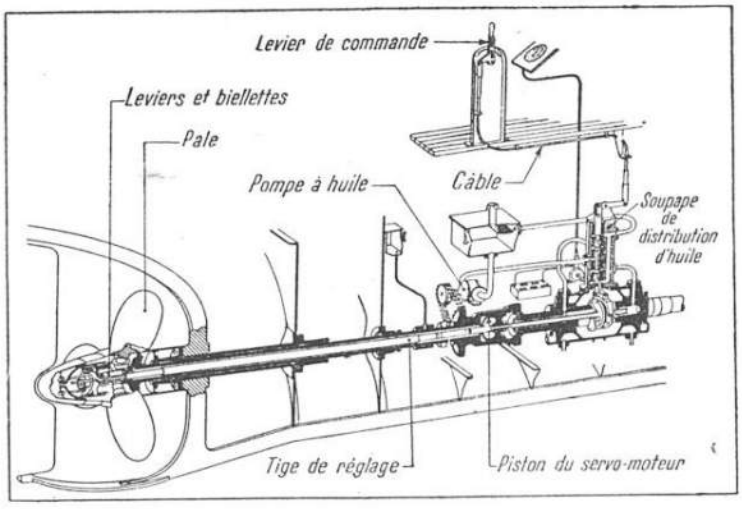


FIG. 1. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA COMMANDE DE L'HÉLICE A PAS VARIABLE ESCHER WYSS

(1) Voir : « L'évolution de l'hélice aérienne » *(Science et Vie,* n° 312, août 1943).

(2) En tournant, l'hélice se visse en quelque sorte dans l'eau. Son pas est la longueur dont elle avance à chaque tour. En faisant tourner les pales autour de leur axe, on peut régler le pas, de même qu'en modifiant l'inclinaison des filets d'une vis, on modifie la longueur dont elle s'enfonce à chaque tour. On peut, en inversant l'inclinaison des filets, transformer une vis se vissant à droite en une vis se vissant à gauche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sion nulle (position d'arrêt).

Il y a déjà dix ans que la première hélice marine à pas variable fut construite pour l'« Etzel » par la firme suisse Escher Wyss (1).

Dans ce type d'hélice, la commande de l'orientation des pales est assurée, depuis le poste de pilotage, par un levier et un câble agissant sur une soupape de distribution d'huile, refoulée sous pression par une pompe, sur l'une ou l'autre des faces d'un piston d'un servo-moteur. La tige de ce piston actionne à son tour un système de leviers et de biellettes qui font pivoter chaque pale d'hélice autour de son axe. Ainsi, n'importe quelle manœuvre (modification de la vitesse du navire, marche avant ou arrière), peut être effectuée par le pilote.

La première installation vraiment importante dans ce domaine a été effectuée par la firme suédoise Gôtaverken qui a monté des hélices à pas variable sur un cargo mixte de 7 400 tonnes. L'installation comporte deux moteurs à deux temps, six cylindres. Chaque moteur développe une puissance de 3 500 ch à 125 tours/mn. La vitesse prévue en charge est de 16,75 nœuds.

(1) Nous empruntons cette documentation au « Journal de la Marine Marchande ».

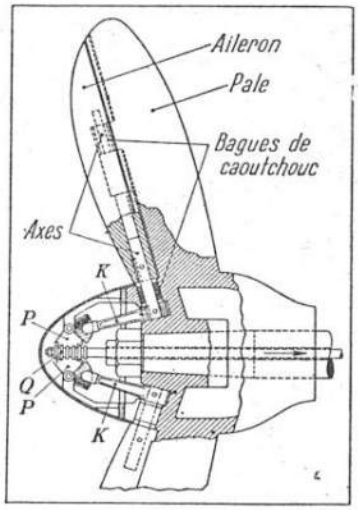


FIG. 3. — SCHÉMA DE L'HÉLICE STONE. K, BIELLETTES; P, SECTEUR DENTÉ; Q, CRÉMAILLÈRE.

Chaque arbre actionne une hélice réversible Kamova en acier spécial chromé. Un petit servo-moteur à huile, refoulée par une pompe entraînée par la ligne d'arbre, actionne le mécanisme d'orientation des pales. Deux pompes électriques sont prévues pour la mise en route. Toutes les manœuvres sont commandées à partir de la passerelle où se trouvent les leviers des télémoteurs commandant la boîte de distribution d'huile aux servo-moteurs. Ces leviers, dont le déplacement est identique à celui des pales, ne peuvent d'ailleurs être actionnés que si ces dernières obéissent à la commande; treize secondes suffisent pour passer de la position extrême de marche avant à la position extrême de marche arrière.

