Conditions d’utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d’œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s’inscrit dans le cadre de la loi nº 78-753 du 17 juillet 1978 :

- **la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue (Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr)**
- **la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l’objet d’une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.**

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- **les reproductions de documents protégés par le droit d’auteur, uniquement consultables dans l’enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l’autorisation préalable du titulaire des droits.**

4- Pour obtenir la reproduction numérique d’un document du Cnum en haute définition, contacter cnum(at)cnam.fr

5- L’utilisateur s’engage à respecter les présentes conditions d’utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d’une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d’utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Notice de la Revue	
Auteur(s) ou collectivité(s)	La science et la vie
Auteur(s)	[s.n.]
Titre	La science et la vie
Adresse	Paris : La science et la vie, 1913-1945
Collation	339 vol. : ill. ; 24 cm
Cote	SCI.VIE
Sujet(s)	Sciences -- Vulgarisation Culture scientifique et technique Presse scientifique
Note	À partir de février 1943, le titre devient "Science et Vie". La bibliothèque du Cnam ne possède pas de collection, la numérisation a été faite grâce au prêt de la collection privée de M. Pierre Cubaud.

Notice du Volume	
Auteur(s) volume	[s.n.]
Titre	La science et la vie
Volume	Tome 54. n. 258. Décembre 1938
Adresse	Paris : La Science et la Vie, 1938
Collation	1 vol. (XLVIII p.-p.[415]-573) : ill., couv. ill. en coul. ; 24 cm
Cote	SCI. VIE 258
Sujet(s)	Sciences -- Vulgarisation Culture scientifique et technique Presse scientifique
Thématique(s)	Généralités scientifiques et vulgarisation
Typologie	Revue
Note	Dans l'édition originale, la page XXXV n'existe pas.
Langue	Français
Date de mise en ligne	10/12/2019
Date de génération du PDF	05/12/2019
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?SCVIE.258

Décembre 1938

7 francs

la Science et la Vie



NUMÉRO SPÉCIAL

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

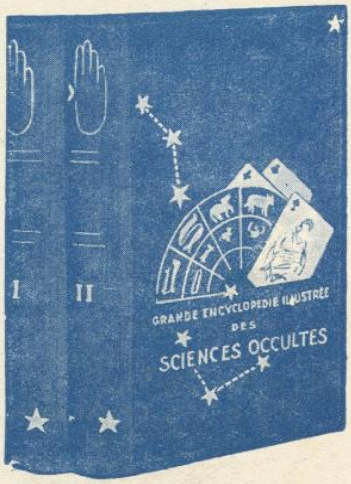
Vient de paraître

UN OUVRAGE SENSATIONNEL SUR LES SCIENCES MYSTÉRIEUSES

LA GRANDE ENCYCLOPÉDIE ILLUSTRÉE DES SCIENCES OCCULTES

DEUX FORTS VOLUMES RELIÉS ET ILLUSTRÉS, PUBLIÉS SOUS LA DIRECTION DE D. NÉROMAN

Astrologie - Cartomancie - Chiromancie - Graphologie Arts divinatoires - Magnétisme - Télépathie - Sciences psychiques - Traité des Rêves divinatoires - Géomancie Tarots - Onomancie - Magie - Radiesthésie.



Reproduction réduite des 2 volumes. Format réel : 18×25 cm

Représentants acceptés dans tous les départements

POUR PERMETTRE A CHACUN D'ÉTABLIR SON HOROSCOPE, DE DÉVOILER SON AVENIR ET DE DÉTERMINER SON DESTIN

LE MYSTÈRE DE NOTRE DESTINÉE. — Un grand courant nous porte vers la connaissance toujours plus approfondie du Mystère de notre Destinée. La noble science de l'Occultisme qui refleurit permet seule de répondre aux multiples questions que nous nous posons chaque jour.

LES SCIENCES OCCULTES ÉLARGISSENT TOUTES LES POSSIBILITÉS HUMAINES. — Celui qui connaît et sait utiliser les lois qui régissent la destinée humaine peut user du pouvoir qu'elles permettent d'acquérir et peut tout en obtenir. Celui qui les subit sans les connaître, ne sachant pas guider sa vie ni dominer hommes et événements, végète au long de ses jours dans une situation difficile.

CHACUN PEUT ÊTRE MAITRE DE SON DESTIN. — **La Grande Encyclopédie Illustrée des Sciences Occultes**, que nous sommes heureux de mettre à la disposition du public, est une œuvre de rénovation spirituelle grâce à laquelle vous pourrez posséder la « clé des choses cachées ». Pour l'homme évolué, le Grand Secret n'a plus sa raison d'être. Notre Encyclopédie, premier ouvrage sérieux et complet sur les Sciences Occultes, est le guide infaillible qui vous permettra d'avancer sur le chemin de la connaissance et du bonheur.

UNE ŒUVRE DE CLARTÉ ET DE VÉRITÉ. — Due à la collaboration de savants et écrivains compétents et spécialisés, sous la direction de D. NÉROMAN, le célèbre occultiste et rénovateur, **la Grande Encyclopédie Illustrée des Sciences Occultes** met tout en lumière pour faire de vous un homme clairvoyant, pouvant, sans intermédiaire, prévoir son avenir.

APERÇU DE QUELQUES CHAPITRES DE L'OUVRAGE :

Astrologie. Historique avant et après J.-C. — Moyen âge. — Influence du Soleil, de la Lune et des Astres. — Comment dresser son propre horoscope. — **Cartomancie.** L'art de tirer les Cartes. — Réussites. — Art divinatoire des Cartes. — **Chiromancie.** Les fluides de la main. — L'avenir lu dans la main. — **Graphologie.** Comment connaître un caractère par la graphologie. — Comment on devient graphologue. — **Magnétisme.** Télépathie. — Séducteurs et séduction. — Magnétiseurs et guérisseurs. — Magnétisme expérimental. — **Contacts avec l'au-delà.** Les âmes. — Les possédés. — Les médiums. — Fantômes et désincarnés. — Pressentiments. — Les vivants et les morts. — **Les rêves divinatoires.** Les rêves dans l'antiquité. — Observations modernes. — Sentiments et désirs dans les rêves. — L'avenir dans les rêves. — Dictionnaire des rêves. — **Les tarots.** La divination par les tarots. — Comment consulter l'oracle et connaître l'avenir. — **Haute et basse magie.** Origine de la magie. — La lutte contre la maladie et la mort. — Prière, sacrifices. — Symbolisme. — La Kabbale. — Sorcellerie. — Possession et exorcismes. — Talismans. — Envoûtements. — Alchimie. — Science et Magie. — **Géomancie.** L'avenir par la géomancie. — La divination par les figures choisies du hasard. — Intuitions. — Présages. — Procédés de divination. — **Radiesthésie.** Comment utiliser baguettes et pendules. — Réalisations merveilleuses des sourciers, etc., etc.

La « Grande Encyclopédie Illustrée des Sciences Occultes » forme deux magnifiques volumes format 18×25 cm. - 1.070 pages. - 40.000 lignes de texte. Plus de 550 illustrations dont 21 hors-texte en noir et couleurs. Riche reliure originale. Livrable immédiatement. Rien à payer d'avance. 14 mois de crédit.

S.V.

BON GRATUIT

Veuillez m'adresser la brochure illustrée gratuite de 44 pages : **Mystères de notre Destinée.**

Nom .....

Prénoms .....

Adresse .....

Ville .....

Département .....

Découpez ce bon et envoyez-le à :

S.V.

BULLETIN DE SOUSCRIPTION DE FAVEUR

Veuillez m'adresser un exemplaire de la Grande Encyclopédie Illustrée des Sciences Occultes publiée sous la direction de D. Néroman, en deux volumes reliés, illustrés, au prix de faveur de **275 fr.**, l'ouvrage complet, payable : *a)* par versements mensuels de 20 fr. (le premier versement au commencement du mois suivant la réception de l'ouvrage, le second de 20 fr. le mois suivant, et ainsi tous les mois jusqu'à complet paiement*). — *b)* Avec 3 % d'escompte en trois versements de 92 fr. 90 chacun (port et emballage compris*), le premier le mois suivant la réception de l'ouvrage. — *c)* Au comptant avec 6 % d'escompte, soit 270 fr. 50 (port et emballage compris), après réception de l'ouvrage*. — Il est entendu que, suivant l'usage, les frais de port fixés forfaitairement à 12 fr. sont à ma charge, ainsi que les frais d'encaissement des traites mensuelles.

(*) Biffer le mode non choisi.

Date : Signature :

Nom ..... *Prénoms* .....

Profession ..... *Domicile, rue* .....

Ville ..... *Département* .....

Adresse de l'emploi ..... *Par gare de* .....

Découpez ou recopiez ce Bulletin et envoyez-le immédiatement à :

ÉDITORIAL ARGENTOR Société Anonyme d'Editions **21, r. de la Nuée-Bleue, STRASBOURG**

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MARINE - AVIATION - T.S.F.

LES PLUS BELLES

CARRIÈRES







L'ÉCOLE DE NAVIGATION

MARITIME & AÉRIENNE

(Placée sous le haut patronage de l'Etat)

152, av. de Wagram, PARIS (17e)

VOUS PRÉPARERA A L'ÉCOLE MÊME OU PAR CORRESPONDANCE

T. S. F.

ARMÉE, MARINE, AVIATION

MARINE MILITAIRE

Aux Ecoles des Mécaniciens de Lorient et Toulon ; aux Ecoles de Maistrance (sous-officiers) : de Brest (Pont, Aviation, Electriciens et T. S. F.) et de Toulon (Mécaniciens de la Marine et de l'Aviation Maritime) ; à l'Ecole des Elèves-Officiers, à l'Ecole des Elèves-Ingénieurs Mécaniciens, de Brest.

MARINE MARCHANDE

Aux Brevets d'Elève-Officier, Lieutenant au long cours ; aux Brevets d'Elève-Officier Mécanicien et d'Officiers Mécaniciens de 3e, 2e et 1re classe ; au Brevet d'Officier Radio de la Marine Marchande.

AVIATION MILITAIRE

Aux Bourses de pilotage de l'aviation populaire ; à l'Ecole des Sous-Officiers Pilotes d'Istres ; à l'Ecole des Mécaniciens de Rochefort ; à l'Ecole Militaire de l'Armée de l'Air ; à l'Ecole des Officiers Mécaniciens de l'Air.

AVIATION MARITIME

A l'Ecole des Mécaniciens de l'Aviation Maritime à Rochefort ; aux Ecoles de Sous-Officiers Pilotes et Mécaniciens.

AVIATION CIVILE

Aux Brevets Elémentaire et Supérieur de Navigateur aérien ; aux emplois administratifs d'Agent technique et d'Ingénieur adjoint de l'aéronautique.

HENCHOZ

PUBL. C. PLOCH

MÊME ÉCOLE A ***NICE,*** *placée sous le haut patronage de la Ville de Nice*

56, boulevard Impératrice-de-Russie

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

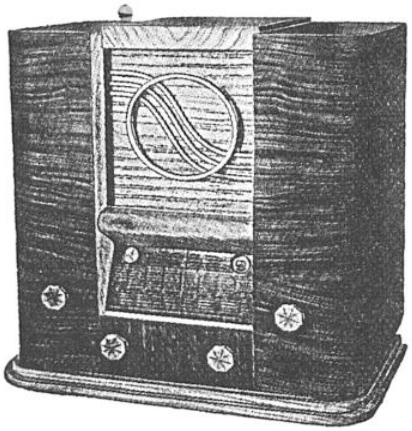
UNIQUE EN FRANCE !!!

L'application nouvelle de notre SERVICE D'ENTRETIEN et 3 vérifications gratuites par AN

GARANTIE STANDARD DE 3 ANS ÉCHANGE INSTANTANÉ de tous châssis ou postes, quelle que soit la cause de l'arrêt

Notre dernière, Salon 1938

L'ULTRAMERIC IX TOUTES ONDES PUSH-PULL



Récepteur moderne 9 lampes à grande sensibilité par emploi de la nouvelle lampe 6 TH 8 TUNGSRAM. Haute fidélité et relief sonore par push-pull et contre-réaction B F.

9 lampes nouvelles à culot octal. — Toutes ondes 17-2.000 m. — Accord 472 kc. — Sélectivité 8 kc. — Push-pull penthode avec contre-réaction appropriée. — Réglage visuel par trèfle cathodique. — Antifading 100 % amplifié. — Contrôle de tonalité. — Bobinages à noyau de fer. — Prise pick-up. — Cadran verre photogravé, éclairage indirect et 4 jeux de signalisation. — Commutateur rotatif à grains d'argent. — Dynamique grand modèle exponentiel 25 cm. — Secteur alternatif 110-240 volts.

Plus de 130 stations, ainsi que les ondes courtes sur antenne de fortune

PRIX DE RECLAME NET du poste complet .. .. **1.395. »** au lieu de **2.800. »**

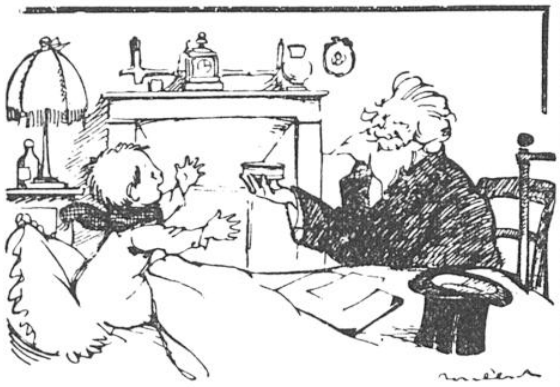
Demandez la DOCUMENTATION ILLUSTRÉE très détaillée, avec schéma et conditions de remise aux lecteurs (Référence 901)

RADIO-SÉBASTOPOL, 100, boul. de Sébastopol, PARIS Téléphone : TURBIGO 98-70

Fournisseur des grandes Administrations — Chemins de fer — Anciens combattants — Mutilés de guerre, etc.

MAISON DE CONFIANCE

PUBL. C. BLOCH



- De la Pâte Regnauld !.. Ah bon Docteur vous êtes un chic médecin !

PUBL. C. BLOCH

La MAISON FRÈRE
19, rue Jacob, Paris

envoie, à titre gracieux et franco par la poste, une boîte échantillon de

PATE REGNAULD

à toute personne qui lui en fait la demande de la part de " La Science et la Vie ".

Editeurs : FÉLIX ALCAN, Paris - NICOLA ZANICHELLI, Bologne - AKADEMISCHE VERLAGSGESELLSCHAFT m. b. H., Leipzig - DAVID NUTT, Londres - G. E. STECHERT & Co., New York - RUIZ HERMANOS, Madrid - F. KILIAN'S NACHFOLGER, Budapest - F. ROUGE & Cie, Lausanne - F. MACHADO & Cie, Porto - THE MARUZEN COMPANY, Tokyo.

1938 — 32e ANNÉE

"SCIENTIA"

Revue internationale de synthèse scientifique
Paraissant mensuellement (en fascicules de 100 à 120 pages chacun)

Directeurs : F. BOTTAZZI, G. BRUNI, F. ENRIQUES
Secrétaire général : PAOLO BONETTI

EST L'UNIQUE REVUE à collaboration vraiment internationale - à diffusion vraiment mondiale - de synthèse et d'unification du savoir, traitant par ses articles les problèmes les plus nouveaux et les plus fondamentaux de toutes les branches de la science : philosophie scientifique, histoire des sciences, mathématiques, astronomie, géologie, physique, chimie, sciences biologiques, physiologie, psychologie, sociologie, droit, sciences économiques, histoire des religions, anthropologie, linguistique. « Scientia » constitue le premier exemple d'organisation internationale du mouvement philosophique et scientifique. « Scientia » compte parmi ses collaborateurs les savants les plus illustres du monde entier.

Les articles sont publiés dans la langue de leurs auteurs, et à chaque fascicule est joint un *supplément contenant la traduction française de tous les articles non français.* La revue est ainsi entièrement accessible même à qui ne connaît que le français. *(Demandez un fascicule d'essai gratuit au Secrétaire général de « Scientia », Milan, en envoyant 5 francs en un seul timbre-poste de votre pays, à pur titre de remboursement des frais de poste et d'envoi.)*

ABONNEMENT : Fr. 315 »

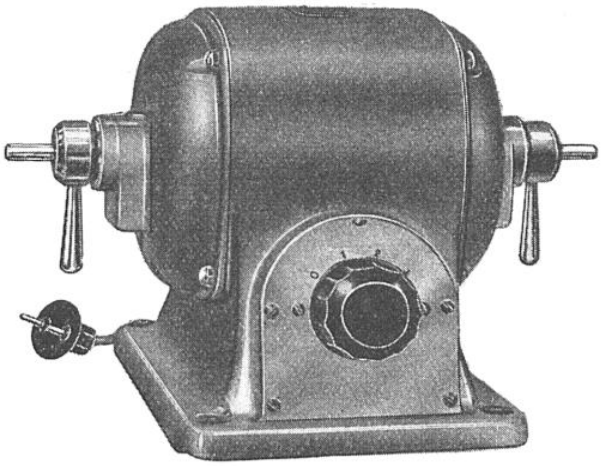
Adresser les demandes d'abonnement pour la France et ses Colonies à la **Librairie FÉLIX ALCAN, 108, boulevard Saint-Germain, Paris (6e).**

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MOTEURS D'INDUCTION

POUR TOUTES APPLICATIONS

Mono, bi et triphasés silencieux, de 1/100 à 1/2 HP

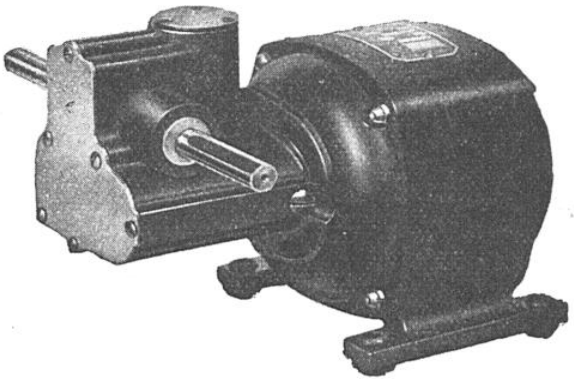


TOUR DE LABORATOIRE
à 2 ou 3 vitesses

TOURET POUR AFFUTAGE
ET POLISSAGE

MOTEUR MONOPHASÉ
à renversement de marche

MOTEUR MONO, BI, TRI
courant continu
AVEC RÉDUCTEUR
-- DE VITESSE --



Toutes vos exigences satisfaites --- Tous vos problèmes résolus

R. VASSAL
INGÉN.-CONSTRUCTEUR
13, rue Henri-Regnault, SAINT-CLOUD (S.-&-O.) - Tél. : Val d'Or 09-68

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'ÉLECTRICITÉ



Pourquoi le traitement par l'électricité guérit

Le précis d'électrothérapie galvanique édité par l'Institut Médical Moderne du Docteur LP **GRARD** de Bruxelles et envoyé **gratuitement** à tous ceux qui en feront la demande, va vous **l'apprendre immédiatement.**

Ce superbe ouvrage médical de près de 100 pages avec gravures et illustrations et valant 20 francs, explique en termes simples et clairs la grande popularité du traitement galvanique, ses énormes avantages et sa vogue sans cesse croissante.

Il est divisé en 5 chapitres expliquant de façon très détaillée les maladies du

Système Nerveux, de
l'Appareil Urinaire chez l'homme et la femme, des
Voies Digestives et du
Système Musculaire et Locomoteur.

A tous les malades désespérés qui ont vainement essayé les vieilles méthodes médicamenteuses si funestes pour les voies digestives, à tous ceux qui ont vu leur affection rester rebelle et résister aux traitements les plus variés, à tous ceux qui ont dépensé beaucoup d'argent pour ne rien obtenir et qui sont découragés, je conseille simplement de demander mon livre et de prendre connaissance des résultats obtenus par ma méthode de traitement depuis plus de 25 années.

De suite ils comprendront la raison profonde de mon succès, puisque le malade a toute facilité de suivre le traitement chez lui, sans abandonner ses habitudes, son régime et ses occupations. En même temps, ils se rendront compte de la cause, de la marche, de la nature des symptômes de leur affection et de la raison pour laquelle, seule, **l'Électricité Galvanique** pourra les soulager et les guérir.

C'est une simple question de bons sens et je puis dire en toute logique que chaque famille devrait posséder mon traité pour y puiser les connaissances utiles et indispensables à la santé. C'est du reste pourquoi j'engage instamment tous les lecteurs de ce journal, Hommes et Femmes, Célibataires et Mariés, à m'en faire la demande.

C'EST GRATUIT : Écrivez à Mr le Docteur L. P. GRARD, Institut Médical Moderne, 30, Avenue Alexandre-Bertrand à FOREST-BRUXELLES, et vous recevrez par retour du courrier, sous enveloppe fermée, le précis d'électrothérapie avec illustrations et dessins explicatifs.

Affranchissement pour l'Étranger; lettres 1.75, cartes 1 f.



Ce sera votre **'brassard lumineux'** (breveté) équipé d'une **PILE HYDRA,** avec lequel vous pourrez circuler de nuit en toute sécurité.

Léger, économique, sûr... et très visible, c'est la solution idéale de l'éclairage du piéton.

celle qui ne "flanche" pas



Pub. R. L. Dupuy

Depuis **25 ans**

... les clichés de
"LA SCIENCE ET LA VIE"
sont exécutés dans les ateliers de Photogravure des Établissements...

LAUREYS Fres
17 RUE D'ENGHIEN - PARIS-10e
TÉLÉPH.: PRO. 99.37

PHOTOGRAVURE
OFFSET - TYPONS
CLICHERIE
GALVANOPLASTIE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'OUTILERVÉ

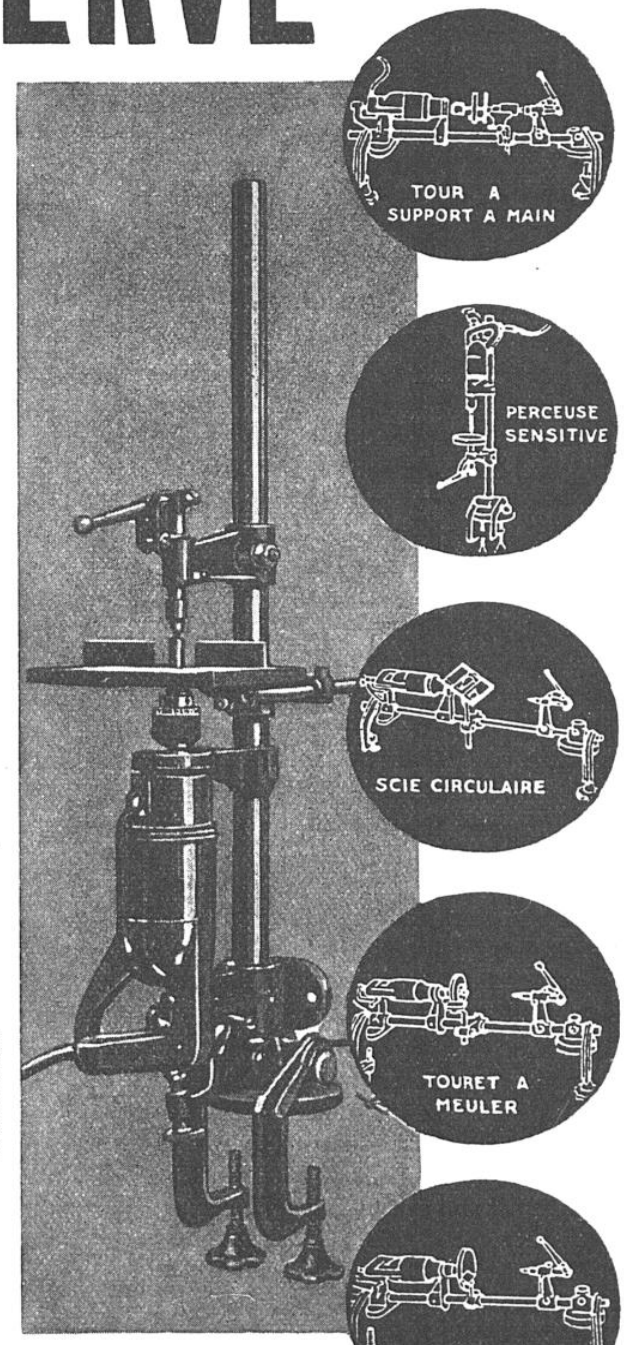
Que de travaux attrayants et utiles n'exécuterait-on pas si l'on possédait l'outillage nécessaire ? Mais on recule devant les frais d'une installation coûteuse et toujours encombrante.

L'OUTILERVÉ
remplace tout un atelier.

Robuste et précis, il est susceptible d'exécuter les travaux les plus divers, grâce à la disposition judicieuse de tous ses accessoires. Son maniement est simple et commode. Pas d'installation; il se branche sur n'importe quelle prise de courant.

L'OUTILERVÉ
est un collaborateur précieux
et un ami sûr et dévoué.

Son prix, extrêmement bas, le met à la portée de toutes les bourses.
Il est livré en un élégant coffret, avec tous ses accessoires.



PUBL. C. BLOCH

SIAMÉ

Succr de la **S. A. RENÉ VOLET**

Demander notices et tous renseignements à la

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE D'APPAREILLAGES MÉCANIQUES ET ÉLECTRIQUES

74, rue Saint-Maur, PARIS-XIe — Téléphone : Roquette 96-50 (2 lignes groupées)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTUDES CHEZ SOI

Vous pouvez faire **CHEZ VOUS, QUELLE QUE SOIT VOTRE RÉSIDENCE,** sans déplacement, sans abandonner votre situation, en utilisant simplement vos heures de loisirs, avec le **MINIMUM DE DÉPENSES,** dans le **MINIMUM DE TEMPS,** avec le **MAXIMUM DE PROFIT,** quels que soient votre degré d'instruction et votre âge, en toute discrétion si vous le désirez, dans tous les ordres et à tous les degrés du savoir, toutes les études que vous jugerez utiles pour compléter votre culture, pour obtenir un diplôme universitaire, pour vous faire une situation dans un ordre quelconque d'activité, pour améliorer la situation que vous pouvez déjà occuper, ou pour changer totalement d'orientation.

Le moyen vous en est fourni par les **COURS PAR CORRESPONDANCE** de

L'ÉCOLE UNIVERSELLE,

placée sous le haut patronage de plusieurs Ministères et Sous-Secrétariats d'Etat,

LA PLUS IMPORTANTE DU MONDE.

L'efficacité des méthodes de l'Ecole Universelle, méthodes qui sont, **depuis 31 ans,** l'objet de perfectionnements constants, est prouvée par

LES MILLIERS DE SUCCÈS

que remportent, chaque année, ses élèves aux examens et concours publics, ainsi que par les **milliers de lettres d'éloges** qu'elle reçoit de ses élèves et dont quelques-unes sont publiées dans ses brochures-programmes.

Pour être renseigné sur les avantages que peut vous procurer l'enseignement par correspondance de l'Ecole Universelle, envoyez-lui aujourd'hui même une carte postale ordinaire portant simplement **votre adresse** et le **numéro de la brochure** qui vous intéresse, parmi celles qui sont énumérées ci-après. Vous la recevrez par retour du courrier, franco de port, **à titre absolument gracieux** et **sans engagement** de votre part.

Si vous désirez, en outre, des renseignements particuliers sur les études que vous êtes susceptible de faire et sur les situations qui vous sont accessibles, écrivez plus longuement. Ces conseils vous seront fournis de la façon la plus précise et la plus détaillée, toujours à titre absolument gracieux et sans engagement de votre part.

BROCHURE N° 36.703, concernant les *classes complètes* de l'**Enseignement primaire et primaire supérieur** jusqu'aux Brevet élémentaire et Brevet supérieur inclusivement — concernant, en outre, la préparation rapide au *Certificat d'études primaires,* au *Brevet élémentaire,* au *Brevet supérieur,* pour les jeunes gens et jeunes filles qui ont déjà suivi les cours complets d'une école — concernant, enfin, la préparation au *Certificat d'aptitude pédagogique,* aux divers *Professorats,* à l'*Inspection primaire,* au *Certificat d'études P. C. B.* et à l'*examen d'herboriste.*

(Enseignement donné par des inspecteurs primaires, Professeurs d'E. N. et d'E. P. S., Professeurs de Cours complémentaires, etc.)

BROCHURE N° 36.706, concernant toutes les *classes complètes de* l'**Enseignement secondaire** officiel depuis la onzième jusqu'au *Baccalauréat* inclusivement — concernant aussi les examens de passage — concernant, enfin, pour les jeunes gens et les jeunes filles qui ont déjà suivi les cours d'un lycée ou d'un collège, la préparation rapide aux *divers baccalauréats* et aux *diplômes de fin d'études secondaires.*

(Enseignement donné par des Professeurs de Faculté, Professeurs agrégés, etc.)

BROCHURE N° 36.710, concernant la préparation à *tous les examens de* l'**Enseignement supérieur :** licence en droit, licence ès lettres, licence ès sciences, certificat d'aptitude aux divers professorats, etc.

(Enseignement donné par des Professeurs de Faculté, Professeurs agrégés, etc.)

BROCHURE N° 36.718, concernant la préparation aux concours d'admission dans **toutes les grandes Ecoles spéciales :** Agriculture, Industrie, Travaux Publics, Mines, Commerce, Armée et Marine, Enseignement, Beaux-Arts, Colonies, etc.

(Enseignement donné par des Professeurs des Grandes Ecoles, Ingénieurs, Professeurs de Faculté, Professeurs agrégés, etc.)

BROCHURE N° 36.720, concernant la préparation à **toutes les carrières administratives** de la Métropole et des Colonies.

(Enseignement donné par des Fonctionnaires supérieurs des Grandes Administrations et par des professeurs de l'Université.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

BROCHURE N° 36.728, concernant la préparation à tous les brevets et diplômes de la **Marine marchande :** Officier de pont, Officier mécanicien, Commissaire, T. S. F., etc.
(Enseignement donné par des officiers de pont, Ingénieurs, Officiers mécaniciens, Commissaires, Professeurs de l'Université, etc.)

BROCHURE N° 36 732 concernant la préparation aux *carrières d'Ingénieur, Sous-Ingénieur, Dessinateur, Conducteur, Chef de Chantier, Contremaître* dans toutes les spécialités de l'**Industrie** et des **Travaux publics :** Electricité, T. S. F., Mécanique, Automobile, Aviation, Mines, Forge, Chauffage central, Chimie, Travaux publics, Architecture, Béton armé, Topographie, etc.
(Enseignement donné par des Professeurs des Grandes Ecoles, Ingénieurs spécialistes, Professeurs de l'Enseignement technique, etc.)

BROCHURE N° 36 738, concernant la préparation à toutes les carrières de l'**Agriculture,** des **Industries agricoles** et du **Génie rural,** dans la Métropole et aux Colonies. — **Radiesthésie.**
(Enseignement donné par des Professeurs des Grandes Ecoles, Ingénieurs agronomes, Ingénieurs du Génie rural, etc.)

BROCHURE N° 36.741, concernant la préparation à toutes les carrières du **Commerce** (Administrateur commercial, Secrétaire commercial, Correspondancier, Sténo-Dactylographe) ; de la **Comptabilité** (Expert-Comptable, Comptable, Teneur de livres) ; de la **Représentation,** de la **Banque** et de la **Bourse,** des **Assurances,** de l'**Industrie hôtelière,** etc.
(Enseignement donné par des Professeurs d'Ecoles pratiques, Experts-Comptables, Techniciens spécialistes, etc.)

BROCHURE N° 36.748, concernant la préparation aux métiers de la **Couture,** de la **Coupe,** de la **Mode** et de la **Chemiserie :** Petite-Main, Seconde-Main, Première-Main, Couturière, Vendeuse, Vendeuse-retoucheuse, Modéliste, Modiste, Coupeuse, Lingère, Brodeuse, Coupeur-Chemisier, Coupe pour hommes, Professorats libres et officiels, etc.
(Enseignement donné par des Professeurs officiels et par des Spécialistes hautement réputés.)

BROCHURE N° 36.753, concernant la préparation aux carrières du **Cinéma :** Carrières artistiques, techniques et administratives.
(Enseignement donné par des Techniciens spécialistes.)

BROCHURE N° 36.758, concernant la préparation aux carrières du **Journalisme :** Rédacteur, Secrétaire de Rédaction, Administrateur-Directeur, etc.
(Enseignement donné par des Professeurs spécialistes.)

BROCHURE N° 36.764, concernant l'étude de l'**Orthographe,** de la **Rédaction,** de la **Rédaction de lettres,** de l'**Eloquence usuelle,** du **Calcul,** du **Calcul mental** et extra-rapide, du **Dessin usuel,** de l'**Ecriture,** etc.
(Enseignement donné par des Professeurs de l'Enseignement primaire et de l'Enseignement secondaire.)

BROCHURE N° 36.768, concernant l'étude des **Langues étrangères :** *Anglais, Espagnol, Italien, Allemand, Russe, Annamite, Portugais, Arabe, Esperanto.* — Concernant, en outre, les carrières accessibles aux polyglottes et le **Tourisme** (Interprète).
(Enseignement donné par des Professeurs ayant longuement séjourné dans les pays dont ils enseignent la langue.)

BROCHURE N° 36.770, concernant l'enseignement de tous les **Arts du Dessin :** Cours universel de dessin, Dessin usuel, Illustration, Caricature, Composition décorative, Décoration, Aquarelle, Peinture, Pastel, Fusain, Gravure, Décoration publicitaire — concernant également la préparation à tous les **Métiers d'art** et aux divers **Professorats,** E. P. S., Lycées, Ecoles pratiques.
(Enseignement donné par des Artistes réputés, Lauréats des Salons officiels, Professeurs diplômés, etc.)

BROCHURE N° 36.777, concernant l'**enseignement complet de la musique :** Musique théorique *(Solfège, Chant, Harmonie, Contrepoint, Fugue, Composition, Instrumentation, Orchestration, Transposition),* Musique instrumentale *(Piano, Accompagnement au piano, Violon, Flûte, Mandoline, Banjo, Clarinette, Saxophone, Accordéon)* — concernant également la préparation à toutes les carrières de la **Musique** et aux divers **Professorats** officiels ou privés.
(Enseignement donné par les Grands Prix de Rome, Professeurs membres du jury et Lauréats du Conservatoire national de Paris.)

BROCHURE N° 36.783, concernant la préparation à toutes les **carrières coloniales :** Administration, Commerce, Industrie, Agriculture.
(Enseignement donné par des Fonctionnaires supérieurs des Grandes Administrations, Techniciens spécialistes des questions coloniales, Ingénieurs d'Agronomie coloniale.)

BROCHURE N° 36 785, concernant l'**Art d'écrire** (Rédaction littéraire, Versification) et l'**Art de parler en public** *(Eloquence usuelle, Diction).*

BROCHURE N° 36 791 concernant l'**enseignement** pour les **enfants débiles** ou **retardés.**

BROCHURE N° 36 793, concernant les **carrières féminines** dans tous les ordres d'activité.

BROCHURE N° 36 799 Coiffure, Manucure, Pédicure, Massage, Soins de beauté.

Ecrivez aujourd'hui même, comme nous vous y invitons à la page précédente, à **MM. les Directeurs** de

L'ÉCOLE UNIVERSELLE

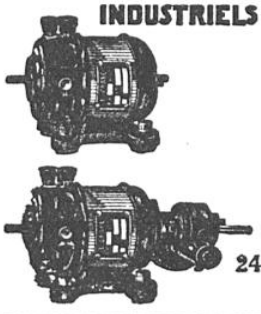
59, boulevard Exelmans, PARIS (16e)

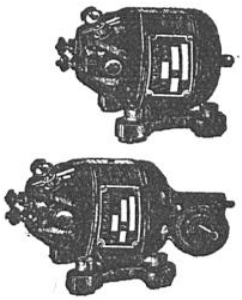
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PETITS MOTEURS INDUSTRIELS

MICRODYNE

L. DRAKE CONSTRUCTEUR





240 Bd JEAN-JAURÈS BILLANCOURT

TELEPHONE MOLITOR 12-39

PUBL. C. BLOCH

FINIES LES VACANCES,
MAIS NON LA VIE
AU GRAND AIR...



OZONAIR

SOURCE DE SANTÉ

permet de retrouver à domicile cet air vivifiant que vous avez respiré avidement durant les mois de vacances et d'en prolonger l'effet bienfaisant.

OZONAIR ÉLÉMENT DE CONFORT

Neutralise électriquement odeurs de cuisine, tabac, w.-c., etc.
Procure l'euphorie bienfaisante et la détente après le travail.

NOTICE ET RÉFÉRENCES FRANCO — ESSAI GRATUIT

PROCÉDÉS OZONAIR, 61, rue de Lancry, PARIS-Xe — Téléphone BOTZARIS 24-10 et 11

PUBL. C. BLOCH

INVENTEURS

POUR VOS BREVETS WINTHER-HANSEN L. DENÈS Ing. Cons. 35, Rue de la Lune. PARIS 2e

DEMANDEZ LA BROCHURE GRATUITE "S".

LA SCIENCE ET LA VIE

est le seul Magazine de Vulgarisation
Scientifique et Industrielle

ÉVITEZ LES ÉPIDÉMIES

◄ FILTRE ►

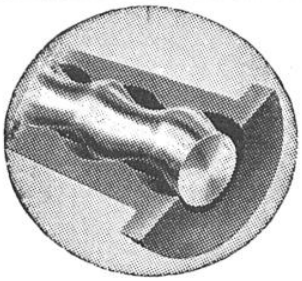
DANS TOUTES BONNES MAISONS
et 155, faubourg Poissonnière, Paris

MALLIÉ

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



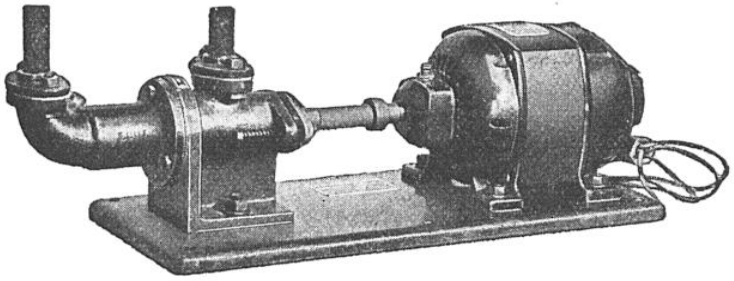
P.C.M
POMPES EN CAOUTCHOUC

LICENCE R. MOINEAU, BREVETÉE FRANCE ET ÉTRANGER

AVANTAGES

TOUS FLUIDES
LIQUIDES OU GAZEUX
EAU — VIN — PURIN
MAZOUT — ESSENCE
LIQUIDES ÉPAIS ET ABRASIFS
LIQUIDES ALIMENTAIRES
CRAIGNANT L'ÉMULSION

SILENCIEUSES
AUTO-AMORÇAGE
SIMPLICITÉ - ROBUSTESSE
USURE NULLE - ÉCONOMIE
— TOUS DÉBITS —
— TOUTES PRESSIONS —
FACILITÉ D'ENTRETIEN



De nombreuses pompes fonctionnent à bord des croiseurs *Dunkerque Strasbourg, Richelieu,* pour tous liquides.

SOCIÉTÉ
POMPES • COMPRESSEURS • MÉCANIQUE
65, 65 RUE DE LA MAIRIE VANVES (SEINE) - TÉL. MICHELET 37-18

Quelle que soit votre fabrication, économisez **TEMPS** et **ARGENT** en supprimant vos étiquettes.

LA
POLYCHROME
DUBUIT



NOMBREUSES RÉFÉRENCES DANS TOUTES LES BRANCHES DE L'INDUSTRIE



PUBL. C. BLOCH

imprime en une, deux ou trois couleurs sur tous objets.

PRÉSENTATION MODERNE
4 fois moins chère que l'étiquette
(VOIR ARTICLE DANS LE N° 227, PAGE 429)

MACHINES DUBUIT **PARIS**
62 bis, rue Saint-Blaise Roq. : 19-31

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Apprenez vite à dessiner...

Vous pouvez profiter, où que vous soyez, des avantages d'une méthode éprouvée et des conseils des meilleurs artistes de Paris.



Ce pittoresque croquis a été exécuté par Mlle Jordan, élève de l'Ecole A. B. C., quelques mois après son inscription. Il témoigne d'un sens réel de l'observation, et d'un souci voulu de simplicité, qui n'exclut ni la vérité du détail, ni la justesse de l'attitude.

DÈS LA PREMIÈRE LEÇON, même si vous n'avez jamais tenu un crayon, le dessin deviendra pour vous une distraction passionnante, et vos tâtonnements timides des croquis vivants. Pouvez-vous vous imaginer un passe-temps plus fascinant que de suivre vos progrès constants dans cette branche de l'activité humaine qu'est l'art de dessiner ?

Des résultats immédiats

C'est dans les étonnants progrès du débutant que réside le secret de la réussite de la méthode A. B. C. C'est par cette méthode que des milliers d'hommes et de femmes ont appris très vite et très facilement à enlever d'un coup de crayon un coin pittoresque, un geste harmonieux, l'allure élégante d'une silhouette entrevue.

Tout un monde nouveau s'est ouvert devant eux. Vous n'avez plus le droit aujourd'hui de vous priver encore de la joie de créer, d'augmenter votre culture, d'acquérir une nouvelle valeur sociale.

C'est si facile maintenant...

Dessiner est aussi facile qu'écrire. Si vous avez déjà dessiné, ce sera pour vous le moyen certain de vous perfectionner dans votre art, et même de vous spécialiser. Sinon, ayez confiance en vous-même.

Le dessin n'est pas un don surnaturel accordé à quelques privilégiés. Que faut-il ? Du goût et des idées... Et vous en avez ! Ce qui vous manque, le métier, la technique, le coup de crayon, l'Ecole A. B. C. vous l'apporte.

★ *Une véritable leçon gratuite*

RÉCLAMEZ notre brochure illustrée par les élèves, c'est un ouvrage captivant, qui forme à lui seul une véritable leçon de dessin. Il vous documentera sur l'activité de l'Ecole A. B. C., sa méthode particulière sur le programme général et sur les cours de spécialisation.

Ecrivez-nous aujourd'hui même, et vous recevrez cette belle plaquette, soigneusement éditée.

Aucun engagement, aucun frais.

POSTEZ CE COUPON TOUT DE SUITE

ÉCOLE A. B. C. DE DESSIN
12, rue Lincoln, PARIS (8e)
(CHAMPS ÉLYSÉES)

Monsieur le Directeur,
Veuillez me faire parvenir, gratuitement et sans engagement pour moi, votre luxueuse brochure illustrée par les élèves, contenant tous renseignements sur la méthode A.B.C., et sur le programme général des cours.

Nom .....

Profession ..... *Age* .....

Adresse .....

..... *Dépt* ..... **B. 6**

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cadeaux appréciés



CIGARES & CIGARETTES
DE LA REGIE FRANÇAISE
CAISSE AUTONOME D'AMORTISSEMENT

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

INSTANTANEMENT, A DISCRETION, DE L'EAU BOUILLANTE

Voila le dernier cri du confort et le dernier progrès de la technique.

Déjà le chauffe-eau à usage culinaire et le chauffe-bains à usage de la toilette procuraient des commodités qui, en maintes demeures, peuvent paraître suffisantes. Car c'est bien quelque chose que de disposer instantanément, sur son lavabo, dans sa baignoire ou sur son évier, d'eau chaude, à bonne température et en quantités à peu près illimitées.

Mais, dans une foule de circonstances, on peut souhaiter disposer instantanément d'eau bouillante.

L'appareil dont l'illustration ci-contre montre l'aspect et qui fonctionne au gaz est en mesure de faire passer instantanément de l'eau fraîche à l'ébullition. Mais, qui peut le plus, peut le moins, et le même appareil peut fournir de l'eau simplement chaude, tiède, voire froide, le tout à la mesure des besoins et sans gaspillage.

C'est pour éviter le gaspillage que l'on a organisé de façon simple le jeu des manettes et des robinets.

Tourne-t-on le robinet cerclé de bleu, on a de l'eau froide ; le robinet cerclé de rouge, de l'eau chaude, qui, suivant la position de la manette de réglage en porcelaine, sera chaude, très chaude ou bouillante.



CHAUFFE-EAU A EAU BOUILLANTE

Précisons qu'avec une consommation infime de gaz — environ 42 litres à la minute — l'appareil en question porte :

5,3 litres d'eau de 10° à 35° ;

2,3 litres d'eau de 10° à 65° ;

1,4 litre d'eau de 10° à 99°.

C'est dire qu'il est de taille à satisfaire tous les besoins d'un ménage, y compris la confection instantanée du thé, du café, des infusions, la coction des œufs, et maintes autres opérations culinaires ; c'est dire que les restaurants, les cafés, les salons de thé auront en lui un diligent agent d'exécution et qu'il sera demain, dans les hôpitaux, les infirmeries, les cliniques, chez les médecins, les pharmaciens, les dentistes, les vétérinaires, le précieux auxiliaire des fervents de l'aseptie.

Elégant et peu encombrant, il ne sera déplacé nulle part.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Apprenez "*au moins*" une langue de plus

C'est maintenant tellement facile!

QUE de fois vous avez souhaité pouvoir bavarder avec un Anglais, un Allemand ou un Italien, lire les auteurs étrangers dans leur langue, voyager à travers le monde sans être embarrassé, comprendre tous les films, suivre toutes les émissions.
Quel plaisir vous pourriez tirer de la connaissance d'une langue, et quelle supériorité vous auriez sur les autres!



(Photo G.-L. Manuel.)

M. MAETERLINCK
le grand écrivain belge, l'auteur immortel de « Pelléas et Mélisande » :

« J'ai tenu à étudier les vertus de Linguaphone. C'est fait et je suis convaincu. En huit jours, j'ai fait plus de progrès que je n'en avai fait durant un mois de séjour à Londres. »

Cet hiver, vous saurez l'anglais... ou n'importe quelle autre langue.

Prenez dès aujourd'hui la décision d'ajouter à votre bagage une langue étrangère par la méthode Linguaphone. — Des milliers de personnes l'ont fait avant vous. — Et ce qu'elles ont fait, vous pouvez le faire. Avec Linguaphone, plus de leçons assommantes à étudier, plus de dérangements dans vos occupations.

Vous passerez des soirées d'un intérêt passionnant, en apprenant « par l'oreille » la langue que vous désirez. Après quelques heures, vous serez étonné de vos progrès et, au bout de 60 heures d'amusantes études, vous pourrez converser aisément.

Linguaphone apporte du nouveau.

La méthode Linguaphone, créée après des années d'études et d'observations, a littéralement révolutionné l'enseignement des langues. Les plus éminentes autorités universitaires la recommandent sans réserve. Assis dans votre fauteuil, ou le soir dans votre lit, vous écoutez, sur un phonographe, les disques enregistrés par les meilleurs professeurs de chaque pays — tout en suivant sur un livre illustré la conversation que vous entendez. Vous sentez déjà combien cette méthode est plus vivante, plus profitable.

•• Un ESSAI GRATUIT de 8 jours, « chez vous »

Si vous n'avez jamais entendu Linguaphone, vous ne pouvez pas savoir ce que c'est.

Pour vous permettre d'apprécier la valeur de la méthode Linguaphone, venez entendre une de nos leçons. Si vous ne pouvez vous déplacer, retournez-nous ce bon aujourd'hui même.

Nous vous adresserons notre luxueuse brochure illustrée qui vous expliquera le fonctionnement de la méthode Linguaphone et vous indiquera comment obtenir un essai de 8 jours chez vous absolument gratuit et sans aucun engagement.

Postez ce bon tout de suite

INSTITUT LINGUAPHONE
12, rue Lincoln, PARIS (8e)
— Téléphone : Elysées 30-74 —

Monsieur le Directeur.
Veuillez m'envoyer la documentation Linguaphone contenant l'offre d'un essai gratuit de 8 jours chez moi.

Nom : .....

Langue choisie : .....

Adresse : .....

..... B. 8

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

AUTOMOBILISTES!

ATTENTION aux contraventions

N'oubliez pas que vous n'avez plus que quelques jours pour adopter les

lampes sélectives jaunes

(Arrêté ministériel)

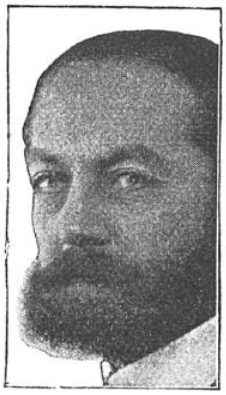
Prenez bien garde de n'utiliser que des lampes portant la mention

« **Agréé A. B. T. P., n°...** »

Révélation du secret de l'influence personnelle

Méthode simple pour développer le magnétisme, la concentration, la mémoire et la force de volonté. Un livre de 48 pages décrivant entièrement cette méthode unique ainsi qu'une étude de caractère GRATIS à tous ceux qui écrivent immédiatement.

« La merveilleuse puissance de l'Influence Personnelle, du Magnétisme, de la Fascination, du Contrôle de l'Esprit, qu'on l'appelle comme on voudra, peut être sûrement acquise par toute personne, quels que soient son peu d'attrait naturel et le peu de succès qu'elle ait eu », dit M. Elmer E. Knowles, auteur du livre intitulé : « *La Clé du Développement des Forces Intérieures.* » Ce livre dévoile des faits aussi nombreux qu'étonnants concernant les pratiques des Yogis hindous et expose une méthode unique en son genre pour le développement du Magnétisme Personnel, des Puissances Hypnotiques et Télépathiques, de la Mémoire, de la Concentration et de la Force de Volonté à l'aide de la merveilleuse science de la suggestion. Le comte H. Csaky-Pallavicini écrit : « Chacun devrait posséder votre méthode si simple. Les instructions qu'elle contient sont aussi nécessaires à l'humanité que l'air l'est aux poumons ou la nourriture au corps. » Ce livre, distribué gratuitement, contient de nombreuses reproductions photographiques montrant comment ces forces invisibles sont employées dans le monde entier et comment des milliers des peronnes ont développé certaines puissances de la possession desquelles elles étaient loin de se douter. La distribution gratuite a été confiée à une grande institution de Bruxelles et un exemplaire sera envoyé franco à quiconque en fera la demande.



Comte H. CSAKY-PALLAVICINI

En plus du livre gratuit, toute personne qui écrit immédiatement recevra une étude détaillée de caractère. Copiez simplement de votre propre écriture les lignes suivantes :

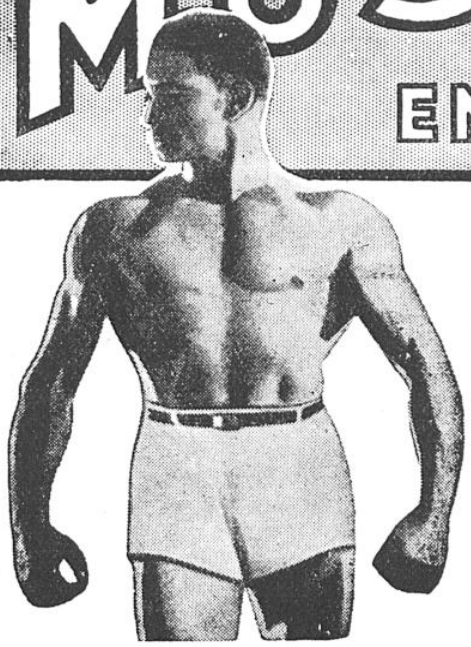
« Je veux le pouvoir de l'esprit,
La force et la puissance dans mon regard.
Veuillez lire mon caractère
Et envoyez-moi votre livre. »

Ecrivez très lisiblement vos nom et adresse complets (en indiquant Monsieur, Madame ou Mademoiselle) et adressez la lettre à PSYCHOLOGY FOUNDATION S. A., distribution gratuite (Dépt. 3529-K.), rue de Londres, 18, Bruxelles, Belgique. Si vous voulez, vous pouvez joindre à votre lettre 3 francs français, en timbres de votre pays, pour payer les frais d'affranchissement, etc. Assurez-vous que votre lettre est suffisamment affranchie. L'affranchissement pour la Belgique est de fr. 1,75.

N. B. — Psychology Foundation est une maison d'édition établie depuis de nombreuses années. Elle s'est fait d'innombrables amis par la distribution de livres utiles et de brochures traitant de questions psychologiques et mentales. Plus de 40 professeurs d'universités ont contribué à ses éditions et tous les ouvrages pour lesquels un prix est fixé sont vendus avec une garantie de satisfaction ou de remboursement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DES MUSCLES EN 30 JOURS



NOUS LE GARANTISSONS

C'est avec juste raison qu'on nous appelle les « Constructeurs de muscles ». En trente jours, nous pouvons transformer votre corps d'une manière que vous n'auriez jamais crue possible. Quelques minutes d'exercice chaque matin suffisent pour augmenter de 4 centimètres les muscles de vos bras et de 12 centimètres ceux de votre tour de poitrine. Votre cou se fortifiera, vos épaules s'élargiront. Avant même que vous vous en aperceviez, les gens se retourneront sur votre passage. Vos amis se demanderont ce qui vous est arrivé. Peu importe que vous ayez toujours été faible ou mince ; nous ferons de vous un homme fort, et nous savons que nous pouvons le faire. Nous pouvons non seulement développer vos muscles, mais encore élargir votre poitrine et accroître la capacité de vos poumons. A chaque respiration, vous remplirez entièrement vos poumons d'oxygène, et votre vitalité ne sera pas comparable à ce qu'elle était auparavant.

ET EN CENT CINQUANTE JOURS

Il faut compter cent cinquante jours pour mener à bien et parfaire ce travail ; mais, dès le trentième jour, les progrès sont énormes. Au bout de ce temps, nous vous demanderons simplement de vous regarder dans une glace. Vous verrez alors un tout autre homme. Nous ne formons pas un homme à moitié. Vous verrez vos muscles se gonfler sur vos bras, vos jambes, votre poitrine et votre dos. Vous serez fier de vos larges épaules, de votre poitrine arrondie, du superbe développement de la tête aux pieds.

NOUS AGISSONS ÉGALEMENT SUR VOS ORGANES INTÉRIEURS

Nous vous ferons heureux de vivre : vous serez mieux et vous vous sentirez mieux que jamais vous ne l'aurez été auparavant. Nous ne nous contentons pas seulement de donner à vos muscles une apparence qui attire l'attention ; ce serait du travail à moitié fait. Pendant que nous développons extérieurement vos muscles, nous travaillons aussi ceux qui commandent et contrôlent les organes intérieurs. Nous les reconstituons et nous les vivifions, nous les fortifions et nous les exerçons. Nous vous donnerons une joie merveilleuse : celle de vous sentir pleinement en vie. Une vie nouvelle se développera dans chacune de vos cellules, dans chacun des organes de votre corps, et ce résultat sera très vite atteint. Nous ne donnons pas seulement à vos muscles, dont la proéminence vous émerveille, la fermeté, mais nous vous donnons encore l'ÉNERGIE, la VIGUEUR, la SANTÉ. Rappelez-vous que nous ne nous contentons pas de promettre : nous garantissons ce que nous avançons.

FAITES-VOUS ADRESSER par le DYNAM INSTITUT le livre GRATUIT : **Comment former ses muscles.** *(L'Education Physique de la Nation française)*. Retournez-nous le coupon ci-joint dès aujourd'hui. Ce livre vous fera comprendre l'étonnante possibilité du développement musculaire que vous pouvez obtenir. Vous verrez que la faiblesse actuelle de votre corps est sans importance, puisque vous pouvez rapidement développer votre force musculaire avec certitude.

Ce livre est à vous : il suffit de le demander. Il est gratuit, mais nous vous prions de bien vouloir joindre 3 timbres à 0 fr. 65 pour frais d'envoi. Une demande de renseignements ne vous engage à rien. Postez le bon dès maintenant pour ne pas l'oublier.

BON GRATUIT A DÉCOUPER OU A RECOPIER

DYNAM INSTITUT (Stand A 50), 25, rue d'Astorg, PARIS (8e)

Veuillez m'adresser, gratuitement et sans engagement de ma part, votre livre intitulé: COMMENT FORMER SES MUSCLES (L'Education Physique de la Nation française), *ainsi que tous les détails concernant votre garantie. Ci-inclus 3 timbres à 0 fr. 65 pour frais d'envoi.*

NOM .....

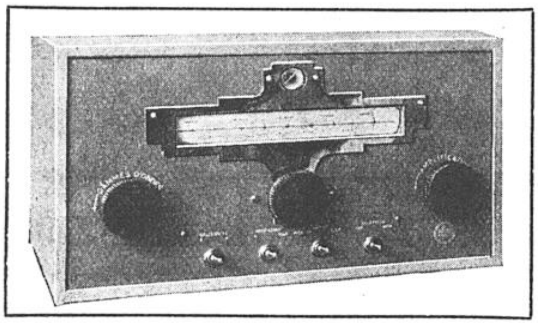
ADRESSE .....

.....

38

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un Super Colonial moderne



NOTICE DÉTAILLÉE ET TARIF
sur simple demande mentionnant *La Science et la Vie*

Désireux de donner satisfaction à de nombreuses demandes de leurs clients, les *Etablissements GAILLARD, 5, rue Charles-Lecoq, Paris-15e*, ont créé un poste colonial couvrant sans trou la gamme de 10 à 120 mètres. Ce poste supporte avantageusement la comparaison avec tous les appareils existant actuellement sur le marché, sous tous les rapports : présentation, technique, sécurité, et surtout prix.

Ce montage comporte :
Cinq gammes d'ondes (10 à 120 mètres sans trou) ;
Haute fréquence accordée ;
Bobinages imprégnés, montés sur contacteur tournant ;
Cadran de grande précision à deux vitesses ; aiguille trotteuse ;
Sélectivité variable ;
Interrupteur d'antifading ;
Commande d'hétérodyne de recherche, etc.

Notre fabrication comprend, en plus de cet appareil, toute une gamme de récepteurs de 5 à 12 lampes à réglage automatique, étudiés pour obtenir la meilleure reproduction musicale.

Demandez la documentation complète sur notre fabrication (envoi franco).

PUBL. C. BLOCH

Établissements GAILLARD
5 bis, rue Charles-Lecoq, 5 bis
PARIS-15e

LA RADIESTHÉSIE
scientifiquement expliquée
par la théorie de la
RADIO-DÉSINTÉGRATION

Résultats précis et applications pratiques grâce à la méthode et aux appareils sélectifs de

M. L. TURENNE
Ingénieur E. C. P., ancien professeur de T. S. F. à l'École d'artillerie de Fontainebleau.

19, rue de Chazelles, PARIS (17e) Téléphone : Wagram 42-29

Etude de toutes les ondes : leur origine, leur nature, leur influence sur notre organisme. Ondes favorables. Ondes nuisibles. Le moyen de nous en protéger.

Notices, Livres, Leçons particulières et COURS PAR CORRESPONDANCE

Envoi franco de notices explicatives

RECHERCHE D'EAU, DE MÉTAUX, etc.
Etudes sur plans. — Installations d'eau
POMPES — ÉLECTRICITÉ — CHAUFFAGE

MECCANO
LA MÉCANIQUE EN MINIATURE

JEUNES GENS !

Le Nouveau Meccano vous procurera un amusement et une joie sans fin. Vous serez étonnés des perfectionnements Meccano. Regardez les Nouvelles Pièces dans chaque Boîte et les nouveaux et magnifiques Modèles tous étudiés pour vous amuser. Il y a toujours quelque chose de nouveau à construire avec Meccano, et les heures passent comme par enchantement.

GRATUIT. — *Un merveilleux catalogue de 44 pages. Demandez-le chez votre fournisseur ou envoyez-nous sur carte postale vos nom et adresse et ceux de trois de vos amis.*

MECCANO (Service 26), 78, rue Rébeval, PARIS-19e



C'EST RÉALISTE • ÇA MARCHE • C'EST MECCANO

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SANS - FILISTES !

Pas d'auditions vraiment pures

sans un SUPER CB2

SURVOLTEUR - DÉVOLTEUR

Le voltage du courant que vous utilisez subit des variations périodiques. Le **survoltage** diminue la musicalité, provoque des **parasites** et entraîne le **claquage** des lampes. Le **dévoltage diminue** la **musicalité** ainsi que la **sélectivité.** Adaptez à votre poste, sans aucune installation, le **SUPER CB-2 FERRIX** qui "nivelle" le courant à son voltage exact.



FERRIX

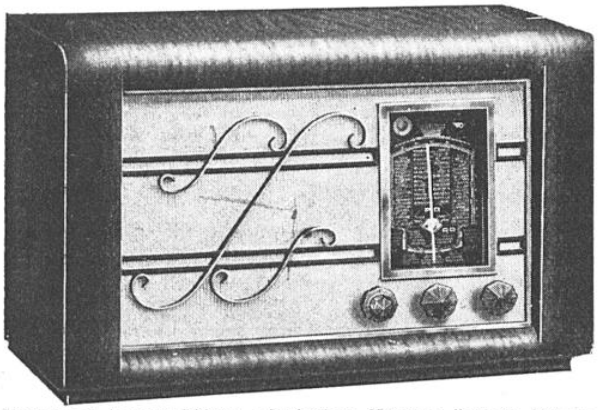
NOTICE Nº 11 SUR DEMANDE :
98, Av. Saint-Lambert - NICE
172, Rue Legendre - PARIS

R.L.D

Une réalisation de grande valeur !...

Le P. B. 10 PUSH-PULL

10 tubes miniwatt série Transcontinentale 1939
(1 EF 8, 1 EK 3, 1 EF 9, 1 EB 4, 1 EF 9, 1 EF 6, 2 EL 3, 1 1883, 1 EM 1)



La plus belle réalisation inspirée par la technique « Cinématique Electronique »

◆◆

Grande souplesse et grande stabilité sur toutes les gammes. Récepteur à haute fidélité comportant tous les raffinements que l'on puisse imaginer à l'heure actuelle.

◆◆

Prix du châssis câblé, étalonné, av. lampes, net .. **1.350.»**

POSTE COMPLET, monté en ébénisterie de luxe, avec dynamique *Cleveland*, 24 cm., net .. **1.750.»**

Dimensions : Largeur, 580 mm. ; Profondeur, 350 mm. : Hauteur, 400 mm.

Demandez Notice technique et Devis

PUBL. BLOCH

Etab. RADIO-SOURCE, 82, avenue Parmentier, PARIS-XI^e^

A L'ABRI DANS UN
VELOCAR.
BICYCLETTE CARROSSÉE



VOUS POURREZ CIRCULER PAR TOUS LES TEMPS
NOTICE: 68, R. ROQUE DE FILLOL. PUTEAUX (SEINE)
TÉLÉPH : LON. 07-25

GRATUITEMENT

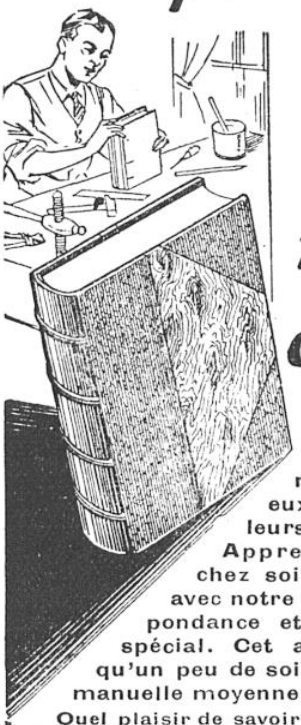
Vous recevrez ce livre

DEVENIR STÉNOGRAPHE EN UN MOIS

Vous y apprendrez comment le Système **Prévost-Delaunay** a été simplifié en *douze* courtes leçons et comment vous pouvez, chez vous, obtenir une grande vitesse, par vous-mêmes (Recueil *S. V.*, joindre 1 fr. 30 pour frais). **Prévost-de-Mulder, 2, rue Guersant, Paris (17^e^).**

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

N'avez-vous jamais pensé à faire de la reliure chez vous



De nombreux lecteurs de cette revue ont appris eux-mêmes à relier leurs livres.

Apprendre la reliure chez soi est chose facile avec notre cours par correspondance et notre outillage spécial. Cet art ne demande qu'un peu de soin et une habileté manuelle moyenne.

Quel plaisir de savoir habiller soi-même les livres de sa bibliothèque ! C'est le dérivatif et le passe temps préférés de l'intellectuel.

Certains de nos adhérents se font de jolis revenus et relient ainsi pour leurs amis et leurs relations. C'est un des rares métiers d'art qui soient rémunérateurs pour ceux qui veulent du travail à faire chez soi.

Demandez notre belle brochure gratuite illustrée en couleurs : « La Reliure d'Amateur », que nous vous adresserons gratuitement. Faites-le en copiant le bon ci-dessous.

● BEL ALBUM GRATUIT ●

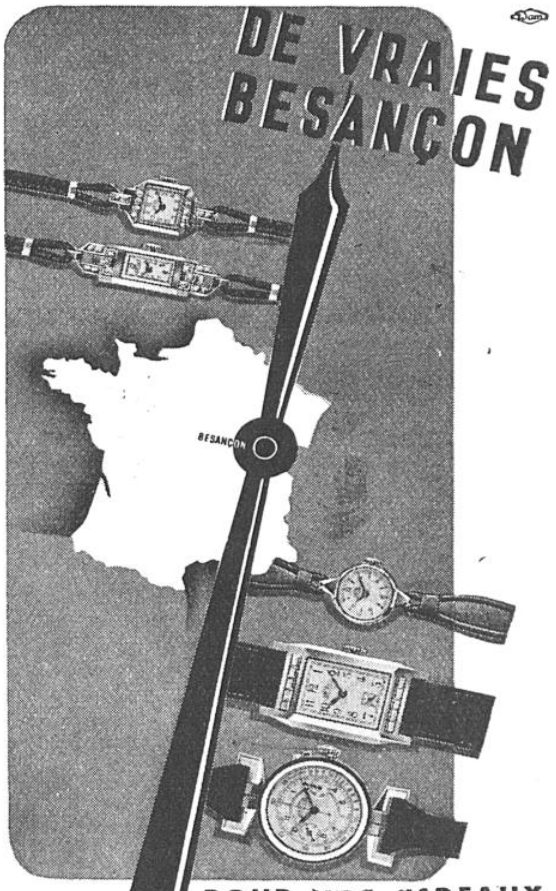
Voulez-vous avoir tous les renseignements sur l'Art de la Reliure ? Demandez sans tarder notre album : **La Reliure d'Amateur.** *Joindre 1 fr. 80 en timbres pour frais de poste.*

INSTITUT ARTISANAL DE RELIURE
5 bis, Cité Malesherbes
PARIS

PUBL. C. BLOCH

BON GRATUIT à découper ou à copier
Veuillez m'adresser votre brochure : La Reliure d'Amateur, gratuitement et sans engagement. (Ci-joint 1 fr. 80 pour frais d'envoi.)
Nom et Prénom .....
Adresse .....

DE VRAIES BESANÇON



POUR VOS CADEAUX

L'origine fera mieux apprécier les cadeaux que vous offrirez bientôt. Entre autres, vous donnerez des montres : qu'elles soient alors de vraies "Besançon". Adressez-vous à la Fabrique, aux Etablissements SARDA, établis à Besançon depuis 1893.

Nouveau Catalogue
Demandez aux Ets SARDA le nouvel et luxueux catalogue n° 39.65 : vous y trouverez plus de 600 modèles, tous signés SARDA... un nom, une origine, une garantie !

SARDA
BESANÇON

Reprise et échange de montres et bijoux anciens.

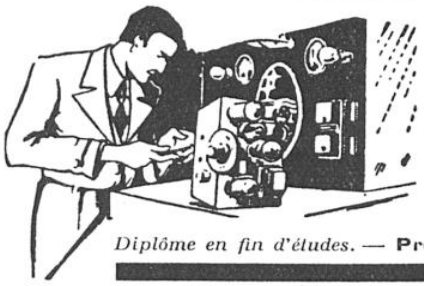


FABRIQUE D'HORLOGERIE DE PRÉCISION

Conditions spéciales aux lecteurs de "la Science et la Vie"

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ARMÉE - MARINE - AVIATION - COLONIES - ADMINISTRATION - MINISTÈRES - INDUSTRIE - COMMERCE



La T. S. F. permet de satisfaire tous les goûts et ouvre partout des carrières nombreuses et rémunératrices aux

TECHNICIENS DIPLOMÉS

DEVENEZ-LE en quelques mois d'études agréables et faciles, sur place ou par correspondance, grâce aux

COURS PROFESSIONNELS DE T. S. F. ET RADIO

62, boulevard Sébastopol Paris (3e)

BROCHURE GÉNÉRALE GRATUITE — PRÉPARATION MILITAIRE RADIO

Cours complet de construction, montage, réglage et dépannage : **250 fr.**

Diplôme en fin d'études. — **Première leçon gratuite aux lecteurs de « La Science et la Vie ».**

L'HOMME MODERNE

remplace une montre ordinaire par le

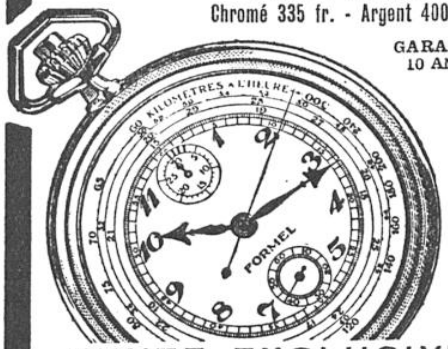
Chronographe FORMEL

C'est un appareil scientifique donnant toujours l'heure exacte et permettant tous les chronométrages : scientifiques, industriels et sportifs, avec la plus rigoureuse précision.

PRIX FRANCO :

Chromé 335 fr. - Argent 400 fr.

GARANTI 10 ANS



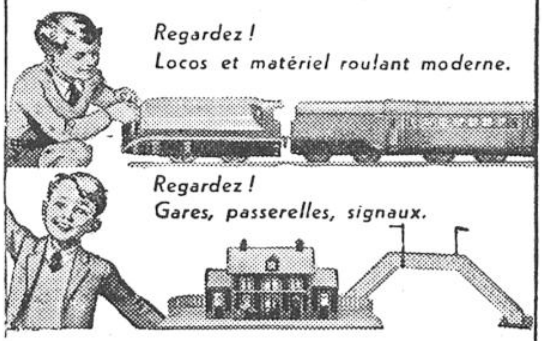
VENTE EXCLUSIVE

E. BENOIT, 60, r. de Flandre, PARIS

Références : ETAT, CHEMINS DE FER DE L'EST, P. O., VILLE DE PARIS, ETC.

NOTICE A FRANCO

TRAINS HORNBY



Regardez !
Locos et matériel roulant moderne.

Regardez !
Gares, passerelles, signaux.

LA RICHESSE DE LA GAMME HORNBY

en trains, autorails, locos, wagons, voitures, gares, tunnels, passages à niveau et autres accessoires, vous permet la reproduction en miniature des vrais chemins de fer. Un réseau simple ou compliqué, mécanique ou électrique; tout est possible avec le matériel Hornby.

Trains mécaniques, à partir de Frs 40.»
Trains électriques, à partir de Frs. 165.»

GRATUIT. — *Un merveilleux catalogue de 44 pages contenant toutes les nouveautés. Demandez-le dans les bonnes maisons de jouets ou envoyez-nous sur carte postale vos nom et adresse et ceux de trois de vos amis.*

MECCANO (Service V) - 80, rue Rébeval - Paris-19e

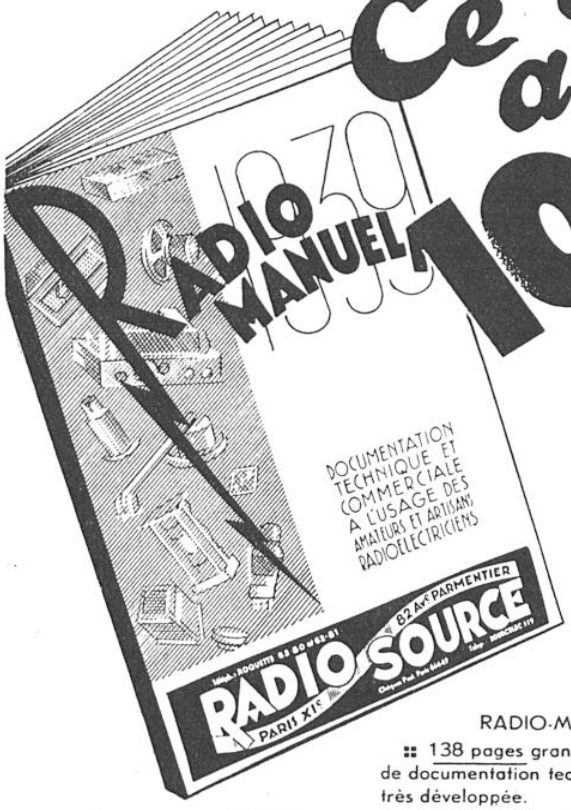
PUBL. C. BLOCH

LA PUBLICITÉ DE
LA SCIENCE ET LA VIE
est exclusivement reçue par
EXCELSIOR PUBLICATIONS
118, CHAMPS-ÉLYSÉES - ÉLYSÉES 65-94 à 98

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

UNE DOCUMENTATION SENSATIONNELLE..!

Ce catalogue a coûté... 10000 FRANCS



Vous pouvez vous le procurer contre

5 fr

RADIO-MANUEL 1939 contient :

:: 138 pages grand format (280 x 240ᵐᵐ) de documentation technique et commerciale très développée.

:: 20 Schémas nouveaux de technique Transcontinentale 1939 et de technique Américaine : Récepteurs des plus simples (Populaire à 3 lampes) jusqu'aux plus perfectionnés (13 lampes), Poste à bandes étalées ondes courtes, Poste spécial Ondes très courtes, Poste Émetteur, Amplificateurs jusqu'à 60 watts modulés, Nouveaux Postes Batteries, Transmetteurs d'Ordres, Poste Emission-Réception, etc...

:: 17 Pages de Documentation **Technique** sur les nouvelles lampes **avec les prix actuels.**

:: 7 Pages "Matériel Ondes-Courtes" et enfin :

:: Catalogue **complet,** unique dans son genre, avec répertoire alphabétique de toutes les pièces Radio-Électriques et Postes complets, avec les **tous derniers prix actuels.**

Prix de cette Documentation Complète **frs : 5.** (Pour l'expédition en Province prière d'ajouter frs : **1,50** pour frais d'envoi.) Nous acceptons les timbres-poste.

Se référer de *La Science et la Vie.*

PUBL. C. FLOCH

Téléph.: ROQUETTE 62-80 et 62-81

RADIO SOURCE

82 Avᵉ PARMENTIER

PARIS XIᵉ

Chèques Post. Paris 664-49 Télégr.: SOURCELEC-119

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une **INVENTION NOUVELLE**
est souvent une source de profits pour son auteur.

Un **BREVET d'INVENTION**
bien étudié permet seul d'en tirer parti.

POUR AVOIR UNE BONNE PROTECTION
UTILISEZ LES SPÉCIALISTES
DE
LA SCIENCE ET LA VIE

RENSEIGNEMENTS GRATUITS SUR PLACE ET PAR ÉCRIT AU
SERVICE SPÉCIAL DES
INVENTIONS NOUVELLES
DE
LA SCIENCE ET LA VIE

23, RUE LA BOÉTIE
PARIS (VIII[e])

IMP. C. BECH



CURIEUSE EXPÉRIENCE D'ISOLEMENT THERMIQUE

Mettez la main au-dessus de la flamme d'une lampe à alcool : vous sentez une vive chaleur. Interposez un morceau de toile, vous la sentirez autant. Interposez maintenant un morceau d'**ISOLEX** : vous serez surpris de ne plus rien sentir ! C'est qu'**ISOLEX,** tissu nouveau qui a fait l'objet de plusieurs brevets, est un remarquable isolant thermique.

Placez maintenant votre morceau d'**ISOLEX** au-dessus d'une casserole d'eau bouillante : vous verrez qu'il laisse parfaitement passer la vapeur. De la même façon, le tissu **ISOLEX** sur le corps laisse la sueur s'évaporer et la peau respirer.

C'est pourquoi les articles en **ISOLEX** ont tant de succès. Les travailleurs manuels et les sportifs, aussi bien que les sédentaires, les personnes faibles des bronches ou sujettes à la transpiration, tous ceux que leur activité expose à de brusques changements de température, connaissent avec l'**ISOLEX** une vie nouvelle. De nombreux médecins l'utilisent et le recommandent.

Il existe, en **ISOLEX,** toutes sortes de sous-vêtements et vêtements qui ne coûtent d'ailleurs pas plus cher que d'autres. Ils sont remboursés sans discussion en cas de non satisfaction.

BON *pour recevoir gratis un* ***échantillon*** *permettant de faire les expériences et le nouveau* ***catalogue*** *(nombreux modèles, hommes, dames et enfants) à retourner avec vos noms et adresse à*
ISOLEX - 11, Rue Vorzais - MONT SAINT-AIGNAN (Seine-Inférieure).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



TRAINS JEP

ILS BATTENT TOUS LES RECORDS !



Cette année, comme toujours, les trains **JEP** présentent un grand nombre de nouveautés sensationnelles : locos exclusivement aérodynamiques, motrices Paris-Nice, type Diesel électrique de 4.400 ch, wagons surbaissés du dernier modèle en usage sur les grandes lignes, Pullman de luxe avec éclairage électrique, etc.

FORGEACIER est le jouet de construction idéal qui complète les trains **JEP**. C'est une véritable usine dans une boîte.

FORGEACIER

100 % FRANCAIS • EN VENTE PARTOUT

GRATUIT ! Ecrivez aux **TRAINS JEP**, 39, boul. Beaumarchais, Paris, Service B, pour recevoir, à titre gracieux, notre nouvelle brochure illustrée.

LE JOUET DE PARIS, 39, bd Beaumarchais, PARIS (3e)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LANGUES VIVANTES



VOUS QUI LISEZ
cette annonce d'un œil distrait,

SONGEZ
qu'elle peut être pour vous le point de départ d'une vie plus large et plus intéressante.

POURQUOI
ne connaîtriez-vous pas, vous aussi, une ou plusieurs langues étrangères ?

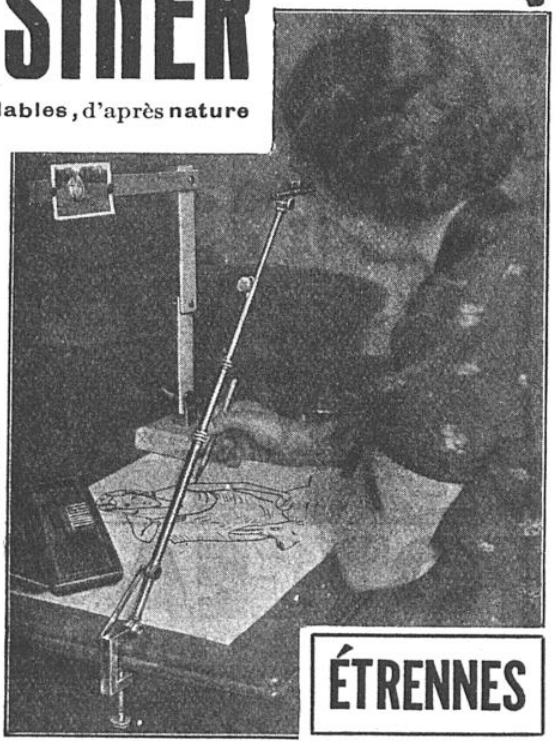
NOUS VOUS ASSURONS
que c'est facile, et même amusant, avec les disques ASSIMIL, la méthode d'assimilation intuitive qui supprime l'effort.

AYEZ-EN LE CŒUR NET !
Demandez-nous la ***brochure d'essai*** de 7 leçons, avec documentation complète, pour l'***Anglais***, l'***Allemand***, l'***Italien***, l'***Espagnol*** ou le ***Néerlandais***.

IL NE VOUS EN COUTERA QUE 2 FRANCS
en timbres, par langue, et nous sommes certains que
VOUS NOUS EN REMERCIEREZ !

ASSIMIL (Service Sc), 15 bis, rue de Marignan — Paris (8e)

Sans Savoir Vous Pouvez DESSINER



rapidement et exactement, sans études préalables, d'après nature et d'après document, à N'IMPORTE QUELLE GRANDEUR ! grâce au

Dessineur : 135 Fr. = Port et emballage : 5 fr. France et Colonies ; 10 fr. à l'Etranger

OU A LA

Chambre Claire Universelle 275 et 420 fr.
(L'APPAREIL DE GRANDE PRÉCISION)
Emballage et port : France et Colonies, 8 francs ; Etranger, 25 francs

Nombreuses références officielles et privées
Envoi gratuit du catalogue n° 12

Donne dessins **agrandis**, **copiés** ou **réduits** de tous sujets ou documents, portraits, paysages, objets, photos, etc. — Gain de temps et de possibilités pour les amateurs et les professionnels. — Permet aux débutants de dessiner sans délai. — Permet aux graveurs de dessiner directement à l'envers, tout en agrandissant ou réduisant le sujet. — Redresse les photos déformées, etc.

INSTRUMENTS DE PRÉCISION ET FOURNITURES POUR LE DESSIN

P. BERVILLE
18, rue La Fayette, PARIS (9e)
Métro : Chaussée-d'Antin — Tél. : **Provence 41-74**
COMPTE CHÈQUE POSTAL : 1271.92

PUBL. C. BLOCH

ÉTRENNES

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VOUS SEREZ

MIEUX CHAUFFÉ

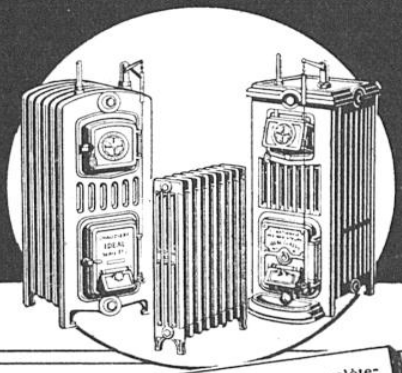
ET POUR

BEAUCOUP MOINS CHER

AVEC LE CHAUFFAGE CENTRAL

IDÉAL CLASSIC

DÉPENSE MOINS DE 7 CENTIMES
PAR HEURE ET PAR RADIATEUR



Gratuit Pour être complètement renseigné sur le chauffage "IDÉAL CLASSIC", demandez la brochure: AF-2 qui vous sera adressée GRACIEUSEMENT contre ce coupon.

NOM .....

ADRESSE .....

.....

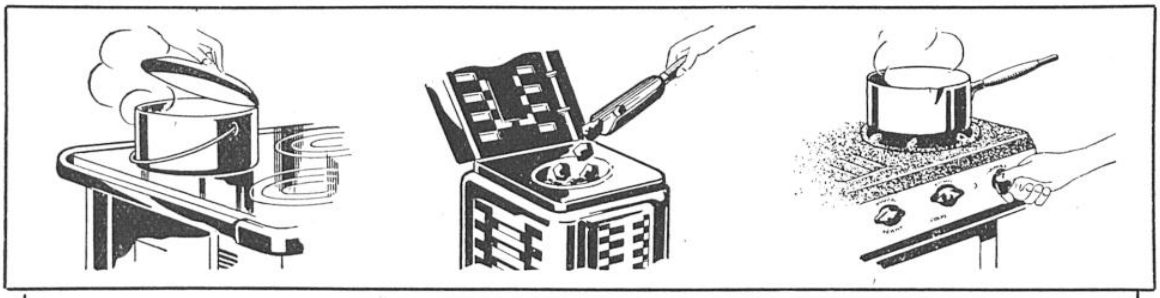
556

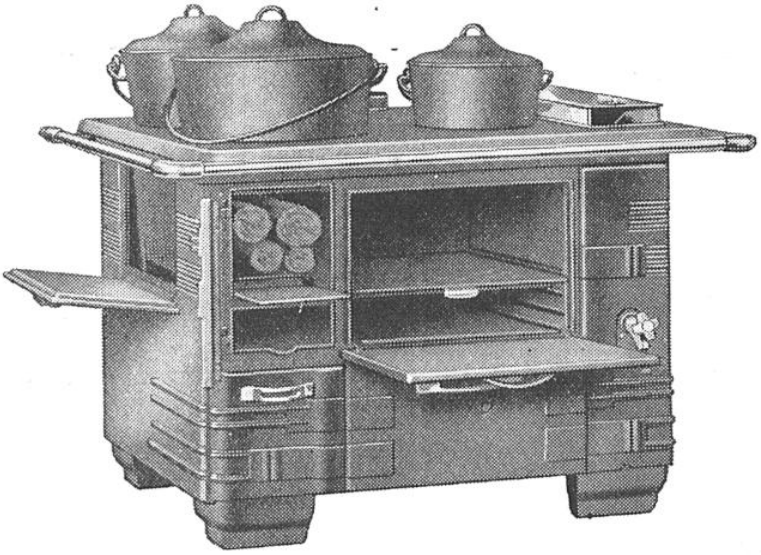
COMPAGNIE NATIONALE DES RADIATEURS

149, Boulevard Haussmann, PARIS (8e)

USINES à : AULNAY-sous-BOIS, DAMMARIE-les-LYS, DOLE, CLICHY, St-OUEN, ARGENTEUIL, BLANC-MESNIL

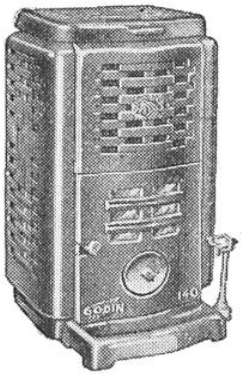
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires





CUISINIÈRE 1re SÉRIE N° 1.125 (VUE OUVERTE)

DE L'EXPÉRIENCE
DÉCOULE LA
PERFECTION

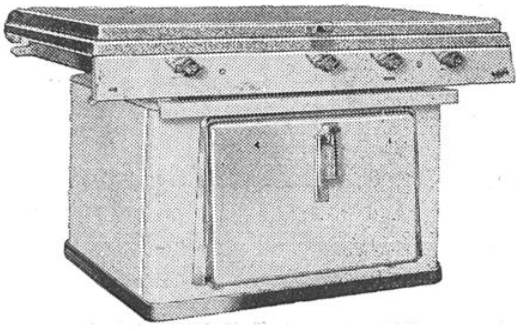


FOYER N° 140

GODIN

LA PREMIÈRE MARQUE DU MONDE

FOURNEAU AU GAZ N° 418

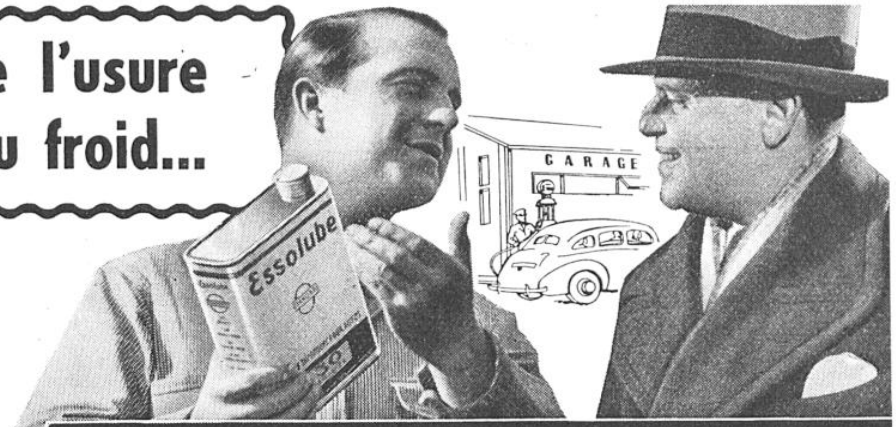


ANCIENNE MAISON GODIN
SOCIÉTÉ DU FAMILISTÈRE DE GUISE
R. RABAUX & Cie, A GUISE
R. C. Vervins, N° 5 ° ° ° (AISNE)

PUBL. C. BLOCH

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Contre l'usure due au froid...



.. Essolube VOUS ASSURE
3 PROTECTIONS ABSOLUES
● Départ immédiat ● Graissage instantané ● Pouvoir lubrifiant durable
...parce qu'elle est raffinée au solvant sélectif et, de plus,
INTÉGRALEMENT DÉPARAFFINÉE

ROULEZ SOUS LE SIGNE Esso
STANDARD FRANÇAISE DES PÉTROLES
82, Champs-Élysées, Paris
Cap. : 605.000.000 de Fr.

II-G

OFFREZ A VOS AMIS UN ABONNEMENT A La Science et la Vie VOUS LEUR FEREZ PLAISIR



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

BULLETIN A DÉTACHER

POUR COMMANDER LE GUIDE COMPLET

DES CARRIÈRES DE L'ÉTAT

A L'ÉCOLE SPÉCIALE D'ADMINISTRATION

28, Boulevard des Invalides, 28, PARIS (7e)

En me recommandant de « La Science et la Vie », je vous prie d'envoyer le guide susvisé de 96 pages, in-8 coq., indiquant les Carrières masculines et féminines en France et aux Colonies, les traitements, les limites d'âge, les diplômes, les épreuves à subir, les suppléments, les différentes lois concernant les fonctionnaires, à l'adresse suivante :

Nom et prénoms.....

Rue et n°.....

Ville et Département.....

Date de naissance (1).....

Diplômes le cas échéant (1).....

.....

Lieu et date de nomination (1).....

Traitement désiré (1).....

(Cet envoi sera fait gratuitement et sans engagement pour moi.)

(1) Ces renseignements ont pour but d'obtenir des conseils plus précis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIMANCHE ILLUSTRÉ

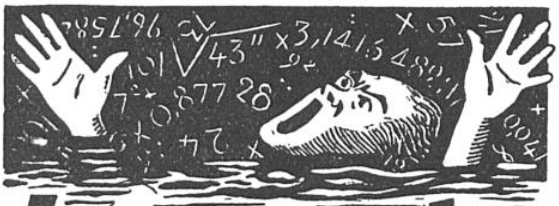
a grandi !

Mais, avec ses lectures passionnantes, ses dessins des meilleurs humoristes, ses renseignements précieux, ses contes, ses romans, ses photos curieuses, ses enquêtes, ses reportages, il reste

LE VRAI MAGAZINE DE LA FAMILLE

ET IL NE COUTE QUE **75** CENTIMES

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



la noyade inutile...!

S'empêtrer dans les chiffres, s'y noyer même, quand la règle à calculs est là - si simple - c'est négliger nettement son intérêt et freiner sa propre réussite.

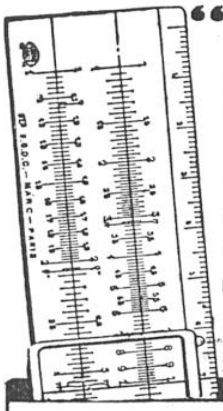
Pour vous sauver de l'erreur, vous fournir des solutions faciles, promptes, justes, pour gagner un temps précieux, renseigner un client, établir un prix de revient, simplifier tous vos calculs, et arriver au rendement le plus remarqué, la règle "MARC" vous aidera efficacement.

Son emploi est si aisé que vous la trouvez dans toutes les mains renseignées et pratiques.

Ainsi, de l'élève au mathématicien en passant par l'employé, l'ouvrier, l'ingénieur, le commerçant, l'industriel, toutes les professions y trouvent force avantages.

Calculs horaires, de vitesse, électriques, débits, décomptes, taxes, fractions, intérêts, pourcentages, poids, volumes, surfaces, densités, racines cubiques, carrées, etc. Autant d'opérations utilitaires que vous réaliserez.

LES RÈGLES A CALCUL DE POCHE



"MARC"

sont françaises, d'un fini irréprochable, très lisibles, précises, ne tenant pas de place, indéformables, leurs prix enfin vous décideront.

SCOLAIRE, 38 Fr. — MANNHEIM, 42 Fr. — BÉGHIN, 42 Fr. — SINUS, 46 Fr. — ÉLECTRICIEN, 48 Fr. — RIETZ 48 Fr

Notice envoyée gratuitement.

EN VENTE : PAPETIERS, LIBRAIRES OPTICIENS INSTRUMENTS DE PRÉCISION.

RÈGLES "MARC"
24, R. de Dunkerque - Paris-X^e

REMPLISSEZ CE COUPON
pour recevoir gratis et sans engagement de votre part, la Notice qui vous renseignera sur l'emploi des règles à calculer.

Nom _____

Adresse _____

A _____

ENREGISTREZ VOUS-MÊMES

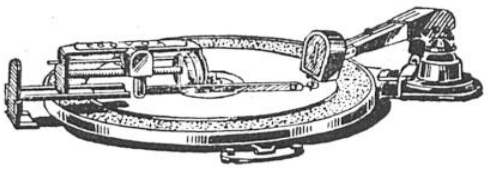
les émissions que vous transmettent des mondes lointains vos postes favoris, en adaptant sur votre pick-up

EGOVOX

L'ENREGISTREUR DU SON

LA SIMPLICITÉ MÊME caractérise le fonctionnement de l'*Egovox*, ce qui n'est pas une des moindres raisons de son succès mondial.

Les disques enregistrés durent plus de 200 auditions



Prix : **69** francs

CATALOGUE FRANCO SUR DEMANDE

PTBL. C. BLOCH

Société REMO-EGOVOX
1, rue Lincoln, PARIS-8^e

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Désirez-vous édifier RAPIDEMENT un bâtiment ÉCONOMIQUE ?

Seule, la SÉRIE 39

de mes constructions en acier pourra vous permettre de réaliser votre projet VIVEMENT ET A BON COMPTE



La **Série 39** de mes constructions métalliques se prête à **tous** les besoins de la culture et de l'industrie.

Je la fabrique en cinquante-trois grandeurs distinctes. Les fermes vont de **5** à **15 mètres** de portée et il y a de quatre à cinq hauteurs pour chaque ferme.

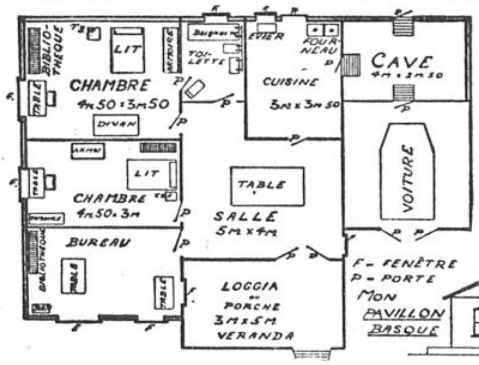
La **Série 39** s'emploie comme hangar agricole, avec ou sans auvent. Comme atelier, entrepôt, garage, salle paroissiale, grange, elle est le bâtiment **pratique** et **vivement posé.** Elle accepte toute toiture et toute clôture en tôles ou en briques.

Les demi-fermes de la **Série 39** font des appentis de scellement muraux ou à poteaux. Aucune combinaison ne manque. A la colonie, on prend quelques fermes de la **Série 39,** on les ferme en agglomérés — que l'on fait soi-même avec la machine que je fabrique également, et, dans un rien de temps, on a sa maison d'habitation.

Utilisez les fermes de la **Série 39** pour toutes vos constructions. Elle est **économique.** Il est de votre intérêt de l'employer partout. Demandez la notice explicative.

La SÉRIE 46 : Pavillons et Maisons d'habitation

La **Série 46** est faite pour le Propriétaire, ou l'Industriel, qui désire un **PAVILLON** ou une **MAISON D'HABITATION** et qui entreprendra une partie du travail lui-même. Les charpentes en acier de la **Série 46** sont étudiées pour recevoir des **PAROIS DOUBLES A MATELAS D'AIR :** des parois dont chaque partie a 8 cm d'épaisseur et qui renferment un matelas d'air de 16 mm. (Méfiez-vous d'une habitation à parois minces, c'est une folie d'enfance de l'habiter.)



La **Série 46** est en charpente **NON APPARENTE.** Une fois montée, les parois ont de 30 et 35 cm d'épaisseur et elles cachent complètement la charpente. Impossible de trouver la différence entre un pavillon de la **Série 46** et une maison toute en maçonnerie.

Demandez la notice **101 bis** et écrivez-moi au sujet du pavillon que vous désirez. Ne pas m'écrire si vous ne pouvez rien entreprendre par vos propres moyens.

JOHN REID, Ingénieur-Constructeur

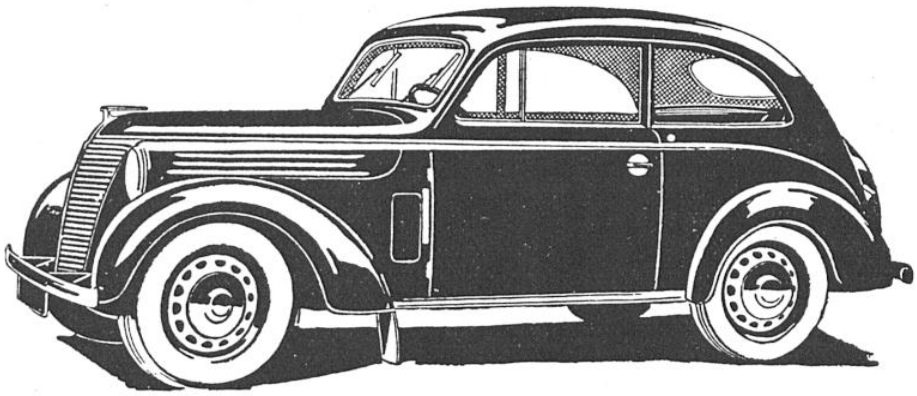
6 bis, rue de Couronne, PETIT-QUEVILLY-LEZ-ROUEN (Seine-Inf.) — Tél : 960-35 Petit-QUEVILLY

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La nouvelle conduite intérieure

JUVAQUATRE RENAULT

est très agréable et très sûre par la technique de sa construction



● 4 places ● 2 larges portes ● Moteur à culasse aluminium ● Roues avant indépendantes ● Freinage direct ● Vaste coffre à bagages intérieur et **pour les voyageurs de commerce,** possibilité d'enlever en quelques secondes le siège et le dossier arrière, ce qui libère, derrière les sièges avant, **un vaste emplacement (600 litres), pour des échantillons ou des bagages,** sans gêner la visibilité vers l'arrière.

7 LITRES AUX 100 - 100 A L'HEURE

VENTE A CRÉDIT AVEC LE CONCOURS DE LA D.I.A.C 47 BIS, AVENUE HOCHE, PARIS

La JUVAQUATRE

RENAULT

" La voiture de votre travail en semaine et de vos loisirs en famille. "

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LA SCIENCE ET LA VIE

MAGAZINE MENSUEL DES SCIENCES ET DE LEURS APPLICATIONS A LA VIE MODERNE

Rédigé et illustré pour être compris de tous

RÉDACTION, ADMINISTRATION : 13, rue d'Enghien, Paris-10e
Chèques postaux : N° 91-07, Paris — Téléphone : Provence 15-21
PUBLICITÉ : *Office de Publicité Excelsior*, 118, avenue des Champs-Elysées, Paris-8e
Chèques postaux : N° 59-70, Paris — Téléphone : Elysées 65-94 à 98

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation reservés pour tous pays
Copyright by La Science et la Vie. *Décembre 1938 - R. C. Seine 116 544*

Tome LIV — Décembre 1938 — Numéro 258

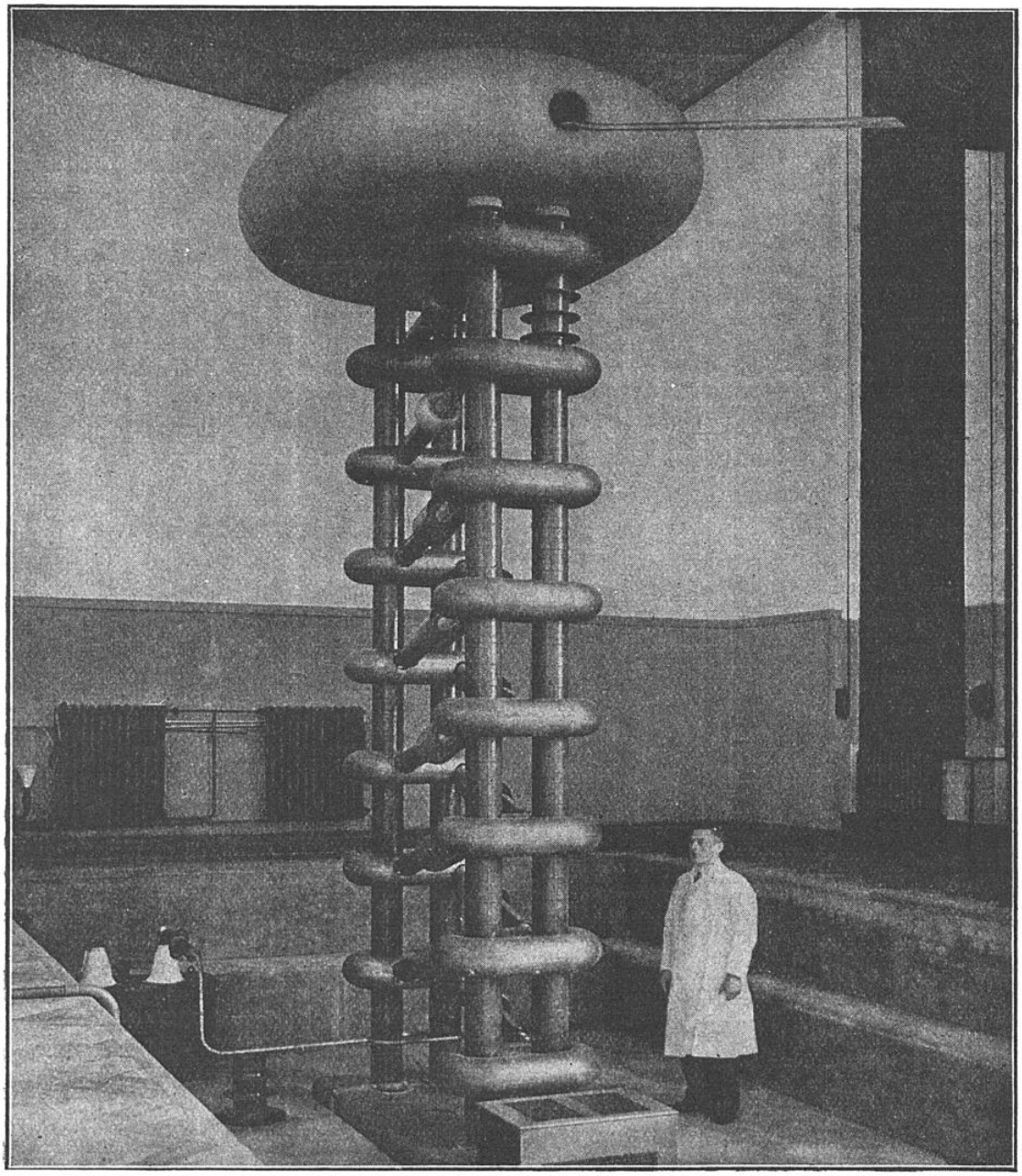
SOMMAIRE

XXVe Anniversaire de « La Science et la Vie » : 1913-1938

Le monde matériel..	Marcel Boll.. Docteur ès sciences, agrégé de l'Université.	417
Qu'est-ce que la matière vivante ?	Etienne Rabaud. Professeur à la Sorbonne.	433
Alchimie d'autrefois, transmutations d'aujourd'hui.	Jules Lemoine. Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.	440
Que savons-nous aujourd'hui de l'électricité atmosphérique ?	Charles Maurain. Membre de l'Institut.	450
L'énergie, problème-clef de notre civilisation mécanique.	Jean Labadié	457
Comment l'automaticité a conquis le monde moderne.	Pierre Devaux. Ancien élève de l'École Polytechnique.	465
Il y a cinquante ans, Hertz découvrait les ondes de la radioélectricité..	L. Houllevigue Professeur à la Faculté des Sciences de Marseille.	473
Les « ersatz » : résines, textiles, caoutchouc et carburants artificiels..	André Guillaumin Ingénieur-chimiste.	481
Une grande énigme biologique : le mimétisme..	Victor Jougla	495
Lentement, mais sans arrêt, nos continents se déplacent.	Pierre Rousseau.	503
La technique moderne des dessins animés..	Pierre Keszler.	509
Sur les frontières de la technique aéronautique..	A. Verdurand Ancien élève de l'École Polytechnique.	517
L'avenir du matériel naval devant le progrès aéronautique.	Camille Rougeron Ingénieur en chef du Génie maritime (C. R.).	524
Voici les unités les plus rapides des flottes de combat modernes : les vedettes porte-torpilles..	Henri Le Masson.	529
Où s'arrêtera la course au tonnage des avions et hydravions géants ?.	Camille Rougeron Ingénieur en chef du Génie maritime (C. R.).	539
Comment la science médicale prévient, grâce aux vaccins, et guérit, grâce aux sérums, les maladies infectieuses.	Jean Labadié	548
Le progrès scientifique et technique dans l'agriculture moderne.	Tony-Ballu Professeur à l'Institut agronomique.	556
La télévision trouvera-t-elle bientôt sa forme définitive ?	Pierre Delaunay..	565
Les « A Côté » de la science.	V. Rubor..	XXXVII

La couverture de ce numéro représente la plus récente vedette-torpilleur rapide anglaise « MTB-102 », de 28 tonnes, propulsée par trois moteurs de 1 000 ch. Sa vitesse dépasse 43 nœuds (80 km/h) ; son armement très puissant comporte deux torpilles de 533 mm et deux canons automatiques antiaériens de 20 mm. Les vedettes porte-torpilles sont aujourd'hui les bâtiments les plus légers et les plus rapides qui entrent dans la composition des flottes de combat modernes. (Voir l'article page 529 de ce numéro.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



(" Philips Métalix ".)

LES NOYAUX ATOMIQUES, VÉRITABLES « CŒURS » DES ATOMES, ÉCHAPPAIENT, JUSQU'A CES DERNIÈRES ANNÉES, A L'EXPÉRIMENTATION DES PHYSICIENS. AUJOURD'HUI, LES TRANSMUTATIONS PROVOQUÉES ET LA FABRICATION DES CORPS RADIOACTIFS ARTIFICIELS SONT OPÉRATIONS COURANTES DANS LES LABORATOIRES SPÉCIALISÉS DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Ces recherches exigent la mise en œuvre de tensions électriques très élevées, obtenues grâce à un appareillage très puissant et très coûteux. Voici un générateur de haute tension constante à éléments multipliés, capable de développer 1 500 000 volts continus bien qu'il soit alimenté par du courant alternatif. Il est constitué par des colonnes de condensateurs reliées entre elles à différents étages par des valves à gaz ionisé. Un deuxième générateur semblable, mais de polarité opposée, permet d'obtenir, au total, une différence de potentiel constante de 3 millions de volts qui servira à accélérer les projectiles électrisés (protons ou deutons) avec lesquels on bombarde les noyaux des atomes à transmuter.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LE MONDE MATÉRIEL

Par Marcel BOLL

DOCTEUR ÈS SCIENCES — AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES

Le numéro spécial que présente aujourd'hui La Science et la Vie *pour commémorer le vingt-cinquième anniversaire de sa fondation doit permettre, grâce à l'éclectisme qui a présidé au choix des articles qui y sont rassemblés, un vaste tour d'horizon à travers les progrès les plus marquants des sciences et des techniques au cours du dernier quart de siècle. Il n'eût cependant pas rempli entièrement son objet, qui est de fixer en quelque sorte l'état de nos connaissances en cette fin de 1938, s'il n'avait accordé la première place à deux études synthétiques destinées à faire le point dans les deux domaines où s'exerce la recherche scientifique : la* matière *et la* vie. *La première de ces études, par M. Marcel Boll, est consacrée ainsi au* monde matériel, *celui des choses inanimées, infiniment petites ou infiniment grandes, de l'énergie, du rayonnement — et même de l'espace et du temps. La deuxième, par M. Etienne Rabaud, professeur de biologie expérimentale à la Faculté des Sciences de Paris, concerne la* matière vivante *et les phénomènes vitaux, ceux que l'on observe à tous les degrés de l'échelle des êtres, depuis l'amibe unicellulaire jusqu'aux animaux et végétaux les plus évolués, et qui, pour la plupart, attendent encore leur explication rationnelle. Voici tout d'abord l'exposé, accessible à tous, des notions nouvelles acquises depuis vingt-cinq ans par les savants praticiens et théoriciens des sciences physiques, notions qui ont si profondément bouleversé notre connaissance du monde extérieur.*

Apparence et réalité

PARLER de science, c'est songer inconsciemment aux réalisations pratiques. Certes, ces deux branches de l'activité humaine — la science et la technique — ont entre elles de nombreux points de contact, mais ce sont là deux choses essentiellement distinctes, qu'il faut se garder de confondre.

Ainsi, on prétend couramment que la science est apte au mal autant qu'au bien. Qui de nous ne s'est pas étonné des injustes reproches formulés un peu partout depuis vingt-cinq ans, notamment par des hommes politiques ou par des hommes de lettres, qui — soit dit en passant — ne vivent pas en ermites, mais s'évertuent à profiter du « confort moderne » pour leur usage personnel ? C'est là une bien curieuse méprise, touchant l'action et la pensée. La science n'est pour rien dans l'affaire ; et, si cette accusation peut, dans une certaine mesure, s'appliquer à la technique, la raison essentielle réside dans l'immense et fatal retard qui s'est établi entre les sciences de l'homme et les sciences de la matière et du rayonnement. La biologie est devenue scientifique du jour où elle réussit à s'appuyer sur la physico-chimie; la psychologie et la sociologie suivront.

Pour répondre à ces dénigrements, Louis de Broglie ne manque pas de rappeler « le rôle bienfaisant joué par toutes les inventions, qui, depuis celle de l'imprimerie, ont facilité la diffusion de la pensée, la rapidité des communications, l'intensité des échanges d'idées entre individus et peuples. Mais, ajoute-t-il, il existe une forme plus raffinée du machinisme, dans laquelle la machine est en quelque sorte mise au service de l'esprit ; cette forme, c'est la technique expérimentale, qui fournit au savant les moyens d'étudier l'Univers ».

La science pure bénéficie incontestablement des progrès techniques, et certains laboratoires, certains observatoires — en Amérique, notamment — sont devenus de véritables usines, aux moyens puissants et efficaces. Mais, inversement, les progrès techniques eussent été *impossibles* s'ils n'avaient pas été précédés par des recherches de science pure, de science désintéressée, seule féconde. Et c'est cet aspect souvent méconnu du progrès que nous nous proposons d'exposer, dans ses grandes lignes, en ces quelques pages.

La surface de la Terre s'est notablement modifiée sous l'influence du génie humain, mais notre conception de l'Univers a pro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gressé dans des proportions infiniment plus considérables : le monde matériel n'a presque plus rien de commun avec ce que nous aurions pu imaginer il y a seulement vingt-cinq ans.

En reprenant une amusante boutade du savant anglais Arthur Eddington, tous les objets, pour le savant, sont doubles : il est assis sur deux chaises, devant deux tables, avec deux stylos pour écrire... Par exemple, sa table nº 1 lui est familière depuis longtemps : elle a de l'étendue, elle est relativement durable, elle a une certaine couleur, elle ne cède pas quand on s'appuie sur elle. Mais sa table nº 2, la « table scientifique », est toute différente : elle est surtout faite de *vide*, où sont réparties, çà et là, des charges électriques animées de grandes vitesses ; si l'on pouvait juxtaposer ses constituants côte à côte, sans interstices, la table serait réduite à beaucoup moins qu'une tête d'épingle. En dépit de cette constitution étrange, la table nº 2 rend exactement les mêmes services que la table nº 1. J'y pose un encrier ? Les petits corpuscules électrisés s'élancent à corps perdu pour le soutenir, en le frappant par en dessous, de telle sorte que l'encrier se trouve maintenu toujours au même niveau, comme un volant sur une raquette. J'appuie mon coude sur la table ? Il ne s'y enfonce pas ; ou, plus précisément, les chances qu'il a de passer au travers sont si petites qu'on peut complètement les négliger dans la vie courante, etc.

L'humanité existe depuis environ dix mille générations, dont la plupart n'ont pas connu de tables du tout ; puis, pendant de nombreux siècles, on s'est contenté — faute de mieux — de la table nº 1 ; et la table nº 2 a surgi il y a vingt-cinq ans. A quoi bon cette complication ? dira-t-on peut-être. La table nº 2 rend les mêmes services que la table nº 1, mais *elle en rend d'autres*. L'Univers des apparences (Univers nº 1) correspondait à l'âge des diligences et des métiers à tisser ; l'Univers des réalités (Univers nº 2) nous a dotés de la radiodiffusion et nous livrera bientôt sans doute les inépuisables richesses de l'énergie intranucléaire. Comme le dit Paul Langevin, « on a l'impression que la nature s'ingénie, non sans quelque malice, à nous présenter la réalité par son aspect le plus complexe et qu'un grand effort est nécessaire pour dégager les éléments simples à partir desquels il est possible à notre pensée de construire le monde ; c'est vraisemblablement une nécessité de notre adaptation ».

A l'apparence et au sens commun s'opposent donc la réalité et l'esprit scientifique. Au monde de la sensation brute se substitue peu à peu le monde de l'intelligence explicative. Tel est le fin mot du progrès fulgurant qui est l'œuvre de ces vingt-cinq dernières années.

L'inertie et la gravitation

Parmi les faits et gestes les plus habituels de l'Univers nº 1, nous évoquerons tout d'abord (et en même temps) les deux suivants :

Entraînée par son élan, la voiture ne put éviter le choc ;

J'ai *laissé tomber* mes gants par la fenêtre.

Pendant des millénaires, l'humanité connut empiriquement des faits de ce genre et les utilisa d'une façon tout animale (comme les castors élèvent leurs huttes ou comme les araignées tissent leurs toiles).

Puis vint la Renaissance, qui combattit la rhétorique des Anciens au profit de la méthode expérimentale, et ce furent, coup sur coup, Galilée (1564-1642) et Newton (1642-1727) qui étudièrent avec précision les divers facteurs régissant ces deux phénomènes, auxquels on donna respectivement les noms d'*inertie* (pour l'élan, pour la « vitesse acquise ») et de *gravitation* (pour le « laisser tomber ») (1).

La physique galiléenne et newtonienne suscita, à juste titre, l'admiration des générations qui suivirent. En langage banal, elle se ramenait à ces deux explications :

1º Il ne peut y avoir d'élan, de « vitesse acquise », que pour les corps matériels (matière brute et êtres vivants). Les effets — favorables ou nocifs — d'une *même* vitesse acquise dépendent d'une certaine *propriété mesurable* liée au corps matériel considéré et que l'on appelle « sa masse » (vous êtes bousculé par un cycliste, mais vous risquez de passer sous une auto) ;

2º Toutes les fois qu'on lâche un corps matériel (matière brute ou être vivant), il « démarre » vers le bas, car la Terre exerce sur lui une *force* (appelée encore « poids »), qui est d'autant plus grande que la masse du corps est elle-même plus grande (on peut sans dommage recevoir une paire de gants sur la tête, mais non une tuile ou un pot de fleurs).

Avec ces forces, avec ces masses, la physique paraissait solidement bâtie, inébranlable et imperfectible : n'avait-elle pas guidé, sans jamais les induire en erreur, les astronomes, les ingénieurs et les architectes ? Nous savons aujourd'hui que la physique de Galilée et de Newton n'était qu'une première approximation ; et ceci pour plusieurs raisons :

a) Il existe certains faits que la science

(1) Voir *La Science et la Vie*, nº 108, page 479.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

classique n'expliquait pas ; faits de retentissement minime au point de vue pratique, mais qui n'en étaient pas moins aussi graves que n'importe quels autres pour une saine compréhension des choses ;

b) Les qualités occultes attribuées aux corps matériels rappelaient trop les vertus et les vices des humains. La « masse » rappelait une certaine langueur, un certain entêtement, une certaine paresse à partir ou à s'arrêter ; la « force » attractive de la Terre était construite sur le modèle des muscles des animaux, et la Terre se présentait comme une personne gourmande, qui amenait à elle tout ce qui lui tombait sous la main...

c) Enfin, il y avait *une* inertie et *une* gravitation, correspondant à *deux* qualités dissemblables, et personne, avant Einstein, ne s'était avisé de les agglomérer en une seule. C'est pourtant le rôle de la science que de comprendre le monde en synthétisant et en généralisant.

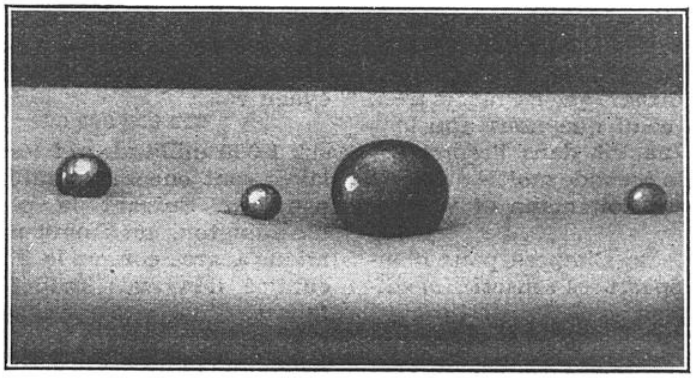


FIG. 1. — LA GRAVITATION

Posées sur une feuille de caoutchouc, des billes de diverses grosseurs produisent des creux de profondeurs différentes. De même, les corps matériels, distribués au hasard dans l'espace, déforment cet espace d'autant plus qu'ils sont plus massifs.

Dans une suite de travaux qui constituèrent une révolution intellectuelle et qui s'échelonnèrent entre 1912 et 1917, Albert Einstein (actuellement citoyen américain) conduisit, dans ce domaine, l'humanité de l'Univers n° 1 à l'Univers n° 2, du monde des apparences au monde des réalités.

Il n'entre pas dans nos desseins de reprendre ici les idées principales de la relativité générale, qui *expliqua* la gravitation (tout en l'unifiant avec l'inertie) ; il nous suffira d'exprimer, en quelques lignes, les réponses qu'elle fournit aux trois points *(a, b, c)* mentionnés ci-dessus :

a) Le mouvement de la planète Mercure a été élucidé ; la lumière est déviée de sa route par les corps très lourds ; ces derniers, quand ils sont lumineux, émettent des radiations plus rouges que celles qui s'échappent de corps moins lourds (le fait est particulièrement probant pour les étoiles naines, qui sont des milliers de fois plus denses que le plomb) ;

b) Il n'est plus question de paresse, ni de cupidité. Notre Univers n° 2, le vrai, est fini et, en quelque sorte, replié sur lui-même. Chaque corps a une *masse*, parce que chaque corps se trouve au milieu de tous les autres. Au voisinage de chaque corps, l'espace possède des propriétés qui ne sont pas les mêmes que si le corps était à une autre place : ainsi, le mouvement que prend ma paire de gants ne provient pas de ce que les gants « aiment » la Terre et que la Terre « aime » les gants ; ce mouvement n'est tout simplement que la manifestation palpable de l'action qu'exerce la Terre sur les propriétés de l'espace environnant ;

c) L'inertie : propriété générale. La gravitation : manifestation locale. Si l'on veut, l'inertie est quelque chose comme la courbure du globe terrestre ; la gravitation peut être assimilée aux vallons et aux mamelons qui parsèment irrégulièrement la surface de notre planète (fig. 1).

L'Univers d'il y a vingt-cinq ans obéissait à cette bonne vieille géométrie d'Euclide, à laquelle on était obligé de surajouter deux particularités — l'inertie et la gravitation — qui avaient tout l'air de « tomber du ciel ». *Il a suffi* d'admettre que l'Univers n'est pas tout à fait euclidien ; rien n'a été changé à ce que l'expérience séculaire nous avait appris sur la *forme* des corps solides, mais Einstein et ses émules ont élucidé, par surcroît, tous les *mouvements* que ces corps peuvent prendre : la mécanique n'est rien d'autre qu'une géométrie plus générale et plus compréhensive.

La pression et la température

Deux autres faits connexes, empruntés l'un et l'autre à la vie quotidienne, ont acquis toute leur valeur grâce à la physique contemporaine.

Longtemps, le genre humain a ignoré les *gaz*, comme l'air atmosphérique : leur transparence est si parfaite qu'ils ne gênent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour ainsi dire pas la vision des objets ; leur capacité calorifique est si faible qu'il faut y regarder de près pour apercevoir leur rôle dans les échanges thermiques ; leur légèreté est telle

Un souffle, un rien...

que leurs effets mécaniques sont exceptionnels.

Jusqu'au XVIIe siècle, on ne savait même pas si les gaz sont pesants ou non : la question a été résolue par l'affirmative, grâce à la découverte de la machine pneumatique par Otto de Guericke (1602-1686). L'Anglais Robert Boyle (1661), puis notre compatriote Edme Mariotte (1679) montrèrent comment la pression d'une masse gazeuse varie avec l'espace qui lui est offert. Enfin, J.-A. Charles et Gay-Lussac, vers 1800, s'appliquèrent à préciser le rôle de la température.

Tout ceci ne concernait que l'Univers nº 1. L'Univers réel — celui que nous appelons notre nº 2 — ne naquit dans l'esprit des hommes que dans la seconde moitié du siècle dernier avec Ludwig Boltzmann et Willard Gibbs.

Mais une parenthèse s'impose pour montrer combien les apparences sensorielles diffèrent de la réalité.

Pour compter de 1 jusqu'à 1 milliard, à raison d'un nombre par seconde, il faut consacrer à cet exercice à peu près *trente-deux ans* de sa vie, sans prendre le temps de dormir, de manger ni de boire. Et si, maintenant, nous désirions recenser le nombre des particules individuelles (ou molécules) présentes dans 1 cm³ de cet air atmosphérique, qui échappe presque complètement à l'acuité de nos sens (1 cm³, c'est, si l'on veut, le bout de mon petit doigt), il faudrait, de toute nécessité, opérer en deux temps :

a) Préparer tout d'abord des *tas* de 1 milliard de molécules, chaque tas exigeant trente-deux ans pour être compté ;

b) Prendre ces *tas* l'un après l'autre et les dénombrer, à raison de 1 par seconde, ce qui ne demanderait guère que... dix siècles, de Charlemagne à Napoléon.

Bien entendu, en comptant ces molécules une par une, l'opération durerait *dix milliards* de siècles (alors que la Terre ne s'est détachée du Soleil qu'il y a cinquante millions de siècles). Et cependant les techniques de la microphysique contemporaine réussissent à photographier le trajet d'*une seule* de ces particules, à « faire parler » cette particule, lorsqu'on l'oblige à passer par un trou d'épingle ! Réfléchissons-y une minute : toute la dissemblance des Univers nº 1 et nº 2 réside dans les phrases qui précèdent ; les méthodes de la science actuelle laissent loin derrière elles les procédés empiriques des âges révolus...

Jusqu'ici, nous songions surtout à l'air placé dans les conditions habituelles de pression et de température.

1º Comment augmenter ou diminuer la pression d'un gaz ? Il n'y a qu'à augmenter ou à diminuer l'« entassement » des molécules, *en ne modifiant rien d'autre*. Un gaz est très comprimé lorsque ses particules sont très rapprochées : si, dans 1 cm³, par exemple, on fait entrer cinquante mille fois plus de particules, la pression sera accrue d'autant : ce sont les hyperpressions, dont on connaît l'importance dans les synthèses chimiques industrielles. Réciproquement, un gaz est très raréfié quand ses particules sont très éloignées : la technique du vide parvient à évacuer

999 999 999 999 particules

sur 1 000 milliards ; et les espaces interstellaires sont encore un million de fois moins peuplés... Suivant la plaisante remarque d'Eddington, un fragment de « nuage cosmique », gros comme la Terre, pourrait être entassé dans une mallette et porté sans fatigue d'une seule main. Mais les espaces qui lui sont offerts sont *tellement fantastiques* que la masse totale du « vide » compris entre les quarante milliards d'étoiles de la Voie Lactée est au moins égale à la masse totale de ces quarante milliards d'étoiles.

2º Comment augmenter ou diminuer la température d'un gaz ? C'est ici qu'intervient un nouveau facteur, auquel nous n'avons pas encore fait allusion : la vitesse moyenne d'une molécule individuelle. Dans l'air habituel, les molécules zigzaguent isolément en tous sens, frappent les corps solides environnants, les hommes et les bêtes, puis rebondissent, heurtent leurs voisines, et ainsi de suite, en conservant, en moyenne, toujours la même vitesse, qui est du même ordre de grandeur que celle d'une balle Lebel lorsqu'elle s'échappe du fusil. Ce fourmillement moléculaire se produit même dans l'air le plus calme ; il persiste aussi dans les vents, dans les « courants d'air », mais, alors, il s'y superpose un déplacement d'ensemble, tout d'un bloc, à peu près comme dans le cas d'une personne qui se mettrait à marcher tout en agitant un liquide dans un flacon bouché. Tandis que les courants d'air nous caressent ou nous décoiffent, le fourmillement désordonné des molécules est la raison véritable (Univers nº 2) de ce que nous percevons comme température.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il nous arrive d'ouvrir la fenêtre de notre chambre et de mettre la main dehors pour décider si nous prendrons notre manteau. Eh bien ! sans nous en douter (obsédés par l'Univers n° 1), nous cherchons, dans cette expérience, à apprécier la vitesse moyenne des molécules de l'air de la rue. Sur un tel sujet, chacun de nous a fini par acquérir une grande expérience — l'expérience du castor ou de l'araignée ; il nous est très facile de nous rendre compte d'une variation de vitesse égale à 1 deux centième de sa valeur (ce qui correspond à un changement de température de 3° C). Que cette vitesse moyenne vienne à augmenter de 1 vingtième, nous suons à grosses gouttes ; qu'inversement elle diminue de 1 vingtième, et nous grelottons de froid. Cinquante mètres par seconde en plus ou en moins, voilà toute la différence entre l'équateur et le pôle, entre l'été et l'hiver !

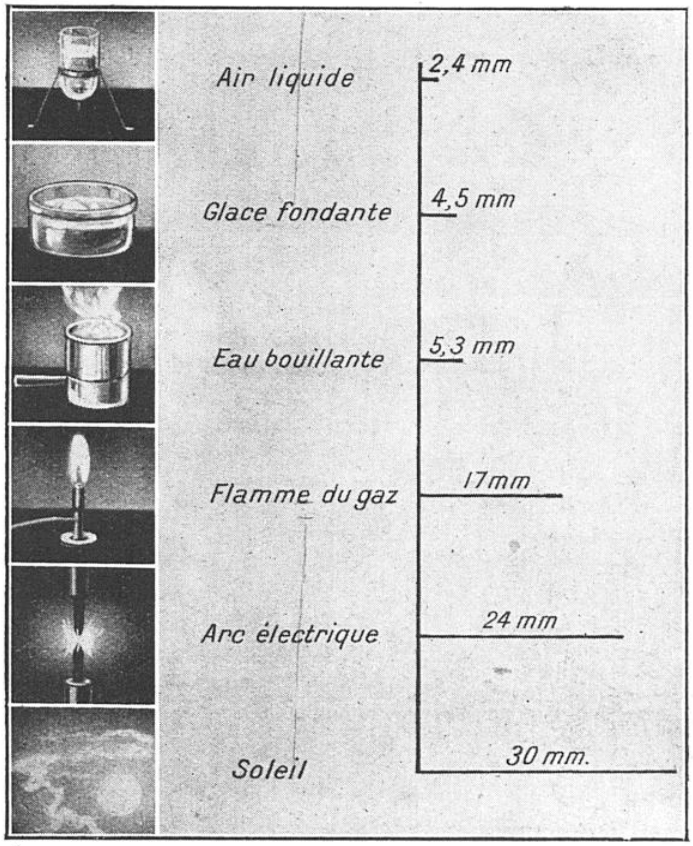


FIG. 2. — LA TEMPÉRATURE

Voici des températures qui se répartissent entre — 200° C et + 6 000° C. L'échelle de droite représente les trajets parcourus en 1 cent-millième de seconde par une molécule de l'air portée à ces diverses températures.

La plus basse des températures obtenues dans les laboratoires est de — 273°11, mais elle est encore infiniment éloignée du zéro absolu (— 273°16), ce qui n'apparaît pas dans la cotation précédente, que l'on doit considérer comme une extension imparfaite des repérages usuels. L'intérieur des étoiles est évalué à

50 000 000° C

alors que leurs surfaces se situent entre 1 500° (naines rouges) et 20 000° (géantes blanches) ; notre Soleil (naine jaune) est une étoile très médiocre, très quelconque, assez décatie (avec ses 6 000° C de température superficielle). La figure 2 représente les vitesses moyennes des molécules de l'air, lorsqu'on les suppose portées successivement à : — 200° C, 0° C, 100° C, 1 600° C, 3 600° C, 6 000° C.

Nous commençons à nous en rendre compte : l'Univers n° 2 tourne de plus en plus le dos à l'Univers n° 1. Lorsque l'homme de la rue parlait de « chute », le savant lui répondait *courbure*. Maintenant, nous nous plaignons, dans notre langage primitif, d'avoir trop chaud ou de prendre froid, mais l'échorailleur nous souffle : « Apparences illusoires ! Vous ne voyez donc pas que ce n'est qu'une question de vitesse... »

Et nos étonnements ne font encore que commencer.

Gaz à tous les étages

Ces cinq mots, qui s'inscrivent en blanc sur bleu sur les immeubles des grandes villes, dissimulent, sous leur consonance banale, une des idées directrices les plus fécondes de la science contemporaine. Mais, pour bien la comprendre, il convient préalablement de distinguer ce qu'ont de commun les différents « gaz », dont l'exemple typique et le plus anciennement connu est l'air atmosphérique : sera réputé « gaz » tout ensemble de corpuscules isolés, à la condition que ceux-ci se trouvent à des distances énormes par rapport à leurs dimensions propres. Ces constituants sont naturellement en nombre formidable : ils obéissent, par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



FIG. 3. — UNE GRANDE GALAXIE, VISIBLE AU MILIEU DE LA CONSTELLATION D'ANDROMÈDE
C'est ainsi qu'apparaîtrait notre Voie Lactée, si on l'observait de l'extérieur. On connaît à l'heure actuelle deux millions de Voies Lactées, de « galaxies », et on évalue à quelques dizaines de milliards le nombre total *des galaxies que l'Univers contient. Ces galaxies sont les constituants d'un gaz gigantesque, tout comme les molécules de l'air sont les constituants de notre atmosphère.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suite, à la « loi des grands nombres » et à toutes les règles du calcul des probabilités.

Il s'agit alors de classer ces « gaz ». Le simple bon sens consisterait à les ordonner *par rang de taille ;* mais le simple bon sens nous trahit, comme il se doit, chaque fois que nous dépassons tant soit peu les limites étroites de la vie de tous les jours. Il vaut mieux classer les « gaz » *d'après leur nature ;* et n'allons pas croire que cette nature est d'ordre chimique : la chimie est une science beaucoup trop superficielle, beaucoup trop proche de l'Univers n° 1 pour nous fournir une documentation utilisable. Nous distinguerons donc les gaz classiques (comme l'air), les gaz d'électrons et les gaz de photons (fig. 4).

1° *Gaz classiques.* — Ce sont ceux qui obéissent à ce que Maxwell et Boltzmann ont appelé l'« équipartition de l'énergie ». Rien n'est plus simple que de dire en quoi elle consiste. Considérons un mélange de deux gaz différents, mettons de l'hydrogène et du gaz carbonique ; quand on chauffe ce mélange, chacune des molécules individuelles s'empare de la même fraction de l'énergie totale disponible : ce sont les molécules les plus légères qui augmentent le plus de vitesse.

Et inversement.

Sur cette équipartition de l'énergie repose la *statistique classique* (ou statistique de Boltzmann), qui régit les gaz usuels, comme l'air atmosphérique, le gaz d'éclairage ou encore le « vide » qui « remplit » les ampoules électriques. A ce vide de qualité médiocre s'adjoint naturellement le vide excellent, qui constitue les espaces interstellaires, le « nuage cosmique », dont nous avons déjà dit un mot. Mais, une fois de plus, nous ne sommes pas au bout de nos surprises.

a) Nous savons aujourd'hui, de toute certitude, que les étoiles (1) — malgré leurs densités parfois fabuleuses — sont des gaz ; ce ne sont pas des gaz de molécules ou d'atomes, mais des gaz de *noyaux atomiques.* Un noyau, c'est un atome privé de tout son cortège d'électrons, réduit au point minuscule, qui forme le « centre de la citadelle ». La structure d'une étoile est d'une simplicité inaccoutumée ; c'est aux basses températures — celles auxquelles nous avons affaire sur la Terre — que la matière commence à avoir des propriétés aussi fâcheuses que compliquées. « Les atomes des étoiles, écrit plaisamment Eddington, sont des sauvages nus, qui ignorent la distinction de classe de nos atomes terrestres, revêtus de tous leurs atours. »

b) Notre Voie Lactée (1), avec ses milliards d'étoiles, est également un gaz, un « gaz classique ». Les « corpuscules » sont, cette fois-ci, les étoiles elles-mêmes, et leurs vitesses propres sont bien celles que réclame la loi de l'équipartition de l'énergie. Les collisions y sont fort rares, mais elles peuvent avoir des conséquences curieuses : d'après la théorie de James Jeans, c'est à la suite d'un incident de ce genre que notre Soleil s'est entouré de planètes. « Anicroche insignifiante, dit encore Eddington, sans retentissement sérieux pour l'évolution de l'Univers : quelques blocs de matière ont échappé à la protection purifiante de la chaleur intense et à l'action également efficace du froid de l'espace ; l'homme est l'un des résultats de ce défaut de précautions antiseptiques. »

NOMS DES GAZ	CONSTITUANTS	AUTEURS
Gaz classiques : Gaz usuels	Molécules	James-Clark Maxwell (*Anglais*)
Gaz classiques : Nuage cosmique.	Atomes	James-Clark Maxwell (*Anglais*)
Gaz classiques : Etoiles	Noyaux atomiques	Ludwig Boltzmann (*Autrichien*)
Gaz classiques : Galaxies	Etoiles	Willard Gibbs (*Amér.*)
Gaz classiques : Univers	Galaxies	Willard Gibbs (*Amér.*)
Métaux	Electrons	Wolfgang Pauli (*Aut.*) ; Enrico Fermi (*Italien*) ; Paul Dirac (*Anglais*)
Rayonnement	Photons	S.-N. Bose (*Ind.*) ; Albert Einstein (*Am.*)

FIG. 4. — LE ROLE DES GAZ DANS LA NATURE

c) De plus en plus fort : l'Univers tout entier, fini et sans borne, est, lui aussi, un gaz classique, un gaz de galaxies, en nombre prodigieux, que l'on peut évaluer à quelques dizaines de milliards ; jusqu'à ce jour, les astronomes en ont identifié deux millions, deux millions d'autres « Voies Lactées », dont 100 000 ont déjà pu être étudiées en détail. Les puissants télescopes actuels, avec les plus longues poses photographiques, explorent déjà la *quatre-centième partie* de tout ce qui existe.

2° *Gaz d'électrons.* — Les métaux, comme le cuivre ou l'argent, sont imprégnés d'un gaz bien particulier, dont les constituants ne sont pas tributaires de la statistique de

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 213, page 189.

(1) Voir *La Science et la Vie* n° 239, page 350.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Boltzmann. Un métal, c'est quelque chose comme une pile de boulets, mais de boulets qui ne se toucheraient pas, parce que ces boulets sont presque complètement fabriqués « avec du vide ». Le « vide » de chaque boulet renferme des « tas » d'électrons *fidèles ;* mais le métal contient en outre des électrons *volages*, des électrons *affranchis*, qui sautent entre les boulets, un peu comme les comètes sillonnent notre système solaire. C'est grâce à ces « électrons libres » que les métaux conduisent bien la chaleur et l'électricité : toute l'électrotechnique — éclairage, force motrice, radiocommunications — est, en quelque sorte, une application des propriétés du gaz d'électrons. En particulier, les lampes de T. S. F. (1) consistent (O. W. Richardson, entre 1901 et 1925) en une *succion partielle* du gaz électronique ; et c'est là, quoi qu'on en ait dit, le phénomène essentiel qui a permis les émissions et les réceptions radiophoniques.

3° *Gaz de photons.* — La lumière est un gaz, un gaz d'une troisième espèce, auquel convient une troisième statistique. Une telle affirmation, qui eût semblé une gageure il y a vingt-cinq ans, a besoin d'être justifiée. Pour plus de simplicité, nous considérerons un récipient parfaitement clos, d'où l'on a extrait toute matière et que l'on a porté à une température élevée, 1 500° C par exemple. Qu'y a-t-il dans la cavité intérieure ? La science actuelle nous répond : des corpuscules spéciaux, appelés *photons*, qui cheminent rectilignement en tous sens à la vitesse de 300 000 km/s. La répartition de ces photons, leur couleur (c'est-à-dire leur énergie) ont nécessité des recherches ardues, qui sont en bonne voie d'achèvement ; mais les applications techniques n'ont pas tardé à surgir de toutes parts. Je me bornerai à citer la *photocellule* (2), appareil central de la télévision : jamais l'humanité n'aurait connu cet indispensable traducteur lumière-courant, si les savants ne s'étaient pas avisés de lancer des photons contre un métal pour en expulser des électrons.

Les illustres fondateurs de la théorie cinétique des gaz ne s'attendaient certes pas à un tel développement des principes qu'ils avaient posés : gaz de photons, gaz d'électrons, gaz de molécules, gaz de noyaux, gaz d'étoiles, gaz de galaxies. J'ai beau chercher : c'est bien tout ce que la science connaît actuellement comme gaz. Il est bien sûr qu'elle n'en trouvera pas de plus étendu que le dernier que nous venons de mentionner ; mais elle en découvrira peut-être un ou deux autres, qu'elle aurait laissé traîner quelque part, dans un coin.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 146, page 101.
(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 214, page 265.

Les ondes sonores

Les notions que nous avons acquises sur les gaz et les solides nous conduisent, de plain-pied, à l'acoustique, qui fut quelque peu délaissée au début de ce siècle, mais que la dernière génération étudia avec passion, sous la poussée des nécessités techniques.

Pour nous mettre dans l'ambiance, il faut nous replonger dans la réalité (Univers n° 2), en nous rappelant ce qu'est exactement un gaz, ce qu'est exactement un solide.

1° Qui dit *gaz* dit espace désertique : les molécules sont séparées les unes des autres par des distances égales à une dizaine de fois leur diamètre. Chacune d'elles, dans les conditions normales, se meut à une vitesse voisine de 500 m/s (dans le cas de l'air) ; les hasards des chocs les détournent du droit chemin après 1 dix-millième de mm, en moyenne, si bien qu'à chaque seconde, tout ce petit monde zigzague cinq milliards de fois pour son compte personnel. Le fourmillement des molécules consiste ainsi en courses énormes par rapport à leur taille.

2° Qui dit *solide* (ou liquide) dit contrée surpeuplée : les atomes, que nous avons comparés à une pile de boulets, sont entassés comme les sardines dans une boîte, ou comme les usagers du métro aux heures d'affluence. Toutes ces analogies sont cependant incomplètes, car les atomes se dandinent sur place, en conservant leur même position moyenne, mais avec une fréquence énorme : 1 000 milliards de vibrations par seconde pour le plomb, 40 000 milliards pour le diamant. Frémissements bien plus rapides que les fourmillements dans les gaz, mais localisés (chacun d'entre eux) dans un espace infime.

C'est ici que nous rencontrons pour la première fois (fig. 17) ce que nous appelons l'histoire de la toile de fond et du premier plan, nouvel aspect — assez différent d'ailleurs — des deux tables (la table apparente et la table réelle) d'Eddington. Les deux alinéas qui précèdent viennent de préciser le « décor » dans lequel il se passera quelque chose.

En particulier, l'acoustique consiste en la superposition d'*autres* mouvements à ces mouvements sous-jacents ; et ces « autres » mouvements sont vraiment très minimes (comme vitesse et comme amplitude), si on les confronte avec ce qu'ils viennent compléter. Les vibrations comprises entre 20 et 20 000 vibrations par seconde (ou cycles) sont directement perçues par l'oreille, avec un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

maximum de sensibilité aux environs de 1 000 : le son n'est donc que le retentissement subjectif de vibrations relativement lentes, qui se surajoutent au frémissement et au fourmillement universels, auxquels nous sommes parfaitement sourds et aveugles.

D'ailleurs, l'oreille n'est impressionnée que si l'énergie du mouvement vibratoire additionnel n'est ni trop faible, ni trop considérable. Une vibration qui atteint, comme amplitude, le dixième du diamètre d'un atome est l'extrême minimum de sensibilité auditive (seuil de perception) ; sa puissance a été déterminée très exactement, en unités absolues (watts), pour les diverses fréquences. Lorsque l'intensité du son augmente progressivement, la sensation, d'abord plus nette, devient ensuite assourdissante, puis douloureuse et enfin dangereuse ; il y a un rapport de 1 à 10 000 000 de milliards entre ces extrêmes : l'énergie du seuil d'audibilité et l'énergie du seuil de sensibilité douloureuse.

Par ce fait même que notre oreille est impressionnée à distance par une source sonore (violon, clarinette, phonographe haut-parleur), on en déduit que le son se propage dans l'air, où sa vitesse dépasse un peu 300 m/s. Les liquides et les solides transmettent également les sons ; le vide constitue, pour eux, un obstacle infranchissable. Mais il ne faudrait pas s'imaginer que le son se déplace à la façon d'une balle de tennis : c'est une propagation de proche en proche *dans toutes les directions de l'espace*, dont une image (à deux dimensions) nous est fournie par les rides qui se forment sur la surface tranquille d'un lac, où l'on vient de jeter un caillou (fig. 5). Pour une meilleure compréhension des choses, nous scinderons ce phénomène complexe en deux autres :

a) Nous cinématographions *un point* particulier de la surface, où flotte un tout petit bouchon : celui-ci effectue, sur place, des oscillations verticales avec une certaine *fréquence* (exprimée en cycles), ce qui représente une première périodicité *(périodicité dans le temps)* ;

b) Nous prenons une photographie *instantanée* d'une grande partie de la surface du lac, et nous remarquons que les crêtes voisines des rides sont séparées par une distance constante ou *longueur d'onde*. D'où une deuxième périodicité *(périodicité dans l'espace)*, puisque deux crêtes quelconques sont séparées par un nombre entier de longueurs d'onde.

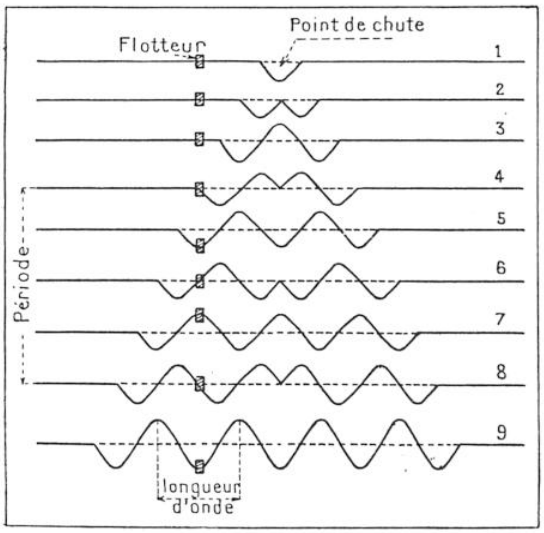


FIG. 5. — ASPECTS SUCCESSIFS DE LA SURFACE D'UNE EAU TRANQUILLE OU L'ON A JETÉ UNE PIERRE

Le flotteur effectue, sur place, des oscillations verticales avec une certaine fréquence (c'est la périodicité du mouvement dans le temps). D'autre part, les crêtes voisines des rides de l'eau sont séparées par une distance constante, appelée longueur d'onde (c'est la périodicité dans l'espace).

Telles sont, schématisées au possible, les notions essentielles sur les plus simples des ondes, les « ondes élastiques », dont les ondes sonores ne sont qu'un cas particulier, puisque l'on connaît également les ultrasons, vibrations inaudibles, qui ont rencontré de multiples applications. Les « ondes » ont été mises à la mode à la suite du développement foudroyant de la radiodiffusion : chacun s'est cru capable de parler d'« ondes » dans les milieux sansfilistes et radiesthésistes, même s'il ignorait l'intime liaison du temps et de l'espace qui les caractérise. Or, les ondes de T. S. F. n'ont que des analogies très lointaines avec les ondes élastiques ; quant à la radiesthésie, elle est l'étalon d'une « fausse science», à laquelle les contrôles sérieux n'ont pas apporté la moindre confirmation expérimentale : la physique moderne nous livre suffisamment de découvertes sensationnelles pour ne pas mêler le bon grain de la science à l'ivraie de puérils romans feuilletons.

L'électricité

Eclairage, électromécanique, télécommunications sont les trois piliers du rôle social de l'électricité (1). Quiconque réfléchit un instant à ces applications si dissemblables ne

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 118, page 289.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

manque pas d'être frappé par la place tout à fait exceptionnelle que les *métaux* y occupent: toutes les canalisations sont métalliques (colonnes montantes, fils de lumière, canalisations de force motrice, fils de sonnerie, lignes téléphoniques) ; métalliques sont également les filaments des lampes à incandescence et les résistances des radiateurs ; métalliques, les enroulements fixes et mobiles des démarreurs d'auto ; métalliques, les parties essentielles des stations d'émission et des postes récepteurs de téléphonie *sans fil*... Il n'y a pas là un simple hasard, et la raison réside dans la structure des métaux, à laquelle nous avons déjà fait allusion.

Quoique partout présente, l'électricité n'a sollicité l'attention des hommes que depuis quelques générations. Nous ne sommes guère sensibles aux phénomènes électriques, et cette science passe, auprès des profanes, pour le type même de l'« incompréhensible ». Dans ce domaine, les profanes n'en sont même pas à l'Univers nº 1, qui correspond aux connaissances, purement empiriques, acquises par les techniciens : monteurs électriciens, wattmen, etc.

Ici comme ailleurs, l'Univers nº 2 reste le privilège de quelques rares initiés, ceux qui savent que toute l'électrotechnique (jusques et y compris la radioélectricité) n'est au fond que *l'application des propriétés du gaz électronique* (1).

A nouveau (fig. 17), nous sommes en présence d'une « toile de fond », devant laquelle se place un « premier plan ». La toile de fond, c'est l'état métallique ; le premier plan, c'est le courant électrique.

Expliquons, pour fixer les idées, la différence qui sépare une lampe électrique éteinte de la même lampe allumée (fig. 6 et 7).

A froid, le filament de tungstène, en plus de la « pile de boulets » qui lui sert de *squelette*, est imprégné de gaz électronique : les électrons se meuvent en tous sens, à raison de 1 millier de km/s, évitant 200 « boulets » pour heurter le deux cent unième. De leur côte, les boulets se dandinent sur place, en effectuant environ 10 000 milliards d'oscillations par seconde, avec une très faible amplitude.

Allumons la lampe par du courant continu. Le fourmillement ultrarapide des électrons s'en trouve à peine modifié ; ils abattent toujours leurs 1 000 kilomètres par seconde, mais, de plus, tout l'ensemble du gaz prend un déplacement d'ensemble, avec une vitesse de 10 cm/s. Les chocs contre les atomes (les « boulets » de notre pile) deviennent plus violents, ce qui a *pour seul effet* d'accroître l'amplitude des oscillations, sans toucher à leur fréquence (qui reste égale à 10 000 milliards de cycles). Or un corps dont les atomes vibrent plus amplement est un corps plus chaud. Et c'est cette augmentation *infime* de 1 dix-millionième de la valeur de la vitesse des électrons qui est la cause *unique* de la lumière éblouissante que le filament émet.

Reconnaissons-le une bonne fois : la description de l'Univers nº 2 n'était pas évidente *a priori*...

Tout le monde sait que le résultat eût été le même avec du courant alternatif. Mais, dans ce cas, le gaz électronique ne filtre pas le long du filament en parcourant (en plus du fourmillement) 10 cm à la seconde ; chaque électron subit des vibrations supplémentaires, à raison de 50 par seconde, avec une amplitude de 3 mm. On voit que c'est fantaisie pure que d'affirmer — comme on l'a fait parfois — que les électrons oscillent de bout en bout d'un réseau de distribution à courant alternatif, ou encore qu'ils oscillent de bout en bout de l'antenne d'une station d'émission radioélectrique.

Il n'y a *aucune différence de nature* entre les courants alternatifs qui alimentent une lampe et une antenne. Avec 50 cycles pour la fréquence d'oscillation du gaz électronique, la puissance transmise à distance serait imperceptible : il a fallu recourir à des fréquences *au moins* deux millions de fois plus grandes ou même un milliard de fois plus grandes pour obtenir une « haute définition » des images transmises en télévision (ondes ultra-courtes).

Une fois de plus, nous nous trouvons en face du « tandem » *toile de fond-premier plan*, qui semble décidément une des clés de notre compréhension de l'Univers (fig. 17) :

1º La toile de fond, c'est ce que tous les sans-filistes appellent l' « onde porteuse de T. S. F. ». Les idées les plus baroques continuent de régner sur cette « onde porteuse ». Par une analogie superficielle avec les rides à la surface d'un lac, certains parlent encore des vibrations de particules d'*éther*, alors que l'éther est abandonné par tous les savants depuis vingt-cinq ans au moins. D'autres se sont imaginé, après avoir entendu parler d'électrons, que ceux-ci quittaient l'antenne pour se précipiter dans l'espace. En réalité, comme l'ont vu tout de suite les immortels fondateurs de la radioélectricité

(1) Il n'y a qu'*un* gaz électronique, qui définit *l'état métallique ;* il y a, au contraire, une centaine de *nuages* électroniques distincts, qui nous font comprendre la lumière, la chimie, les colloïdes... et bientôt la vie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

théorique et expérimentale, J.-C. Maxwell et Heinrich Hertz, il s'agit d'un champ électromagnétique alternatif, qui se propage à travers l'espace avec la vitesse de la lumière (soit 300 000 km/s). Ajoutons que le champ électromagnétique est une *donnée primordiale* de la science et qu'il est puéril d'essayer de l'expliquer par autre chose : ça ne se voit pas, ça ne se sent pas ; c'est une modification spéciale de l'endroit considéré, grâce à laquelle des gaz électroniques, convenablement disposés (postes récepteurs), peuvent être mis en mouvement ;

2° Cette toile de fond (on peut dire aussi : ce canevas) doit être parfaitement régulière et nous avons déjà insisté sur le rôle éminent de Richardson dans l'obtention des « ondes entretenues ». En d'autres termes, l'amplitude des oscillations du gaz électronique de l'antenne doit être *rigoureusement constante*. Et c'est ici qu'apparaît notre premier plan, qui n'est autre que la *modulation :* moduler une onde porteuse, c'est modifier son amplitude par l'adjonction d'un microphone si l'on veut radiodiffuser, par l'adjonction d'une photocellule si l'on veut téléviser. Au poste récepteur, cette onde modulée sera retransformée en oscillations de gaz électroniques, puis ces oscillations actionneront soit un haut-parleur, soit un tube à lueurs (ou un oscillographe cathodique) pour la télévision.

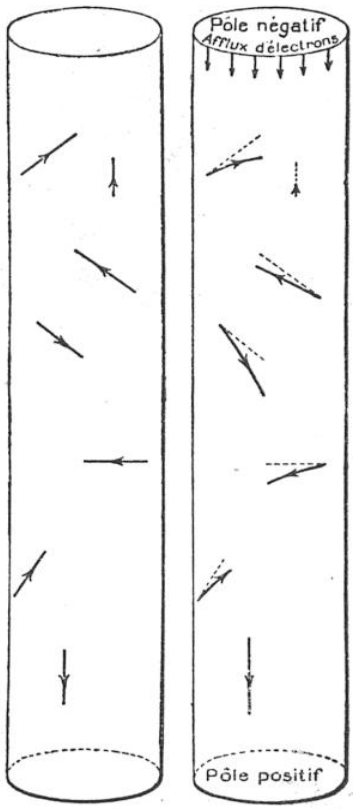


FIG. 6 ET 7. — FILAMENT MÉTALLIQUE DE LAMPE ÉLECTRIQUE A FROID (A GAUCHE) ET A CHAUD (A DROITE)

A froid, les électrons sautent d'un atome à l'autre, d'une façon tout à fait irrégulière. Le passage du courant se traduit par un déplacement d'ensemble des électrons vers le bas, chacune des trajectoires isolées étant incurvée légèrement.

Les radiations

Par ce fait même que l'œil humain est impressionné par certaines radiations et non par d'autres, ce fut par la lumière que débuta l'étude de l'énergie rayonnante. Mais, dès les premières années du siècle dernier, on s'aperçut que la vision est un phénomène subjectif, sans rapports avec la nature objective du rayonnement, et que les radiations visibles ne possèdent aucune propriété physique particulière, puisqu'elles se prolongent — des deux côtés du spectre — par les rayons infrarouges et ultraviolets, qui furent découverts grâce à leurs effets respectivement calorifiques et chimiques.

A la fin du XIXe siècle, deux nouvelles rallonges, aux deux bouts restés libres : le rayonnement hertzien (1888), à la suite de l'infrarouge, et les rayons X (ou rayons Rœntgen, 1895), après l'ultraviolet extrême. Nous venons de voir dans quelle mesure la vie sur la Terre avait été transformée par la découverte de Hertz ; celle de Rœntgen nous a fourni une documentation merveilleuse et riche de nouvelles promesses.

C'est en 1912 que le physicien allemand Max von Laue (1) eut l'idée d'un rapprochement génial. Quand on dit qu'une porte est à la taille de l'homme, cela signifie que l'homme peut agir sur cette porte, alors qu'il lui est impossible de « passer par le trou d'une aiguille » ou de déplacer une étoile. De même, les renseignements que l'on possédait il y a vingt-six ans laissaient soupçonner que les rayons X devaient être à la taille des atomes, qui s'entassent en piles de boulets pour former des cristaux, comme le cuivre ou le sel marin. Il fallait tout d'abord disposer de rayons X homogènes, c'est-à-dire analogues à une lumière d'une couleur bien définie, et que l'on envoie sur une lame cristalline convenablement taillée : les obstacles, constitués par les atomes électrisés (ou *ions*), perturbent la propagation du rayonnement et, en disposant à la suite une plaque photographique, on obtient un « radiogramme », c'est-à-dire un cliché présentant des taches noires, qui permettent de reconstituer l'agencement des ions dans l'espace.

Les trois figures 9, 10 et 11 représentent respectivement l'apparence du sel ordinaire,

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 239, page 362.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

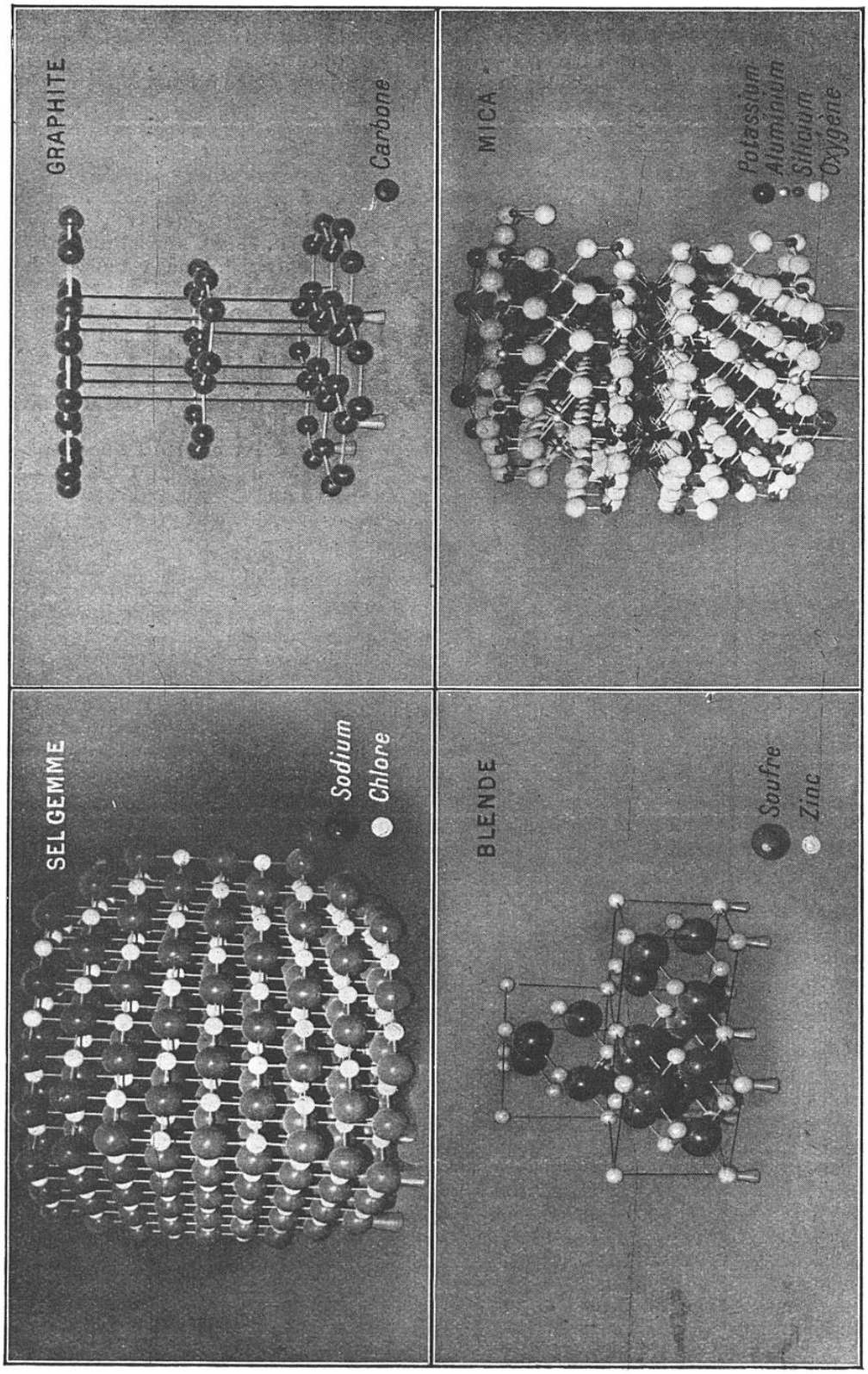


FIG. 8. — L'ARCHITECTURE DES MOLÉCULES A UN GROSSISSEMENT DE 400 MILLIONS

Le Palais de la Découverte contient toute une série de modèles qui représentent la structure des cristaux les mieux connus. Nous en avons choisi quatre : le sel gemme (chlorure de sodium), le graphite (carbone), la blende (sulfure de zinc) et le mica (aluminosilicate de potassium).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le radiogramme à déchiffrer et le résultat de cette étude, dont la précision dépasse largement le millième — ce qui permet d'apprécier des distances notablement inférieures au milliardième de milimètre.

Cette *analyse cristalline* par les rayons X (1) a été effectuée pour tous les cristaux naturels et artificiels ; le *Palais de la Découverte* nous présente toute une série des réseaux cristallins, souvent très complexes (quartz, diamant, graphite, fluorine, calcite, blende, mica...) sous le titre suggestif : « l'architecture du monde à un grossissement de quatre cent millions » (fig. 8). Indépendamment de leurs applications médicales, les rayons X sont un des moyens les plus puissants qui nous permettent d'atteindre l'Univers n° 2, pour le « photographier » ; les chercheurs s'occupent en ce moment de produits encore plus compliqués, comme la cellulose ou l'albumine, et nous pressentons qu'il y a là une des voies d'accès pour approfondir le mécanisme de la vie.

Des rayonnements hertziens à basses fréquences jusqu'aux rayons X les plus durs (et aux rayons gamma), il n'y a pas moins de soixante-deux octaves (2), auxquelles — sauf une — l'œil humain est aveugle. Au fur et à mesure que la fréquence croît, les propriétés se modifient progressivement, et on passe d'une manière continue à l'infrarouge, à la lumière visible, à l'ultraviolet et aux rayons X. Cet ensemble sans fissure formait une synthèse imposante, qui paraissait définitive à la génération qui nous a précédés : les radiations n'étaient alors *que* des oscillations de nature électromagnétique.

Il n'en est plus de même aujourd'hui (fig. 12).

Des phénomènes nouvellement connus ou nouvellement élucidés, comme ceux qui sont à la base du fonctionnement de la photocellule, ont obligé Einstein et ses successeurs de faire intervenir, dans les radiations, des corpuscules non électrisés, extrêmement agiles, dénommés *photons*, et qui ressemblent (toutes proportions gardées) à des obus remplis d'explosif, possédant, à n'importe quelle distance de la bouche à feu, la même capacité de destruction. Cette dualité ondes-corpuscules n'est pas le propre de la lumière ; elle s'étend à la matière, ainsi que l'a proposé, dès 1923, Louis de Broglie, l'initiateur de la mécanique ondulatoire.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 239, page 358.
(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 125, page 357.

Les nuages électroniques

Le début du XX^e siècle savait déjà, de source sûre, que la matière est formée d'atomes. Nous dirions de préférence aujourd'hui : il y a matière toutes les fois qu'on décèle un *noyau* relativement lourd et chargé positivement ; dans la matière habituelle, le noyau est entouré d'un *nuage d'électrons* (1), dont le volume est immense par rapport à celui du noyau.

Une centaine de nuages électroniques différents nous suffit pour interpréter — et même pour prévoir — une multitude d'apparences du monde matériel. En 1862, notre compatriote Béguyer de Chancourtois, en 1869, le chimiste russe Dimitri Mendeleïeff étaient loin de songer aux électrons ou à leur juxtaposition en nuages ; ce sont eux, néanmoins, qui ont abordé le problème qui nous occupe : la classification de Mendeleïeff, dont il a été bien souvent question dans ces colonnes, est, au fond, une classification de nuages électroniques, plus précisément des nuages électroniques *normaux*.

(1) Le *gaz* électronique dont les métaux sont imprégnés est formé par les électrons, extrêmement mobiles, qui se détachent (à raison d'un par nuage) de la surface des nuages d'électrons : ce sont ces nuages qui sont empilés en « boulets », avec un noyau en leur centre.

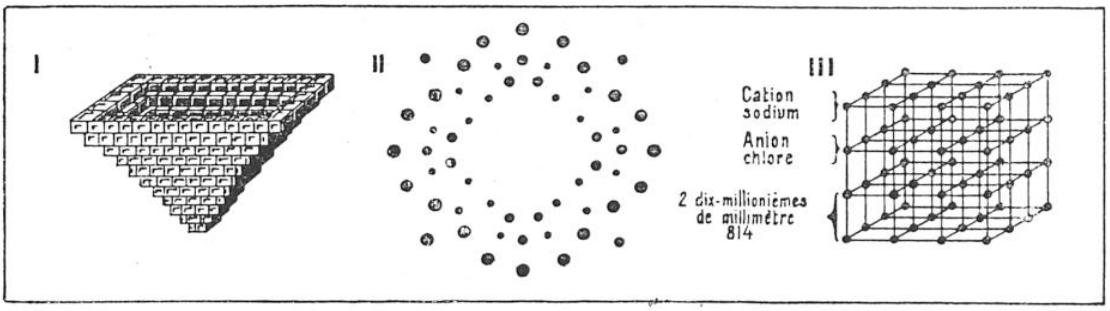


FIG. 9, 10, 11. — I, APPARENCE DU SEL ORDINAIRE (TRÉMIE DE SEL GEMME) ; II, RADIOGRAMME DU SEL GEMME ; III, LA RÉALITÉ (RÉSEAU DE SEL GEMME)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans cette classification, modernisée principalement par E.-C. Stoner (1924), les nuages sont rangés par population croissante, depuis l'hydrogène (avec un seul électron) jusqu'à l'uranium, qui en contient 92. Le fer possède 26 électrons : en représentant le noyau du fer par un pépin d'orange, situé au pied de l'obélisque de la place de la Concorde, ces 26 électrons (constituant son nuage) se trouvent en moyenne à la distance qui sépare l'obélisque des statues des villes de France. Si Pascal revenait parmi nous, il pourrait, en contemplant un clou, répéter sa phrase fameuse : « Le silence éternel de ces espaces infinis m'effraie ».

Pendant une vingtaine d'années (jusqu'en 1927), les physiciens ont admis qu'il serait possible de préciser les *trajectoires* des électrons autour d'un noyau ; nous savons aujourd'hui que l'ensemble des données expérimentales ne nous y autorise pas. Lorsqu'on tient absolument à se faire une représentation concrète, on obtient des apparences dont les figures 13-16 nous fournissent un aperçu : l'électron se trouve quelque part dans le nuage, plus fréquemment là où le brouillard est dense, et plus rarement là où il se résout en une brume légère. Mas il faut être bien persuadé que ce ne sont là que des modèles très schématiques, destinés tout au plus à fixer l'esprit : *la réalité est ailleurs*, dans des équations mathématiques sur lesquelles nous ne pouvons insister ici.

Chaque électron constitutif est défini par quatre nombres, appelés *nombres quantiques*, et ces quatre nombres forment, pour ainsi dire, sa « fiche anthropométrique ». C'est dans les nuages électroniques normaux que les nombres quantiques ont leurs plus petites valeurs ; un nuage peut cesser d'être normal par deux mécanismes :

1° *Par ionisation*. — Un électron (ou plusieurs) quitte le nuage, qui devient électrisé positivement ; un électron supplémentaire (ou plusieurs) prend place dans le nuage, qui est alors chargé d'électricité négative. L'ionisation intervient dans un grand nombre de phénomènes chimiques ; toute l'électrochimie est une conséquence de l'ionisation ;

2° *Par excitation*. — Un nuage excité renferme le même nombre d'électrons que le nuage normal correspondant, mais les nombres quantiques n'y ont pas les mêmes valeurs. L'excitation confère une grande activité chimique : elle peut être produite, soit par le choc de corpuscules étrangers, soit par absorption de lumière. Le retour de l'état excité à l'état normal est accompagné d'une émission de lumière (fig. 17) ou, comme nous l'avons vu, de la création et du départ d'un photon.

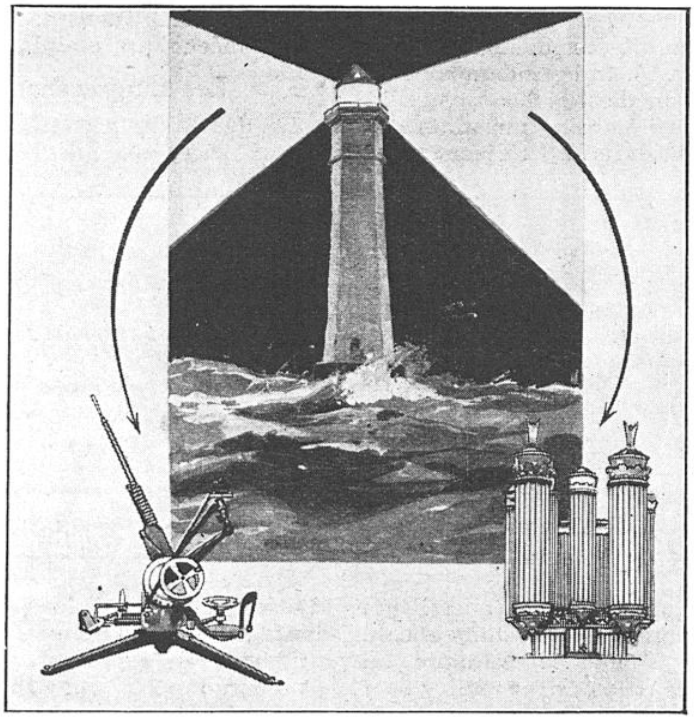


FIG. 12. — ONDES ET CORPUSCULES

Dans certains cas, la lumière se comporte comme le son émis par un orgue ; dans d'autres cas, elle ressemble davantage à une rafale de balles lancées par une mitrailleuse.

C'est l'interaction des nuages électroniques voisins qui explique à la fois la cohésion de la matière et ses actions chimiques. On conçoit leur importance dans l'étude des substances colloïdales, des « micelles », dont les êtres vivants sont faits. Auguste Lumière considère que « l'état de solution colloïdale conditionne la vie, alors que la floculation détermine la maladie et la mort ». Cette remarque suffit à montrer que tout progrès dans la connaissance des nuages électroniques intéresse l'humanité en général et tout être humain en particulier, car,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comme l'indique le grand physiologiste L. Lapicque, la biologie s'applique « à ramener ce qui se passe dans les êtres vivants aux phénomènes de la matière inanimée. Cette hypothèse de travail est *la seule ;* mieux : *la seule féconde* ».

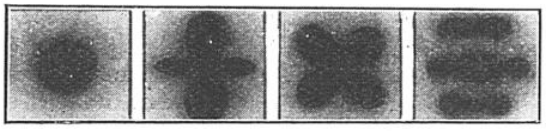


FIG. 13, 14, 15, 16. — QUELQUES NUAGES ÉLECTRONIQUES (GROSSISSEMENT : 400 000 000)
En réalité, les taches noires devraient être dégradées depuis le centre (occupé par le noyau) jusqu'à la périphérie du nuage électronique.

Les noyaux atomiques

Avec les noyaux atomiques, nous atteignons le « cœur de la citadelle », le fond des abîmes de la microphysique (1). Les nuages électroniques (avec leur noyau au centre) ont des dimensions de l'ordre du dix-millionième de millimètre (fig. 11). Et, dans un nuage d'électrons, le noyau ne tient pas plus de place qu'une mouche à l'intérieur d'une cathédrale.

A l'heure actuelle, les physiciens ont identifié un peu moins de quatre cents noyaux différents (2). Les plus légers sont relativement simples ; les plus lourds sont *tout un monde*, en dépit de leur inimaginable petitesse. Le noyau d'uranium n'est-il pas formé par 250 corpuscules entassés ?

L'étude des noyaux, ou, comme on dit, la physique nucléaire, a progressé à pas de géant en quelques années. On y a reconnu, notamment, deux nouveaux corpuscules, que l'on est, d'ailleurs, parvenu à isoler :

a) Le *neutron* (W. Bothe et H. Becker, 1930), non chargé d'électricité, environ 1 800 fois plus lourd que l'électron ;

b) Le *positron* (Carl Anderson, 1933), aussi léger que l'électron, mais électrisé positivement, alors que l'électron est négatif.

Et voici ce qu'on observe :

1° Des noyaux spontanément stables (par exemple, celui de fer), qui restent identiques à eux-mêmes tant qu'on ne les soumet pas à des actions particulièrement violentes ;

2° Des noyaux spontanément radioactifs (Henri Becquerel, 1896 ; Pierre et Marie Curie, 1897), dont le type est celui de radium. Il y a alors *désintégration*, avec expulsion d'hélions (noyaux d'hélium), d'électrons et de rayons X très durs (appelés rayons gamma) ;

3° Les noyaux spontanément stables sont souvent susceptibles d'exploser *(transmutation)* (1), lorsqu'on les bombarde, soit par les produits de désintégration du radium

(1) Voir dans ce numéro, page 440.

(2) Comme il n'existe que cent nuages électroniques normaux, il faut nécessairement que plusieurs noyaux distincts puissent s'entourer d'un *même* nuage d'électrons. Deux atomes sont nommés « isotopes », lorsque leurs noyaux diffèrent, mais non leurs nuages (deux isotopes occupent la même *case* de la classification de Mendeleïeff-Stoner).

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 246, page 444.

TOILES DE FOND	PREMIERS PLANS
Courbure générale de l'Univers **(Inertie)**	Courbures locales de l'Univers **(Gravitation)**
Fourmillement désordonné des molécules **(Gaz)**	Entraînement d'ensemble des molécules **(Courants d'air)**
	Vibrations cohérentes des molécules **(Tuyaux sonores)**
Frémissement désordonné des atomes **(Corps solides)**	Vibrations cohérentes des atomes **(Cordes et plaques vibrantes)**
Fourmillement désordonné des électrons **(Etat métallique)**	Entraînement d'ensemble des électrons **(Courant électrique continu)**
	Vibrations cohérentes des électrons **(Courant électrique alternatif)**
Champ électromagnétique alternatif **(Ondes porteuses de T. S. F.)**	Variations d'amplitude *(modulation)* **(Radiodiffusion)** **(Télévision)**
Etats stationnaires des atomes **(Matière normale)**	Transitions d'électrons **(Emission de lumière)** **(Absorption lumineuse)**
Energie constituant la matière **(Energie intra-nucléaire)**	Variations d'énergie **(Toutes les apparences sensibles)**

FIG. 17. — POUR LA SCIENCE CONTEMPORAINE, LES APPARENCES SENSORIELLES SE PRÉSENTENT COMME UNE LÉGÈRE MODIFICATION D'UNE RÉALITÉ PLUS PROFONDE, SOUS-JACENTE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(Ernest Rutherford, 1919), soit par des corpuscules auxquels on a communiqué de très grandes vitesses (J.-D. Cockroft et E.-T.-S. Walton, 1933) ;

4° En général, les noyaux qui résultent d'une transmutation sont stables. Toutefois, en 1934, Frédéric et Irène Joliot ont montré qu'il pouvait également se fabriquer des noyaux à stabilité différée, se désintégrant spontanément *(radioactivité artificielle) ;*

5° Il est dès maintenant possible de transformer la lumière en matière, et inversement (processus de *matérialisation* et de *dématérialisation)* (1) ;

6° Parallèlement, se poursuit l'étude des *rayons cosmiques*, ainsi dénommés parce qu'ils nous arrivent de l'extérieur du système solaire et même de la Voie Lactée. Ces « rayons » renferment notamment des positrons et des protons (noyaux d'hydrogène). Chacun de nous est traversé de part en part, toutes les heures, par 200 000 corpuscules ; et comme ce « tir » dure depuis des millénaires, il faut bien admettre que ces projectiles participent, en bien ou en mal, à la vie.

Tous ces phénomènes, qui mettent en jeu de fabuleuses *concentrations* d'énergie, ne portent que sur des corpuscules *isolés :* si l'on disposait de 1 kg de radium (sans cesse renouvelé !), il faudrait attendre 1 000 milliards de siècles avant d'avoir obtenu 1 mm³ de gaz hydrogène ; et les alchimistes contemporains — quand ils sont honnêtes — font songer à un inventeur qui s'imaginerait atteindre le centre de la Terre en améliorant la technique des puisatiers.

« Faire de l'or » n'offre aucun intérêt : on serait obligé de choisir un autre étalon monétaire... Ce « malheur » n'est d'ailleurs pas près de nous arriver. Ce qui serait infiniment plus important, ce serait de pouvoir contrôler et utiliser les inimaginables réserves d'énergie intranucléaire, puisqu'en dématérialisant un petit caillou de la grosseur d'un pois, on aurait de quoi propulser le plus grand transatlantique le long du parcours Le Havre-New York et retour... Mais, pour l'instant, comme dit Eddington, « l'énergie intranucléaire est cadenassée d'une manière si sûre que, pour les services qu'elle nous rend, elle pourrait tout aussi bien être logée dans la galaxie la plus lointaine, jusqu'au jour où nous saurons trouver la clé du cadenas. Nous avons beau savoir que l'armoire est fermée, nous sommes irrésistiblement poussés à regarder par le trou de la serrure, comme des enfants qui savent où les pots de confiture sont rangés ».

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 252, page 414.

Epilogue

Au terme de cette promenade à travers vingt-cinq années de recherches, qui comptent parmi les plus brillantes et les plus fécondes de l'histoire de l'humanité, il est souhaitable que le lecteur ait mesuré toute la différence qui sépare le monde spontanément perçu de l'Univers découvert par la science. Cette opposition entre l'apparence et la réalité ne peut qu'aller en s'accentuant, non seulement en physique, mais en biologie et en psychologie, au fur et à mesure que ces sciences progresseront.

Nous nous sommes efforcés de « faire sentir » en quoi consiste ce monde véritable, dont nos sens ne nous donnent aucune idée : c'est parce que le savant a décrit un Univers fantastique (aux yeux de l'homme de la rue) que le technicien a mis au point des applications inouïes. C'est aussi et surtout parce que cet Univers ne peut être décrit que dans le langage admirablement précis des hautes mathématiques et du calcul des probabilités.

Au savant qui l'interroge, la réalité répond parfois par des limitations catégoriques : le principe de Carnot interdit de dépasser telle valeur pour le rendement des moteurs thermiques ; la diffraction de la lumière s'oppose à ce que nous voyions des particules trop petites ; le principe de Heisenberg nous défend de suivre exactement les pérégrinations d'un électron à l'intérieur d'un atome....

Mais il est une autre limitation, que je voudrais signaler en terminant, parce qu'elle n'est qu'un reflet de l'humaine nature et qu'elle concrétise l'esprit même de la science. Il faut se méfier de la question : « Et après ? » posée à tout propos et hors de propos : la base de la science est la méthode expérimentale, seule source de vérité. Un mathématicien, comme Henri Poincaré, et un biologiste, comme Claude Bernard, sont d'accord pour l'affirmer. Dans les conditions rigoureuses où il est établi, un fait d'expérience est une *conquête définitive :* il n'a jamais existé aucune loi qui, dans le sens et avec l'approximation dans lesquels elle a été énoncée, ait jamais dû être rejetée. L'explication scientifique a uniquement pour but de ramener le plus grand nombre de faits au plus petit nombre possible de principes généraux, suivant les illustres exemples de Maxwell, qui rattacha la lumière à l'électromagnétisme, ou d'Einstein, qui fit de la gravitation un chapitre de la géométrie.

MARCEL BOLL.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QU'EST-CE QUE LA MATIÈRE VIVANTE ?

Par Etienne RABAUD

PROFESSEUR DE BIOLOGIE EXPÉRIMENTALE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

Pendant longtemps, profanes et même savants ont considéré que les phénomènes vitaux devaient, par leur essence même, échapper pour toujours à l'investigation scientifique. Vis-à-vis des énigmes que pose le monde vivant, la position de la science moderne est tout autre. Laissant de côté délibérément toute hypothèse et toute discussion sur la nature profonde de la « vie », — problème qui, jusqu'à nouvel ordre, demeure du domaine de la métaphysique, — le biologiste moderne poursuit, du seul point de vue physicochimique, l'étude des manifestations de la matière vivante et en recherche des explications rationnelles ne mettant en jeu que les forces avec lesquelles l'étude du monde matériel nous a familiarisés. La recherche biologique ainsi conduite s'est montrée déjà extrêmement féconde. L'analyse minutieuse du protoplasme (matière vivante élémentaire) a montré, en même temps que la complexité encore inextricable de sa structure, qu'elle était édifiée à l'aide des seuls éléments qui composent la matière inerte. Les mêmes lois physicochimiques, qui régissent le monde matériel, fournissent d'autre part des interprétations satisfaisantes pour un nombre chaque jour plus grand de mécanismes vitaux. Mais ces premières conquêtes de la biologie nous ont révélé aussi la profondeur de notre ignorance, qui s'étend jusqu'aux phénomènes vitaux les plus élémentaires. C'est ainsi que, pour beaucoup de biologistes contemporains, l'activité fondamentale de la cellule vivante, celle qui ne se retrouve nulle part ailleurs et qui peut, par cela même, constituer la définition même de la « vie », l'assimilation, serait régie exclusivement par les lois générales de la physique et de la chimie ; cependant, aucun d'eux ne saurait préciser les modalités infiniment compliquées de ces échanges nutritifs. Que dire des problèmes encore plus complexes touchant l'origine de la matière vivante, l'évolution des espèces, l'hérédité, si ce n'est que la subtilité et l'apparente logique des théories qu'ils ont suscitées dissimulent mal la fragilité de nos interprétations ? Sans doute, le jour où les secrets essentiels de la vie auront pu être déchiffrés sans ambiguïté, si tant est que cela soit humainement possible, apparaît-il encore bien lointain. Les importants résultats déjà acquis nous engagent cependant à persévérer. Nous savons, depuis les travaux de Claude Bernard, que la méthode expérimentale — fondement de toute notre connaissance du monde extérieur — s'applique aux phénomènes biologiques comme aux phénomènes physicochimiques. Tout nous laisse espérer que sa fécondité sera la même dans les deux ordres de recherche.

De l'idée de matière vivante se dégage, pour bien des gens, un sentiment de mystère impénétrable, devant lequel toute recherche s'arrête, impuissante à saisir la « vie ».

Attitude de renoncement fâcheuse entre toutes. Que nous connaissions fort incomplètement le mécanisme des manifestations vitales ; que nous ne sachions encore reconstituer dans son ensemble le phénomène vital, nul ne le nie. Mais que ce phénomène et ses manifestations soient une énigme défiant notre analyse ; qu'il faille accepter comme valables les explications verbales courantes, — esprit vital et ses équivalents, — rien vraiment ne nous y oblige. Certes, nous avons beaucoup à apprendre ; néanmoins, nous n'ignorons pas tout, et ce que nous savons donne le ferme espoir de parvenir, un jour, à déchiffrer entièrement l'énigme.

Constitution de la matière vivante

La matière vivante — ou protoplasme — a progressivement perdu son apparence énigmatique à partir du moment où l'accord s'est établi sur ses origines ; les matériaux qui la composent appartiennent tous, sans exception, à la matière inerte. Et ce point importe singulièrement.

Non qu'il faille s'en tenir encore au rapprochement simpliste qui consiste à dire de la matière vivante qu'elle est un albuminoïde ! Si complexe que soit celui-ci, c'est un corps relativement simple vis-à-vis de celle-là.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sans doute les protides en forment une partie importante ; mais, outre ces combinaisons infiniment complexes d'azote, de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, la matière vivante comprend des composés ternaires, glucides et lipides. Protides, glucides et lipides s'associent en un ensemble d'une extraordinaire complexité. Et ce n'est pas tout encore. Bien d'autres corps s'ajoutent : toute une longue série de minéraux divers, qui ont cette particularité de se trouver souvent en quantités infinitésimales, répandues comme une impalpable poussière dans la masse principale. Le tout forme ce composé dont notre imagination saisit difficilement la complexité. Comme tout composé, la matière vivante possède des propriétés à elle spéciales, et d'autant plus nombreuses, d'autant plus variées que sont plus nombreuses et variées les substances et les combinaisons qui entrent dans sa constitution.

Toutefois, si grandes que soient cette multiplicité et cette diversité des composants, quelles que soient leurs manifestations, cela suffit-il pour donner à ces manifestations ce caractère si différent de celui des manifestations de la matière inerte, et même des substances organiques ? La matière vivante ne renfermerait-elle pas, en outre, un élément *sui generis*, un élément proprement vital ?

L'état colloïdal

Poussant plus avant l'analyse, nous constatons que les diverses parties qui composent la matière vivante se trouvent à l'*état colloïdal*, c'est-à-dire divisées en particules extrêmement ténues, en suspension dans un liquide. Cet état n'a rien de spécial en soi ; mais il tire des propriétés très particulières des matériaux mêmes qui entrent en jeu. Et c'est bien de là que paraissent découler les phénomènes vitaux, propriétés essentielles de la matière vivante. On doit considérer que ces phénomènes traduisent l'interaction particulièrement active des composants entre eux et avec les éléments du monde extérieur.

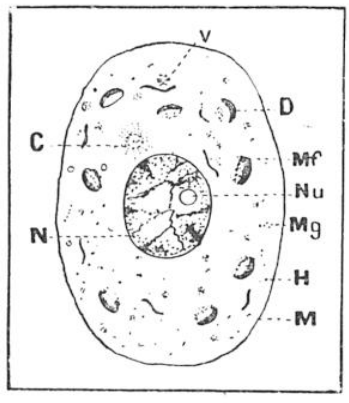


FIG. 1. — SCHÉMA DE LA CELLULE ANIMALE

C, *centrosome* ; H, *cytoplasme* ; Mf *et* Mg, *mitochondries* ; N, *noyau* ; Nu, *nucléole* ; V *et* D, *vacuoles*.

Ainsi constituée, la matière vivante est extrêmement labile ; sans cesse elle se disloque, abandonnant une partie d'elle-même, et elle se reconstitue au contact des éléments du dehors.

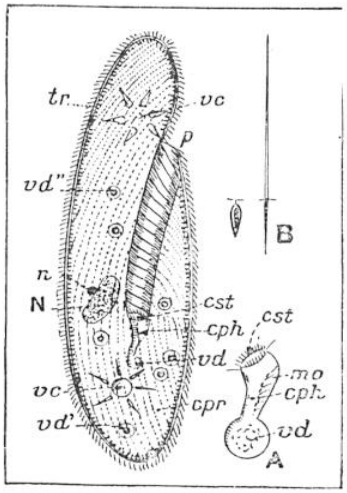


FIG. 2. — LES ORGANES D'UN INFUSOIRE CILLÉ

p, *péristome, large sillon dont le fond s'ouvre par le cytostome* cst *qui sert de bouche ;* cph, *cytopharynx ;* mo, *membrane ondulante ;* vd, *vacuole digestive en formation ;* vd', *vacuoles digestives au sein du protoplasme ;* vc, *vésicules contractiles ;* N, *noyau ;* tr, *cils vibratiles (fortement grossi en* B*).*

Labilité et stabilité

Au contact et sous l'influence de la portion qui persiste et demeure active, une quantité nouvelle de matière vivante se combine, qui remplace la portion perdue. Le processus a ceci de très remarquable que les parties nouvelles possèdent la même constitution que les parties perdues ; par suite, la matière vivante paraît continuer, toujours semblable à elle-même. En réalité, les matériaux mis en œuvre sont *assimilés*, et ce mouvement continu de destruction et de reconstruction — qui a reçu le nom de *métabolisme* — se traduit par une apparente *stabilité*.

Que se passe-t-il exactement ? A cet égard, les données précises font défaut. Pourtant, nous savons — et ce n'est pas négligeable — que l'interaction des divers composants de la matière vivante aboutit à un équilibre mobile tel que la proportion relative de chacun d'eux se maintient autour d'une moyenne. Cette notion de *constance*, mise en évidence par A. Mayer et G. Schæffer, est fondamentale ; elle domine l'étude de tous les phénomènes vitaux. Elle conduit, notamment, à cette conséquence que la structure du protoplasme répond à un *état constitutionnel* véritable d'où découlent les propriétés diverses que nous connaissons.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Structure de la matière vivante

Cette structure se traduit en partie, à nos yeux, par l'apparence morphologique. On sait, en effet, que le protoplasme se présente sous forme de petites masses, souvent fort exiguës et mesurant quelques millièmes de millimètre, dans lesquelles on distingue deux parties : le corps de la cellule — ou *cytoplasme* — enveloppant un *noyau*. Celui-ci se décompose en de petits éléments, — en nombre constant pour une cellule donnée, — les *chromosomes*.

Cytoplasme et noyau sont deux groupes de composants étroitement solidaires l'un de l'autre. Séparés, chacun d'eux n'est plus qu'un fragment de matière inerte, incapable de manifestations vitales vraies ; d'ailleurs ils ne tardent pas à se désagréger et à disparaître. Les faits expérimentaux obligent à affirmer que le noyau n'a pas plus d'importance que le cytoplasme — et réciproquement.

L'opposition morphologique entre ces deux parties de la cellule indique, à elle seule, que le protoplasme n'est pas un corps homogène, semblable à lui-même dans toutes ses parties. Pour peu que l'on pousse l'analyse, l'hétérogénéité apparaît plus grande encore. On s'en rend très nettement compte en examinant l'un de ces êtres anatomiquement simples, les protistes, et qui équivaut à une unique cellule. Sur un infusoire, tel qu'une paramécie (fig. 2), on observe aisément diverses parties, que l'on compare souvent à de véritables organes. C'est ainsi que les substances alimentaires pénètrent au niveau d'une zone qui correspond à la bouche et au pharynx. De plus, au cours de la digestion, les matériaux ingérés suivent toujours le même trajet, tandis que les éléments non digérés sortent par un orifice préformé, l'anus, qui occupe une situation fixe. De même, les liquides s'accumulent en deux points déterminés, où apparaissent deux vésicules qui se contractent périodiquement et chassent leur contenu.

En examinant d'autres protistes, on observe des faits comparables. La substance contractile, par exemple, est particulièrement développée chez les vorticelles et les stentors ; elle forme des stries parfaitement visibles ; de plus, le mode de répartition des cils vibratiles est très différent. Tandis que ceux de la paramécie sont uniformément répartis à la surface du protiste, les cils du stentor et de la vorticelle sont localisés d'un seul côté. Diverses formations apparaissent parfois ; c'est ainsi que divers protistes flagellés possèdent une tache pigmentaire à situation constante.

Ces localisations diverses n'existent pas chez tous les protistes ; du moins elles n'existent pas avec la même netteté. Parfois même, la répartition des composants paraît plus uniforme ; mais tous ces composants n'en existent pas moins. Notamment, la contractilité ne fait pas défaut ; seulement, elle s'effectue indifféremment dans tous les sens, si bien que l'organisme se déforme de toutes les manières.

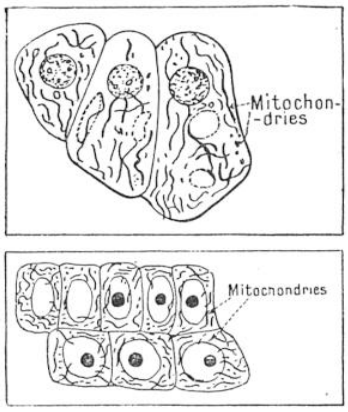


FIG. 3 ET 4. — CELLULE DU FOIE DE GRENOUILLE ET CELLULES DE LA RACINE DU HARICOT MONTRANT LES MITOCHONDRIES, CORPUSCULES DE FORMES ASSEZ DIVERSES

En dehors des protistes, l'hétérogénéité de la matière vivante s'aperçoit nettement sur les cellules du corps d'un organisme multicellulaire (fig. 3). C'est ainsi que les cytologistes ont mis en évidence des corpuscules, de formes assez diverses, connus sous le nom de mitochondries et qui jouent, dans le métabolisme du protoplasma, un rôle important. Chez les plantes, notamment, certaines de ces mitochondries prennent une part directe et de première importance dans la formation de la chlorophylle. On distingue aussi des vacuoles, dans lesquelles s'accumulent des produits variés (fig. 4).

Au surplus, ces constituants qui tranchent sur le fond du protoplasma, et que chacun peut voir, ne sont pas les seuls. Seulement, il en est beaucoup d'autres que leurs propriétés optiques ne permettent pas de discerner. Nous sommes certains, néanmoins, que ces composants, plusieurs sinon tous, sont également localisés. Et cette localisation est un fait important, qui permet de comprendre les processus de *différenciation*, dont nous aurons à reparler.

La diversité des matières vivantes

Auparavant, une précision s'impose, que laisse prévoir tout ce qui précède.

Quand nous parlons de *matière vivante*, au singulier, nous avons en vue, non pas un corps déterminé et toujours comparable à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lui-même, mais un ensemble de corps possédant tous la même constitution fondamentale et les mêmes propriétés essentielles, bien que différant les uns des autres par diverses particularités secondaires. En fait, il n'y a pas *une* matière vivante ; il y a *des* matières vivantes.

Sur les différences qui les séparent, l'analyse chimique donne des indications précises. Elle montre, notamment, que si tous les protoplasmes renferment des composés azotés, tous ne renferment pas les mêmes. C'est ainsi que la créatine caractérise les muscles des vertébrés, tandis que l'arginine caractérise ceux de nombreux invertébrés ; de plus, les muscles de divers invertébrés renferment, concurremment avec l'arginine, une faible quantité de créatine.

Ces différences d'ordre chimique, qui se traduisent par les dispositions morphologiques, ne séparent pas seulement de grands groupes. Elles vont aussi dans le détail. J. Carles a montré, par exemple, que la diversité des espèces d'iris correspond à la diversité des glucides. Et de simples différences dans la proportion d'un même glucide, tel que l'amidon, caractérise différentes espèces de pois (fig. 5). De plus, les belles expériences de Molliard montrent qu'en alimentant une plante avec des glucides variés on modifie à la fois sa croissance et sa forme (fig. 6). Bien entendu, ces différences dans la nature ou le taux de l'un des composants d'un protoplasme se répercutent sur l'ensemble des autres.

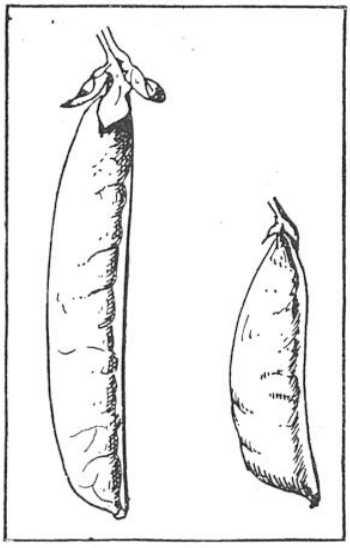


FIG. 5. — DE SIMPLES DIFFÉRENCES DANS LA PROPORTION D'UN GLUCIDE TEL QUE L'AMIDON SUFFISENT A CARACTÉRISER DIVERSES ESPÈCES DE POIS

A gauche : variété de pois à graines ridées (taux d'amidon, 19,6 à 20,5). A droite : variété à graines lisses (taux d'amidon, 33,6 à 34,7).

La matière vivante varie-t-elle ?

Cette diversité des matières vivantes soulève une fort importante question : toutes ces matières ont-elles une origine commune, ou chacune d'elles reconnaît-elle une origine spéciale ? Tout le problème de l'évolution et du transformisme apparaît ainsi dès le début.

L'état actuel de nos connaissances oriente évidemment vers l'idée de stabilité. Le fait que le jeu de l'assimilation tend à reproduire une substance toujours semblable à elle-même semble impliquer une origine spéciale pour chaque protoplasma. Toutefois, diverses données expérimentales prouvent que l'action d'influences extérieures modifie le métabolisme et, par suite, le résultat de l'assimilation ; des variations s'ensuivent. Il faut en conclure que si la stabilité des matières vivantes est très grande, elle n'est pourtant pas absolument irréductible, que des transformations se produisent d'où résulte une nouvelle matière vivante, elle aussi relativement stable.

La diversité des formes animales et végétales trouve ainsi une explication rationnelle. Sans doute est-il peu probable que toutes ces formes proviennent d'une unique masse initiale de matière vivante ; mais il est beaucoup moins probable encore que chaque forme ait une origine distincte. Les probabilités sont autres. Tout nous incite à penser que des conditions, analogues, mais non identiques, se sont rencontrées en des régions distinctes de la Terre, et ont donné naissance à quelques masses de matière vivante, essentiellement constituées de façon comparable, quoique différant à bien des égards.

L'évolution s'est effectuée à partir de ces masses initiales distinctes.

La matière vivante et l'hérédité

Cette idée d'évolution a soulevé de vives objections. Notamment, bien des naturalistes ont insisté sur la difficulté de provoquer des variations capables de se transmettre d'une génération à l'autre. La difficulté découle du mode d'assimilation habituel du protoplasma, qui lui donne une remarquable constance de composition.

Or, il faut bien se rendre compte de ce que signifie exactement cette stabilité. Loin d'être un obstacle à l'évolution des êtres vivants, elle en est la condition essentielle. L'assimilation ne consiste pas seulement, en effet, dans le simple remplacement des quantités détruites. Lorsque les conditions s'y prêtent, la production de substance nouvelle l'emporte sur la destruction, de sorte que la masse s'accroît. Un moment vient où, sous diverses influences, cette masse se divise en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

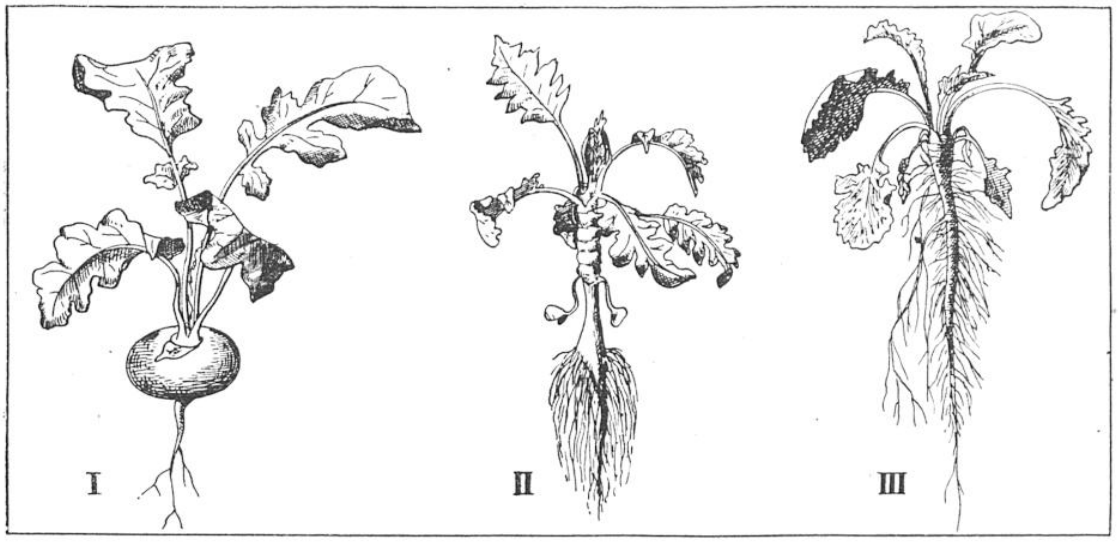


FIG. 6. — L'ALIMENTATION D'UNE PLANTE AVEC DES GLUCIDES VARIÉS PERMET D'APPORTER UNE MODIFICATION A LA FOIS A SA CROISSANCE ET A SA FORME

Radis cultivé : I, *dans des conditions normales ;* II, *dans une solution à 5 % de glucose, d'abord en tube ouvert, puis en tube fermé ;* III, *dans une solution gélosée à 10 % de saccharose.*

deux parties, égales ou inégales, mais constitutionnellement comparables. Cette division n'est autre chose que la *reproduction ;* et, dans la ressemblance constitutionnelle de la masse initiale et de la masse qui s'en sépare, réside le fait de l'*hérédité*. C'est un fait de permanence constitutionnelle relative ; et cette permanence, à son tour, est une condition d'évolution, au sens transformiste du mot : apparition de formes nouvelles faisant souche de formes semblables. En cela nul paradoxe. Si le résultat de l'assimilation variait sans cesse sous l'effet de la moindre influence, le monde vivant serait en perpétuel changement ; les descendants différeraient constamment de leurs ascendants, et les dissemblances seraient souvent très accusées. Toute continuité apparente ferait ainsi défaut, et l'incessante variation donnerait un monde vivant sans hérédité, différant profondément, par suite, de celui auquel nous appartenons.

De la stabilité relative du métabolisme résulte, au contraire, que certaines modifications constitutionnelles intercurrentes peuvent survivre aux conditions qui les ont fait naître. C'est dire que ces états constitutionnels nouveaux deviennent héréditaires, au même titre que ceux auxquels ils succèdent. A leur tour, ils deviendront le point de départ d'autres modifications. Naturellement, ces modifications physicochimiques entraînent des modifications de la forme extérieure des organismes. Et, dès lors, d'une forme à l'autre, les transformations s'accusent et en arrivent à n'avoir plus qu'une ressemblance lointaine avec la forme originelle.



FIG. 7. — RADIS CULTIVÉ DANS UNE SOLUTION RENFERMANT 5 % DE GLUCOSE ET 2 % D'ASPARAGINE

Matière vivante et adaptation à la vie

Ici se présente un autre problème que, seules, les notions que nous venons d'acquérir permettent de résoudre.

Suivant l'opinion classique, la *forme* des organismes serait « adaptée » à leur manière de vivre. Par là, les naturalistes entendent que la forme extérieure et les dispositions des organes seraient telles que les êtres vivants puissent mener une vie aérienne, aquatique, amphibie ou souterraine. S'il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en était ainsi, il faudrait que la variation constitutionnelle, d'ordre physicochimique, soit en quelque sorte provoquée par les besoins de l'être considéré. C'est ce que Lamarck admettait implicitement, en exprimant que les individus *jeunes* acquéraient des habitudes et certaines conformations qui passaient à leurs descendants.

Ce point de vue n'est plus soutenable ; et s'il faut admirer dans Lamarck l'homme qui a conçu le déterminisme des phénomènes vivants, il faut reconnaître qu'il a fait de ce déterminisme des applications inexactes. A le prendre au pied de la lettre, il faudrait admettre que les modifications de la forme précèdent et provoquent les modifications constitutionnelles. Mais cela revient à renverser l'ordre des processus.

De toute évidence, en effet, le processus d'assimilation entre le premier en jeu, et s'il subit une variation, cela tient, avant tout, tant aux matériaux mis en œuvre qu'à la manière dont ils interagissent et se combinent. De plus, cette variation n'aboutit pas forcément à une constitution nouvelle *viable*. Souvent, il arrive que le métabolisme aboutit, non plus à un protoplasme, mais à une matière organique inerte, qui se désagrège et disparaît. La survie d'un protoplasme implique des conditions minima pour lesquelles l'assimilation s'effectue ; c'est à partir du moment où ces conditions existent que l'on doit parler d'*adaptation* aux influences du milieu. Il ne s'agit donc nullement de forme extérieure et de conformation d'organes, mais de la seule possibilité, pour la matière vivante, d'*assimiler*, c'est-à-dire de *persister*. Naturellement, tous les degrés existent dans le résultat de l'assimilation. A la limite, ce résultat compense à peine la destruction ; dans ces conditions, le protoplasme persiste d'une façon précaire, incapable de résister au moindre incident. Tout de même, il est apte à vivre ; il est *adapté* aux conditions qui dominent son métabolisme. Sans doute supporte-t-il moins bien les changements de condition que s'il assimilait avec intensité ; son aptitude à vivre n'en est pas moins évidente.

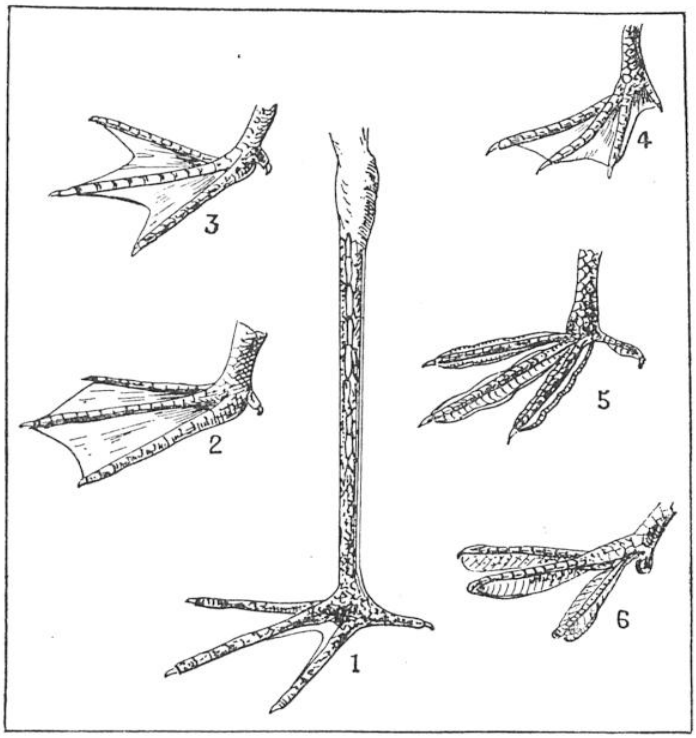


FIG. 8. — PATTES D'OISEAUX AQUATIQUES

La palmure des orteils se présente à tous les degrés : à peine indiquée chez le Myctérie (1) ; *assez marquée, mais laissant les orteils indépendants, chez le Foulque* (5) *et le Podiceps* (6) ; *complète, mais cependant d'étendue variable dans des proportions notables chez la Harle* (2), *l'Avocette* (3) *et le Phaéton* (4).

C'est une fois cette aptitude acquise qu'il peut être question de conformation des parties et de forme extérieure de l'être vivant.

Quand il s'agit d'un protiste, organisme réduit à une seule cellule, la question des rapports de la forme et des conditions d'existence ne se pose guère. Elle se pose, en revanche, dès qu'il s'agit d'êtres multicellulaires, métazoaires et métaphytes. Les naturalistes en fournissent couramment des exemples nombreux. L'un des plus classiques est celui des pattes palmées de divers oiseaux aquatiques : la palmure leur permettrait de nager aisément ; elle serait le type de l'adaptation morphologique. En réalité, la palmure des oiseaux aquatiques n'est pas comparable à elle-même d'une espèce à l'autre. Parfois très développée, elle n'est parfois qu'une membrane étroite bordant les orteils. D'ailleurs, la plupart des oiseaux aquatiques sont bien plus voiliers que nageurs. Sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'eau, ils se déplacent peu et lentement ; dans les mouvements de propulsion des pattes, ils ferment les orteils, ce qui enlève à la palmure toute efficacité (fig. 8).

De même en est-il de la forme des poissons, que l'on dit tout spécialement adaptée à leur genre de vie. Un simple regard sur la figure 9 montre la diversité des contours pour cette prétendue adaptation.

Ainsi, pour ces exemples, comme pour l'ensemble des autres, une analyse serrée montre qu'il s'agit d'une interprétation fondée sur un simple postulat, qui néglige entièrement le fond même de la question : avant la manière de vivre, il faut envisager la possibilité de vivre. Or, on ne saurait trop le répéter, celle-ci dépend uniquement des relations de la matière vivante avec les éléments du dehors. La différenciation des parties, leur situation relative, aussi bien que leur forme extérieure dérivent, avant tout, de la façon dont s'effectue l'assimilation et des matériaux qu'elle met en œuvre. C'est en conséquence de l'assimilation que s'édifie un organisme multicellulaire ; et, constamment, il s'édifie dans des conditions qui ne seront nullement celles dans lesquelles il vivra une fois complètement formé.

Tout organisme multicellulaire, en effet, n'est, au début de son existence, qu'une masse minuscule de matière vivante, un œuf. Cet œuf assimile, s'accroît et se divise, sans autre manière de vivre que de recevoir des matériaux de l'extérieur et d'abandonner les résidus de leurs interactions. A mesure que les divisions se multiplient et produisent des cellules de plus en plus nombreuses, un organisme s'édifie, et la forme qu'il revêt ne soutient aucun rapport direct avec le genre de vie que, larve ou adulte, il mènera plus tard. Relativement à ce genre de vie, cette forme sera tout à fait quelconque ; et nous ne la considérerons comme adaptative qu'à la faveur d'une interprétation entièrement arbitraire.

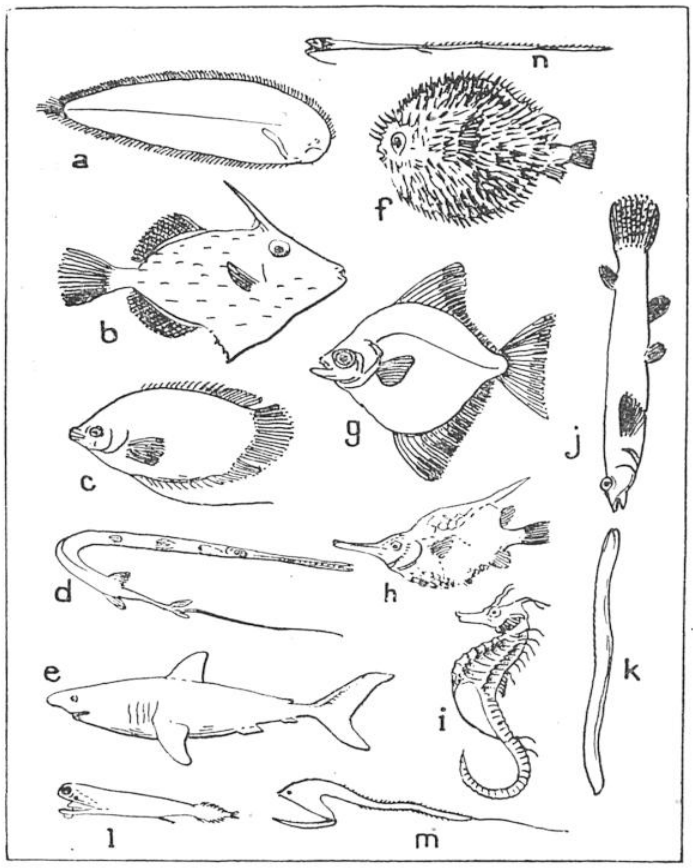


FIG. 9. — DIFFÉRENTES FORMES DE POISSONS

On remarquera notamment : le poisson plat (a), *le poisson coffre* (f) ; *les serpentiformes* (d, h *et* n) ; *le squale* (e) ; *l'hippocampe* (i) *et les formes de grands fonds* (l, m).

Ainsi, en envisageant la matière vivante du seul point de vue de ses propriétés physico-chimiques, en négligeant délibérément toutes les hypothèses et toutes les discussions sur la « vie » proprement dite et sa nature, les phénomènes vitaux se présentent sous leur véritable aspect, et nous en apercevons la signification rationnelle.

Certes, il faut y insister, notre étude en est encore à ses débuts et nous avons beaucoup à apprendre. Mais les connaissances que nous avons actuellement acquises donnent toutes raisons de bien augurer des recherches à venir.

ETIENNE RABAUD.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ALCHIMIE D'AUTREFOIS, TRANSMUTATIONS D'AUJOURD'HUI

Par Jules LEMOINE

PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

Le problème de la transmutation de la matière a pris successivement, dans l'histoire des recherches, deux aspects différents : les chimistes du moyen âge ont espéré et activement cherché une transmutation massive *portant sur des tonnes, ou des kilogrammes, ou simplement des grammes. Avec du plomb, par exemple, ils auraient voulu faire de l'or. On convient que l'opération aurait été avantageuse ; mais, en laissant même de côté la question du prix de revient, on n'a jamais transformé un seul gramme d'un élément dans un autre. La physique moderne, cependant, prenant comme point de départ la radioactivité, a obtenu une* transmutation atomique, *c'est-à-dire portant sur un nombre fini d'atomes vrais. Or, le poids d'un atome est de l'ordre du milliardième de milliardième de milligramme et, en supposant que l'opération de transmutation portât sur un milliard d'atomes, la masse transformée serait encore seulement d'un milliardième de milligramme. Le plus surprenant est peut-être que l'on ait pu s'en rendre compte. La meilleure balance des chimistes n'y reconnaîtrait rien, mais celle des physiciens, faisant intervenir des phénomènes électriques, sait « peser » l'atome vrai avec précision. L'étude ci-dessous a pour objet de faire comprendre ce triomphe de la recherche scientifique dans ces quarante dernières années. Les faits, les techniques, les théories, les calculs ont pris un aspect nouveau, passionnant, que le XIX^e^ siècle ne prévoyait certainement pas et ne pouvait même prévoir.*

Les alchimistes — Le phlogistique La pierre philosophale

Les alchimistes ont voulu transformer les éléments les uns dans les autres. Leur confiance dans cette possibilité venait probablement de ce qu'ils imaginaient le mécanisme suivant de la création des atomes :

La matière primordiale de ce monde, analogue à celle des nébuleuses, était faite d'un fluide très léger que nous rapprocherions aujourd'hui de l'hydrogène. Sous l'effet d'une température excessive, de pressions formidables maintenues pendant de longs siècles dans un laboratoire qui n'était pas à notre échelle, cette matière s'est condensée pour former les atomes de plus en plus lourds que nous savons peser aujourd'hui et qui se présentent dans l'ordre : hydrogène $H = 1$; hélium $He = 4$; lithium $Li = 7$; béryllium $Be = 9$; bore $B = 11$; carbone $C = 12$; azote $N = 14$; oxygène $O = 16$, et ainsi de suite jusqu'à l'uranium $Ur = 238$.

Si ces synthèses ont pu se produire, il n'est pas absurde *a priori* de chercher dans nos laboratoires à transmuter les atomes les uns dans les autres, puisque cette transformation, probablement réversible, a dû s'opérer pendant la création du monde actuel.

Les expériences, d'autre part, ne contredisaient pas ces espérances. Rappelons-nous que les gaz étaient à peu près inconnus, que, sous l'influence du feu, l'oxygène se fixait sur certains métaux, ou bien se dégageait de certaines combinaisons, sans qu'on s'en aperçût, et que les chimistes masquaient leur ignorance en faisant intervenir un certain *phlogistique*. Ils écrivaient :

Plomb + Phlogistique du feu = Terre du plomb

tandis que nous traduisons :

$Pb + O$ (de l'air) $= PbO$.

Ils écrivaient de même :

Terre du mercure + Phlogistique du feu = Vif-argent

au lieu de :

HgO (calciné) $= Hg + O$ (dégagé dans l'air).

Un métal brillant devient un oxyde terreux, et la masse augmente. La terre d'un métal, sous l'action du feu, fait couler le métal, et la masse diminue. Cet exemple simple, parmi beaucoup d'autres, laisse admettre que l'on puisse par exemple passer du plomb au mercure.

La *pierre philosophale* avait la merveilleuse propriété de provoquer, par son simple contact, le passage d'un atome à un autre.

Ne croyons pas à la mauvaise foi des alchimistes ni à l'inutilité de leurs efforts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

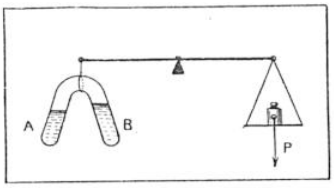


FIG. 1. — LA BALANCE PERMET DE VÉRIFIER, AU CENTIÈME DE MILLIGRAMME PRÈS, LE PRINCIPE DE LA CONSERVATION DE LA MATIÈRE (LAVOISIER)

Le poids P *équilibre le système des corps* A *et* B, *après leur combinaison comme avant.*

Ils ont ainsi accumulé les documents qui ont amené la chimie moderne.

Lavoisier — La conservation de la matière — L'éternité des atomes

Les philosophes grecs et latins résumaient leurs principes sur la matière dans l'énoncé suivant :

Ex nihilo nihil, in nihilo nil posse reverti !
(De rien rien, dans le néant rien ne peut être renvoyé !)

c'est-à-dire que l'homme est impuissant à créer la matière, impuissant à la faire disparaître.

Lavoisier, ayant reconnu les fuites, les erreurs de technique des alchimistes, revient au principe des anciens, et en donne la formule actuelle :

La masse du composé égale la somme des masses des composants.

C'est-à-dire que la matière vient toujours d'une quantité de matière égale. La figure 1 rappelle comment la balance permet de vérifier, au 1/100 de mg près, ce principe de la conservation de la matière.

Les théories actuelles font ici une réserve. La réaction de combinaison de l'hydrogène et d'un atome-gramme d'oxygène est accompagnée d'un dégagement de chaleur de 69 000 calories. L'énergie correspondante vient de la disparition d'une masse qui se transforme en un rayonnement que l'on calcule facilement. Cette masse est infime (3 dix-millionièmes de mg) et la balance ne peut reconnaître cette diminution. Retenons-en que la matière peut se transformer en énergie rayonnante, et inversement, que le principe de la conservation de l'énergie doit remplacer celui de la conservation de la matière, mais que le chimiste, dans les analyses qu'il contrôle avec sa balance, n'a pas le moins du monde à s'en préoccuper. Ceci est encore vrai aujourd'hui.

Une autre loi, établie par Lavoisier, est celle de la conservation des éléments ou de l'indestructibilité des atomes. Les atomes sont les pierres éternelles avec lesquelles le monde a été construit.

L'oxygène, par exemple, avec lequel j'imagine que nous sachions faire successivement de l'eau, puis de l'eau oxygénée, puis de l'acide nitrique, puis de la cellulose, puis du chlorate de potassium, puis de l'anhydride carbonique, etc., se retrouve à la fin le même, en égale quantité.

Ceci équivaut à la négation absolue de la transmutation des atomes, tandis que nous savons, depuis quarante ans, que le radium se transforme en plomb.

Le numérotage des atomes dans la classification

Anticipons sur les faits et sur leur théorie en posant d'avance la théorie, devenue classique, de la constitution des atomes.

Le noyau renferme la matière de l'atome chargée d'électricité positive. Les électrons négatifs (de charge $-\varepsilon$) tournent comme des planètes autour du noyau central. Si Z est le nombre de ces électrons planétaires, $-Z\varepsilon$ est la charge de leur ensemble. Mais l'atome total étant neutre, il faut que $+Z\varepsilon$ soit la charge du noyau. Le nombre Z, mesurable, est le numéro d'ordre de l'atome dans la classification, le numéro de la case dans laquelle il sera placé.

Le poids A du noyau de l'atome X est le poids atomique (si on néglige la masse des électrons). Pour rappeler ces deux nombres, Z et A, on les inscrit en indices et la formule de l'atome devient ${}^{A}_{Z}X$. D'où le tableau suivant :

${}^{1}_{1}H$	${}^{4}_{2}He$	${}^{7}_{3}Li$	${}^{9}_{4}Be$	${}^{11}_{5}B$	${}^{12}_{6}C$	${}^{14}_{7}N$	${}^{16}_{8}O$

et ainsi de suite jusqu'à ${}^{238}_{92}Ur$

Mais chacune des quatre-vingt-douze cases dans lesquelles nous rangeons ces atomes peut contenir plusieurs atomes, ayant pour chaque case des poids atomiques différents, mais le même nombre d'électrons.

Par exemple, à la case 17 correspondent deux chlores, l'un de poids atomique 35, l'autre de poids atomique 37. Ce sont les *isotopes* du chlore. Le chlore que préparent les chimistes est un mélange de ces deux éléments.

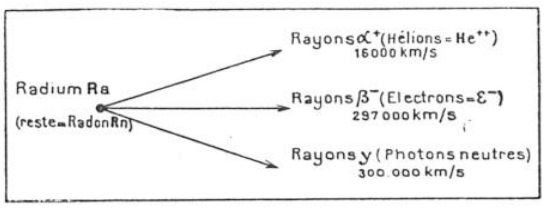


FIG. 2. — LA DÉSINTÉGRATION DU NOYAU DU RADIUM EN RAYONNEMENTS α, β, γ

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A la case $^{16}_{8}O$, il faut ajouter $^{15}_{8}O$ et $^{17}_{8}O$, isotopes de l'oxygène.

De même à la case du silicium, il faut ajouter deux isotopes.

On pourrait en dire autant pour chacune des quatre-vingt-douze cases du tableau.

L'hydrogène mérite une mention spéciale. Il occupe la première case et sa masse atomique est l'unité. Nous l'écrivons donc $^{1}_{1}H$. Si l'électron planétaire unique le quitte, il reste l'ion de l'hydrogène, nommé aussi *proton* H^+, et portant la charge d'un électron positif.

Nous rencontrerons, d'autre part, une particule de même masse que le proton, mais neutre, sans charge électrique. C'est le *neutron* (1) que l'on écrit $^{1}_{0}n$ (charge nulle, masse 1).

Si on soude à l'atome d'hydrogène un neutron, on obtient l'atome $^{2}_{1}H$ (charge 1, masse 2). On le trouve dans l'*eau lourde*, et on sait le préparer. C'est l'hydrogène doublé ou *deutérium*, un isotope de l'hydrogène.

Si l'électron planétaire unique le quitte, il reste l'ion du deutérium, ou *deuton*, qui a pris récemment, comme le neutron, une grande importance dans la technique des transmutations.

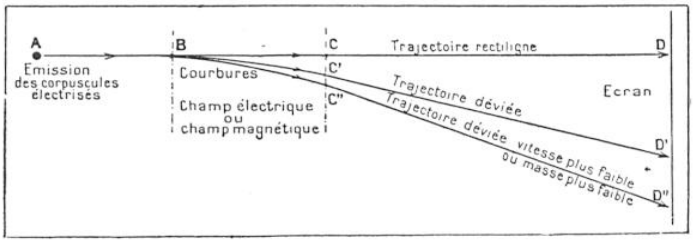


FIG. 3.— DANS UN CHAMP ÉLECTRIQUE OU MAGNÉTIQUE, LES TRAJECTOIRES DES CORPUSCULES SONT PLUS OU MOINS COURBÉES SUIVANT LEUR MASSE ET LEUR VITESSE

Les éléments spontanément radioactifs (1896)

Prenons comme exemple le radium. Son rayonnement impressionne la plaque photographique, excite la fluorescence, ionise l'air, décharge l'électroscope, provoque la condensation de la vapeur d'eau, et fournit ainsi un réactif de la présence du radium dont la sensibilité est incomparablement plus grande que celle que donnerait la balance. L'électroscope est la balance, d'une sensibilité presque infinie, avec laquelle nous pesons les corps radioactifs. Il y a là un fait essentiel.

La figure 2 nous rappelle le rayonnement complexe du radium, constitué par les rayons α^+, les rayons β^-, les rayons γ neutres. Ces rayons α, β, γ, sont confondus à leur sortie du radium, mais on sait les séparer par l'action d'un champ électrique (loi de Coulomb), ou d'un champ magnétique (loi d'Ampère), ou par des absorbants convenablement choisis.

Cette première dislocation de l'atome du radium se traduit par l'équation chimique :

Radium = Radon + Hélium

$$^{226}_{88}Ra = ^{222}_{86}Rn + ^{4}_{2}He$$

Remarquons que si l'on additionne les indices supérieurs à droite du signe d'égalité, on retrouve l'indice supérieur de gauche. De même pour les indices inférieurs.

L'atome d'hélium ayant emporté la charge 2 et la masse 4, le radon se trouve dans la deuxième case avant le radium et sa masse atomique est plus faible de 4 unités.

Cette destruction des atomes du radium se fait à chaque instant proportionnellement au nombre des atomes présents et à un taux tel qu'au bout de 1 600 ans, la moitié des atomes ont disparu : 1 600 ans est la *période* du radium.

Le radon est lui-même radioactif, mais se détruit beaucoup plus vite, sa période étant de 4 jours. La désintégration se poursuit de sorte que des éléments radioactifs de plus en plus légers apparaissent successivement pour donner finalement le plomb stable, non radioactif. L'évolution est terminée.

Les corps spontanément radioactifs (uranium, radium, polonium, thorium, actinium) sont nombreux, se désintègrent d'une façon analogue, et permettent d'écrire des équations semblables à la précédente. Ils détruisent sans discussion possible le principe de l'éternité des atomes.

Certains atomes peuvent donc se transformer spontanément en atomes plus légers et d'un numéro plus faible.

Nous sommes cependant impuissants à modifier, accélérer, retarder leur évolution.

La courbure, dans un champ électrique ou magnétique, de la trajectoire d'un corpuscule électrisé

Ce nouveau chapitre de la physique a exigé des techniques nouvelles. Il a fallu mesurer la masse et la vitesse des corpuscules électrisés, hélions et électrons, traçant à grande vitesse les rayons α^+ et β^-. D'autres grains élec-

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 233, page 361.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trisés, les protons (noyaux$^+$ de l'hydrogène), les deutons (noyaux $^+$ du deutérium), les ions des différents atomes, lourds ou légers, se présenteront dans des circonstances analogues. On a mesuré cette masse et cette vitesse de différentes façons et, particulièrement, en courbant la trajectoire du projectile.

Soit (fig. 3) *A B C D* cette trajectoire, aboutissant en *D* sur un écran (plaque photographique ou substance fluorescente). Imaginons, par exemple, que le corpuscule soit positif, et produisons dans la région *B C* un champ électrique et magnétique.

Si le champ électrique est, dans le plan du tableau, vertical et dirigé vers le bas, la trajectoire se courbera en descendant (loi de Coulomb).

Si le champ magnétique est normal au tableau et sortant de lui, la trajectoire se courbera encore en descendant encore (loi d'Ampère). Elle deviendra, dans un cas comme dans l'autre, *A B C' D'* et on mesurera *D D'*.

Un calcul facile, dans lequel intervient la courbure ou le déplacement *D D'*, fait apparaître la masse et la vitesse du corpuscule. C'est ainsi qu'en posant $O = 16$, on trouve $H = 1$ (exactement 1,007 80) pour la masse de l'hydrogène et $He = 4$ (exactement 4,002 16) pour la masse de l'hélium. On pèse ainsi tous les atomes, au vol, pendant leur mouvement.

Cette nouvelle méthode conduit encore aux isotopes. Si l'on ionise, par exemple, du chlore gazeux, pour obtenir Cl^+ et si on le lance suivant *A B C D*, on trouve que la trajectoire se dédouble à partir de *B*. *B C' D'* correspond à l'isotope $Cl = 37$, et *B C'' D''* à l'isotope $Cl = 35$, plus dévié parce que plus léger. Chaque élément donne autant de trajectoires qu'il a d'isotopes.

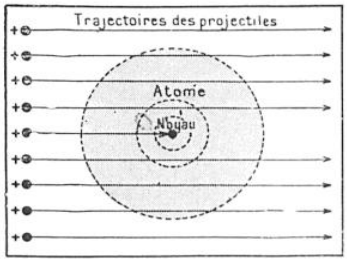


FIG. 4. — LE BOMBARDEMENT D'UN ATOME PAR DES PROJECTILES ÉLECTRISÉS

Le projectile, pour provoquer une transmutation, doit frapper le noyau central. La probabilité pour qu'il passe à côté est très grande.

L'utilisation des corpuscules pour bombarder les noyaux atomiques — La probabilité du choc

Les divers corps radioactifs projettent, dans les rayons α, les ions de l'hélium *(He = 4)* et leur vitesse, suivant le radioélément choisi, peut varier de 15 000 à 20 000 km/s. Le physicien anglais Rutherford, en 1919, a pensé qu'un pareil projectile, s'il atteignait le noyau de l'atome, serait capable de le disloquer et d'en changer la nature, ce qui nous ramène au rêve des alchimistes. Il a réussi.

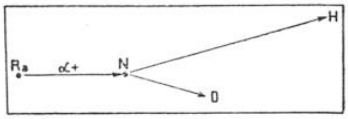


FIG. 5. — UNE TRANSMUTATION PROVOQUÉE PAR LE RAYONNEMENT DU RADIUM

L'atome N *d'azote, bombardé par les hélions du radium (rayons α), donne naissance à l'atome* H *d'hydrogène et à l'atome* O *d'oxygène. Ce dernier n'est pas l'oxygène ordinaire, mais un isotope plus lourd.*

D'autres projectiles, protons $^1H^+$, deutons $^2H^+$, neutrons ^1_0n,... ont été essayés avec le même succès.

L'atome occupe tout l'espace compris entre le noyau et la trajectoire des électrons superficiels. Les dimensions sont connues et elles sont telles que, si on représentait l'atome à une échelle qui lui ferait couvrir la place de la Concorde, le noyau serait comme une tête d'épingle. De sorte que le projectile, gros lui-même comme ce noyau, traversera cet espace presque vide sans rien rencontrer et qu'il faudra des milliards de projectiles pour que l'un deux fasse « mouche » sur le noyau et le détruise. Les mathématiciens n'ont pas manqué de calculer la probabilité des réussites.

La difficulté est encore plus grande ! Le mouvement du projectile$^+$ qui traverse la région des trajectoires des électrons$^-$ se trouvera freiné, ralenti, par leurs attractions. Il perdra de la vitesse. Quand il aura cependant réussi, après tous ces obstacles, à s'approcher du noyau$^+$, il subira une répulsion électrique qui diminuera encore les chances d'un choc efficace. Il faudra animer ce projectile, pour qu'il soit percutant, d'une grande vitesse.

Le neutron, étant donné qu'il est neutre, aura des chances de réussite plus grandes. Bien qu'il soit peut-être moins facile à diriger, il est devenu très légitimement le projectile à la mode.

Le bombardement des atomes légers par les particules α, par les protons accélérés, par les deutons accélérés, par les neutrons

Rutherford a bombardé par les particules α (fig. 5) divers corps légers (azote, bore, aluminium) et en a fait sortir des protons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

très rapides provoquant des scintillations sur des écrans fluorescents éloignés. L'hélion s'est fixé sur le reste de l'atome d'azote pour créer un autre atome assez lourd *O*, projeté d'ailleurs à faible distance.

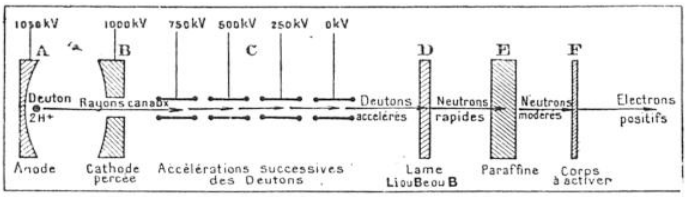


FIG. 6. — REPRÉSENTATION TRÈS SCHÉMATIQUE D'UNE INSTALLATION DE RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE A PARTIR DES RAYONS CANAUX (RAYONS POSITIFS)

Les noyaux (deutons) *d'hydrogène lourd* (deutérium) *tombent sur une lame de lithium, de béryllium ou de bore qui émet alors des neutrons rapides, ralentis par passage dans une substance hydrogénée telle que la paraffine. Ces neutrons tombent sur le corps à activer dont ils provoquent la transmutation.*

En répétant la même expérience dans une chambre humide, on provoque une condensation des gouttes d'eau sur les trajectoires et on en prend une photographie. On peut même courber les trajectoires pour identifier les produits obtenus.

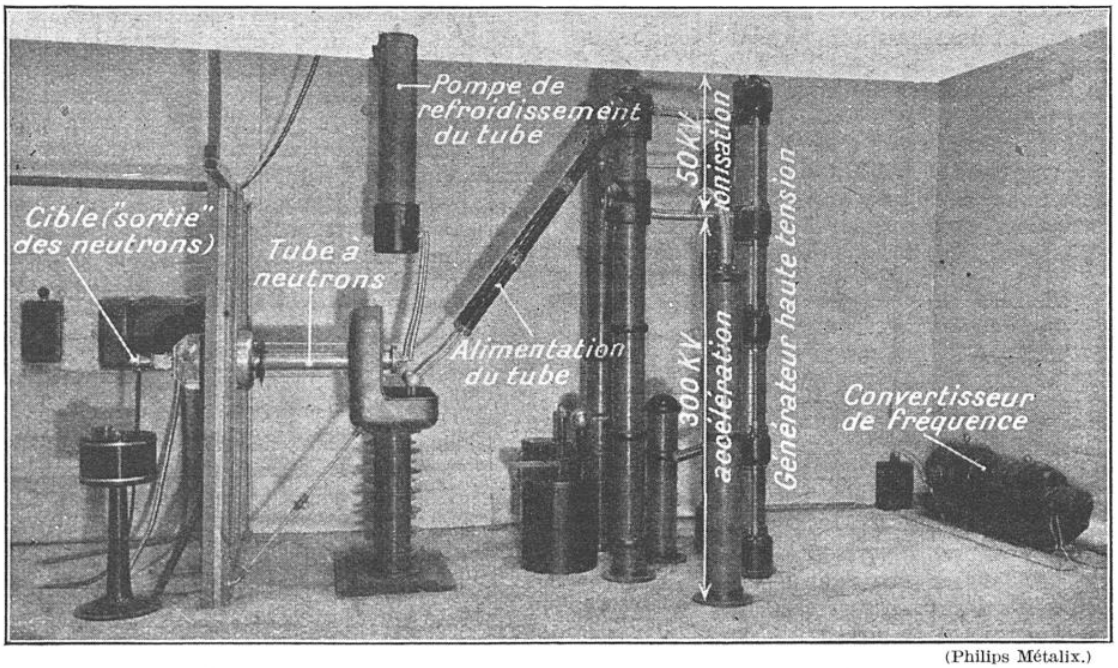
Avec l'hélium et l'azote, on a ainsi créé de l'hydrogène et de l'oxygène, c'est-à-dire qu'on a réussi une transmutation des éléments. D'autre part, le fait d'avoir sorti un proton du noyau nous ramène à cette idée que l'hydrogène est peut-être l'élément avec lequel sont construits les noyaux.

La même expérience réussit avec tous les atomes légers. Avec les atomes lourds, la répulsion que produit le noyau est souvent trop forte.

On a pu remplacer les hélions naturels des corps radioactifs par les protons et les deutons produits dans les rayons canaux et accélérés dans un champ électrique, ou magnétique, convenable.

Dans certaines circonstances, on a chassé du noyau des neutrons. Il suffit, par exemple, de bombarder le beryllium (dit aussi glucinium) par les rayons α.

Ces neutrons enfin (produits à partir des rayons α naturels, ou à partir des deutons accélérés comme on le verra plus loin) provoquent facilement un grand nombre de transmutations, par exemple celle de l'azote en bore et hélium.



(Philips Métalix.)

FIG. 7. — VUE D'ENSEMBLE DU GÉNÉRATEUR DE NEUTRONS INSTALLÉ AU LABORATOIRE DE RECHERCHES PHYSIQUES SUR LES RAYONS X A PARIS

Ce générateur fonctionne sous 50 000 volts (tension d'ionisation) et 300 000 volts (tension d'accélération). Il donne une émission de neutrons du même ordre qu'une source de 20 grammes de radium et de béryllium.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a réalisé, dans les différents laboratoires du monde, des miliers d'opérations analogues à celles que nous venons de décrire rapidement. Cependant, la masse de matière ainsi transformée, et que les phénomènes radioélectriques qui l'accompagnent permettent de mettre en évidence, reste inappréciable à la balance.

« Avec les sources d'hélions dont nous disposons actuellement, disait M. Joliot, la production du corps formé serait bien faible et ne dépasserait pas 1 millionième de millionième de milligramme par jour. »

La création des radioéléments dans les laboratoires

Les opérations précédentes fournissaient des éléments stables. Cependant, M. et Mme Joliot-Curie ont obtenu, en 1934, comme résultat de désintégrations analogues, des produits doués de radioactivité. Avec les mêmes lois d'émission que le radium, ils émettent des rayonnements formés d'électrons positifs ou même d'électrons négatifs. Prenons tout de suite un exemple :

Une feuille d'aluminium exposée pendant une heure aux rayons α du polonium reçoit plus de 1 milliard de projectiles par seconde. Dans ces conditions, elle fournit, par une première transmutation provoquée, un isotope du phosphore et un neutron.

Le phosphore ainsi produit, isotope du phosphore ordinaire, est radioactif, et nous l'appellerons *radiophosphore*. Le polonium, qui a servi à cette opération étant enlevé, on constate, en effet, que ce phosphore subit une transmutation spontanée en émettant des électrons positifs et en produisant du silicium stable.

Cette deuxième transmutation, devenue spontanée, a pour période 3 minutes et l'activité du produit est encore sensible après une demi-heure. Les conditions de l'expérience ont été variées de telle sorte que son explication n'est pas douteuse. On a obtenu de la même façon du radioazote, du radiosodium, du radiomanganèse, plusieurs centaines de nouveaux éléments radioactifs dans les divers laboratoires du monde que préoccupe ce problème (1). Les nouveaux radioéléments ont des périodes courtes, quelques minutes, ou quelques heures, ou quelques jours.

La création des radioéléments artificiels aura vraisemblablement des applications importantes en chimie, en biologie, en médecine.

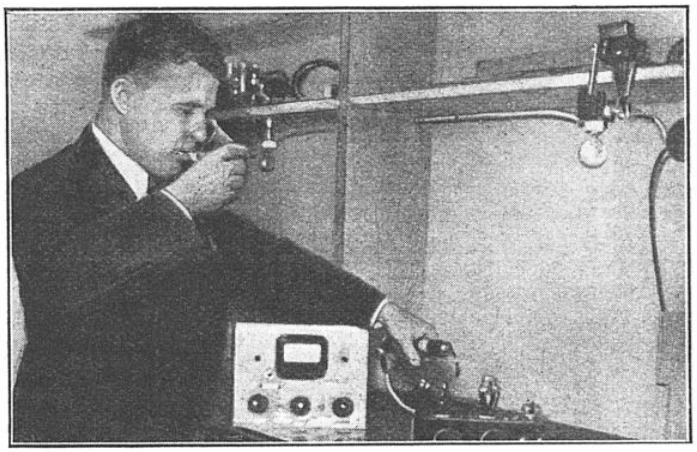


FIG. 8. — UNE CURIEUSE EXPÉRIENCE ILLUSTRANT UNE APPLICATION POSSIBLE DE LA RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE

Le docteur A.-J. Allen, du Franklin Institute, *absorbe de l'eau contenant du chlorure de sodium (sel marin) radioactif (composé à base de sodium radioactif artificiel). Il tient dans sa main une chambre d'ionisation reliée à un compteur électronique qui enregistre l'arrivée de l'élément sodium radioactif, assimilé et entraîné par la circulation sanguine, à l'extrémité de son bras.*

Si on mélange à un élément une trace de son isotope radioactif, ayant les mêmes propriétés chimiques, les deux éléments ne se sépareront ni dans les réactions chimiques, ni dans les tissus animaux ou végétaux. L'isotope radioactif permettra, par ses réactions infiniment sensibles, de suivre partout les deux éléments mélangés, et la méthode s'applique au carbone, à l'azote, au phosphore, aux éléments contenus dans l'organisme. La même méthode sera utilisée plus facilement encore dans le cas des transformations chimiques.

Le radium naturel a des applications médicales. Les corps radioactifs artificiels seront produits probablement en quantités suffisantes, peut-être en quantités pondérables, pour que l'on puisse essayer d'utiliser leur action sur les cellules vivantes, de sorte que la thérapeutique espère en faire son profit un jour plus ou moins prochain.

Voilà du travail en perspective pour divers laboratoires de recherches.

(1) C'est, en particulier, à l'occasion de cette découverte de la radioactivité artificielle que M. et Mme Joliot-Curie ont obtenu le Prix Nobel de Chimie en 1935.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

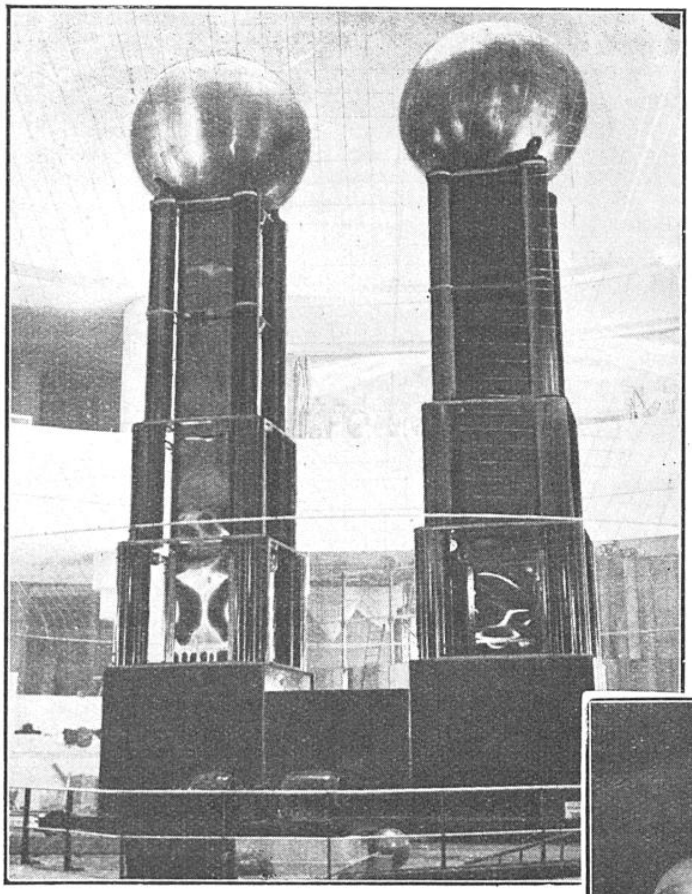


FIG. 9. — LE GÉNÉRATEUR POUR 5 MILLIONS DE VOLTS DU PALAIS DE LA DÉCOUVERTE

Le principe de cette machine, imaginé par Van de Graaf, consiste à transporter dans les deux sphères supérieures des charges de signes contraires par l'intermédiaire de courroies isolantes.

L'outillage nécessaire aux transmutations atomiques

Les laboratoires organisés pour les recherches que nous venons d'esquisser doivent posséder des corps radioactifs, tels que le radium (prix du gramme : 1 000 000 f), qui leur fournit les rayons α servant de point de départ à ces opérations. Le laboratoire Curie possède 10 g de radium. L'ensemble des laboratoires actuels du monde dispose de moins de 500 g. Cette provision augmente peu à peu, assez lentement, par suite de la lenteur de l'exploitation des mines qui possèdent, à l'état de traces, le précieux minérai. La mine la plus riche actuellement connue est au Canada, et on estime qu'elle renfermerait environ 5 000 g de radium.

On peut cependant, sans le secours du radium ou du polonium, produire des désintégrations et des substances radioactives à partir des ions que l'on trouve dans les tubes à rayons cathodiques. Parmi ces ions, les plus avantageux sont les deutons (noyaux de l'hydrogène lourd). Ils servent à obtenir les neutrons qui ont une activité particulière dans la désintégration des noyaux. On arrive ainsi à des installations électriques qui produisent des effets équivalents à plusieurs centaines de grammes de radium, et même 1 000 g.

La figure 6, dans laquelle il ne faudrait pas chercher les proportions exactes ni même la forme, représente, en principe, une installation de radioactivité artificielle à partir d'un tube à rayons cathodiques et à rayons canaux.

A et *B* sont l'anode à 1 050 kV et la cathode à 1 000 kV d'un

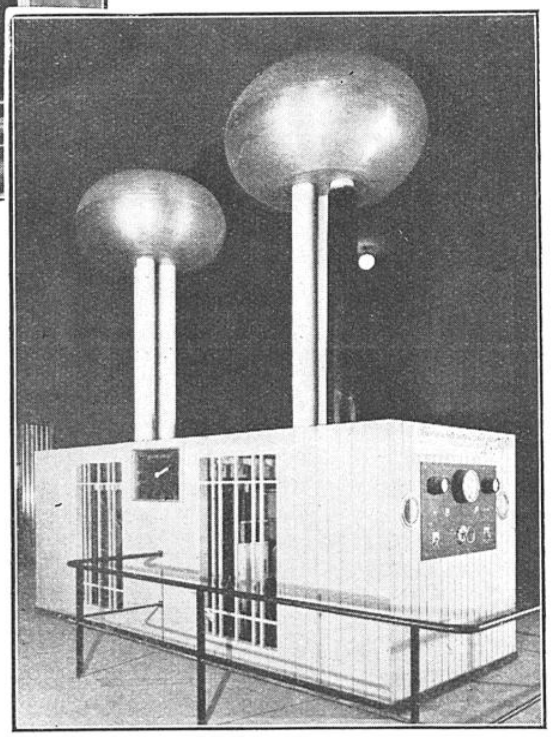


FIG. 10. — LE GÉNÉRATEUR A HAUTE TENSION DU PROFESSEUR PAUTHENIER

Le principe est le même que celui de la figure précédente, mais ici les charges électriques sont transportées par des poussières, elles-mêmes entraînées par un courant d'air.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

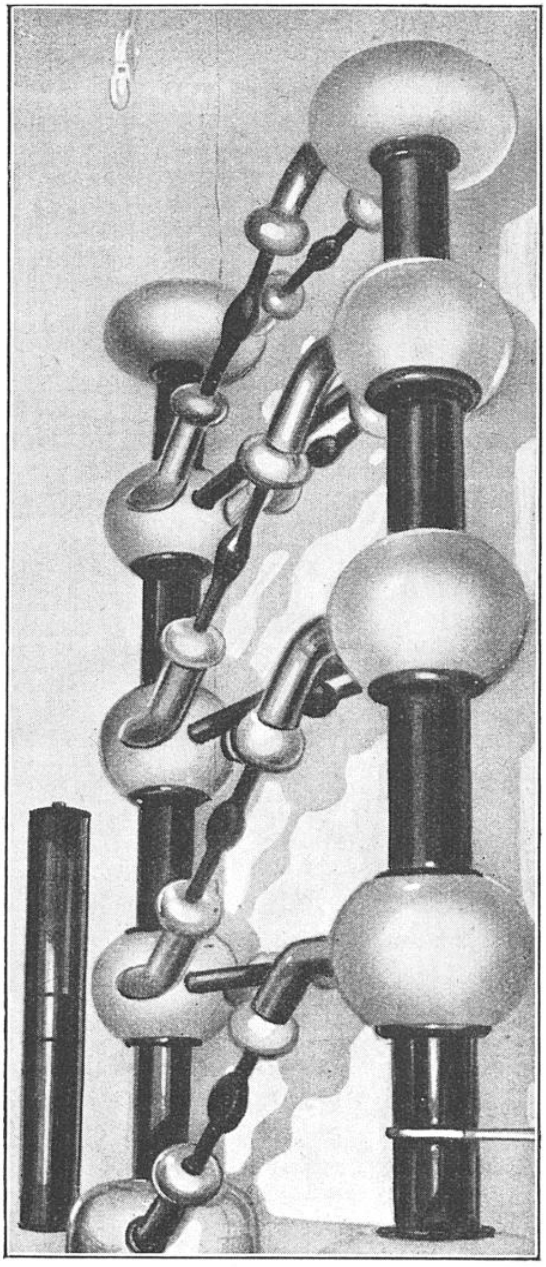


FIG. 11. — PHOTOGRAPHIE DU GÉNÉRATEUR A TRÈS HAUTE TENSION CONTINUE INSTALLÉ DANS LES LABORATOIRES DE L'INSTITUT KAISER-WILHELM DE BERLIN-DAHLEM

Des jeux de condensateurs et de soupapes ioniques, alimentés par une tension alternative de 200 000 volts, assurent par échelons le redressement et l'élévation de la tension jusqu'à 1 500 000 volts environ. Un deuxième ensemble identique permet d'obtenir une différence de potentiel continue d'environ 3 millions de volts. (Voir sur le schéma suivant le montage électrique de l'appareil.)

tube à rayons cathodiques. Le gaz raréfié que traversent, de droite à gauche, les électrons cathodiques est le deutérium ou hydrogène lourd. Le départ de l'électron planétaire unique de l'atome fournit les deutons (noyaux) appelés vers la cathode *B* par la chute de potentiel de 50 kV. La cathode étant percée d'un canal, les deutons ainsi produits peuvent s'y engager pour fournir les rayons canaux dirigés vers la droite de la figure.

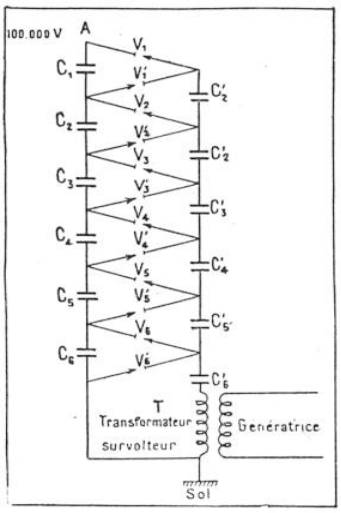


FIG. 12. — SCHÉMA DU MONTAGE DES DEUX CASCADES DE CONDENSATEURS ET DES VALVES INTERPOSÉES, POUR LA PRODUCTION DE TRÈS HAUTES TENSIONS CONTINUES A PARTIR DU COURANT ALTERNATIF

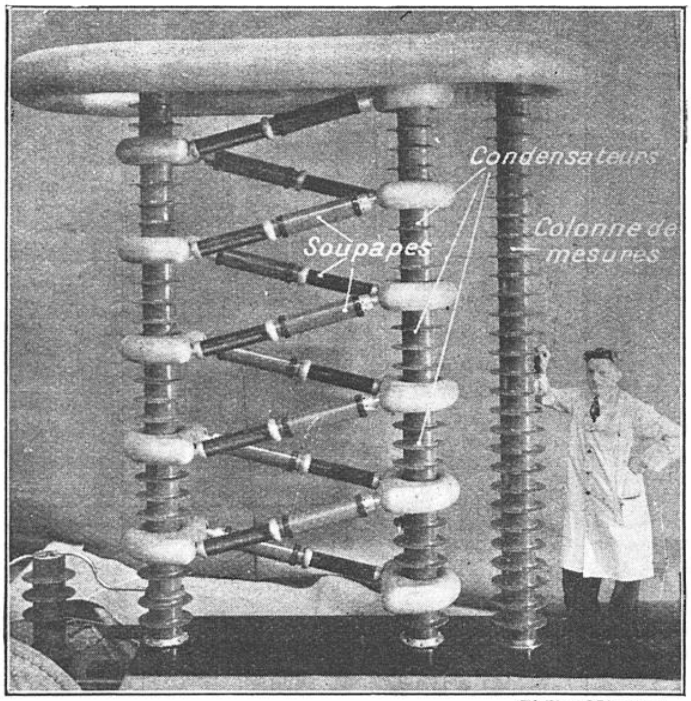
Les deutons produits se trouvent relativement lents, et il est nécessaire de les accélérer. A cet effet, ils traversent des cylindres creux portés successivement à 750, puis 500, puis 250, puis 0 kV, et chaque chute de 250 kV ajoute son accélération à la vitesse précédemment atteinte.

Ces deutons accélérés, devenus énergiques, traversent une lame mince *D* dont l'atome est léger (lithium ou beryllium ou bore, par exemple). Ils expulsent ainsi, dans les noyaux qu'ils percutent, des neutrons abondants et rapides.

Ces neutrons se trouvent être trop rapides, et il faut réduire leur vitesse à la valeur qui convient au noyau qu'ils auront à attaquer. Ce ralentissement s'obtient dans la traversée d'un corps hydrogéné, d'une lame de paraffine par exemple. Les chocs des neutrons sur les *H* de cette paraffine les ralentissent, mais changent leur direction. En donnant à cette paraffine retardatrice une épaisseur variable, on peut parvenir à régler la vitesse à atteindre.

Enfin, ces neutrons modérés, dont la figure 6 met arbitrairement la vitesse dans la direction et le sens des rayonnements antérieurs, traverseront en *F* la lame mince, en aluminium par exemple, du corps que l'on veut rendre radioactif. Quand ce corps a été sou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



(Philips Métalix.)

FIG. 13. — GÉNÉRATEUR A HAUTE TENSION CONSTANTE POUR UN MILLION DE VOLTS, DESTINÉ A L'ALIMENTATION D'UN TUBE GÉNÉRATEUR DE NEUTRONS

Ce générateur, du modèle Greinacher-Cockroft-Bouwers, comprend des colonnes de condensateurs en cascades et des valves à vapeur de mercure dans les membres transversaux.

mis pendant un temps suffisant au bombardement des neutrons, il manifeste sa radioactivité par une émission le plus souvent formée d'électrons positifs.

Cette radioactivité ainsi provoquée équivaut à celle que l'on obtiendrait à partir d'une masse de radium qu'aucun laboratoire ne possède.

C'est là une source précieuse d'éléments radioactifs.

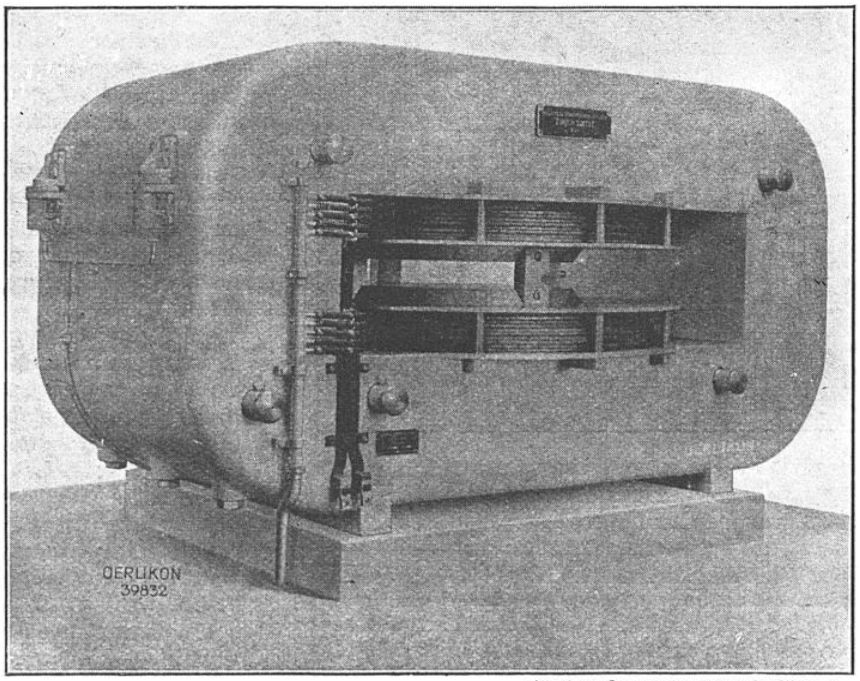
La production des projectiles de grande énergie : machines électrostatiques et cyclotrons

L'accélération des ions positifs, des deutons par exemple, à partir des rayons canaux, réclame des potentiels fixes (non alternatifs) très élevés, dépassant par exemple le million de volts.

Les machines électrostatiques du passé ont retrouvé un grand intérêt et ont été perfectionnées. Les lecteurs de *La Science et la Vie* connaissent (1) le modèle installé par M. et Mme Joliot-Curie à l'Exposition de 1937, et aussi celui de M. Pauthenier.

Une autre solution du même problème électrique a été cherchée à partir du courant alternatif ordinaire (fig. 12). Un transformateur à haute tension T produit une tension alternative de crête dépassant 100 000 V et communique avec les deux cascades de condensateurs C_6 à C_1 et C'_6 à C'_1 réunies l'une à l'autre par les

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 238, page 279.



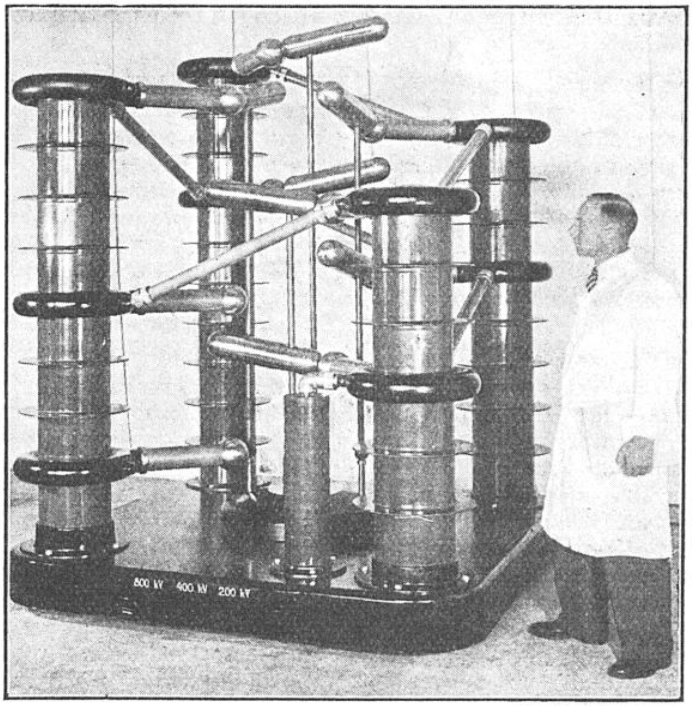
(Ateliers de construction Oerlikon.)

FIG. 14. — CYCLOTRON DE 26 TONNES CONSTRUIT POUR LE LABORATOIRE DU PROFESSEUR JOLIOT, A CACHAN

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

valves à sens unique V'_6 à V'_3. La montée de la tension est la même dans chacun des condensateurs en cascade et elle dépasse 1 000 000 de V au sommet A quand aucun courant n'est débité. Elle s'abaisse un peu quand le courant n'est pas nul, mais on peut demander à l'appareil 4 milliampères sous plus de 1 000 000 de V.

Enfin, une troisième solution, dont on espère beaucoup actuellement, consiste à accélérer les particules électrisées en leur faisant décrire une spirale à grand nombre de tours, les particules recevant deux fois par tour une impulsion de même valeur. C'est le principe du cyclotron, qui comprend essentiellement un électroaimant produisant un champ magnétique qui courbe la trajectoire des corpuscules électrisés et un générateur à haute fréquence qui inverse le champ accélérateur à la cadence voulue.



(Philips Métalix.)

FIG. 15. — GÉNÉRATEUR D'IMPULSIONS RÉGLABLE SUR 200 000, 400 000 ET 800 000 VOLTS

Ce générateur est construit sur le principe dit « de Marx » qui consiste à charger un grand nombre de condensateurs en parallèle, grâce à un générateur de tension constante, et à les décharger tous en même temps et en série grâce à des éclateurs convenablement disposés. Une énergie considérable peut ainsi être développée en un temps très court, de l'ordre du millionième de seconde.

Un coup d'œil en arrière

Depuis quarante années, nous étudions les rayons X et la radioactivité, et nous connaissons de mieux en mieux l'atome.

L'atome a été analysé et expliqué en allant progressivement de l'extérieur vers l'intérieur, des électrons périphériques plus abordables au noyau central mieux gardé.

Les électrons planétaires ont dévoilé leurs secrets et nous ont fourni l'explication de nombreux phénomènes (conductibilité des gaz, ionisation, valence, combinaison chimique, luminescence des gaz, lumière visible, lumière ultraviolette, rayons X). Par ailleurs, on a vu le noyau s'effondrer spontanément dans la désintégration des corps radioactifs.

On a attaqué furieusement chaque atome en le bombardant avec des rayons α ou des ions accélérés. On a fait sortir de son noyau des protons, des neutrons, des électrons négatifs, des électrons positifs, et il semble que ces diverses particules soient les éléments ultimes de tous les noyaux, de toute la matière. On a créé ainsi un grand nombre d'atomes nouveaux, non radioactifs. On a ensuite transformé des atomes inertes en atomes radioactifs (radium artificiel).

Avons-nous donc trouvé la pierre philosophale ? Est-elle dans les particules électrisées ou neutres avec lesquelles nous bombardons les cibles atomiques ? Non, le problème de la transmutation est certainement mieux posé, mais il n'est pas résolu.

On a même entrevu, dans certains cas assez rares, la matière se transformer en rayonnement (les électrons devenir des photons) ou le rayonnement devenir matière (les photons fournir des électrons). Avec le plomb ferait-on du rayonnement ? Par ce même rayonnement, ferait-on de l'or ? Jusqu'à présent, on ne peut faire ni l'un ni l'autre !

On sait pourtant calculer le prix de cette transformation. Au tarif actuel de l'énergie électrique, pour créer 1 millième de milligramme de matière à partir de l'énergie rayonnante, il en coûterait exactement 2 millions de milliards de francs. Ce ne serait pas financièrement une bonne affaire.

J. LEMOINE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QUE SAVONS-NOUS AUJOURD'HUI DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE ?

Par Charles MAURAIN

MEMBRE DE L'INSTITUT
DIRECTEUR DE L'INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

L'orage est sans aucun doute la manifestation la plus frappante, et qui nous est la plus familière, de l'électricité dans la basse atmosphère. Cependant, même par très beau temps, le sol et l'air lui-même sont fortement électrisés, le premier en général négativement et le second positivement. Notre existence se passe donc tout entière dans un champ électrique intense et incessamment variable avec l'heure du jour, la saison, les circonstances météorologiques, etc. Beaucoup des phénomènes électriques, dont les basses et les hautes couches atmosphériques sont le siège, nous échappent encore, bien que l'étude de la radioactivité, de l'ionisation des gaz, des rayons cosmiques, de la propagation des ondes radioélectriques aient déjà permis d'interpréter un grand nombre de propriétés électriques de l'atmosphère, encore mystérieuses il y a quelque trente ans.

Vers le milieu du XVIII^e^ siècle, l'attention a été appelée sur l'électricité atmosphérique par les expériences retentissantes de Franklin en Amérique, Dalibard et de Romas, en France. Elles consistaient surtout à tirer des étincelles, par temps d'orage, soit d'une longue tige verticale terminée par une pointe, soit du câble métallique d'un cerf-volant. Ces décharges étaient tout à fait analogues à celles qu'on obtenait avec des machines électrostatiques. Ainsi les phénomènes orageux de l'atmosphère, les éclairs, la foudre se trouvaient rattachés aux phénomènes électriques étudiés dans les laboratoires.

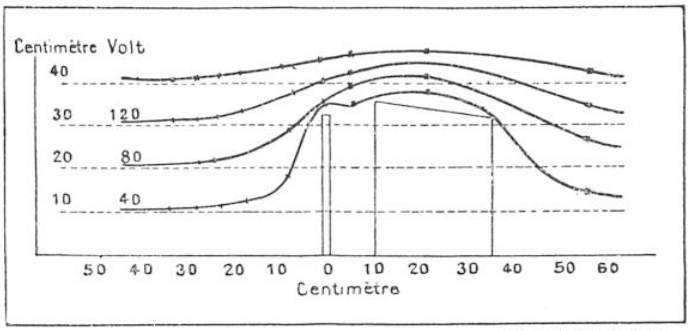
L'enthousiasme suscité par ces expériences s'amortit assez vite, mais quelques physiciens continuèrent l'étude des propriétés électriques de l'atmosphère. Ils reconnurent que ces propriétés pouvaient être décelées en tout temps, même par ciel pur, et que les phénomènes orageux en étaient seulement des manifestations particulièrement intenses, Ils observèrent l'« état électrique » de l'atmosphère à l'aide d'appareils divers, par exemple d'électroscopes dont l'organe sensible était relié à un conducteur métallique terminé par une pointe (remplacée depuis par des collecteurs mieux adaptés pour se mettre en équilibre électrique avec l'atmosphère avoisinante). Ils montrèrent que l'état électrique est variable, soumis en particulier aux influences météorologiques, et présente, dans l'ensemble, une variation diurne et une variation annuelle.

Mais cette notion d'« état électrique » resta pendant longtemps assez vague, ce qui était peu favorable au développement de son étude. Malgré divers travaux intéressants, mais dont les auteurs ne donnèrent pas à leurs idées une forme assez précise, c'est seulement vers 1860 que sir William Thomson (lord Kelvin) appliqua à l'état électrique de l'air la notion de potentiel. Entre deux points de l'atmosphère existe une différence de potentiel ; son quotient par la distance donne le « gradient » ou force électrique moyenne entre les deux points. Dans l'atmosphère existe ainsi un champ de forces électriques, ou, comme on dit d'ordinaire, un champ électrique. Au voisinage d'un sol horizontal, le champ électrique est généralement vertical. Lord Kelvin précisa les méthodes électrométriques permettant de le mesurer, et d'enregistrer ses variations, qui sont continuelles. Ces méthodes se répandirent rapidement et, depuis cette époque, l'étude du champ électrique est faite dans des conditions bien définies. Remarquons que cette étude peut être indépendante de toute interprétation sur l'origine de ce champ électrique.

Mais le champ de forces n'est pas la seule manifestation des propriétés électriques de l'atmosphère, et depuis longtemps en était connue une autre, qui est la perte progressive de la charge des conducteurs électrisés exposés dans l'air. C'est le phénomène de la « déperdition électrique ».

Ce phénomène a été décelé et étudié par Coulomb dans des circonstances bien remarquables. Dans les expériences mémorables

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



(D'après Norinder.)

FIG. 1. — GRAPHIQUE DE LA DISTRIBUTION DES SURFACES ÉQUIPOTENTIELLES DE L'ATMOSPHÈRE AU VOISINAGE DES OBSTACLES DU SOL, RELEVÉE SUR MODÈLE RÉDUIT

par lesquelles il établit, vers 1785, les lois des actions électrostatiques, Coulomb employait comme corps électrisés des balles de sureau recouvertes d'une pellicule métallique ; il mesurait, avec sa balance de torsion, les actions de ces corps les uns sur les autres. Or, les expériences duraient un certain temps ; Coulomb remarqua que la charge des balles diminuait progressivement, ce qui introduisait une cause d'erreur dans les mesures. Il étudia donc cette déperdition et en trouva la loi, ce qui lui permit de faire dans ses mesures les corrections nécessaires.

Divers auteurs étudièrent, après Coulomb, la déperdition, constatèrent qu'elle n'est pas la même en différents points, et qu'en un même point sa vitesse est variable, mais n'apportèrent pas à son étude de progrès réellement important. Plusieurs interprétations proposées pour le mécanisme de la déperdition furent reconnues inexactes, et on ne savait dans quelle voie orienter les recherches.

Ainsi, vers la fin du XIXe siècle, l'étude de l'électricité atmosphérique se trouvait limitée à deux ordres de phénomènes sans liens et sans interprétations. Ce sont les découvertes faites par les physiciens à cette époque qui ont donné à cette étude un essor magnifique et ont permis d'obtenir sur les phénomènes électriques de l'atmosphère des vues précises et générales.

L'ionisation de l'atmosphère terrestre

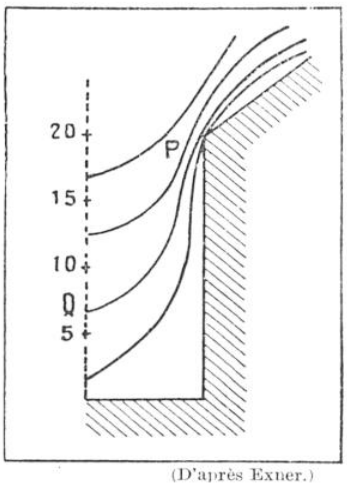
Une des propriétés des rayons X et des rayonnements des corps radioactifs est de rendre les gaz conducteurs. Les travaux de J.-J. Thomson en Angleterre, de Jean Perrin, en France, montrèrent que cette propriété est due à la production par ces rayonnements d'ions ou particules chargées les unes positivement, les autres négativement. Si un champ électrique existe dans l'espace ionisé, il imprime aux ions un mouvement, dans le sens du champ pour les ions positifs, dans le sens inverse pour les ions négatifs, et l'intensité de ce courant électrique permet de définir la conductibilité du gaz ionisé.

Bientôt, cette notion d'ionisation fut appliquée à l'atmosphère, et on montra que l'air naturel est toujours plus ou moins ionisé (C.-T.-R. Wilson, Elster et Geitel).

On eut ainsi l'interprétation du phénomène de la déperdition : un corps électrisé produit autour de lui un champ électrique qui attire vers le corps les ions de signe contraire à celui de sa charge, et ces ions arrivant sur le corps en neutralisent progressivement la charge. Ainsi la déperdition consiste non pas en la dissémination de la charge du corps électrisé, mais en la diminution de cette charge, du fait de l'afflux des ions de signe contraire.

Dès lors, à l'étude mal définie de la déperdition succède une double étude, celle de la teneur en ions et celle de la conductibilité électrique due à la présence de ces ions, et aussi l'étude de l'origine des ions atmosphériques, c'est-à-dire des causes naturelles d'ionisation de cette atmosphère.

L'étude du champ électrique se trouva reliée aux précédentes de la manière suivante : dans un volume déterminé d'air atmosphérique, les charges positives et négatives portées par l'ensemble des ions ne sont généralement pas égales, de sorte qu'il existe une certaine charge spatiale égale à la différence des deux charges et du signe de la plus forte. Cette charge spatiale est générale-



(D'après Exner.)

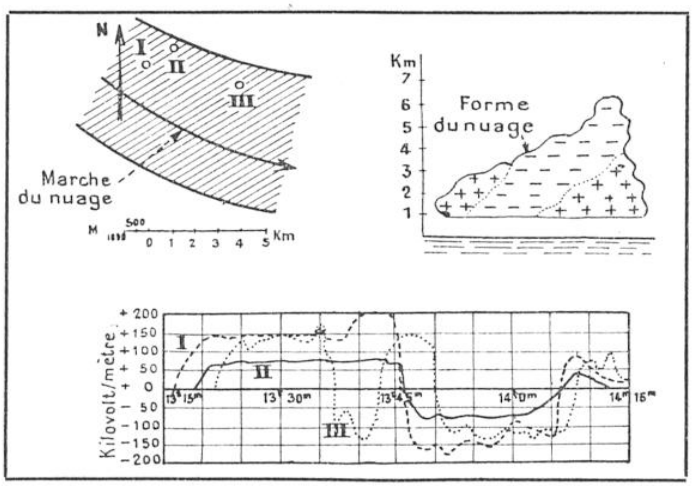
FIG. 2 — DISTRIBUTION DES SURFACES ÉQUIPOTENTIELLES LE LONG DU MUR VERTICAL D'UNE MAISON

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment positive. Ces charges positives, réparties dans l'atmosphère, interviennent dans la production du champ électrique. Le champ électrique, au voisinage du sol, peut être considéré comme dû à des charges positives disséminées dans l'atmosphère et à une charge négative portée par le sol. A mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, le champ électrique est modifié par les charges généralement positives qui s'y trouvent, et la variation du champ électrique avec l'altitude, observée par divers auteurs, et qui est une diminution assez rapide, est ainsi expliquée.

En somme, la découverte de l'ionisation des gaz a donné aux études d'électricité atmosphérique une cohésion qui leur manquait, a permis d'interpréter des phénomènes jusque là mystérieux, et a été le point de départ d'un grand développement des recherches et des connaissances.

Ce développement a encore été accentué par celui de la radioélectricité. Vers 1889, Schuster avait été conduit, pour expliquer les variations diurnes du magnétisme terrestre, à admettre l'existence dans la haute atmosphère de couches douées d'une forte conductibilité électrique. Mais c'est l'étude de la propagation des ondes radioélectriques qui a précisé cette notion et en a montré les applications. On sait maintenant qu'au-dessus de 80 ou 100 km se trouvent dans l'atmosphère des couches très conductrices, dont on peut, par des procédés radioélectriques, évaluer l'ionisation, connaître la hauteur et suivre les variations. Cet état électrique de la haute atmosphère est en liaison avec les origines de l'ionisation, les phénomènes solaires et les phénomènes magnétiques terrestres, et les recherches dont il est l'objet jouent naturellement un grand rôle dans le progrès des connaissances sur l'électricité atmosphérique.



(D'après Norinder.)

FIG. 3. — ENREGISTREMENT DES VARIATIONS DU CHAMP ÉLECTRIQUE DE L'ATMOSPHÈRE EN TROIS STATIONS DIFFÉRENTES AU MOMENT DU PASSAGE D'UN NUAGE ORAGEUX

Le croquis supérieur gauche montre l'emplacement des stations marquées I, II *et* III, *ainsi que la marche du nuage ; le croquis de droite indique sa forme et la répartition des charges dans sa masse. Les effets produits par son passage (chute brusque de potentiel) sont concordants pour les trois stations.*

Les variations considérables du champ électrique

Dans ce domaine devenu immense, quelques points seulement peuvent être particulièrement visés ici.

On doit signaler les variations continuelles et souvent très fortes des éléments électriques atmosphériques, champ électrique, conductibilité, ionisation, et le caractère local de ces variations, très prononcé au voisinage du sol.

Les éléments du magnétisme terrestre : déclinaison, inclinaison, intensité de la force magnétique, présentent aussi des variations, mais de faible amplitude, et qui sont pratiquement les mêmes à des distances allant jusqu'à quelques centaines de kilomètres ; de sorte qu'il suffit d'enregistrer ces variations en un petit nombre d'observatoires pour les bien connaître et les utiliser partout où l'on en a besoin.

Il n'y a rien de tel pour les éléments électriques. Leurs variations sont souvent énormes. Par exemple, le champ électrique, dont la valeur moyenne à l'Observatoire du Val-Joyeux en Seine-et-Oise est d'environ 100 volts par mètre, dépasse très souvent plusieurs centaines de volts, et parfois plusieurs milliers ; ces fortes variations le font changer de sens, et, alors qu'il est généralement dirigé vers le bas, pendant plus d'un dixième du temps il est dirigé vers le haut. Dans ces variations interviennent pour beaucoup les éléments météorologiques, le vent, les précipitations, les nuages ; en particulier, les nuages orageux ont une action très forte et élèvent le champ électrique jusqu'à produire les décharges disruptives constituant la foudre. D'autres influences s'ajoutent à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

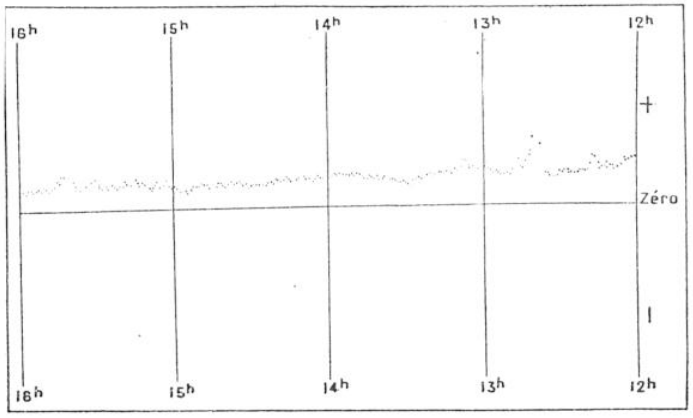


FIG. 4. — ENREGISTREMENT DU CHAMP ÉLECTRIQUE PAR CIEL PEU NUAGEUX ET ATMOSPHÈRE TRÈS CLAIRE

Cet enregistrement, comme les suivants, est effectué à l'aide d'un électromètre, un point étant marqué chaque minute. Le champ enregistré ci-dessus présente une constance tout à fait remarquable.

celles-ci, parmi lesquelles sans doute l'état électrique de la haute atmosphère, et il y a des variations importantes même par ciel serein.

Du fait que les phénomènes météorologiques ont une grande influence sur les éléments électriques, les valeurs et les variations de ceux-ci ne sont pas les mêmes en des points différents, même peu éloignés les uns des autres, par exemple distants de seulement quelques kilomètres ; et ces éléments peuvent être très différents, en des points éloignés de quelques dizaines de kilomètres, suivant les conditions géographiques de ces points.

Il résulte de là que, lorsqu'on veut étudier les relations entre les phénomènes électriques et un autre phénomène, on doit utiliser les observations des éléments électriques à l'endroit même où se déroule le phénomène qu'on cherche à leur relier.

L'influence des poussières sur la conductibilité électrique de l'atmosphère

L'état d'ionisation de l'atmosphère dépend des diverses influences signalées ci-dessus et, particulièrement, de la pollution atmosphérique. Le rôle des particules en suspension dans l'atmosphère s'explique par la façon dont paraît s'établir le régime de l'ionisation.

L'ionisation d'une molécule consiste en ce que, de cette molécule, est détaché un électron négatif, le reste de la molécule portant une charge positive égale à celle de l'électron. Les deux centres chargés ainsi constitués s'entourent, par action électrostatique, d'un cortège de molécules neutres, et ainsi sont formés des ions dont la grosseur dans l'atmosphère varie peu autour d'une certaine moyenne. Ce sont les petits ions dont le déplacement, sous l'action d'un champ électrique, est assez rapide (de l'ordre d'un centimètre par seconde dans un champ d'un volt par centimètre). Paul Langevin a découvert en 1905 qu'il y avait dans l'atmosphère, en très grand nombre, des ions d'une autre espèce, beaucoup plus gros et moins mobiles que les petits ions. Ces gros ions paraissent se former par fixation de petits ions sur des particules en suspension, et cette formation est ainsi d'autant plus active que ces particules sont plus nombreuses. Les ions, toujours en très petit nombre par rapport aux molécules, participent aux mouvements incessants de celles-ci ; quand deux ions de signes contraires se rencontrent, ils peuvent se recombiner, c'est-à-dire disparaître en tant qu'ions électrisés. Les actions ionisantes tendent constamment à augmenter le nombre des ions, et les recombinaisons tendent à le diminuer. Il s'établit ainsi un

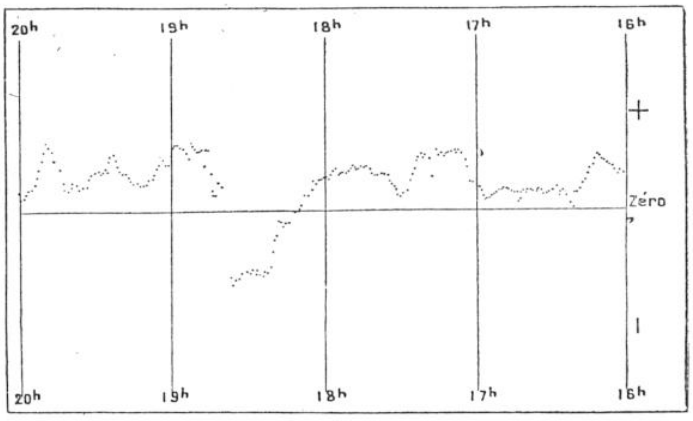


FIG. 5. — ENREGISTREMENT DU CHAMP ÉLECTRIQUE PAR CIEL PEU NUAGEUX ET ATMOSPHÈRE TRÈS BRUMEUSE

Cette courbe, déjà plus accidentée que celle de la figure 4, montre que les circonstances météorologiques ont une influence considérable sur les variations du champ. Le changement de signe du champ électrique correspond à une légère précipitation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

certain régime, où interviennent numériquement la production d'ions, et les nombres des particules neutres, des petits ions et des gros ions. En étudiant ce régime, on arrive à la relation approximative suivante : le produit du nombre des petits ions par celui des gros ions (par cm³) est proportionnel au nombre des ions produits (par cm³ et par seconde).

Ainsi, plus il y a de gros ions, moins il y a de petits ions, et une atmosphère polluée, comme l'est celle des villes, est beaucoup plus riche en gros ions qu'une atmosphère relativement pure, comme l'est celle de la pleine campagne ou des montagnes. Les différences sont très considérables. Par exemple, des mesures faites avec des appareils identiques au laboratoire de Paris de l'Institut de Physique du Globe, et à l'Observatoire du Val-Joyeux, en Seine-et-Oise, ont donné, comme valeurs moyennes, les nombres suivants : au Val-Joyeux, petits ions, 630 ; gros ions, 3 200 ; à Paris, petits ions, 160 ; gros ions, 33 400. La conductibilité électrique de l'atmosphère étant due surtout aux petits ions, beaucoup plus mobiles que les gros, on voit que l'ionisation et la conductibilité en un lieu donné dépendent beaucoup de sa situation géographique. Ce fait accentue le caractère local des phénomènes d'électricité atmosphérique.

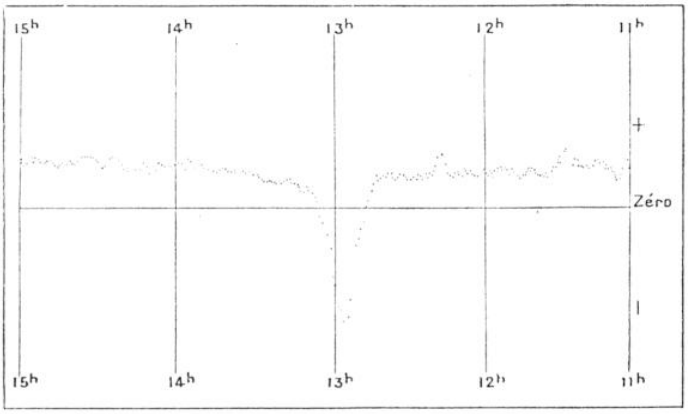


FIG. 6. — ENREGISTREMENT DU CHAMP ÉLECTRIQUE LORS DU PASSAGE D'UN NIMBUS A PLUSIEURS KILOMÈTRES

Les nuages à tendance orageuse portent des charges électriques et leur présence, même à grande distance, influe sur la valeur et parfois sur le signe du champ électrique.

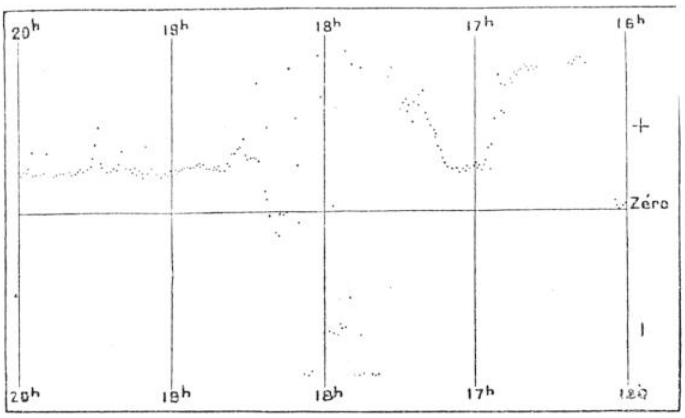


FIG. 7. — ENREGISTREMENT DU CHAMP ÉLECTRIQUE LORS D'UN ORAGE D'ABORD FAIBLE, PUIS ASSEZ FORT

L'orage s'accompagne d'éclairs et de pluie assez forte. Noter vers 18 h 15 la formation d'une tornade à 1 200 m de l'observatoire du Val-Joyeux où tous ces enregistrements ont été effectués.

Comment est entretenue l'électrisation de l'atmosphère

Les actions qui entretiennent l'ionisation de l'atmosphère sont diverses.

Dans la basse atmosphère, les rayonnements des substances radioactives contenues dans le sol ont un rôle important ; ces rayonnements sont progressivement absorbés par l'atmosphère, et leur action s'atténue à altitude croissante. Il en est de même de celle des gaz radioactifs, radon et thoron, et des particules produites par leur transformation spontanée.

Dans la basse atmosphère encore interviennent diverses actions dont il est difficile d'évaluer l'importance, par exemple les combustions et les phénomènes dans lesquels il y a fragmentation d'un liquide (pulvérisation dans les chutes d'eau, rejaillissement de la pluie, déferlage des vagues qui joue peut-être un rôle notable sur les côtes et en pleine mer).

Mais plusieurs actions ionisantes importantes « viennent du haut », et s'exercent, au contraire des précédentes, avec une intensité qui, très forte dans la haute atmosphère, décroît progressivement à altitude décroissante, l'élément qui produit l'ionisation subissant l'absorption de l'atmosphère.

Telle est l'ionisation par les radiations solaires de courte longueur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'onde. Les radiations les plus actives (ultra-violet) sont rapidement absorbées par l'atmosphère, et ce genre d'ionisation n'a pas lieu dans la basse atmosphère. Mais on sait maintenant qu'il joue un rôle très important dans la haute atmosphère, dans l'entretien des couches fortement ionisées indiquées ci-dessus, et par suite, dans la propagation des ondes radioélectriques.

Telle est encore l'ionisation produite par ces rayons cosmiques dont l'étude a révélé tant de phénomènes extraordinaires. Ce rayonnement, qui paraît surtout corpusculaire, subit aussi dans l'atmosphère une absorption progressive, mais certaines de ces particules sont si pénétrantes qu'elles produisent encore une ionisation notable dans la basse atmosphère, environ deux paires d'ions par cm^3 et par seconde. L'ionisation est bien plus forte dans la haute atmosphère, où elle est environ 150 fois plus grande sur une même masse d'air.

Il est très probable qu'interviennent aussi, dans les couches élevées de l'atmosphère, des particules électrisées provenant du Soleil, qui contribuent à l'ionisation par elles-même et par l'ionisation qu'elles produisent.

Ainsi l'étude des différentes causes naturelles d'ionisation permet d'interpréter la répartition verticale des ions et de la conductibilité, et en particulier l'existence dans la haute atmosphère des couches fortement ionisées dont l'observation fait actuellement des progrès rapides.

Les orages

On a rappelé, au début de cet article, que l'étude de l'électricité atmosphérique avait commencé par celle des phénomènes orageux. Que sont devenues les connaissances sur ces phénomènes? Il est curieux que, si leurs manifestations sont assez bien connues, leur mécanisme reste assez mystérieux. De nombreux chapitres de l'électricité atmosphérique, nés beaucoup plus tard, peuvent être traités maintenant de manière plus satisfaisante que l'électricité des orages. Cependant bien des points ont été précisés par de beaux travaux, tels que ceux de sir G.-C. Simpson sur l'ensemble des phénomènes, de Norinder et de Schonland, sur les caractères des éclairs, de Mathias sur leur forme.

Dans les nuages dits orageux s'accumulent de très fortes charges électriques, qui se localisent surtout aux parties inférieure et supérieure de ces nuages, généralement de grande épaisseur. Il en résulte, au voisinage de ces nuages, entre eux, et entre eux et le sol, des champs électriques intenses. Des

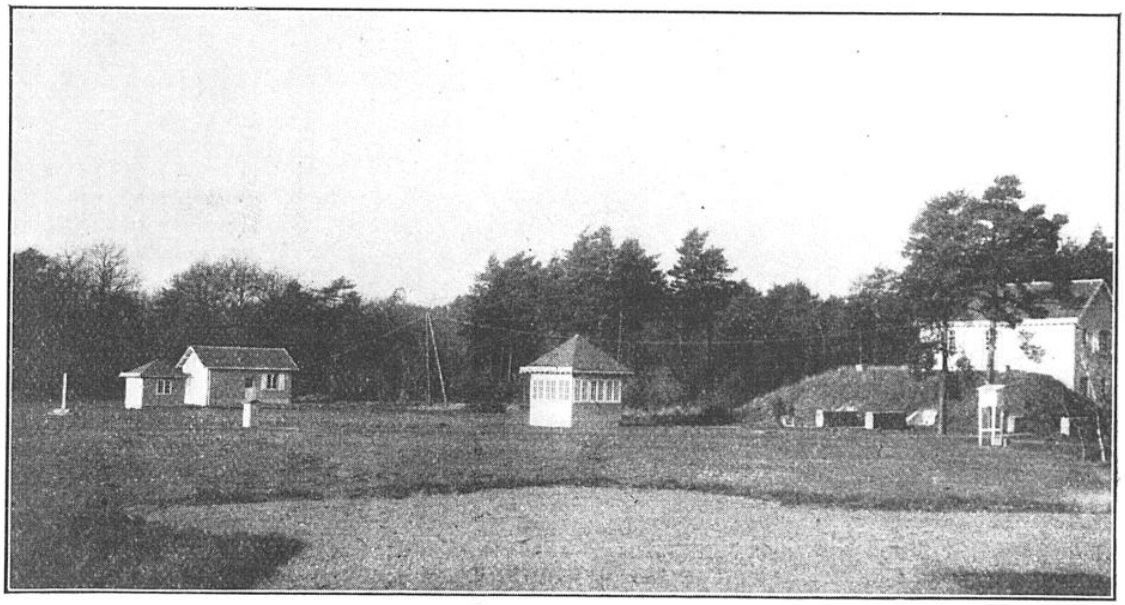


FIG. 8. — LES PAVILLONS MAGNÉTIQUES (A DROITE) ET ÉLECTRIQUES (A GAUCHE) DU NOUVEL OBSERVATOIRE GÉOPHYSIQUE DE CHAMBON-LA-FORÊT (LOIRET)

On remarque à gauche, sur une partie dégagée du terrain, les bornes entre lesquelles est tendu le fil portant en son milieu la prise de potentiel au radium pour la mesure du champ électrique de l'atmosphère.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

décharges disruptives éclatent (éclairs, foudre), et se succèdent parfois rapidement, ce qui manifeste une production très active d'électricité dans les nuages orageux. Ces nuages ne sont pas assimilables à des conducteurs électrisés ; les charges y sont portées par des particules d'eau liquide ou solide, assez grosses pour être peu mobiles, de sorte que la conductibilité électrique à l'intérieur du nuage n'est pas élevée. Aussi les décharges entre ces nuages ou entre eux et le sol ne présentent pas le caractère oscillatoire amorti des décharges entre conducteurs électrisés. Les études qui ont été faites de diverses manières (miroir tournant, photographie, oscillographe, etc.) ont montré qu'un éclair paraissant unique à la vue comprend en général plusieurs traits de feu se succédant à intervalles extrêmement courts, et dont chacun n'est pas simple. Les ramifications du premier trait de feu s'atténuent généralement dans les autres. Les charges électriques des parties inférieure et supérieure des nuages sont parfois d'un signe, parfois de l'autre, d'où des différences dans les décharges.

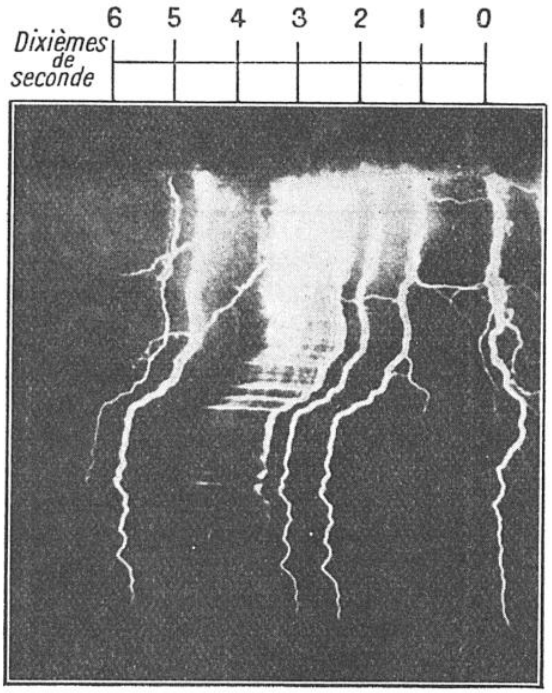


FIG. 9. — DÉCOMPOSITION D'UN ÉCLAIR UNIQUE EN APPARENCE, MAIS CONSTITUÉ, EN RÉALITÉ, PAR PLUSIEURS DÉCHARGES SUCCESSIVES, TOUTES DANS LE MÊME SENS

Cette photographie a été obtenue à l'aide d'un appareil en rotation rapide.

Dans ces décharges sont mises en jeu des forces électromotrices énormes, atteignant, semble-t-il, des centaines de millions de volts, et des quantités d'électricité s'élevant à quelques dizaines de Coulombs, énormes aussi par rapport à celles qui interviennent dans d'autres phénomènes électriques de l'atmosphère. L'intensité des courants dans l'éclair atteint des dizaines de milliers d'ampères. L'énergie correspondante est très grande, et on conçoit que la foudre puisse produire les dégâts et les effets extraordinaires souvent signalés.

Quant au mécanisme de la production, dans les nuages orageux, de charges électriques aussi considérables, malgré les recherches faites et les théories émises à ce sujet, on est encore dans l'incertitude. Cette production paraît liée à des mouvements à composante verticale, dans lesquels les gouttelettes d'eau sont entraînées et fragmentées. Ce qui est certain, c'est que la machine électrostatique ainsi constituée a un débit intense.

Il y a naturellement, dans le domaine, aujourd'hui devenu si vaste, de l'électricité atmosphérique, bien des problèmes, qui, comme celui-là, sont en suspens. Mais l'essor rapide de cette partie de la science, depuis une quarantaine d'années, fait bien augurer des progrès futurs.

CH. MAURAIN.

L'augmentation de vitesse enregistrée sur les derniers modèles de véhicules automobiles ne peut être acceptée sans nuire à la sécurité de la circulation routière, que si le fonctionnement des organes de direction et de freinage est minutieusement contrôlé. Les visites gratuites de sécurité organisées en France ont démontré, en effet, que sur près de 4 000 véhicules examinés en six mois, 43 % seulement possédaient des freins en état excellent, satisfaisant ou passable, et 57 % insuffisant ou dangereux. Pour la direction, 64 % des véhicules devaient subir un réglage ou une réparation. Enfin, 62 % des projecteurs se sont révélés insuffisants pour assurer la sécurité de la circulation nocturne. Le contrôle périodique obligatoire s'impose.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'ÉNERGIE, PROBLÈME-CLEF DE NOTRE CIVILISATION MÉCANIQUE

Par Jean LABADIÉ

Parmi les problèmes d'ordre technique et économique que pose le développement présent de notre civilisation sous une forme essentiellement mécanique, celui de la production de l'énergie, étant donné sa portée générale, se présente au premier plan. Les principales sources énergétiques utilisées actuellement sont le charbon, le pétrole et la houille blanche. Si cette dernière apparaît inépuisable de par sa nature même, — au moins tant que le rayonnement du Soleil entretiendra le cycle de la condensation et de l'évaporation de l'eau des océans, — il n'en est pas de même des deux autres dont les réserves connues sont strictement limitées. Au taux actuel d'exploitation, elles seraient épuisées en 20 ans pour le pétrole, en 3 700 ans pour le charbon. Découvrir des sources nouvelles d'énergie de remplacement ne constitue donc pas un problème des plus urgent pour l'humanité. D'ores et déjà, cependant, les physiciens envisagent l'exploitation des réactions intranucléaires de désintégration et de transmutation qui permettraient, au moins théoriquement, de satisfaire tous nos besoins énergétiques actuels en dématérialisant chaque année quelques kilogrammes de matière tout au plus. Jusqu'à présent, le succès dans cette voie n'a pas dépassé l'échelle atomique, et de nombreux obstacles — qui ne sont peut-être pas seulement d'ordre pratique — s'opposeront sans doute longtemps encore à ce que les minuscules réservoirs d'énergie des atomes se substituent aux centrales hydrauliques et thermiques, en attendant de suppléer, dans quelques milliards de siècles, au rayonnement défaillant du Soleil pour « climatiser » notre globe.

L'ÉNERGIE ! Elle est maîtresse du monde, nous ne pouvons plus rien sans elle. J'écris ces lignes sur une terrasse qui domine un port et d'où l'on aperçoit, au fond du golfe, les Alpes glacées. Un paquebot tout blanc, le *Rex* italien (54 000 t, 120 000 ch) fait escale au pied d'un château fort datant de l'époque où les galères barbaresques venaient périodiquement semer la terreur en Provence. Les galériens d'Alger, comme ceux du chevalier Paul chargé par Louis XIV de les pourchasser, développaient, à force de bras, *un* cheval par 500 kg de chair humaine au travail. L'énergie distribuée, par rations de fèves, à la chiourme motrice, représentait, en calories, à peu près la valeur d'un même poids du mazout que consomment les turbines du *Rex* ; nos chimistes, du reste, sauraient opérer la transformation effective des hydrocarbures de l'alimentation humaine en ceux qui nourrissent les machines. Il faudrait donc au *Rex* un équipage de 250 millions de galériens, ramant sans répit, pour dépenser les calories emmagasinées dans ses soutes en vue d'une traversée qui va le conduire à New York en cinq jours, à la vitesse de 28 nœuds.

L'équipage n'est pourtant que de 500 hommes dont le labeur le plus dur, celui des machinistes, consiste à manier par intermittence des manettes d'acier poli et des volants d'ébonite, dans une salle des machines aussi blanche que la coque.

Pensez maintenant, non pas même aux galères qui naviguaient dans ces eaux encore à la fin du XVIII^e^ siècle, mais seulement aux voiliers du XIX^e^. Le contraste que je viens d'esquisser ne représente même pas un siècle et demi de progrès technique !

Tel est l'ordre de grandeur de ce qu'il faut bien appeler « le miracle de l'énergie ».

Et ce miracle se développe dans toutes les directions. Voici un grand avion qui traverse le ciel et se pose dans le plus beau site du monde. C'est (je l'ai vu peu après) le *Douglas* de tourisme d'un riche Anglo-Saxon voyageant avec cinq invités : 2 000 ch au service de six privilégiés.

Sur la route, cabriolets et roadsters passent au ralenti, conduits par de jeunes femmes qui dirigent du bout des doigts leurs 20 ch figurant une armée de laquais « portant » leurs trisaïeules en chaise, en tout cas un escadron de percherons, des coches et diligences utilisés par leurs grand'mères.

Le soir tombe. La ville s'illumine d'une seule pièce. Colliers déroulés sans fin, les routes sont maintenant jalonnées de perles lumineuses dont chacune dépense autant d'énergie que le salon le plus brillant des Tuileries de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Napoléon III. Le *Rex* lui-même devient aussi féerique qu'un grand magasin parisien au mois de la Noël. Le vieux château s'embrase, lui aussi, sans utilité, pour le seul plaisir des yeux, grâce aux projecteurs accroupis dans ses douves.

L'énergie qui ruisselle de la sorte, nuit et jour, est protée, multiforme. Elle descend des Alpes de pylône en pylône ; elle passe en camions-citernes qui la déversent aux stations-services ; elle accourt des centrales thermiques dont la ligne à haute tension enjambe la vallée. L'âme de tout un pays est faite de cette énergie. Et puisque nous voici derrière une frontière, c'est à ses disponibilités en énergie, c'est-à-dire à sa houille blanche, à ses réserves de houille et de pétrole, à ses carrières de lignite, à ses stocks d'explosifs, que se mesure le potentiel de guerre de la nation voisine. Quelque point de vue qu'on adopte, le fait éclatant apparaît : hommes et nations ne vivent plus qu'en fonction de l'énergie *physique* dont ils disposent.

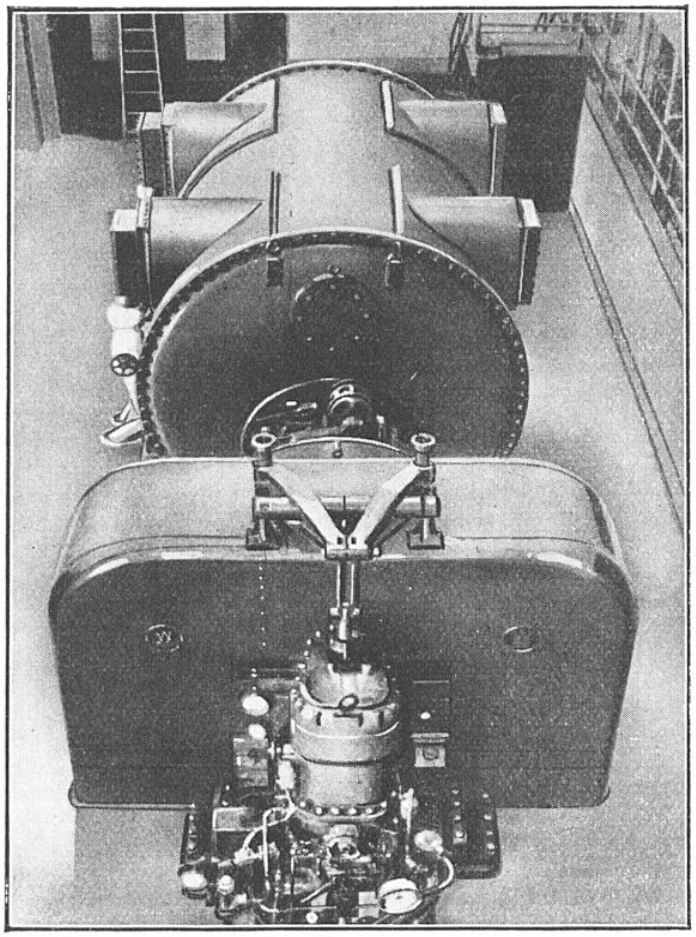


FIG. 1. — UN DES TURBOALTERNATEURS LES PLUS MODERNES, ACTUELLEMENT EN SERVICE EN AMÉRIQUE A LA CENTRALE DE WEST END DE LA « CINCINNATI GAS AND ELECTRIC COMPANY »

Ce turboalternateur, qui développe 35 000 kW, marque une étape importante dans l'utilisation de la vapeur et les progrès de la métallurgie. Il est, en effet, alimenté par de la vapeur surchauffée à 500° C et sous 84 kg/cm², alors qu'on n'avait guère dépassé, jusqu'à 1937, 45 kg/cm² et 440° C dans les centrales thermiques. Il tourne de plus à 3 600 tours/mn, alors qu'aucune unité de plus de 18 000 kW n'avait dépassé 1 800 tours/mn. Enfin, l'alternateur bipolaire est refroidi par de l'hydrogène, procédé qui n'était appliqué jusqu'à présent qu'à des unités d'expérience de faible puissance ou des machines entièrement closes, telles que les changeurs de fréquence. La plus puissante unité de ce type actuellement en service développe 53 000 kW et est installée à la centrale thermique de Waterside de la Consolidaded Edison Company, *de New-York.*

Quelle est la consommation présente du monde en énergie et comment se répartit cette consommation ? A quelles sources s'approvisionne-t-elle ? Quelles nouvelles sources peut-on découvrir ? Autant de questions qui marquent le carrefour du progrès actuel, face à l'avenir.

La relève de « l'homme par la machine » ressemble à celle de « l'homme par l'animal »

Mais, avant de répondre à ces questions, il faut bien saisir le sens de ce que nous appelons le « miracle de l'énergie ».

On me pardonnera la courte parenthèse qui va nous montrer que le « miracle » en question s'est déjà produit *une fois*, dans l'histoire de l'humanité, entre le IXe et le Xe siècle.

Ce grand événement fut une « invention » si peu sensationnelle que les historiens ne l'ont pas aperçue. C'est un chercheur contemporain, aussi modeste que génial, le commandant Lefevre des Noëttes, mort en 1936, qui *seul* l'a mise en lumière ; l'inven-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion de l'*attelage rationnel* du cheval, au moyen du « collier d'épaules » et de l'attelage en file. Depuis les origines, les chevaux ne traînaient accouplés que des « chars » dont le « timon » était un « joug » auxquels les bêtes étaient liées par un « collier de gorge ». Ce collier étouffait, littéralement, leur effort. Deux chevaux du temps d'Hadrien ne pouvaient et ne devaient (en vertu des règlements) pas traîner plus de 240 kg sur *carpentaria* (camions à 4 roues). Aujourd'hui, deux chevaux attelés en file avec nos colliers usuels charroient jusqu'à 5 tonnes. Telle est la révolution technique qui mit, *pour la première fois*, il y a mille ans, toute l'énergie animale à la disposition des hommes.

Les moteurs thermiques et électriques actuels opèrent donc la relève de l'animal et, *pour la seconde fois*, celle de l'homme. Le travail humain purement « physique » existe encore certes, mais il a ses jours comptés. Les temps prédits par Aristote sont arrivés : « la meule marche toute seule ».

Nos meules sans esclaves ? Elles ne sont autres que les machines-outils œuvrant avec autant de précision que de puissance sous le regard attentif d'hommes au repos, *à condition que ces hommes* soient de plus en plus *savants* et *consciencieux* — tandis que, d'autre part, les turbines de nos centrales, les treuils de nos mines, les pompes de nos puits de pétrole et de leurs pipe-lines, arrachent à la nature les énergies que celle-ci semble avoir accumulées quotidiennement, quand elle ne les a pas stockées à notre intention dans les couches profondes du sol.

L'*accumulation périodique*, c'est celle des forêts, des glaciers et des pluies. L'*accumulation en forme de stocks*, c'est celle des hydrocarbures, houille et pétrole, préparés par la « synthèse » infiniment longue des périodes géologiques.

Les unes et les autres sortes d'énergie sont un présent du Soleil ; les premières, en principe, *inépuisables ;* les secondes, *limitées*. Il s'ensuit que le problème de l'énergie se traite par deux tableaux bien distincts.

Les énergies naturelles d'exploitation perpétuelle

Tant qu'il y aura des forêts, le bois sera un combustible. C'est le bois et le charbon de bois qui chauffèrent les premières machines, les premiers « fours » de forge. Les forêts actuelles couvrent 2 800 millions d'hectares et fournissent annuellement 1 350 millions de mètres cubes de bois dont la moitié se consume en chauffage. Tous les pays comprennent, enfin, que la sylviculture est une science de haute civilisation ; l'Amérique regrette le saccage auquel se sont livrés ses « pionniers » de l'autre siècle. Le Canada, la Norvège, l'Autriche, l'U. R. S. S. ont mis ordre à l'exploitation inconsidérée de leur bois. Tant et si bien que les chiffres ci-dessus peuvent être considérés comme la marque du *point de saturation* de cette espèce d'énergie « périodique » offerte par la Nature et qui provient, *comme toutes les autres*, du Soleil.

L'énergie hydraulique représente l'autre énergie naturelle *permanente*. Sa source, ou plutôt son « cycle », est *a priori* d'ordre purement physique. Le Soleil — toujours lui — pompe la vapeur des océans et celle-ci se condense soit en glaces (à haut potentiel énergétique) sur les cimes, soit en pluies accumulées par les barrages à grande capacité. Mais, ici encore, notons-le en passant, la *vie* des forêts apparaît comme le grand régulateur des condensations naturelles. Le monde entier exploite actuellement l'énergie hydraulique pour un « équivalent » de *156 millions de tonnes de charbon*. Ce chiffre représente quatre fois l'exploitation installée en 1913. En 1925, le chiffre de 1913 (40 millions) avait *doublé*. En 1929, il avait *quadruplé* (135 millions). Depuis, on le voit, la progression s'est ralentie. Cependant, il reste à équiper *472 millions* de chevaux hydrauliques contre *55 millions seulement* au travail à l'heure présente,

Que signifie cette lenteur de l'équipement hydraulique ? Simplement que le « prix de revient » entre en ligne de compte. Les diverses énergies disponibles se « concurrencent ».

D'autre part, nous constatons que la consommation d'électricité portée à *136 millions* (équivalant en tonnes de charbon) en 1929 est tombée, *de par la crise financière*, à *132 millions* en 1932. Pourtant les centrales n'ont pas été démolies. On en a même construit (ou équipé) de nouvelles.

Les énergies « limitées »

Passons maintenant aux grands « stocks » naturels : la houille et le pétrole.

En 1937 (dernière statistique connue), le monde a consommé 1 288 millions de tonnes de houille — *à peine un peu plus qu'en* 1913 (1 216 millions). La consommation d'après guerre était montée à 1 329 millions, en 1929. La crise a ramené ce chiffre à 957 millions en 1932.

Par contre, si la consommation des *lignites* est passée de 46 millions de tonnes (1913) à 82 (1929), et si elle a momenta-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

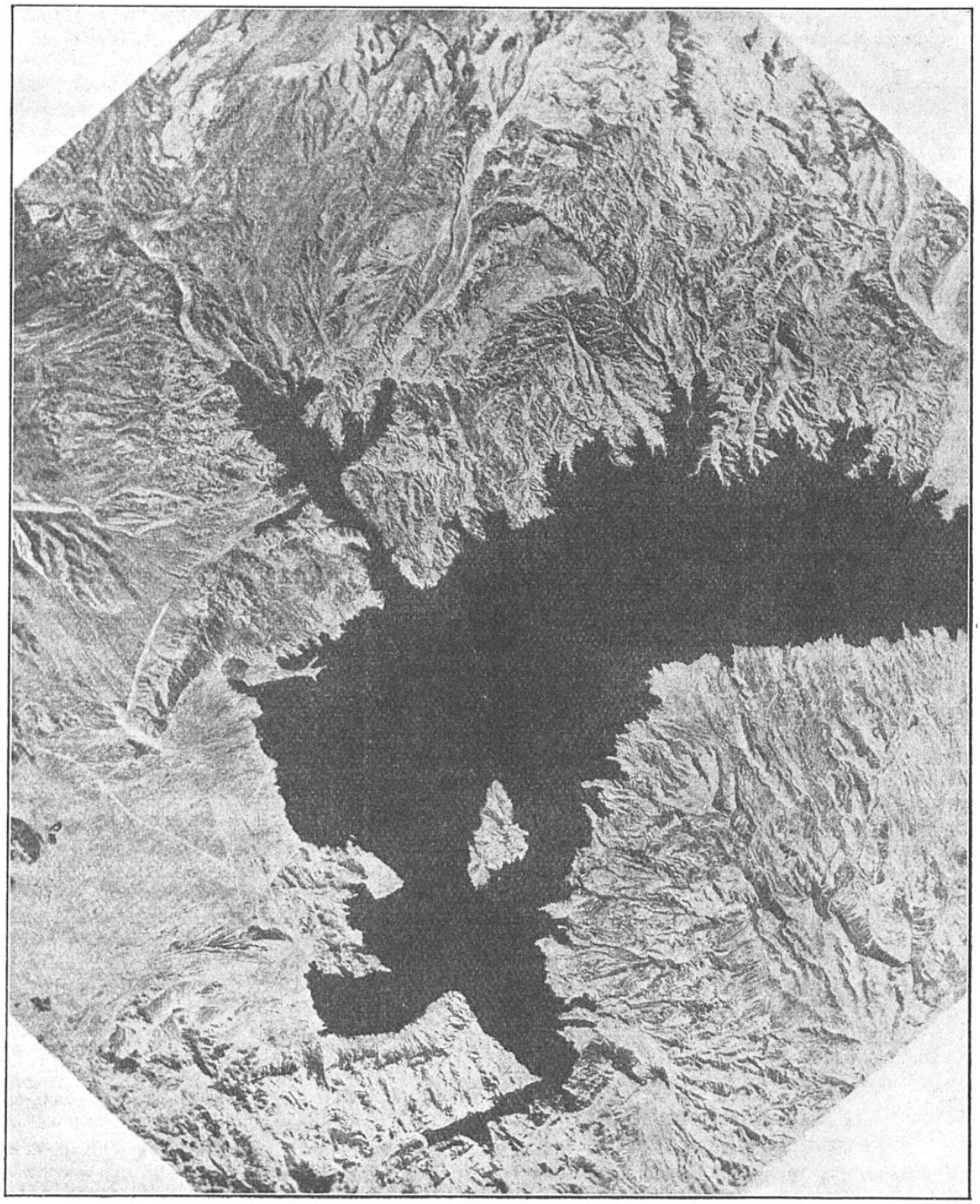
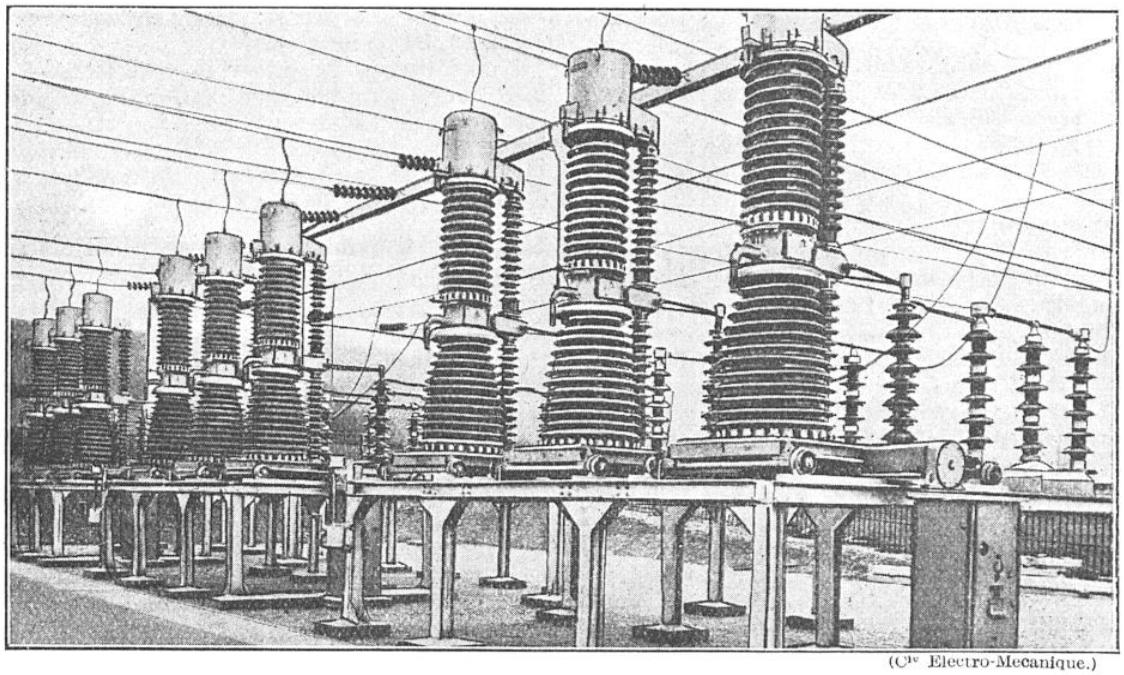


FIG. 2. — LA CONSTRUCTION DU PLUS GRAND BARRAGE DU MONDE, LE BARRAGE « HOOVER » — « BOULDER DAM » — SUR LE COLORADO, AUX ÉTATS-UNIS, A PROVOQUÉ LA FORMATION D'UN LAC ARTIFICIEL LONG DE 160 KM ET PROFOND DE 192 M, D'UNE CAPACITÉ DE 34 MILLIARDS DE M^3, CE QUI REPRÉSENTE LE DÉBIT MOYEN DU FLEUVE PENDANT DIX-HUIT MOIS

Le barrage est visible en bas et au centre comme un petit arc blanc. Les centrales que ce gigantesque lac alimente fournissent l'énergie électrique à la ville de Los Angeles (400 km). Cette photographie aérienne, qui couvre 500 km^2, a été prise de 7 800 m d'altitude. (Voir La Science et la Vie, *n° 199, page 61.)*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



(Cie Electro-Mecanique.)

FIG. 3. — DISJONCTEURS MODERNES POUR HAUTE TENSION JUSQU'A 200 000 VOLTS

Dans ces disjoncteurs à faible volume d'huile (dits « à vapeur d'huile »), l'huile contenue dans des cellules d'une chambre en matière isolante offre, au moment de la coupure du courant, une grande surface de vaporisation constamment maintenue à proximité de l'arc. Celui-ci est ainsi éteint en trois ou quatre demi-périodes. Ces disjoncteurs, malgré leur faible encombrement et leur volume d'huile réduit, sont capables de couper les courts-circuits les plus violents pouvant se produire sur les réseaux à 150 000 ou 200 000 volts.

nément baissé, elle aussi, au cours de la crise (60 millions en 1932), le chiffre relatif à 1935 (73 millions) exprime que la reprise de consommation de ce « charbon » inférieur a dépassé le taux de 1913. Pourquoi ? Les lignites, matière première du *pétrole synthétique*, possédées principalement par l'Allemagne et l'Italie, sont exploitées à force par ces pays « autarciques ». Mais ici il faut noter un fait extraordinaire : l'Allemagne a porté, en 1937, l'exploitation de ces lignites à 184 millions de tonnes pour le motif que nous venons d'énoncer. Elle en fait de l'électricité et du pétrole de synthèse. Vous voyez bien qu'il existe une étroite connexion entre la consommation d'énergie et la vie des nations prise au sens le plus large.

Voici maintenant le combustible *liquide*, dont la « qualité » prime de haut la quantité de calories qu'il représente. Le mazout, le *fuel oil*, le *gas oil*, l'essence sont autant d'aliments de la locomotion dans ses formes les plus actuelles, les plus dynamiques.

Notons que leur consommation, qui était de 54 millions de tonnes en 1913, a été poussée par la guerre, et par la prospérité américaine d'après guerre, au maximum de 203 millions en 1929. La crise l'a fait baisser jusqu'au minimum de 180 millions (1932). Puis, le relèvement apparaît jusqu'à 227 millions, en 1935, pour s'élever à 280 en 1937. Que le relèvement soit aussi net, malgré la concurrence, surtout en Allemagne, du pétrole synthétique et ses succédanés : alcool, benzol, gaz comprimés et liquéfiés, et *malgré les restrictions* qui ont si lourdement pesé sur la consommation des autres formes d'énergie, voilà qui marque définitivement la suprématie du pétrole.

La qualité de l'énergie, c'est justement le principe le plus sûr de la physique, le principe de Carnot, qui nous montre sa valeur. Les machines qui fonctionnent à haute température, les lignes qui transportent l'électricité à haut potentiel, accusent toujours le meilleur rendement. Le combustible liquide apparaît donc comme d'un « potentiel » industriel, financier, politique, social, très supérieur à toutes les autres formes d'énergie. Un bidon d'essence, c'est de l'énergie physique en réserve, exactement comme un « crédit » en banque constitue la puissance de volonté — connexe — qui déclenchera l'utilisation de la première.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les réserves naturelles d'énergie

Quelles sont, pour l'avenir immédiat et lointain, la valeur et la durée des ressources d'énergie « périodique » ?

Les sources d'électricité, avons-nous dit, sont à peine entamées et pourtant l'éminent technicien Ernest Mercier constate que l'extension de la consommation électrique devient de plus en plus malaisée, de plus en plus incompatible avec l'effort financier qu'elle exige. Les Etats-Unis ont atteint 200 000 kW comme *puissance unitaire* de certains turbogénérateurs thermiques et 75 000 kW comme puissance des turbogénérateurs hydrauliques. De ce point de vue qui est la « rationalisation » de la production électrique, il est difficile de penser qu'on ira beaucoup plus loin. Les 400 millions de chevaux hydrauliques en attente d'équipement (le Zambèze en offre 30 millions dans une seule de ses chutes naturelles) attendront-ils longtemps encore ? Tout dépend des « utilités », comme disent les économistes, que les nations sauront donner à l'énergie électrique. Quand ces utilités auront grandi — et c'est une question d'économie sociale — si, par exemple, l'on parvient à accumuler cette énergie en carburants de synthèse stockables et transportables, l'électricité se développera jusqu'à utiliser le vent, la plus puissante, la plus uniformément répandue (statistiquement, dans le temps, comme dans l'espace) des énergies naturelles. La découverte d'un accumulateur électrique léger de grande puissance massique transformerait encore plus vite le problème de l'énergie.

En attendant, ce sont les réserves « limitées » d'énergie naturelle qui tiennent le premier rang.

Les réserves probables de charbon, existant jusqu'à 2 000 m de profondeur (cote maxima des prospections), s'élèvent pour le monde entier à *4 600 milliards de tonnes*, dont *2 000 milliards de tonnes* sont aux Etats-Unis et *1 000 milliards en* U. R. S. S.

Ces réserves géologiques sont exploitées seulement au taux annuel de *1 222 millions de tonnes*. Voilà donc, à ce taux, l'humanité pourvue de charbon pour 3 700 ans. Si la consommation croît annuellement de 2 % (ce qui serait énorme), c'est au bout de 210 ans seulement que le charbon mondial se trouverait épuisé.

Pour le *pétrole*, les chiffres sont *mille fois* moindres : les réserves géologiques s'évaluent à *4 066 millions de tonnes*, dont la moitié gît en Amérique et le quart en Europe. *Au taux actuel d'exploitation, le stock naturel serait épuisé en vingt ans.*

De ce que nous venons de dire touchant la « qualité » du combustible liquide, *il faut conclure* que les carburants de synthèse, à partir de la houille et des lignites, viendront fatalement se substituer, *avant peu de temps*, à la production des sondages pétrolifères.

La parole est maintenant aux physiciens

Nous voici donc au cœur du problème de l'énergie. Après avoir appris à construire des machines utilisant les énergies naturelles, l'humanité doit apprendre — elle sait déjà, plus que « théoriquement » — à préparer au mieux ses énergies utilisables. Cette préparation se définit d'un mot : accroître la *qualité* de ses ressources actuelles.

De ce point de vue, la réserve « limitée » de charbon nous semble garantir les besoins d'énergie pour quelques millénaires, grâce aux procédés d'hydrogénation.

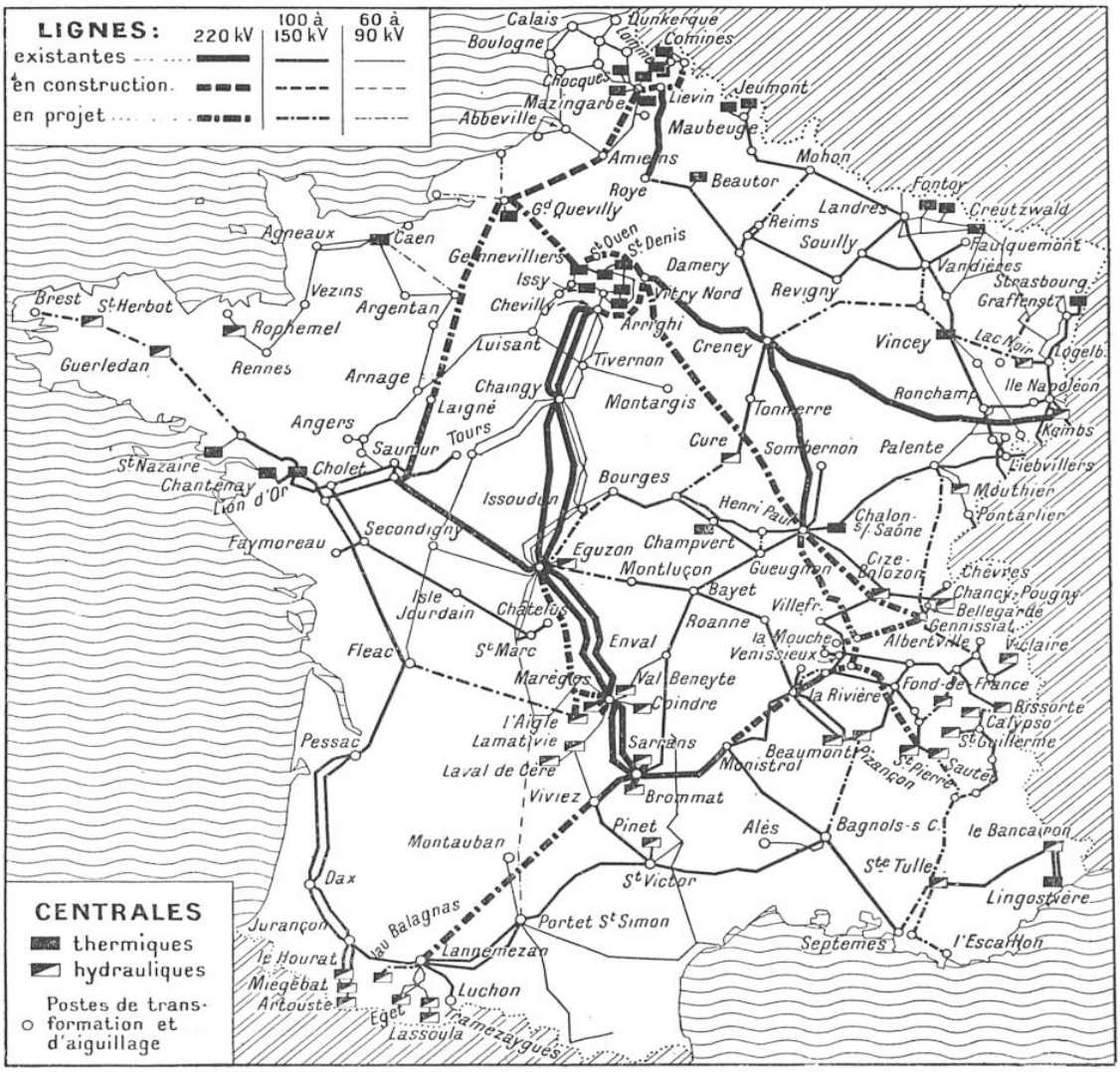
Mais, à notre sens, ce sont les énergies d'*exploitation perpétuelle*, l'énergie hydraulique et *certainement* l'énergie éolienne, qui viendront concurrencer le carburant, dès que sera résolu le problème de l'accumulation et de l'utilisation de l'électricité sous une grande puissance massique. Rien n'égale en simplicité, en robustesse, une machine électrique, mais elle est lourde. L'automobile, munie d'un accumulateur léger, serait pourtant rénovée, immédiatement, avec les seuls moteurs actuels. Quant à l'avion, il ne faudrait pas songer, *même dans ce cas*, à son équipement électrique — surtout au moment où l'« avion à réaction », à tuyères thermo-propulsives, commence à recevoir sa « théorie » exacte.

Si le proche avenir reste donc acquis au combustible liquide, le lointain avenir (et qui peut mesurer effectivement ce mot « lointain » ?) appartient assurément à l'électricité. Ici, la parole est aux sciences physiques.

A la lumière de la science moderne, la matière elle-même est apparue comme la forme la plus pure de l'énergie. Les physiciens ont mis en évidence des « réactions nucléaires » dans lesquelles les atomes élémentaires se transmutent les uns en les autres, avec une émission d'*énergie* réellement colossale. « Dans la plupart des transmutations d'atome que l'on sait provoquer, il y a libération d'énergie à un potentiel très élevé se chiffrant par millions de volts », écrit M. Jean Thibaud,

L'éminent physicien continue ainsi : « Pour comprendre l'origine de l'énergie dégagée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



(Editée par la *Réunion des Sociétés de Transports d'Energie électrique.*)

FIG. 4. — CARTE DU RÉSEAU FRANÇAIS D'INTERCONNEXION A HAUTE TENSION

dans une désintégration, il faut bien se pénétrer de *l'identité profonde qui existe entre l'énergie et la matière*. On peut dire que les physiciens contemporains travaillent sous le signe de l'ÉQUIVALENCE de la *masse* et de l'*énergie*, comme leurs prédécesseurs du siècle dernier travaillaient sous celui de l'équivalence de la chaleur et de l'énergie. » Se référant à la célèbre formule d'Einstein qui « mesure » l'énergie contenue dans l'unité de masse par le produit de cette masse et du carré de la vitesse de la lumière, M. Thibaud, d'accord avec la plupart de ses pairs, indique qu'*à ce compte* « l'énergie totale qu'un homme peut fournir, au cours d'une longue existence, ne dépasse pas *un milligramme* de matière ! De quel « poids » minime est l'activité humaine vis-à-vis de l'énergie du moindre atome ! »

Du « principe d'équivalence » d'Einstein, M. Thibaud conclut « qu'on peut envisager une véritable production d'énergie par disparition de la matière ». Les centrales électriques de l'avenir seraient, d'après ces vues, des usines de désintégration, de « dématérialisation ». La matière y serait transformée en courant électrique.

Une trop belle utopie ?

A la vérité, le doute demeure permis. Les calculs et mesures des physiciens de l'atome font état d'expériences « statistiques » inté-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ressant seulement l'« atome », c'est-à-dire un élément de matière perdu dans un vide « effroyable » (Perrin, Joliot-Curie). La transmutation d'*un* atome exige la rencontre d'un corpuscule de bombardement avec son noyau et il faut *des milliards de coups* pour toucher *une fois* la cible (1). La réussite est à ce prix. A tel point que, de l'aveu des mêmes physiciens, l'énergie de la plus puissante centrale actuelle serait absorbée dans la transmutation quotidienne d'un milligramme de mercure en or. Il y a là un paradoxe évident : la réussite « atomïque » est à l'opposite d'une réussite « massive ».

Le « principe d'équivalence » d'Einstein demeure cependant exact, à l'échelle atomique. Aussi bien l'on ne nous présente l'« énergie de dématérialisation » que sous l'un de ses aspects : le facteur « tension ». Mais des *millions de volts* ne feront un kilowatt que si l'on y ajoute le facteur « ampèrage », qui reste totalement absent, jusqu'ici, des belles expériences de transmutation ou de dématérialisation. Les produits obtenus restent impondérables ou presque.

L'équivalence « matière-énergie » n'est donc pas comparable à l'équivalence « chaleur-travail » qui guidait les « physiciens du siècle dernier ». A ce principe d'équivalence purement quantitatif, Carnot dut surajouter le second principe, qui régit le fonctionnement de nos machines thermiques. Il revient à dire que si le travail se transforme en chaleur automatiquement, la chaleur ne se transforme en travail utile qu'au prix des plus grands efforts techniques.

Pareillement, pour prendre un exemple précis, si un *photon* gamma peut donner naissance à deux électrons (positifs et négatifs) (et c'est une *matérialisation* de l'énergie), il n'est pas certain que l'opération *inverse* (également réalisée à l'échelle atomique) de la disparition de deux électrons en rayonnement *gamma* soit « équivalente » à la première. Si les étoiles représentent une matérialisation d'énergie et si la radioactivité de leur matière figure une « dématérialisation » (théories indiscutables), le problème est de savoir dans quel sens est dirigée l'évolution du monde. Est-ce la matière ou l'énergie qui se trouve à l'origine? Si la « matière » sur laquelle travaille obligatoirement l'industrie, représente de *l'énergie déjà évoluée*, il est malaisé de concevoir que nos usines puissent déclencher *l'évolution inverse* (c'est-à-dire le retour de la matière à l'énergie), sans payer cette transformation d'une « perte sèche ». Il s'agit là d'une question de *bilan*, exactement comme en thermodynamique et en... économique.

Les usines de « dématérialisation » ne différeront pas, dans ce cas, des centrales actuelles, dans lesquelles l'énergie transformée est toujours quantitativement plus faible que l'énergie puisée dans la Nature.

(1) Voir dans ce numéro, page 440.

La Nature, une fois de plus, montre la voie

Par contre, ce qui apparaît possible et même probablement réalisable avant peu, c'est la stabilisation massive de cette « électricité » statique à laquelle se ramène finalement toute notion corpusculaire de l'énergie.

Ici, nous retrouvons, du reste, le fil d'expériences déjà réalisées. Quand Planté inventa sa machine rhéostatique capable de fournir 200 000 volts, *il cherchait à reproduire la « foudre globulaire »*. Il y réussit, en effet, à l'échelle d'une tête d'épingle. Aujourd'hui, la machine de Planté se trouve reproduite (et d'autres de systèmes variés) de manière à fournir trois, cinq, dix millions de volts. On s'en sert pour *accélérer* les corpuscules de bombardement de désintégration. Mais personne n'a tenté de reproduire l'expérience de Planté.

Cependant quelle réussite ce serait si l'on pouvait reproduire *simplement* le phénomène naturel de la « foudre en boule », si souvent observé et décrit, dont un physicien, le professeur Mathias, a même donné une théorie (1) ! C'est bien là une stabilisation évidente de l'énergie électrique que nous offre la Nature. Nul doute que, reproduit au laboratoire, le phénomène naturel serait stabilisé tôt ou tard. L'énergie serait ainsi « condensée » dans ces globules terribles, flottant à la manière des bulles de savon et dont l'explosion équivaut, dit Mathias, *à celle d'un même volume de mélinite*. Il est certain que cette énergie fixée sans lourdes « plaques » de plomb, emmagasinée dans certaines conditions de *température* (Mathias) et de pression, représenterait bien *le plus léger des accumulateurs concevables*.

JEAN LABADIÉ.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 136, page 287

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

COMMENT L'AUTOMATICITÉ A CONQUIS LE MONDE MODERNE

Par Pierre DEVAUX

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Supprimer ou réduire le travail physique de l'homme, reproduire jusqu'à ses efforts intellectuels (ou au moins certains d'entre eux), tel est le but de l'automaticité. Qu'il s'agisse des machines industrielles pour la production ou la tranformation de l'énergie et l'élaboration des produits usinés, ou des innombrables mécanismes qui interviennent aujourd'hui, à chaque instant de notre vie courante, pour nous décharger des sujétions les plus fastidieuses, la diversité des applications de l'automaticité dans le monde moderne n'a d'égale que celle des combinaisons d'organes que les ressources de l'électromécanique permettent de varier pratiquement à l'infini. Economie, rendement, sécurité surtout justifient la diffusion de ces « automates » dont les plus simples sont si communément répandus que nous ne les remarquons même plus, tandis que d'autres, au contraire, constituent de véritables cerveaux, doués de la faculté d'adaptation à des événements inopinés (mais, bien entendu, prévus par leur constructeur). Ce sont des raisons économiques qui seules fixent aujourd'hui la limite des réalisations pratiques dans ce domaine où, grâce en particulier aux progrès de la cellule photoélectrique et de la télémécanique, aucun problème d'automatisation n'apparaît techniquement insoluble.

La notion d'*automaticité*, le sentiment de la présence invisible des *automates* dans notre vie quotidienne, s'imposent aujourd'hui aux moins attentifs.

Les feux verts et rouges des carrefours, le scintillant ballet des affiches lumineuses, les portillons du métro, l'« avance » de votre voiture, l'éclairage des souterrains routiers (1), réglé par un « œil électrique », autant de manifestations d'une vie logique, active, encore que bien étrangère à la nôtre.

Rentrez chez vous, de nouveaux automates vous accueillent. Le démarreur de l'ascenseur, prêt à vous conduire à l'étage désiré, se refuse à tirer les câbles si vous avez étourdiment laissé la porte ouverte ; un « robot » à thermostat enclenche à intervalles réguliers le moteur de votre frigorifique, tandis qu'une armée d'automates, dans votre cave, assure la délicate régulation du chauffage central au mazout. Décrochez votre téléphone, ce n'est plus une voie féminine qui vous répond, mais le ronflement impersonnel de l'*automatique* (2) ; formez le numéro « Odéon 84-00 » (je vous suppose à Paris) et la merveilleuse *horloge parlante* Esclangon vous répond de l'Observatoire (3). Vous trompez-vous de numéro? La voix mécanique d'un disque vous avertit de votre erreur. Voilà, n'est-il pas vrai, le comble de la civilisation « robotienne » : l'automate, le « robot » qui réprimande l'être humain !

Et certes, Vaucanson, Roentgen ou Jacquet-Droz, pères de ces merveilleuses poupées animées du XVIIIe siècle (1), qui dorment aujourd'hui dans nos musées, eussent été fort ébahis de cette conception nouvelle des *automates !* Les catalogues techniques délimitent du reste le sens précis de ces termes dans le langage industriel : est *automate* un *cerveau mécanique* tel qu'un ensemble de relais et de lampes amplificatrices commandé par un œil électrique ; est au contraire *robot* un appareil moteur commandé par le dispositif ci-dessus et chargé d'exécuter ses ordres par *asservissement*.

Ainsi, dans un avion à pilotage automatique, il existe un *automate* central à double gyroscope qui constitue le « cerveau » de l'installation et qui commande les gouvernes (2) : gouvernails, ailerons, par l'intermédiaire de *robots* oléo-pneumatiques. Robot, en russe, signifie « travailleur » ; l'étymologie ici est justifiée.

Qu'est-ce que l'automaticité ?

Il est paradoxal de constater que si le langage, en cet important domaine, est fixé pour quelques points de détail, il n'existe actuellement aucune classification de l'automaticité ; bien mieux, il est quasi impos-

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 217, page 46.
(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 119, page 355.
(3) Voir *La Science et la Vie*, n° 180, page 486.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 162, page 482.
(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 203, page 428.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sible de répondre à cette simple question :

— Qu'est-ce qu'un fonctionnement automatique?

Dirons-nous, par exemple, d'une horloge qu'elle est automatique? Non, sans doute, même si elle comporte un carillon, pas plus que d'un moteur d'automobile ; et cependant quels prodiges d'automaticité supposent l'échappement isochrone de l'horloge, le comptage des heures pour la sonnerie, la « distribution » du moteur !

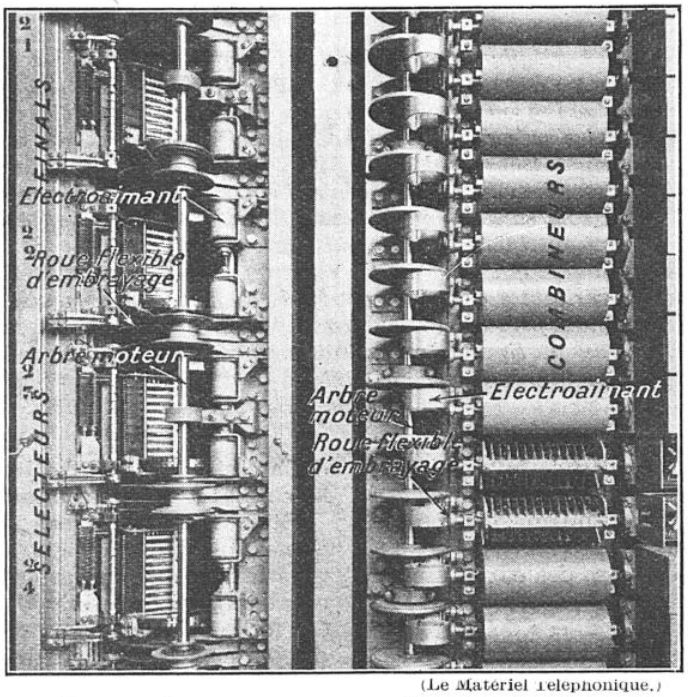
En revanche, nous classerons sans hésiter parmi les automates, les machines à composer *linotypes* qui remettent méthodiquement les matrices alphabétiques dans leurs casiers. Dans le domaine des *machines à calculer*, où tout est strictement automatique, depuis la fonction additive ou multiplicatrice jusqu'au report des retenues décimales, l'usage a cependant réservé le nom d'automatiques à certains modèles déterminés, tels que les machines à diviser ou encore les machines multiplicatrices à inscription totale.

Efforçons-nous donc de dégager les idées simples ou complexes qu'enferme pour nous cette notion importante d'automaticité.

L'automate est supérieur à l'homme

Premier caractère incontestable : dans tout mécanisme automatique, il y a quelque chose *qui marche tout seul* ; toutefois, une certaine *complexité* est également requise : il faut déjà une certaine culture pour comprendre qu'un *régulateur à force centrifuge*, composé de cinq ou six pièces mobiles, constitue un dispositif automatique.

Précisons cette notion de complexité. Voici un *métier à tisser*, machine « indépendante » où les fonctions classiques : oscillation des fils de chaîne, circulation alternée de la navette, avancement de l'étoffe, s'effectuent mécaniquement. Nous hésiterons pourtant à donner le qualificatif d'automatique à cette machine complexe, tandis que nous l'attribuerons sans hésiter au *métier Jacquard*, fonctionnant à l'aide de *cartons perforés* et où nous voyons clairement la substitution de la mécanique à l'initiative humaine.



(Le Matériel Telephonique.)

FIG. 1. — MÉCANISME PARTIEL D'UN CENTRAL DE TÉLÉPHONE AUTOMATIQUE, SYSTÈME « ROTARY »

Le principe du « rotary » est de s'embrayer, au moyen d'un engrenage souple, légèrement fléchi par l'armature d'un électro-aimant, avec une roue à vitesse constante entraînée par un moteur synchrone ; ainsi, une émission de courant de durée strictement déterminée, produite par le cadran rotatif du poste d'abonné, se traduit par un angle de rotation également bien déterminé du rotor porte-balais. Ce principe est utilisé, avec des variantes, à tous les « étages » successifs d'appel et de sélection que comporte un grand central moderne. On voit ici un tableau des sélecteurs finals *chargés de rechercher les lignes correspondant aux numéros des abonnés demandés.*

Un certain *anthropomorphisme* ne messied donc point à l'automaticité ; voilà pourquoi une horloge n'est point qualifiée d'automatique : c'est qu'il est inimaginable que son rôle puisse être dévolu à un opérateur humain. Même observation pour une distribution de moteur ou de locomotive, si perfectionnée soit-elle, car elle ne saurait être opérée à la main, au lieu que l'« avance automatique », basée sur la force centrifuge, remplace l'action du conducteur sur une manette.

De là cette impression de « super-automaticité » que donnent les automates qui reproduisent les fonctions supérieures de l'homme : la *vue*, grâce à un « œil électrique »,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'*analyse combinatoire* ou le *calcul* proprement dit, grâce à des trains de roues dentées, les plus délicates perceptions d'orientation grâce à des *gyroscopes*.

Dans cette voie, faut-il rappeler que les « êtres mécaniques » dépassent parfois les facultés humaines? Tantôt il s'agit d'une différence de *degré* : quel conducteur de machine-outil, par exemple, serait assez prompt et assez précis pour lutter avec les

permettra précisément de délimiter un premier grand domaine à l'intérieur de l'automaticité :

— Est automatique un mécanisme capable d'exécuter toute une série d'opérations en l'absence du conducteur humain, celui-ci ayant donné des ordres réduits au strict minimum.

En voici un exemple simple : les *panneaux de démarrage électrique à temporisation*. Pour

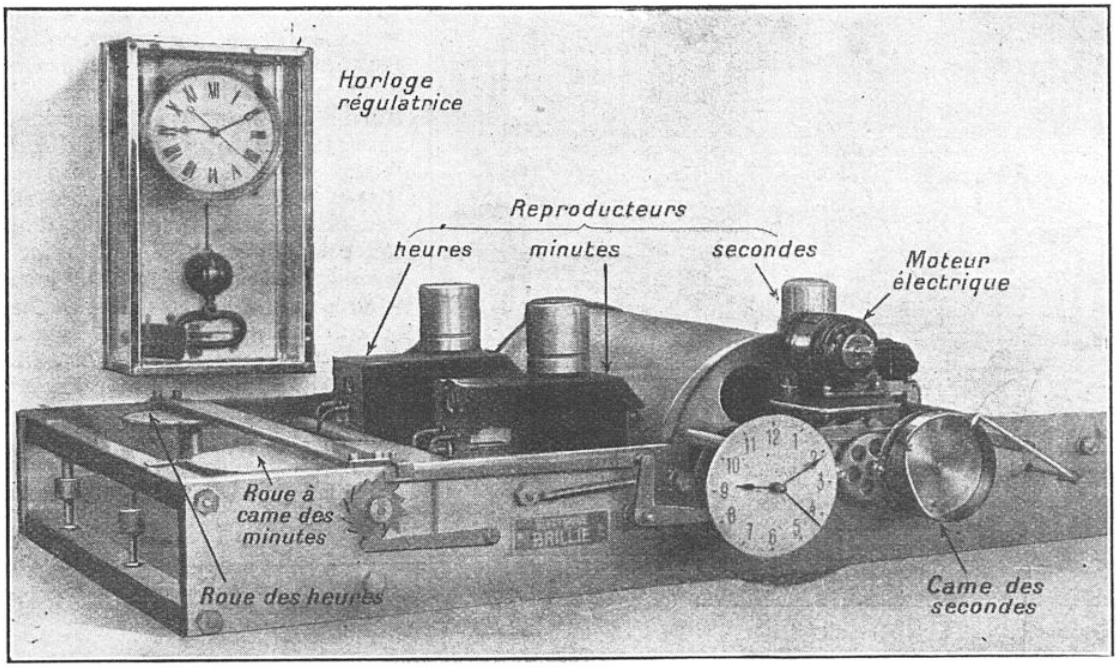


FIG. 2. — VOICI LA CÉLÈBRE « HORLOGE PARLANTE » DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Cette horloge, dont la création est due à M. Esclangon, donne l'heure par téléphone. Elle fonctionne à l'aide de films sonores *« lus » en réflexion par des cellules photoélectriques contenues dans les « reproducteurs » ; ces reproducteurs (énoncé des heures, des minutes et des secondes) sont déplacés par des cames le long du cylindre de gros diamètre sur lequel sont enroulés à demeure les films.*

tours automatiques de décolletage, avec le correcteur automatique des machines à tailler les engrenages de navires, qui intervient dès que l'erreur de taille atteint 1/100 de mm? Tantôt il s'agit d'une différence de *nature* au profit de l'automate : ainsi, les *intégrateurs* mathématiques, qui sont passés aujourd'hui du laboratoire au pupitre des centrales d'électricité, possèdent la propriété de remonter directement à la *fonction primitive*, alors que cette faculté est absolument refusée au cerveau humain.

Temporisations électromécaniques

Risquons maintenant une définition, bien évidemment incomplète, mais qui nous

faire démarrer un moteur électrique, on sait qu'il est nécessaire, sauf pour les très petits modèles, d'utiliser des *résistances* destinées à modérer l'« appel de courant » ; les résistances sont introduites dans le circuit de l'induit pour les moteurs à courant continu, dans le circuit du stator ou du rotor pour les moteurs à courant alternatif. Ces derniers se prêtent en outre à des combinaisons de circuits, telles que le classique couplage *étoile-triangle* d'alimentation statorique des moteurs asynchrones triphasés à cage d'écureuil.

Insérer, puis retirer progressivement des résistances à l'aide d'une manette, c'est là une sujétion dont il est logique de décharger

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

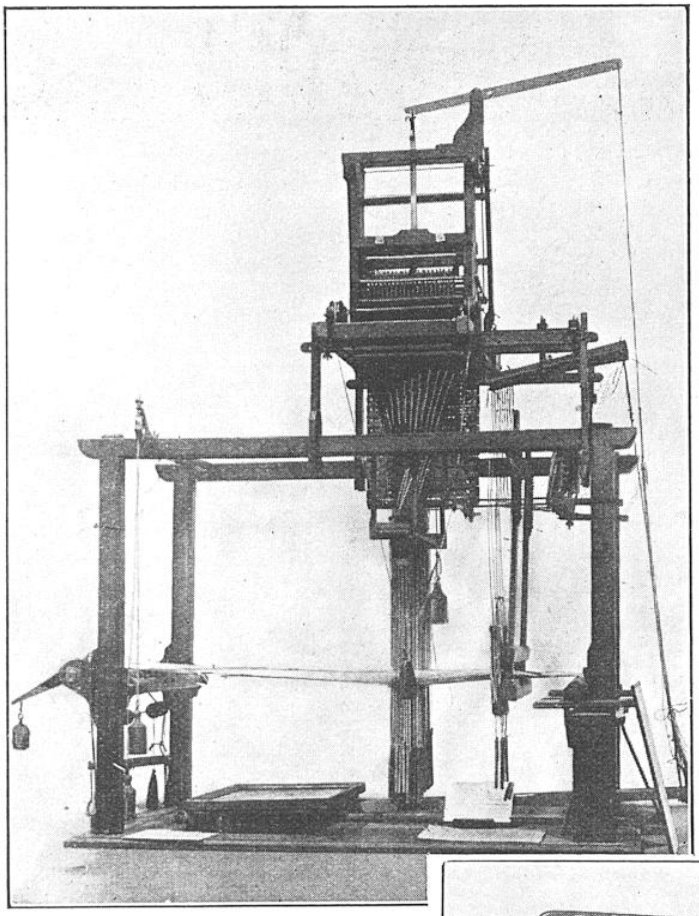


FIG. 3. — PREMIER MODÈLE DE MÉTIER AUTOMATIQUE DE JACQUARD, DÉPOSÉ AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS

Chaque fil (ou groupe de fils) horizontal, dont l'ensemble forme la « chaîne », passe dans un œillet suspendu à un cordon vertical appelé « lisse » ; ce cordon s'attache à un crochet dont la tige peut s'enfoncer dans les trous d'un carton perforé placé à la partie supérieure du métier. A chaque « coup » de la machine, le carton vient appuyer sur les tiges des crochets, forçant à descendre tous ces crochets, à l'exception de ceux en face desquels le carton présente un trou ; à ce moment, l'ouvrier lance la navette, qui passe entre les deux nappes ainsi séparées des fils de chaîne, laissant derrière elle un fil de « trame ». Les opérations se continuent dans le même ordre, le bloc rotatif qui porte les cartons perforés pivotant d'un quart de tour à chaque opération, ce qui permet de varier indéfiniment le dessin du tissage exécuté par la machine.

l'opérateur humain grâce à un « panneau automatique ». Celui-ci a été réalisé industriellement par l'emploi de relais à électroaimants ou *contacteurs*.

Supposons qu'il s'agisse de démarrer un moteur asynchrone à rotor bobiné (moteur à bagues). Dès que l'opérateur appuie sur le bouton de commande, seule intervention humaine qui suffit à mettre en train toute la série des manœuvres automatiques, l'interrupteur du courant statorique s'enclenche, en même temps que s'arme une *minuterie* à moulinet, échappement oscillant ou disque freiné magnétiquement ; au bout d'un temps x, cette minuterie envoie un courant de commande dans un contacteur n° 2, qui court-circuite une partie des résistances insérées dans le circuit des bagues et qui arme simultanément une seconde minuterie. Celle-ci agira à son tour pour commander un troisième contacteur et ainsi de suite, en sorte que le démarrage pourra être opéré en autant d'étapes que le constructeur l'aura jugé nécessaire.

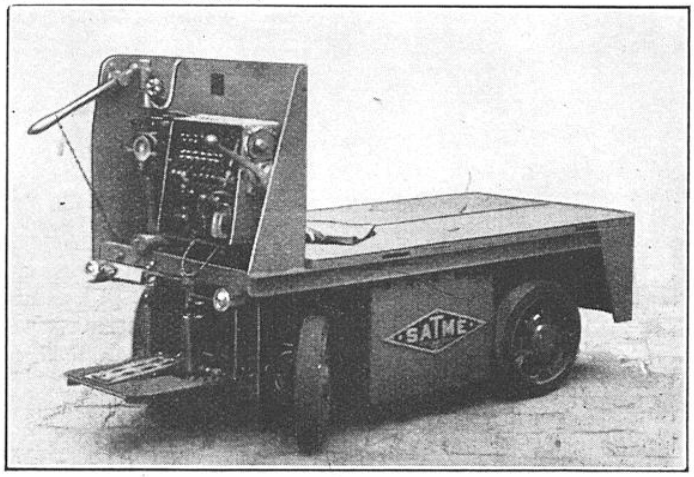


FIG. 4. — CHARIOT ÉLECTRIQUE « ENDOMÉCANIQUE » DE M. FRANÇOIS DUSSAUD, PILOTÉ PAR UN AUTOMATE A « MÉMOIRE » EN PAPIER PERFORÉ

On aperçoit, dans le boîtier ouvert, le rouleau de papier perforé analogue à celui des « journaux lumineux » et les relais commandant les moteurs. A l'aide de deux « mémoires » distinctes, automatiquement substituées l'une à l'autre par le jeu d'un pare-choc ou d'une cellule photoélectrique, l'inventeur a pu obtenir qu'un canot endomécanique contournât des obstacles imprévus.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les ressources de l'électromécanique (1) permettent de varier à l'infini ce cas simple. C'est ainsi que dans les appareils de levage, grues et ponts roulants, on peut prévoir le freinage automatique par contre-courant, marche en génératrice, ou fonctionnement hypersynchrone ; pour la conduite des laminoirs réversibles, on dispose de plusieurs automates judicieusement interconnectés et qui agissent sur les circuits du moteur principal, les excitations du groupe d'alimentation et les excitations des excitatrices dudit groupe.

Il est juste d'ajouter que dans ces très grosses installations, la temporisation se produit d'elle-même par l'*inertie magnétique* des machines; celle-ci doit même être partiellement compensée, ce qui n'a rien de surprenant si l'on songe que l'on a affaire à des puissances industrielles considérables, de l'ordre de 25 000 ch, avec inversion de marches de 2 secondes en 2 secondes.

(1) V. *La Science et la Vie*, n° 230, page 149.

« Prudence » et verrouillages

Avec les *temporisations*, nous venons de discerner chez les automates électromécaniques une faculté analogue à la *patience* humaine. Nous trouverions également des manifestations de *prudence* avec ces *verrouillages* qui interdisent des manœuvres dangereuses ou contradictoires ; ainsi, un moteur ne doit pas pouvoir être démarré directement à fond, sollicité simultanément en marche avant et marche arrière, démarré et freiné, etc. Les enclenchements et verrouillages utilisés peuvent être *mécaniques*, un contacteur introduisant un pène de condamnation qui bloque les autres, ou *électriques*, le contacteur n° 1 coupant le circuit de commande des autres contacteurs.

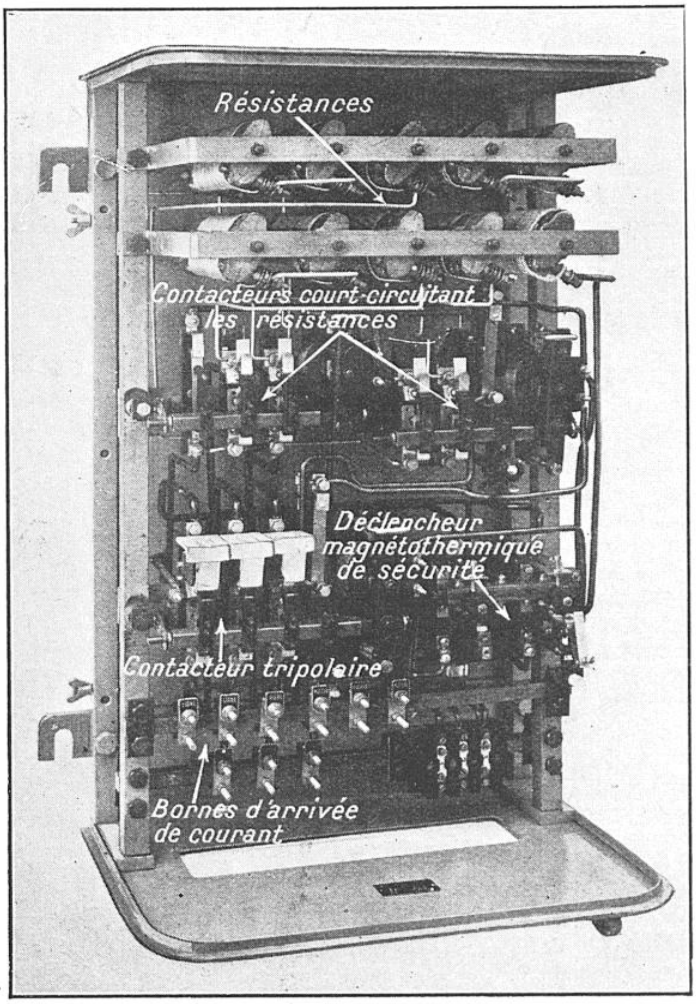


FIG. 5. — ENSEMBLE D'UN PANNEAU DE DÉMARRAGE AUTOMATIQUE EN TROIS TEMPS POUR MOTEUR ASYNCHRONE DE 10 CH SOUS 220 VOLTS TRIPHASÉS

La mise en marche est commandée par un bouton manuel ou par un dispositif automatique : flotteur, thermostat, manostat, horloge, etc. Un courant de commande se trouve ainsi envoyé dans la bobine d'attraction du contacteur statorique *(à gauche) qui envoie le courant de ligne dans les bobines fixes du moteur ; celui-ci démarre en marche lente, les balais qui prennent le courant induit aux bagues du rotor débitant sur les résistances visibles à la partie supérieure. En se fermant, le contacteur statorique a armé une minuterie qui excite, au bout d'un temps déterminé, un premier* contacteur rotorique *chargé de court-circuiter une partie des résistances ; une seconde minuterie intervient ensuite pour court-circuiter le reste des résistances, le moteur démarrant ainsi en trois temps « rigides ». Le* déclencheur magnétothermique *coupe le courant en cas de surintensité brusque ou progressive du courant absorbé par le moteur* (Sitel).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

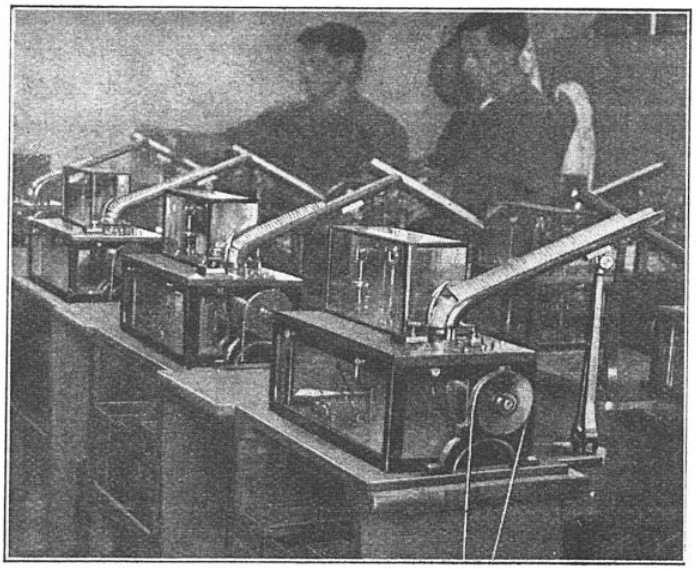


FIG. 6. — BALANCES AUTOMATIQUES POUR LE TRIAGE DES PIÈCES, A L'HOTEL DES MONNAIES DE PARIS

Les pièces se trouvent séparées en bonnes, légères et lourdes. (Voir le schéma ci-contre figure 7.)

Dans les tableaux de *poussoirs*, tels que les claviers à boutons des machines à calculer, on peut obtenir que le premier bouton sollicité s'enfonce seul, à l'exclusion des autres, ce qui empêche les fausses manœuvres. A cet effet, ces boutons sont munis de queues qui s'enfoncent transversalement à travers une rangée de billes en acier ; ces billes possèdent un jeu total légèrement supérieur à l'épaisseur de l'une des queues ou *plongeoirs*, mais inférieur à la somme des épaisseurs de deux plongeoirs. Cette même condition peut être réalisée très simplement sous forme électrique en combinant des circuits de relais.

Chariots sans conducteur

Dans les automaticités *unilinéaires* que nous examinons, la « variable » qui règle tout le fonctionnement peut être autre que le temps.

M. François Dussaud a créé de merveilleux chariots électriques, conduits par une *mémoire* intérieure en papier perforé, qui démarrent, avancent, virent, klaxonnent, reculent, en un mot exécutent toutes les manœuvres convenables et cela suivant un parcours rigoureusement déterminé sur plan ; la bande de papier perforé, passant entre des contacts métalliques selon le classique principe du *journal lumineux* (1), agit sur des relais qui commandent les différents moteurs.

Le système a été également appliqué à un canot naviguant sur le lac de Genève et il serait possible de l'appliquer à des torpilles, qui suivraient l'itinéraire sinueux d'un chenal, à des tanks,

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 128, page 121.

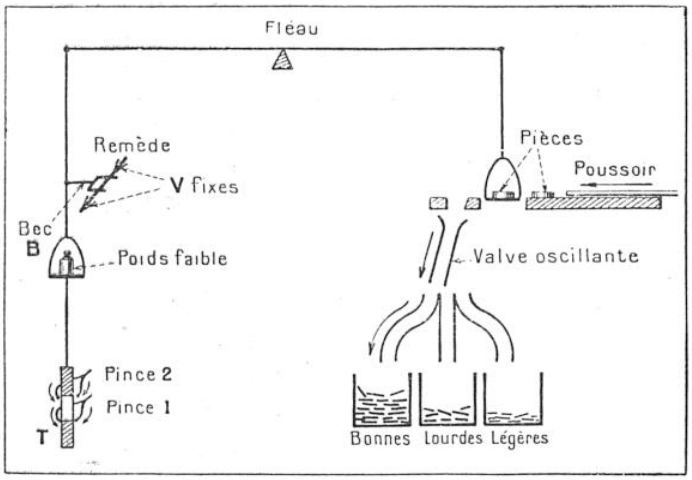


FIG. 7. — SCHÉMA D'UNE DES BALANCES AUTOMATIQUES A TRIER LES MONNAIES REPRÉSENTÉES CI-DESSUS

Les pièces sont amenées une à une par un poussoir sur le plateau de droite ; le plateau de gauche porte un poids « faible », égal au poids « droit » des pièces diminué de la « tolérance légale en dessous ». Le bec B *peut venir soulever un morceau de fil métallique appelé « remède », posé sur deux* V *fixes et dont le poids est égal à la somme des tolérances « en dessus » et « en dessous ». Si la pièce possède un poids compris entre les tolérances, le fléau reste immobile ; les* pinces à contact 1 *et* 2, *mues par des cames, viennent pincer la partie isolante (blanche) de la tige* T : *aucun courant n'est par suite envoyé dans les électroaimants de commande (non représentés sur la figure) de la goulotte oscillante ou « valve », en sorte que la pièce, continuant à avancer, vient tomber dans le panier des « bonnes ». Si la pièce est trop lourde, elle entraîne le fléau malgré la surcharge du « remède » et la pince* 1 *commande le pivotement de la valve vers le panier des « lourdes » ; inversement, si la pièce est trop légère, elle est soulevée par le poids faible, la tige* T *descend et la pince* 2 *commande l'orientation de la valve oscillante vers le panier réservé aux « légères ».*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à des avions chargés de missions lointaines. C'est toute une science nouvelle, l'*endomécanique*, une « automaticité à long programme » qui exécute ses manœuvres non en fonction du temps qui passe, mais du chemin parcouru.

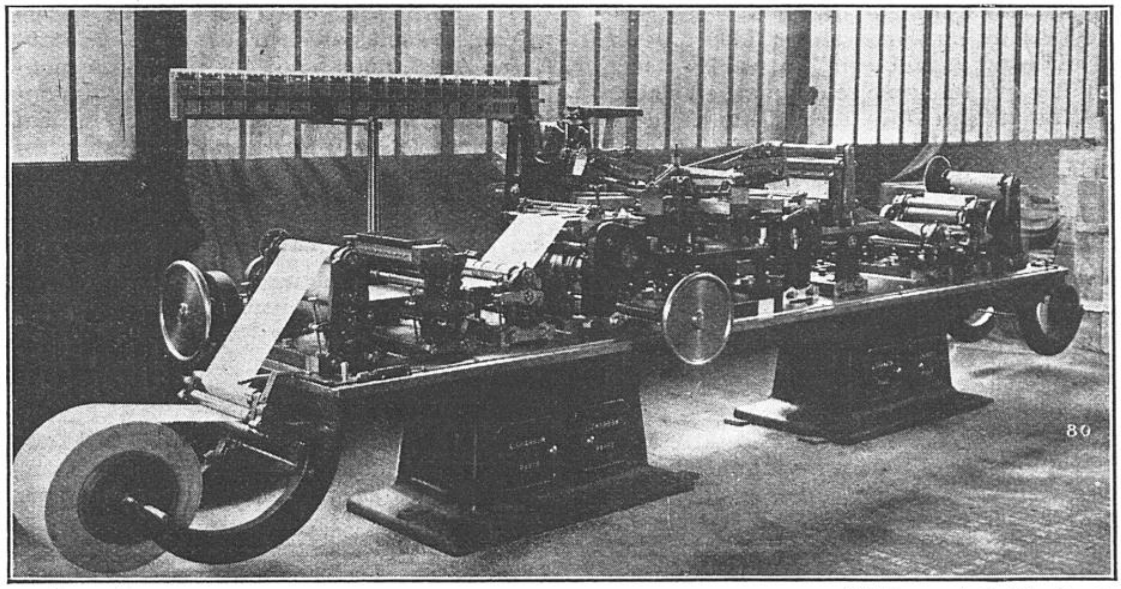
Statistique et joueur d'échecs

Dans l'industrie cinématographique, il existe des machines appelées *tireuses*, chargées de transporter l'image du film négatif sur positif. C'est l'équivalent du classique châssis-presse d'amateur utilisé pour tirer les épreuves. Les différentes parties du film négatif étant d'opacité très inégale, il faut forcer ou diminuer, suivant les cas, la lumière de la lampe de tirage ; un « œil électrique », assurément, pourrait être chargé d'apprécier cette opacité, mais ici interviennent des considérations artistiques qui demeurent purement humaines.

On procède de la façon suivante. Un opérateur commence par « visualiser » (nous dirons plus simplement par *examiner*) le film négatif, en marquant une entaille dans le bord dudit film aux points où il convient que la lumière change ; il prépare, d'autre part, un film auxiliaire de commande, très court, où chaque image est remplacée par une teinte uniforme plus ou moins foncée.

La tireuse étant en marche, chaque fois qu'une encoche se présente, un déclenchement fait avancer d'une image le film de commande ; celui-ci passe devant un œil électrique qui agit par relais sur le réglage de la lampe. Voilà un exemple d'*automaticité sur registre*, où le temps n'a rien à voir.

Les *machines à statistiques*, chefs-d'œuvre du calcul mécanique, nous offrent un cas remarquable d'*automaticité à programme variable*. On sait que dans cette méthode, encore récente, les différentes données sont inscrites sur des fiches de carton sous la forme de perforations diversement placées.



(Etablissements L. Chambon.)

FIG. 8. — MACHINE A FABRIQUER LES ÉTUIS EN CARTON

Cette machine fabrique les étuis doublés papier au dedans ou au dehors. Elle prend le papier et le carton en bobines, exécute automatiquement les découpes, les pliages, le collage et fournit les étuis terminés.

Les fiches passent dans une *trieuse*, opérant par contacts électriques ou par « tâteurs » mécaniques, qui les répartit automatiquement ; ainsi, dans une maison de vente à succursales, on pourra grouper les fiches par vendeurs, par villes, par succursales, par nature de marchandises, tirer les stocks, déterminer les approvisionnements nécessaires. Une seconde machine, appelée *tabulatrice*, reçoit les paquets de fiches ainsi triées et imprime les données et les totaux en clair.

A ces machines « intelligentes » qui dépassent considérablement, pour la rapidité, la sécurité, la souplesse, les possibilités des opérateurs humains, il convient d'adjoindre le célèbre *Joueur d'Echecs* de Torres y Quevedo (1). Cet appareil, à la fois mécanique et électrique, *gagne* toutes les parties qu'il

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 162, page 488.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

joue contre un partenaire humain, au point qu'il est nécessaire de le dérégler légèrement pour rendre quelques chances au joueur en chair et en os ! Hâtons-nous d'ajouter qu'il s'agit, en l'espèce, de la « partie des Huit Reines », qui se trouve entièrement déterminée lorsqu'on donne la position des pièces.

Automates à « mémoires » multiples

Jusqu'ici, l'automaticité nous présente à peu près l'aspect de la fatalité antique : un enchaînement rigoureux de mécanismes d'où l'*imprévu* est exclu. Lorsque certains économistes affirment que l'ouvrier « taylorisé » est un *automate*, croyez bien qu'ils ne lui adressent pas un compliment ! Ils veulent signifier que l'homme se déprécie en s'abaissant au niveau d'un mécanisme dénué de ressources intellectuelles, d'*initiative*.

Or, cette initiative, nous allons précisément la trouver dans un second domaine de l'automaticité : celui des *automates à décisions variables* ou *automates sélecteurs*, capables de s'adapter aux événements *inopinés*.

Voici, par exemple, un canot automatique de M. François Dussaud, devant lequel on a placé un obstacle. A peine le pare-choc, disposé à l'avant du canot a-t-il heurté ledit obstacle, que l'on voit le canot battre en arrière, virer, contourner l'obstacle à distance prudente et reprendre sa route !

Ce résultat a été obtenu très simplement en dotant le canot de *deux* « mémoires » en papier perforé, dont la seconde est strictement réservée à la manœuvre d'évitement. Quand le pare-choc est heurté, la mémoire nº 2 se trouve substituée momentanément à la mémoire nº 1, qui retrouvera sa primauté à la fin de la manœuvre.

Voilà un exemple d'automaticité « fourchue », *bilinéaire* ; mais on peut compliquer les possibilités. C'est ainsi que les disjoncteurs des centrales hydro-électriques automatiques se referment trois fois de suite, de 50 secondes en 50 secondes après une disjonction ; si l'avarie dure toujours, le disjoncteur reste définitivement ouvert et l'alarme est transmise par téléphone.

Aux panneaux de démarrage *temporisés* que nous avons examinés, on préfère, pour les grosses puissances, des relais dont l'enclenchement est subordonné à l'accroissement de la force contre-électromotrice du moteur contrôlé ; c'est donc le moteur lui-même qui autorise le fonctionnement des contacteurs : cette disposition est indispensable pour la *traction*. Un système analogue est celui des *coupleurs centrifuges* utilisés dans certains rotors bobinés de moteurs asynchrones ; le coupleur intervient en fonction de la vitesse, donc « tient compte » des conditions du démarrage.

Une solution fréquente consiste à utiliser un panneau temporisé en lui adjoignant des *déclencheurs magnétothermiques à bilame* dilatable. Ceux-ci représentent l'élément « attentif » qui surveille le fonctionnement du moteur et corrige la rigidité de l'automaticité uniquement chronométrique.

Notons ce fait curieux que, pour que nous reconnaissions à un mécanisme ce caractère d'automaticité à décisions variables, il faut que l'*appréciation* des circonstances par le mécanisme soit basée sur une *grandeur auxiliaire*. Ainsi, nous ne disons pas qu'un moulinet à ailettes est automatique, car il s'oppose directement aux emballements, au lieu qu'un *régulateur à force centrifuge* est automatique parce qu'il s'appuie sur une notion étrangère, introduite par le constructeur.

L' « homme mort »

Enumérons quelques cas d'*automaticité sélectrice* particulièrement typiques.

Le mécanisme d'*homme mort*, système Bianchi, utilisé sur les locomotives électriques, comporte une plate-forme qui oscille quand elle est chargée par le poids « vivant » du conducteur. Que celui-ci ait une défaillance durant plus de 18 secondes, et le signal d'alarme est mis en action, le courant coupé, les freins sont serrés.

Les *régulateurs* de température, de vitesse, de pression, les appareils à « œil électrique », les disjoncteurs, les stabilisateurs d'avions à gyroscopes appartiennent à cette catégorie.

A côté de cet imprévu *extérieur*, il existe parfois un « hasard intérieur » dont la machine doit tenir compte. Ainsi, quand vous pressez le bouton du troisième étage, pour appeler une cabine d'ascenseur, le panneau automatique doit lancer le moteur dans un sens ou dans l'autre, suivant que la cabine se trouve au-dessus ou au-dessous de cet étage. De même, les machines à calculer actuelles n'opèrent pas la division par appréciation du reste, mais « au hasard » : le diviseur est retranché systématiquement du dividende jusqu'à ce que le reste devienne négatif. La machine *se corrige* alors en revenant d'un tour en arrière.

Des machines qui se trompent, des machines qui se corrigent ! Avouons que l'aspect « humain » est ici saisissant et que plus les automates se perfectionnent, plus leur étrange « intelligence » mécanique se rapproche de notre propre pensée.

PIERRE DEVAUX.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IL Y A CINQUANTE ANS, HERTZ DÉCOUVRAIT LES ONDES DE LA RADIOÉLECTRICITÉ

Par Louis HOULLEVIGUE

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE MARSEILLE

Les expériences mémorables du physicien allemand Henrich-Rudolph Hertz peuvent être considérées comme le point de départ de toute la radioélectricité. C'est lui, en effet, qui, le premier, détecta et mesura les ondes électromagnétiques se propageant à travers l'espace, ondes dont l'existence avait bien été prédite par le physicien et mathématicien anglais Maxwell, mais que personne n'avait encore pu observer. Cette découverte fondamentale, qui, sur le plan scientifique, réalisait la synthèse des phénomènes lumineux et électriques, valut immédiatement à Hertz, âgé seulement de trente et un ans, la gloire la plus légitime, sans qu'il se soit douté cependant un seul instant que ses recherches, dénuées en apparence de toute utilité pratique, constituaient la première et décisive étape vers la création du formidable réseau de télécommunications qui, aujourd'hui — après seulement cinquante années — couvre le monde entier : radiotélégraphie, radiotéléphonie, radiodiffusion, télévision, radioguidage, radiophares, etc.

Ce qu'on savait et ce qu'on croyait il y a cinquante ans

Il y a un demi-siècle, la science paraissait sûre d'elle-même ; des hommes comme William Thomson, Helmholtz, Pasteur, Berthelot, l'avaient élevée si haut qu'elle pouvait se croire à son apogée ; la thermodynamique fournissait, sinon une explication, du moins un cadre aux acquisitions du passé, comme aux découvertes de l'avenir. Les « Grands Principes » n'étaient pas discutés. L'hypothèse atomique était encore un prétexte à calcul pour les esprits aventureux. Personne ne pouvait prévoir l'avalanche de découvertes qui allait faire éclater le majestueux édifice.

En électricité, comme dans les autres branches des sciences, on se croyait en possession des vérités essentielles, acquises par Volta, Coulomb, Ampère, Faraday : l'électricité ne se meut que dans les conducteurs ; elle ne peut franchir ni le vide, ni les diélectriques ; il n'existe que des courants électriques fermés ; les attractions et les répulsions électriques peuvent seules se transmettre dans l'espace, et d'une manière instantanée, c'est-à-dire avec une vitesse infinie, à la manière de la gravitation. En 1843, Faraday a découvert l'induction, et constaté qu'un courant qui commence ou finit, ou un aimant qui se déplace, peuvent provoquer la naissance d'un courant induit dans un circuit conducteur voisin, et cette action qui se propage à distance, on admet encore qu'elle se propage avec une vitesse infinie. On n'ignore pas que l'isolant ou diélectrique interposé entre les conducteurs joue un certain rôle, caractérisé par son pouvoir inducteur spécifique, mais c'est un fait sur lequel on insiste peu ; on continue à croire que l'énergie électrique est contenue dans les corps électrisés ou dans les courants ; ceux-ci ne se propagent que dans les conducteurs, comme l'eau dans un tuyau, et le courant continu en est la forme la plus intéressante ; on ne s'occupe du courant alternatif que pour le redresser et, en conséquence de toutes ces idées, la télégraphie par fils apparaît comme la seule manière pratique de transmettre les signaux.

Telle était l'opinion courante parmi les physiciens. Pourtant, dès 1864, l'esprit profond de Clark Maxwell s'attachait à tirer au clair le rôle des diélectriques et, de proche en proche, par une série d'hypothèses audacieuses et parfois contradictoires, il édifiait cette œuvre géniale, mais souvent confuse et incohérente, qui s'appelle la *Théorie électromagnétique de la lumière*. Maxwell y attribuait aux diélectriques un rôle capital dans la propagation des phénomènes électriques : de même que les conducteurs se comportent comme un milieu visqueux, qui laisse passer le flux électrique en usant son énergie par l'effet Joule, le vide et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



FIG. 1. — J.-CLARK MAXWELL (1831-1879)

Savant anglais qui a établi la théorie électromagnétique de la lumière et celle de la propagation des ondes dans les milieux isolants à la vitesse de la lumière (300 000 km/s dans le vide).

les diélectriques se comportent comme des milieux élastiques, qui se déforment en résistant; ainsi, lorsqu'on crée dans l'espace un champ électrique, le milieu isolant se comporte comme un ressort tendu et, si ce champ électrique est alternatif, ces tensions en sens inverse se traduisent, dans le sein du diélectrique, par des vibrations de même période; chacune de ces vibrations correspond à des forces électriques et magnétiques qui se propagent par ondes et avec une vitesse non infinie, égale, dans le vide, à celle de la lumière. Enfin, poussant plus loin encore, Maxwell explique la lumière elle-même par la même cause ; il considère le corps lumineux comme un oscillateur électrique, dont les vibrations se propagent par induction à travers le diélectrique.

Cette gigantesque synthèse fut accueillie par les physiciens avec une indifférence à peine bienveillante ; en ce temps, la théorie élastique de Fresnel semblait expliquer tous les phénomènes de l'optique, et on n'éprouvait pas le besoin d'y substituer une explication différente et plus compliquée. Pourtant, en dépit de certaines incohérences, la théorie électromagnétique apparaissait déjà comme une imposante synthèse, réunissant dans une même explication les phénomènes électriques et lumineux; en outre, elle suggérait un certain nombre de vérifications expérimentales qui, au cours de travaux ultérieurs, se trouvèrent, dans l'ensemble, satisfaites.

Ces succès, quoique encore partiels, ne pouvaient pas manquer d'impressionner l'esprit des physiciens ; leur attention était alertée, mais leur opinion restait hésitante. C'est alors que se produisit l'intervention décisive de Hertz.

Les expériences de Hertz

Heinrich-Rudolf Hertz est né à Hambourg, en 1857, et mort à Bonn en 1894. Ce savant, a écrit H. Poincaré, dont la vie fut si courte et si bien remplie, après s'être préparé à la profession d'architecte, y renonça en 1878, pour s'adonner à la physique, qu'il a si admirablement servie. Helmholtz, dont il fut d'abord l'élève, se l'attacha comme assistant; reçu docteur en philosophie en 1880, il fut d'abord Privat Docent à l'Université de Kiel, puis professeur au collège technique de Carlsruhe. C'est là qu'il accomplit les travaux qui ont immortalisé son nom et passa en quelques mois de l'obscurité à la gloire. Appelé, peu de temps après, à l'Université de Bonn pour y remplacer le grand physicien Clausius, il eut à peine le temps de prendre possession de son laboratoire ; la maladie s'empara de lui et le terrassa, âgé de trente-six ans ; il nous laissait cependant, outre sa géniale découverte, des expériences d'une importance capitale sur les rayons cathodiques, et un livre très original et très profond sur la philosophie de la mécanique.

La lecture de l'œuvre de Maxwell, la connaissance de certaines vérifications partielles avaient amené Hertz à s'occuper de ce grand problème, et son clair génie y discerna aussitôt le point crucial, qui est de savoir si la vitesse de propagation des phénomènes électromagnétiques est finie ou infinie ; ce dilemme ne peut être tranché que par la méthode des interférences, utilisée en optique par Young et Fresnel; il faut donc produire des décharges électriques oscillantes, réaliser, grâce à elles, des ondes stationnaires et en



FIG. 2. — H.-RUDOLF HERTZ (1857-1894)

Savant allemand qui démontra et étudia expérimentalement la transmission à distance des ondes électromagnétiques auxquelles il a donné son nom.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mesurer la longueur d'onde, on verra que, de ces trois éléments du problème, le premier et le dernier ont donné lieu aux plus grandes difficultés.

On savait, à cette époque, par des expériences du physicien américain Henry, que la décharge d'un condensateur peut, dans certains cas, prendre le caractère oscillatoire amorti, et William Thomson avait établi, dès 1853, la fameuse formule $T = 2\pi\sqrt{CL}$, qui relie la période T de ces oscillations à la capacité C et à la self-induction L ; ces calculs avaient d'ailleurs été vérifiés par Feddersen qui, en 1859, avait décomposé par un miroir tournant l'étincelle de décharge et réalisé ainsi des fréquences oscillatoires voisines de 100 000 par seconde ; ni l'emploi d'alternateurs, ni celui d'interrupteurs rotatifs n'eussent permis alors d'obtenir des vibrations aussi brèves ; encore étaient-elles loin de l'être suffisamment pour les projets de Hertz, car la longueur d'onde correspondante, dans la théorie de Maxwell, était de 3 kilomètres, et sa mesure eût été, bien entendu, matériellement impossible dans un modeste laboratoire.

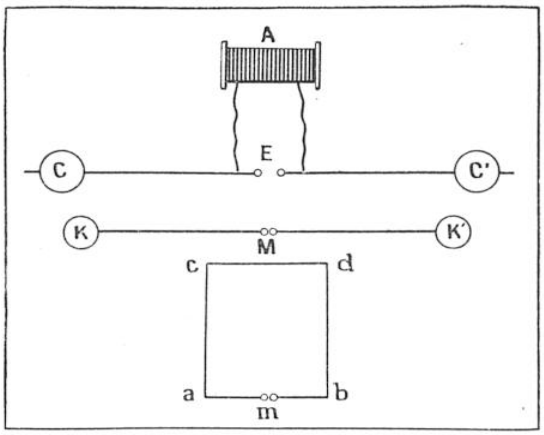


FIG. 3. — LES PREMIERS APPAREILS ÉMETTEUR ET RÉCEPTEUR DE HERTZ (1885)

A, *bobine de Ruhmkorff ;* C, C', *sphères chargées par la bobine. L'étincelle oscillante éclate en* E. K K', *récepteur ouvert linéaire ;* a b c d, *récepteur fermé. L'étincelle éclate entre les boules* M *ou* m *lorsque celle de l'émetteur jaillit en* E.

Il fallait donc obtenir des oscillations environ mille fois plus rapides ; Hertz y parvint par un moyen d'une extraordinaire simplicité, mais d'une audace géniale à une époque où on croyait qu'aucun mouvement électrique ne saurait se produire ailleurs que dans un circuit fermé ; l'oscillateur dont il fit usage, fonctionne, en effet, en circuit ouvert ; il se compose, en effet, de deux crayons en laiton, terminés par deux sphères du même alliage, et reliés aux deux bornes secondaires de la bobine de Ruhmkorff ; celle-ci charge, à un régime relativement lent, les deux sphères en signes contraires, jusqu'au moment où leur différence de potentiel devient supérieure à la distance explosive entre les deux crayons en regard ; à ce moment, elles se déchargent et égalisent leurs potentiels par une étincelle qui présente le caractère oscillant, jusqu'au moment où une nouvelle charge donnée par la bobine reproduit le même phénomène. L'excitateur est donc le siège d'une série de décharges oscillantes *très amorties*, dont la période, trop petite pour être mesurable, a pu être calculée approximativement par Hertz, au moyen de la formule de William Thomson ; encore commit-il une erreur de calcul, rectifiée plus tard par Poincaré, en donnant une valeur trop grande pour cette période.

Ayant ainsi acquis la possibilité de produire des ondulations électriques dont la période théorique était de quelques mètres, il s'agissait de mesurer cette grandeur, pour décider si elle était finie ou infinie ; du résultat devait dépendre le choix entre l'ancienne et la nouvelle hypothèse. Hertz imagina, à cet effet, un récepteur auquel on devait donner plus tard le nom d'*œil électrique* ; il se compose d'un circuit métallique, en forme de rectangle ou de circonférence, présentant une petite coupure de l'ordre du dixième de millimètre, qui pouvait être réglée à l'aide d'une vis micrométrique ; les courants induits qui se produisent dans ce circuit sont alors rendus visibles par l'étincelle qui jaillit entre les deux pointes du micromètre. La théorie de cet appareil était connue ; elle avait été donnée par Helmholtz ; de ce côté, par conséquent, Hertz n'eut à faire preuve que d'habileté expérimentale et technique; mais il ne laissa rien au hasard et modifia son appareil détecteur jusqu'au meilleur fonctionnement, qui se produit (nous le comprenons clairement aujourd'hui) lorsqu'il y a résonance, c'est-à-dire égalité des périodes vibratoires propres de l'émetteur et du récepteur.

Ayant ainsi préparé les voies, Hertz commença, dès 1887, ses expériences. Ses premiers essais portèrent sur l'étude du champ électrique entre deux longs fils conducteurs parallèles, une extrémité de chacun d'eux étant rattachée à un pôle de l'émetteur ; en promenant son œil électrique dans l'intervalle entre les deux fils, il cons-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tata une périodicité caractérisée par une alternance régulière entre les apparitions et les disparitions d'étincelles ; il admit que les maxima se produisaient aux ventres de vibration, la disparition ayant lieu aux nœuds ; la supposition inverse aurait d'ailleurs conduit au même résultat, en permettant toujours de mesurer l'intervalle ventre-nœud, égal au quart de la longueur d'onde. Les résultats, sans concorder avec ceux qu'indiquait la théorie de Maxwell (à cause de l'imprécision des mesures et des erreurs de calculs), montraient en tout cas que cette longueur d'onde n'était pas infinie. Cependant ils n'avaient pas encore un caractère décisif, car il existait des calculs, fondés sur les théories classiques, qui prévoyaient l'existence d'ondes stationnaires le long d'un fil conducteur dont une extrémité était soumise à une différence de potentiel alternative ; les théories de Maxwell s'appliquent à un milieu diélectrique ; c'est donc dans un tel milieu qu'il convient d'expérimenter.

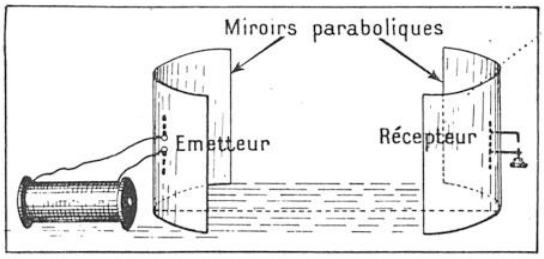


FIG. 4. — EXPÉRIENCE DES MIROIRS PARABOLIQUES DE HERTZ (1889)

L'éclateur-émetteur étant situé au foyer d'un miroir parabolique, et le récepteur au foyer de l'autre miroir, Hertz a pu reproduire « de véritables rayons de force électrique et répéter avec eux les expériences fondamentales auxquelles donnent lieu les rayons lumineux et calorifiques ».

Hertz s'y appliqua dès 1888, en réalisant dans son laboratoire de Carlsruhe l'expérience des deux miroirs, dont la figure 4 indique le montage : deux grands cylindres paraboliques, formés de lames de métal, sont placés en regard de telle sorte que leurs plans de symétrie coïncident. Sur l'axe focal de l'un d'eux, on a installé l'émetteur, relié lui-même au secondaire de la bobine de Ruhmkorff ; le récepteur est au foyer de l'autre miroir. L'expérience ainsi montée rappelle celle, bien connue, des miroirs ardents, par laquelle on rend manifestes la propagation et la réflexion de la chaleur rayonnante. « L'essai, dit Hertz, ne réussit pas, et la cause était simple : les dimensions du miroir n'étaient pas suffisantes pour la longueur d'onde employée, laquelle était de 4 à 5 m. Ayant reconnu plus tard que je pouvais reproduire les mêmes phénomènes avec des longueurs d'ondes au moins dix fois plus courtes, j'ai repris l'expérience des miroirs, laquelle a réussi au delà de mes espérances. J'ai pu reproduire de véritables rayons de force électrique et répéter avec eux les expériences fondamentales auxquelles donnent lieu les rayons lumineux et calorifiques. »

Hertz expose là, en résumé, des expériences qui occupèrent les années 1888 et 1889. Pour obtenir des vibrations plus rapides, c'est-à-dire de plus petite longueur d'onde, il imagina de supprimer les deux sphères métalliques qui terminaient les deux pôles de l'excitateur ; celui-ci fut alors réduit à deux crayons de laiton, ayant chacun 13 cm de long, entre lesquels éclate l'étincelle ; mais le calcul de la self-induction et de la capacité d'un pareil système présentait de graves difficultés, de telle sorte que la période des oscillations ne pouvait être que grossièrement évaluée ; mais l'essentiel, c'est que la concentration de l'énergie rayonnée par l'excitateur se fit très nettement sentir au foyer du second miroir, ce qui montrait bien que la réflexion s'était produite suivant les lois ordinaires de l'optique.

Un peu plus tard, Hertz reprit ses expériences, en remplaçant le second miroir parabolique par un réflecteur plan, formé d'une plaque de métal reliée au sol, et qu'on éloigna autant que le permettaient les dimensions de la salle d'expérience ; on le plaça même, avec succès, dans une salle voisine, la transmission des ondes électriques se faisant à travers une porte de bois. Dans ces conditions, en déplaçant l'œil électrique entre l'émetteur et le réflecteur, on put constater l'existence d'ondes stationnaires et mesurer l'internœud, d'où, connaissant la période des oscillations, on déduirait la vitesse de propagation ; les résultats se montrèrent assez différents des 300 000 km/s auxquels on pouvait s'attendre d'après la théorie de Maxwell ; ils étaient cependant du même ordre de grandeur, la différence s'expliquant par l'incertitude des calculs qui donnaient la fréquence de l'excitateur. Mais l'essentiel était acquis : on savait désormais que les ondes électromagnétiques ne se propagent pas instantanément, et cela condamnait définitivement les théories classiques.

A la suite de ces expériences, Hertz, ayant réalisé un pinceau électrique dirigé, n'eut pas beaucoup de peine pour montrer qu'il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suivait les mêmes lois qu'un pinceau de lumière ; il pouvait l'arrêter par des écrans métalliques, le réfléchir sur un miroir, formé toujours par une plaque de métal, et le diffracter par un prisme ; ce prisme, formé d'abord par un empilement de livres empruntés à la bibliothèque de Carlsruhe, puis par un bloc d'asphalte coulé dans une caisse prismatique en bois, donna lieu aux phénomènes de déviation et de dispersion qui caractérisent les radiations complexes. Par l'interposition d'un réseau formé par des fils métalliques parallèles, Hertz put montrer que le rayonnement électrique de l'émetteur était naturellement polarisé, c'est-à-dire que les vibrations se produisaient dans un plan privilégié ; enfin, et conformément à ce qu'on pouvait attendre, la diffraction, qui croît avec la longueur d'onde, est beaucoup plus marquée pour les ondes électriques que pour la lumière.

Le résultat de ces expériences se répandit dans le monde comme une traînée de poudre ; il produisit un revirement soudain de l'opinion officielle ; tous les physiciens reproduisirent les expériences de Hertz, ce qui ne présentait pas de difficultés exceptionnelles, et plusieurs parmi eux eurent occasion de faire des observations intéressantes ; il convient de faire une place à part aux résultats obtenus par deux savants génevois, MM. Sarrazin et de la Rive ; ayant mesuré la longueur de l'internœud (qui représente la demi-longueur d'onde) à l'aide de récepteurs circulaires (fig. 5) de diamètres variables, ils constatèrent que cet internœud variait avec les dimensions du récepteur, étant sensiblement égal à son diamètre. Ce fait, dûment constaté, donna lieu à différentes interprétations où on peut retrouver la marque de l'imprécision qui régnait alors dans l'esprit des physiciens. Aujourd'hui, l'explication nous paraît évidente : l'onde très amortie, émise par l'excitateur, agit par un véritable choc sur le récepteur, dont les vibrations sont beaucoup moins amorties, parce que la résistance électrique est faible (fig. 6) ; de même, un coup de marteau excite un timbre et le fait vibrer ; le récepteur enregistre donc ses propres vibrations, et non celles de l'émetteur ; les nœuds et les ventres correspondent aux positions où se produit l'interférence des ondes directe et réfléchie, et l'internœud dépend, dès lors, de la période vibratoire du récepteur.

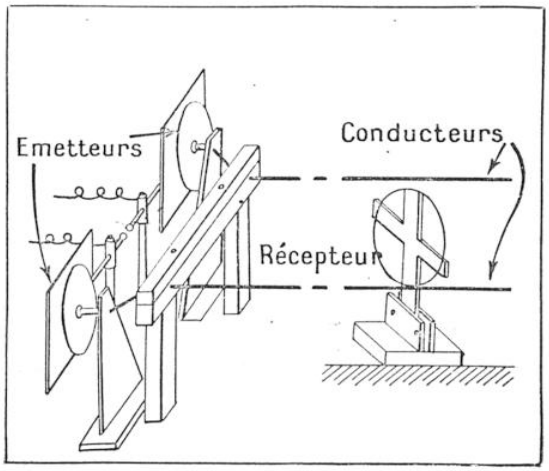


FIG. 5. — EXPÉRIENCE DE SARRASIN ET DE LA RIVE POUR L'ÉTUDE DU CHAMP ÉLECTRIQUE ENTRE DEUX CONDUCTEURS (1890)

Comme Hertz, les deux expérimentateurs constatèrent des maxima et des minima de champ (ventres et nœuds de vibrations dans les conducteurs), mais ils montrèrent, en outre, que leur position variait avec le résonateur récepteur.

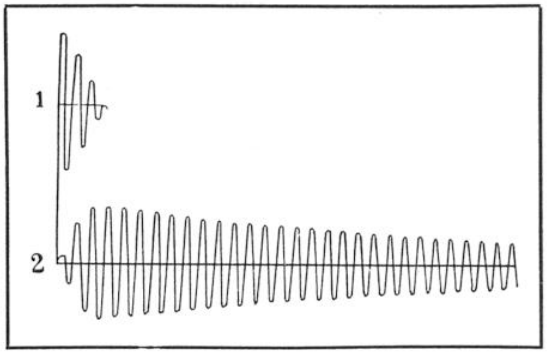


FIG. 6. — OSCILLATIONS TRÈS AMORTIES ET OSCILLATIONS PEU AMORTIES

Henri Poincaré a démontré en 1891 pourquoi l'onde émise par l'étincelle est très amortie (1), *tandis que l'oscillation est peu amortie dans le résonateur récepteur* (2). *En effet, la perte d'énergie est grande dans le circuit d'émission par suite de la résistance du milieu ambiant où se propage le rayonnement. Au contraire, la résistance électrique du résonateur est faible. Ainsi le résonateur continue à vibrer, avec sa période propre, après que l'excitateur est revenu au repos. Ceci explique la constatation de Sarrasin et de La Rive (fig. 5).*

Le développement des expériences de Hertz sur le plan scientifique

Les années qui suivirent immédiatement les mémorables expériences de Carlsruhe furent employées, dans tout le monde civilisé, à les reproduire à l'échelle où leur auteur les avait exécutées, en y introduisant des perfectionnements de détail qui permirent, entre autres résultats, de véri-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

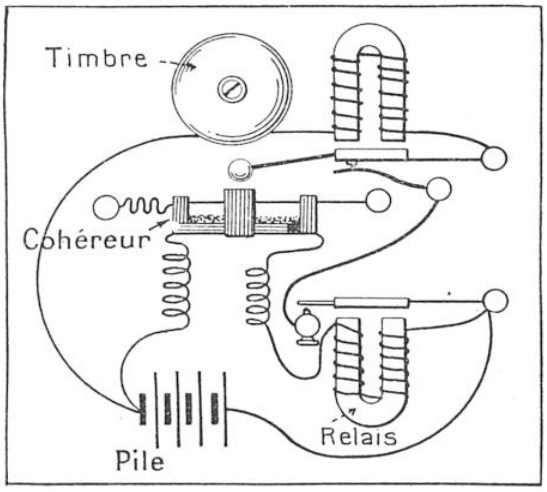


FIG. 7. — SCHÉMA DE L'INDICATEUR D'ORAGES DU SAVANT RUSSE POPOV (1895)

Le cohéreur à limaille étant rendu conducteur par l'onde produite par l'éclair, le courant de la pile excite le relais, qui, à son tour, actionne un timbre. Cet appareil très sensible enregistrait non seulement des orages à plus de 30 km, mais encore les ruptures de courant dans les circuits voisins.

fier que la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques était bien du même ordre de grandeur que celle des ondes lumineuses. Ainsi, il fut acquis que Hertz avait bien réalisé, par des moyens purement électriques, *la synthèse de la lumière*. Il ne restait pas moins que les vibrations électriques étaient *1 million de fois* plus lentes que celles qui sont sensibles à l'œil ; autrement dit, les deux espèces de vibrations sont séparées par 21 octaves ; dès lors, l'effort du physicien devait tendre à boucher ce trou de 21 octaves, dont l'existence était théoriquement possible, sans que les propriétés physiques de ces vibrations fussent connues.

Il y avait de quoi occuper tous les laboratoires du monde. De fait, cette étude fut la grande occupation des physiciens, jusqu'au jour (qui ne tarda guère) où la découverte des rayons X, en 1895, et celle de la radioactivité, en 1896, vinrent ouvrir au monde un domaine encore plus riche d'inconnu. Pour rétrécir cet intervalle de 21 octaves, il était naturel d'opérer par les deux bouts, c'est-à-dire de chercher à produire des vibrations lumineuses de plus en plus lentes, et des vibrations électriques de plus en plus rapides.

Lorsqu'on s'écarte de la lumière visible en allant vers les grandes longueurs d'onde, on entre dans le domaine de l'infrarouge. Les recherches dans cette région spectrale présentent des difficultés considérables ; Langley, et surtout Rubens ont réussi à y pénétrer profondément ; la méthode très ingénieuse de la réflexion sélective, ou des « rayons restants », a permis à ce dernier physicien d'isoler dans le rayonnement du bec Auer diverses radiations, dont les plus lentes ont pour longueur d'onde 94 microns, c'est-à-dire presque 1 dixième de millimètre ; telle est, de ce côté, la limite atteinte.

A l'autre bout, on peut essayer de produire par voie électrique des vibrations plus rapides que celles avec lesquelles Hertz avait opéré en dernier lieu, et dont la longueur d'onde était d'une dizaine de centimètres ; rappelons que ces radiations sont produites aujourd'hui couramment, et sous forme d'ondes entretenues, par divers montages de T. S. F. utilisant des lampes spéciales. Mais, en cette fin du XIX^e siècle, une seule voie paraissait ouverte : c'est celle qui consiste à réduire de plus en plus les dimensions de l'émetteur et du résonateur ; c'est ainsi que le physicien autrichien

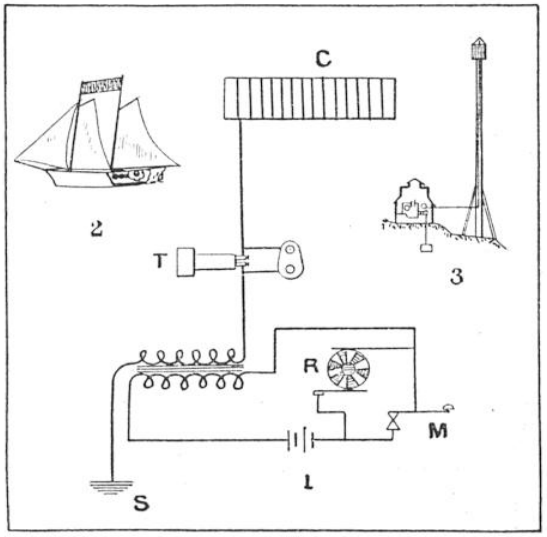


FIG. 8. — BREVET EDISON DE 1885

L'émetteur récepteur comprend: en C, *une surface formant capacité reliée au sol* S *par un téléphone* T, *et le secondaire d'une bobine d'induction ; en* R, *un interrupteur rotatif, et en* M, *une clef Morse. Lorsque celle-ci est ouverte,* R *tourne et le courant passant par le primaire de la bobine est périodiquement interrompu (pendant l'émission,* T *est court-circuité). Ce montage est analogue à celui de Marconi, mais la fréquence produite par* R *est très faible. Edison envisageait déjà des communications à longue distance, soit avec des navires, soit avec des trains (essayées pendant deux ans), soit avec des régions difficilement accessibles.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lampa employait un transformateur de Ruhmkorff gros comme une bobine de fil à coudre, un oscillateur long de 3 mm placé au foyer d'un miroir concave grand comme une pièce de 2 francs ; le résonateur, d'un type spécial, n'était pas plus grand que l'excitateur, et tout l'appareil pouvait tenir sur une table de 15 cm de côté. Cet appareil donnait des oscillations électriques dont la fréquence atteignait 75 milliards par seconde, et dont la longueur d'onde est environ 50 fois plus grande que celle des ultimes « rayons restants » de Rubens ; l'intervalle était donc réduit à moins de 6 octaves ; il a encore été diminué depuis lors, car Nichols et Tear ont pu obtenir par

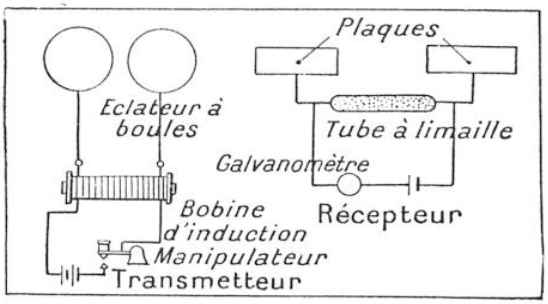


FIG. 9. — PREMIER DISPOSITIF TÉLÉGRAPHIQUE DE MARCONI (1895)

Le manipulateur de l'appareil permettait de régler à volonté la transmission des ondes émises par l'éclateur et de réaliser ainsi des signaux Morse.

des périodes électromagnétiques des radiations dont la longueur d'onde est voisine de 0 mm 2. Avec l'appareil de Lampa, on peut obtenir un faisceau bien localisé, large de 1 cm, qui présente toutes les qualités d'un pinceau lumineux ; on peut le réfléchir, le réfracter, le disperser ; en traversant un cristal, il se dédouble comme un rayon de lumière à travers du spath d'Islande ; on a même pu construire, avec du soufre cristallisé coupé par une lame d'ébonite, un « Nicol électrique », qui ne laisse passer qu'un seul des deux rayons.

J'ajouterai que les résultats, en dépit de leur intérêt, n'ont pas ajouté beaucoup aux vérités fondamentales établies par Hertz, et que leur réalisation a exigé des opérateurs plus d'habileté expérimentale que d'originalité d'esprit.

Le développement des expériences de Hertz sur le plan technique

Hertz entendait s'occuper uniquement de science ; il y a acquis une gloire immortelle. Il semble même, d'après sa correspondance, qu'il n'envisageait pas comme actuellement possible l'emploi des rayons électriques pour les télécommunications. Les progrès extraordinaires de la T. S. F. se sont donc accomplis en dehors de lui, mais leurs promoteurs ont été guidés par les résultats obtenus à Carlsruhe, et les premiers dispositifs de Marconi procèdent visiblement des expériences de Hertz. Il y a là un point curieux de l'histoire des idées ; on peut même dire que les premières tentatives de communication sans fil ont été gênées par l'assimilation étroite que les inventeurs établissaient alors entre l'électricité et la lumière, car ils se sont épuisés à copier les méthodes de l'optique.

Il faut dire aussi qu'à cette époque, et même auparavant, l'idée d'établir des communications électriques sans fil avait germé dans un grand nombre d'esprits ; je n'en veux comme preuve que le brevet d'invention déposé par Edison en 1885, dans lequel on utilisait les effets d'induction pour transmettre les signaux ; après avoir décrit

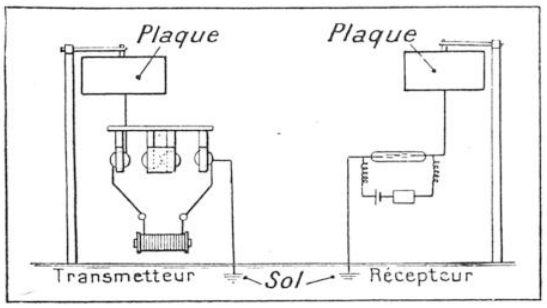


FIG. 10. — SCHÉMA DU BREVET MARCONI DE MARS 1897 (ÉMETTEUR ET RÉCEPTEUR)

On y trouve l'idée d'élever l'émetteur pour éviter les obstacles rencontrés par l'onde et aussi celle de la mise à la terre de l'émetteur et du récepteur.

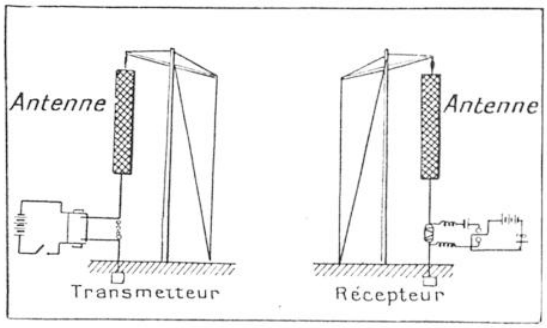


FIG. 11. — SCHÉMA DE PRINCIPE DU DISPOSITIF PRATIQUE MARCONI (1897 ET 1898)

On y voit nettement l'utilisation de l'antenne verticale et de la prise de terre, qui devait accroître considérablement la portée des appareils.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

son procédé, le célèbre inventeur s'exprimait ainsi : « L'exploitation des chemins de fer sera rendue extraordinairement facile par la liaison des trains avec les stations ; les bateaux en mer pourront communiquer entre eux à des distances de nombreux milles, au moyen de ballons ou de cerfs-volants s'élevant à plusieurs centaines de pieds au-dessus de leur pont ; les régions les plus inaccessibles, dans les montagnes ou dans les forêts, pourront entrer dans le cercle de la civilisation... » En fait, l'application des procédés Edison fut essayée pendant deux ans sur une ligne de chemin de fer des Etats-Unis, puis abandonnée (fig. 8).

Il ne rentre pas dans le cadre de cet article de faire l'histoire de la T. S. F. ; je dois seulement rappeler en quoi elle procède des expériences de Hertz. On s'en rend compte en examinant les figures 9, 10, 11, qui montrent, sous forme de croquis sommaires, les trois premiers dispositifs brevetés par Marconi, de 1896 à 1898. Le premier est visiblement une reproduction du dispositif de Carlsruhe, avec cette seule différence que les étincelles de l'émetteur sont commandées par une clef de Morse et qu'à la réception, l'œil électrique est remplacé par un cohéreur à limailles ; pour les grandes distances, ajoute le brevet, l'émetteur à boules et le récepteur sont placés au foyer du miroir.

La conception initiale de Marconi est donc guidée par celle du savant allemand, et par les analogies avec la lumière. Aussi l'insuccès est-il complet ; la portée des communications ne peut pas dépasser une centaine de mètres, et cela aurait découragé un homme moins obstiné que Marconi, encouragé, il est vrai, et soutenu dans son effort, par Sir William Preece, ingénieur en chef des postes anglaises. L'idée d'ajouter une antenne, tant à l'émetteur qu'au récepteur, devait alors sembler saugrenue ; comme le dit M. Guinchant, il ne viendrait pas à l'idée d'un physicien d'intercaler l'arc électrique d'un phare entre une antenne et le sol pour accroître sa portée lumineuse ; c'est pourtant dans cette voie, indiquée d'abord pour des fins très différentes, par le Russe Popoff, que Marconi s'engagea, dès le mois de mars 1897, et c'est là qu'il trouva le succès : dès le mois de mai de la même année, une communication sans fil était établie entre Lavernock Point et Brean Down, distants de 14 km sur les deux rives du canal de Bristol ; Sir William Thomson y faisait passer le premier radiotélégramme, dont il tenait à payer le prix pour bien marquer qu'il s'agissait, non d'une simple expérience, mais d'un véritable service commercial ; en juin, la *Wireless Telegraph and Signal Company* était constituée : la télégraphie sans fil par ondes amorties était née.

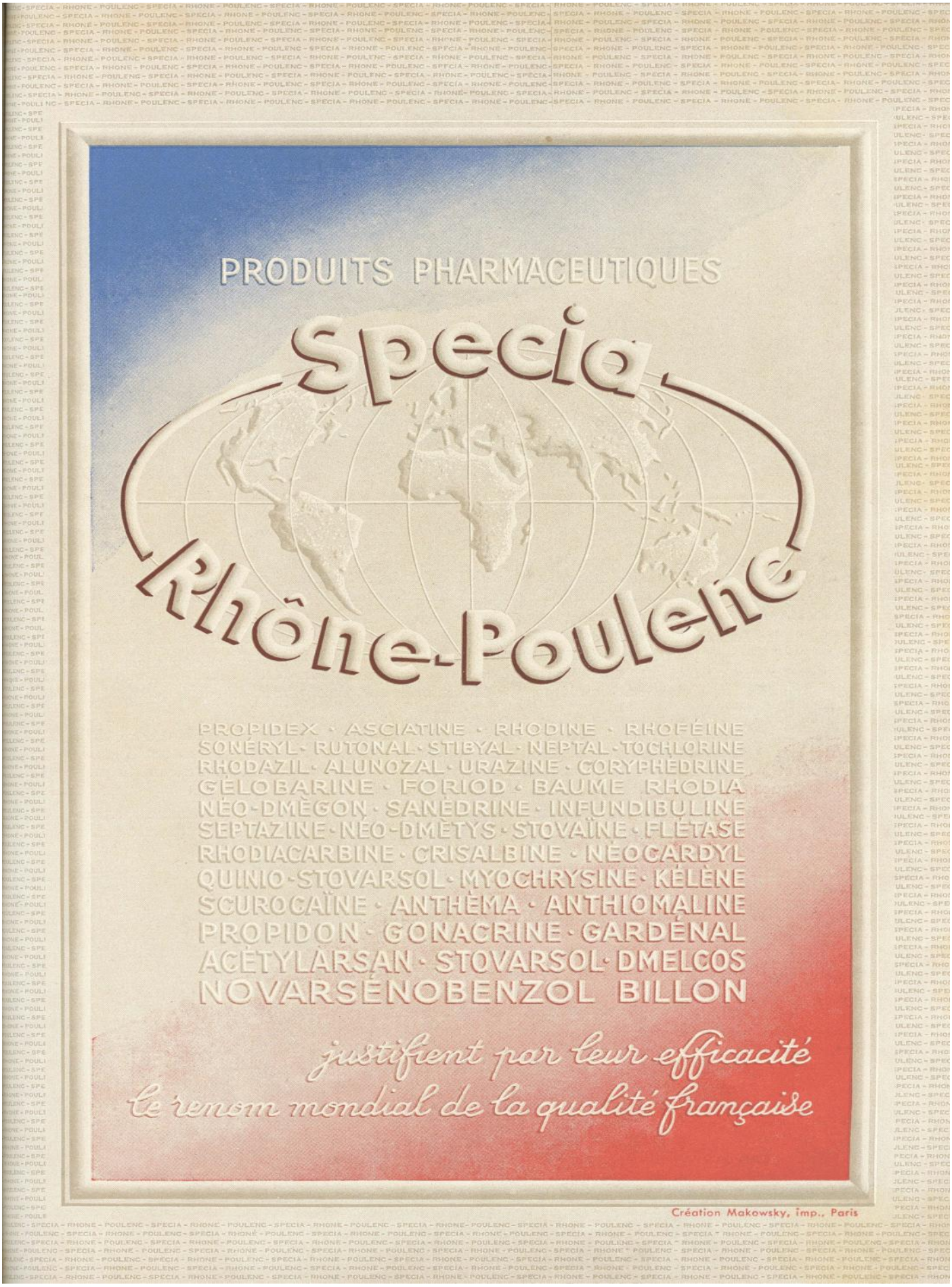
Là s'arrête l'apport direct de Hertz à cette grande création technique ; celle-ci était amenée, d'ailleurs, à se développer en sens inverse du progrès scientifique, car, tandis que, dans les laboratoires, on cherchait à se rapprocher de la lumière en produisant de petites longueurs d'ondes, la T. S. F. fit appel, pour ses débuts, aux plus grandes longueurs d'ondes, liées (pensait-on alors) à la production de grandes énergies et, par suite, nécessaires aux communications lointaines.

Des progrès ultérieurs, je n'aurais rien à dire sans m'écarter de mon sujet ; je demande pourtant la permission de signaler, toujours sous le plan historique, un détail peu connu, qui montre une fois de plus comment les plus belles découvertes sont, bien souvent, le fruit d'un hasard dirigé, et même dirigé par une idée fausse ; il s'agit de la découverte retentissante de la lampe à trois électrodes.

Les progrès de la T. S. F. étaient liés à la réalisation d'un détecteur qui fut à la fois sensible et sûr ; le tube à limaille, trop fantaisiste, avait été remplacé par le détecteur magnétique Rutherford-Marconi ; mais on cherchait toujours à faire mieux. En 1900 environ, l'Américain Lee de Forest, en travaillant le problème, remarqua que deux électrodes métalliques plongées dans la flamme d'un bec Bunsen, et portant un téléphone en dérivation, formaient un détecteur sensible ; partant de là, et par perfectionnements successifs, il remplaça le bec Bunsen par une lampe à incandescence munie de deux filaments séparés et alimentés individuellement par deux batteries. C'était le principe de l'audion ; ce n'est que plus tard, vers 1913, qu'il s'aperçut que cet appareil pouvait, par l'addition d'une troisième électrode formant grille, remplir deux autres rôles, infiniment plus importants : celui d'amplificateur et surtout le rôle d'émetteur de vibrations entretenues. Cette immense découverte fut donc, à son origine, le fruit du hasard, mais d'un hasard, dirigé ; et ceci prouve, une fois de plus, que pour trouver du nouveau, il faut toujours partir d'une idée, même fausse ; ce qu'on trouve est souvent bien différent de ce qu'on cherchait, mais la découverte est d'autant plus précieuse que le résultat est plus inattendu.

L. HOULLEVIGUE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



VUE AÉRIENNE DES USINES DE SAINT-FONS (RHONE) DE LA SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES « RHONE-POULENC »

La Société des Usines Chimiques RHONE-POULENC s'est constituée en 1927, par fusion des Etablissements POULENC Frères et de la SOCIÉTÉ CHIMIQUE DES USINES DU RHONE.

Spécialisée dans la préparation des médicaments de synthèse, la Société RHONE-POULENC dispose d'une organisation scientifique très moderne : laboratoires de recherches et de contrôles chimiques et biologiques, techniciens nombreux (chimistes, pharmaciens, physiologistes, médecins, bactériologues), dont la collaboration permet d'étudier à fond les produits fabriqués.

Dans le domaine de la thérapeutique, la production de la Société RHONE-POULENC est déjà très abondante : produits salicylés, anesthésiques, composés arsenicaux, bismuthiques, sels d'antimoine, produits sulfamidés, colorants antiinfectieux et antipaludiques, barbituriques, vitamines de synthèse, vaccins, etc...

Cet ensemble constitue un formulaire thérapeutique très complet, qui s'adresse au traitement des grandes infections et des parasitoses, et auquel le corps médical du monde entier recourt journellement.

Cette activité considérable, jointe à une parfaite réputation scientifique, n'est pas connue que du seul monde médical.

L'ASPIRINE « USINES DU RHONE » s'est acquis une notoriété qui a gagné toutes les classes de la société française. Un remède aussi simple, aussi bien toléré, actif dans un grand nombre d'affections fébriles et douloureuses, a contribué, lui aussi, à fonder le prestige d'une grande société chimique, fière de ses traditions.

ASPIRINE
USINES DU RHÔNE
La grande marque française

PUBL. C. BLOCH

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LES « ERSATZ » : RÉSINES, VERRES, TEXTILES, CAOUTCHOUCS ET CARBURANTS ARTIFICIELS

Par André GUILLAUMIN
INGÉNIEUR-CHIMISTE

Les progrès de la chimie organique et minérale ont permis, au cours de ces dernières années, de créer toute une gamme de produits nouveaux, dont certains prétendent à imiter plus ou moins parfaitement ceux mis en œuvre jusqu'ici et à se substituer à eux dans tout ou partie de leurs applications, et dont d'autres, possédant des caractéristiques jusqu'ici inconnues, ouvrent à la technique un champ encore inexploré de possibilités nouvelles. Ces dernières créations apparaissent incontestablement plus intéressantes du point de vue de l'intérêt général que les véritables « ersatz » ; ceux-ci ont, en effet, pour seul avantage de pouvoir remplacer des matières premières existant déjà en abondance sur la terre, mais qui font défaut à certains pays vivant en économie fermée et à qui la question du prix de revient paraît — à tort ou à raison — secondaire. Aujourd'hui, le développement dans le monde entier de ces industries — assez improprement dites de synthèse — ne laisse en rien prévoir un retour prochain à un équilibre sur les bases économiques anciennes — équilibre qui, d'ailleurs, à de nombreux égards, ne paraît nullement souhaitable. L'industrie, dans notre siècle de progrès continus, est en perpétuel état de transformation. Un jour viendra sans doute où les progrès techniques permettront d'abaisser les prix de revient de ces industries nouvelles, ce qui mettrait fin à certains monopoles de fait exercés aujourd'hui par quelques nations privilégiées.

Qu'est-ce qu'un « ersatz » ?

Il est assez difficile de répondre à cette question ; étymologiquement, pourtant, rien de plus simple : un « ersatz » est un « remplaçant », et le mot — sinon la chose — date, pour nous Français, de la guerre de 1914-1918, durant laquelle il désignait les succédanés que les Empires centraux employaient, ou étaient censés employer, pour remplacer les matières qui leur faisaient défaut : caoutchouc, matières textiles, carburants, métaux non ferreux, etc. ; des plaisanteries faciles sur la tartine de beurre ou de confiture synthétiques, étalés sur du pain artificiel, ont égaré l'opinion du grand public, et aujourd'hui encore le mot « ersatz » garde pour beaucoup un sens nettement péjoratif : il désignerait simplement un mauvais produit qui a la prétention d'en remplacer un bon. Une telle opinion est à la fois fausse et injuste : nous allons voir que les produits artificiels sont, le plus souvent, supérieurs aux produits naturels, et que, d'autre part, quiconque approfondit un peu la question ne peut éprouver, à défaut de reconnaissance, que de l'admiration pour les savants et les ingénieurs qui consacrent leur force et leur vie à la satisfaction des désirs de l'humanité actuelle, sans qu'on puisse les rendre responsables du fait que ces désirs trahissent parfois la faiblesse de l'homme, qui ne sait ni se contenter de peu, ni s'entendre avec son voisin pour lui fournir, à charge de revanche, les produits qui lui font défaut.

Il y a « ersatz » et « ersatz »

De ce que nous venons de dire découle la distinction fondamentale entre les divers succédanés : d'une part, ceux que l'on pourrait appeler « objectivement » intéressants, c'est-à-dire ceux qui permettent à l'homme, supposé maître de tout le globe, d'obtenir plus de bien-être pour un moindre prix, ou, plus exactement, de satisfaire un besoin déterminé avec un moindre effort ; d'autre part, ceux qui n'ont qu'un intérêt « subjectif », c'est-à-dire ceux qui remplacent les matières qu'un peuple ne peut pas se procurer économiquement, ou même ne peut pas se procurer du tout ; c'est cet aspect subjectif de la question qu'il ne faut pas perdre de vue si l'on veut essayer de comprendre quelque chose aux informations des quotidiens, déjà inexactes techniquement,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

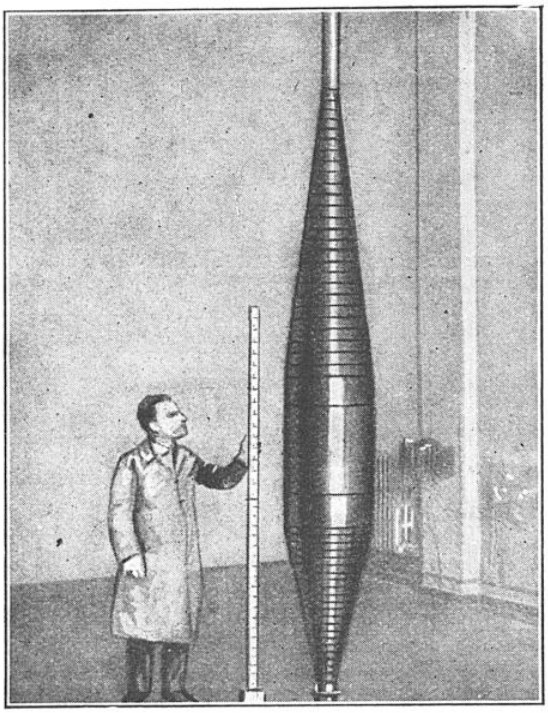


FIG. 1. — BORNE POUR APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE A TRÈS HAUTE TENSION, EN CARTON IMPRÉGNÉ AUX RÉSINES SYNTHÉTIQUES.

et qui vous parlent successivement de faire du pétrole avec du vin, du corozo avec du pétrole, et du vin avec du corozo ; encore resterait-il à expliquer pourquoi, dans un même pays — le nôtre — on considère comme un progrès de remplacer le charbon par l'essence sur le rail, et l'essence par le charbon sur la route.

Dans la première catégorie, celle des succédanés qui sont intéressants par eux-mêmes, nous trouvons d'ailleurs, à côté d'imitations inférieures aux produits naturels, et qui n'ont pour elles que leur bas prix, des matières artificielles qui sont au contraire supérieures à leur modèle, du moins dans certaines applications (tel est le cas, en particulier, des nouveaux caoutchoucs de synthèse) ; nous rencontrons enfin les plus intéressants des ersatz : *ceux qui n'en sont pas*, c'est-à-dire les matières qui présentent un ensemble de caractéristiques inconnu jusqu'alors, et qui permettent ainsi des applications nouvelles ; nous en verrons des exemples dans le groupe des résines synthétiques et des matières plastiques, qui sont cependant considérées le plus souvent comme le type même de l'ersatz.

D'un autre point de vue, il convient de remarquer que les produits « de remplacement » perdent peu à peu de leur caractère à mesure que leurs usages s'étendent et que l'homme se familiarise avec eux ; personne ne songerait aujourd'hui à considérer comme ersatz le verre, les matières céramiques, la brique, ni même — plus près de nous — le ciment, qui, pourtant, furent bien, à l'origine, des succédanés des pierres naturelles, précieuses ou non ; il n'y a pas si longtemps que le coton, bien que produit naturel et fort anciennement connu, restait, pour la plupart des gens, un ersatz du « fil », c'est-à-dire du lin ; on sait que ce « remplaçant » est devenu maintenant « remplacé », du moins en Allemagne. Et c'est peut-être là que se trouve la définition de l'ersatz que nous cherchions tout à l'heure : un ersatz, c'est simplement un produit nouveau, ou un produit ancien modifié en vue d'une application nouvelle.

Il est un autre aspect de la question qui, bien qu'intéressant plus le producteur que le public, ne saurait être perdu de vue par l'homme cultivé qui ne veut pas rester étranger au gigantesque effort que poursuit la chimie moderne : c'est celui de la constitution des succédanés. En effet, il faut bien savoir que — à de rares exceptions près — les produits dits de remplacement n'ont nullement une composition chimique identique ou simplement analogue à celle des matières naturelles ; c'est même, selon nous, une erreur que vouloir faire réellement la synthèse d'un composé que l'on se propose de remplacer : seules importent les caractéristiques qui conditionnent l'*emploi* du produit ; cette erreur a retardé longtemps — et retarde peut-être encore — les progrès des caoutchoucs synthétiques, alors que l'industrie de la soie « artificielle », renonçant délibérément à faire de la « vraie soie », de composition analogue à la soie de cocon, a

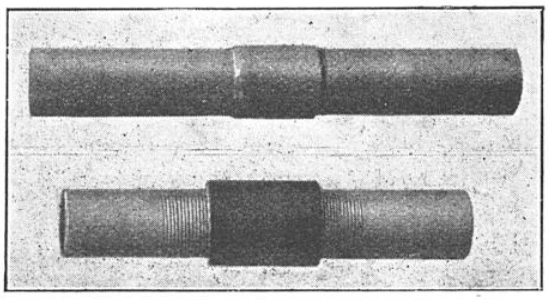
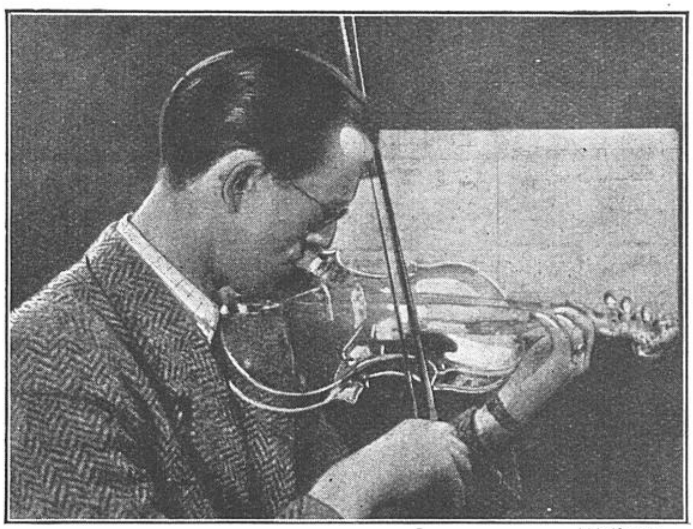


FIG. 2. — JONCTION DE TUBES EN « MIPOLAM », PAR JOINT EMBOITÉ (EN HAUT) ET PAR JOINT FILETÉ (EN BAS)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

connu le magnifique développement que l'on sait. Le peu d'importance pratique de la constitution se traduit encore par le fait, un peu surprenant au premier abord, que des corps chimiquement aussi différents que le sont le verre et la cellulose entrent parfois en concurrence et que, inversement, un même composé, tel l'acétate de cellulose ou la caséine, puisse être employé tant pour la fabrication de soie ou de laine artificielle, d'une part, que de films cinématographiques ou de manches de couteaux, d'autre part.

Ces faits dominent toute la question ; ils vont nous permettre de mieux comprendre l'orientation actuelle des recherches qui se poursuivent dans le monde entier, avec une activité sans cesse accrue, dans le domaine des matières artificielles. Nous laisserons de côté le groupe des produits minéraux, où nous aurions cependant d'intéressantes remarques à faire sur les nouveaux *matériaux de construction* (matériaux légers, isolants thermiques et acoustiques, etc.) et sur l'aspect curieux que prend, depuis peu, la lutte ouverte entre les divers *métaux et alliages*.



(Alsthom).

FIG. 3. — VIOLON EN VERRE ARTIFICIEL ORGANIQUE FLEXIBLE « PLEXIGLAS »

Parmi les produits organiques, nous passerons sous silence : les *matières colorantes*, depuis longtemps fief incontesté de la synthèse chimique, à telle enseigne que, conformément à la définition que nous proposions ci-dessus, on ne pense pas à parler ici d'ersatz, et à regretter, comme on le faisait encore il y a quelques décades, les vertus de la cochenille et de la garance ; les *produits pharmaceutiques*, autre champ d'action où la chimie organique a su faire lever une abondante moisson pour le mieux-être de l'humanité — qui, soit dit en passant, ne lui en sait guère gré — et où la science a largement dépassé la nature, en sorte que seule la nécessité d'une classification des propriétés pharmacodynamiques peut amener à parler encore de succédanés de la cocaïne, de la quinine, etc. ; les *parfums* (1), où produits naturels et artificiels vivent en fort bonne intelligence, car il s'en faut de beaucoup que le développement des uns fasse fatalement disparaître les autres ; les *matières alimentaires*, domaine où les essais d'ersatz proprement dits (2) ont été peu encourageants et où la contribution de la chimie se limite pratiquement au glucose, les poudres à pâtisserie dites levures, la vanilline, la saccharine, etc. ne pouvant être considérées comme des aliments. Nous ne parlerons pas non plus des *cuirs*, des *bois*, etc., et nous nous limiterons finalement aux quatre grands groupes de succédanés qui ont fait le plus parler d'eux au cours de ces dernières années : les matières plastiques, les textiles artificiels, les caoutchoucs synthétiques et les carburants de remplacement, en examinant, pour chacun d'eux — avec les toutes récentes réalisations survenues depuis la publication, dans ces colonnes, des articles consacrés à ces divers sujets — le but poursuivi et la voie dans laquelle la science et l'industrie modernes semblent orienter leur effort incessant vers de nouveaux progrès.

Les matières plastiques et résines synthétiques

Nos lecteurs ont été tenus au courant du merveilleux développement de ces produits de l'industrie moderne (3) ; nous ne reviendrons pas sur la constitution de ces matières, sur leur fabrication, ni sur leurs emplois si divers sous leurs trois formes principales : résines solubles, matières thermoplastiques

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 161, page 365.

(2) Les graisses végétales ne sauraient, en effet, être considérées comme des succédanés ; ce sont simplement d'autres corps gras alimentaires, au même titre que l'huile d'arachide, par exemple.

(3) Voir *La Science et la Vie*, n° 199, page 72 et n° 202, page 317.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

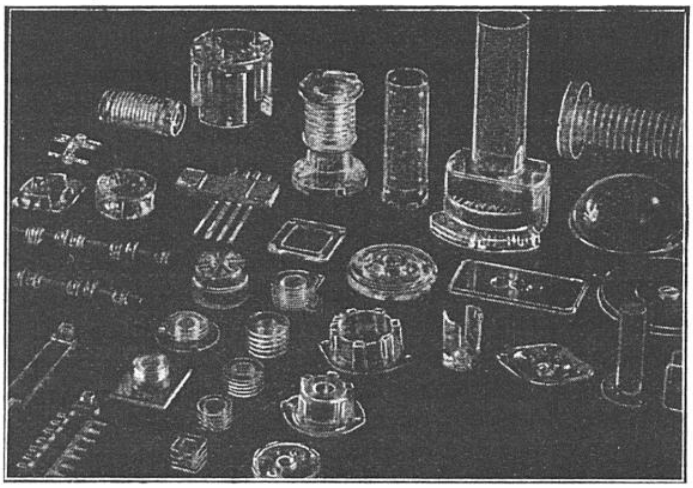


FIG. 4. — QUELQUES EXEMPLES DE PIÈCES COMPLIQUÉES UTILISÉES PAR LA RADIOTECHNIQUE, RÉALISÉES EN « TROLITUL » (RÉSINES DE POLYSTYROL)

et matières thermodurcissables. La vie courante se charge, d'ailleurs, de nous familiariser avec ces matériaux, dont seul le celluloïd, relativement ancien, était connu du grand public il y a quelques années ; les objets usuels les plus divers sont maintenant fabriqués en matière plastique, et il semble même que l'on soit allé un peu loin dans cette voie, notamment en ce qui