L'hélice à pas variable a-t-elle conquis sa forme définitive? Il semble que non car les recherches se poursuivent à son sujet. L'hélice Stone, par exemple, est fondée sur un principe différent. Les pales, au lieu de pivoter autour de leur axe, comportent une partie mobile, sorte d'aileron dont la position permet de faire varier légèrement le pas de l'hélice en modifiant le profil des pales. Cet aileron orientable, situé du côté de l'arête de sortie des filets d'eau, est monté sur deux axes pouvant osciller dans des bagues de caoutchouc et son mouvement est commandé par biellettes.

Ce type d'hélice ne peut évidemment être réversible, mais, grâce à la longueur des biellettes, l'orientation de l'aileron peut être réglée avec précision.

V. RUBOR.

NUMÉROS DISPONIBLES

Nous pouvons fournir à nos lecteurs : Tous les numéros, du n° 46 au n° 321, SAUF :

63, 90, 104, 107, 114, 116, 118, 129, 132, 134, 139, 144, 145, 146, 147, 163, 166, 176, 182, 186, 188, 189, 193, 200, 201, 204, 210, 213; 217, 222, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 240, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 263, 264, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 282, 287, 288, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 304, 305, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318.

Envoyer **exclusivement par chèque postal** au C.C. Postal Toulouse 184.05 :

— **10 francs** par exemplaire commandé pour les numéros ordinaires;

— **20 francs** pour les numéros spéciaux : **280, 284.**

Nous nous réservons le droit de rembourser les lecteurs dont les commandes ne purront être assurées, par suite de l'épuisement du stock.

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

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

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. 353*.

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. 354*.

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. 355*.

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 356*.

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. 357*.

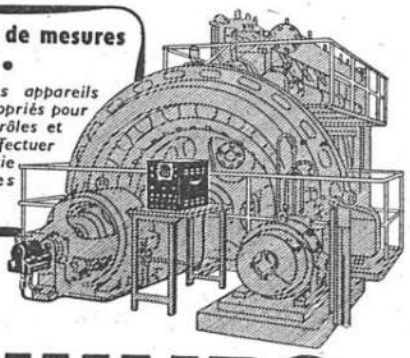
Si vous désirez faire des ETUDES PRIMAIRES OU SECONDAIRES, n'oubliez pas que l'efficacité de l'enseignement de l'ECOLE DES SCIENCES ET ARTS est consacrée par les nombreux et brillants succès que remportent ses élèves au BREVET ELEMENTAIRE, au B.E.P.S., au CERTIFICAT D'ETUDES CLASSIQUES ou MODERNES et au BACCALAUREAT. Demandez l'envoi gratuit de la brochure *numéro R. 353* (études primaires) ou *numéro R. 359* (études secondaires).

ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS

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

Appareils de mesures

Il existe des appareils PHILIPS appropriés pour tous les contrôles et mesures à effectuer dans l'industrie et dans les laboratoires.



Giorgi

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, PARIS 8e
ECLAIRAGE ET RADIO - 50, AVENUE MONTAIGNE

"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 5

" L'ÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS MODERNES "

PRÉPARATION AUX DIPLOMES D'ÉTAT

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'ÉCOLE INTERNATIONALE
PAR CORRESPONDANCE
DE DESSIN ET DE PEINTURE
11, Avenue de Grande-Bretagne, 11
PRINCIPAUTÉ DE MONACO

VOUS OFFRE GRATUITEMENT un très bel album traitant du Dessin et de la Peinture, sous toutes ses formes et qui vous renseignera en détails sur les passionnantes carrières auxquelles vous pourrez prétendre lorsque vous serez un Artiste. Vous y verrez aussi comment vous pouvez apprendre chez vous le Dessin et la Peinture, quel que soit votre milieu, le degré de votre culture et l'endroit que vous habitez. Et ceci, grâce à l'enseignement **sérieux**, agréable et **remarquablement efficace** de la plus grande École actuelle des Arts Graphiques. Pour recevoir rapidement cet Album, sans engagement de votre part, découpez le bon ci-dessous en y joignant votre nom et votre adresse ainsi que 5 frs à votre gré pour frais de poste et adressez **aujourd'hui même** votre lettre à l'École Internationale (Service D H Renseignements.)

BON POUR UN ALBUM GRATUIT

Contre au bon vieux temps du roi Henri...

...l'antique alambic chalentais distille les meilleurs crus de Cognac pour le "Verre Galant"

CAMUS
LA GRANDE MARQUE
COGNAC

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

PAS DE RECHANGE
GARANTIE UN AN OU 300.000 KLM.
60.000 Klm SANS VIDANGER SANS USURE SANS REMPLACEMENT NI AU FILTRE NI AU MOTEUR UN FONCTIONNEMENT AUTOMATIQUE

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

DEMANDEZ NOS NOTICES V.A.

SOFRANCE
4 Boul. de Fleurus LIMOGES
Téléphone 37-26

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

Le gérant : L. LESTANG. TW 13063. - 21 avril 1944. Imp. Régionale, Toulouse. - I.C.O. 31-2658.

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 délibérément* 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.

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'Ingénieurs 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)

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 31-2658

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires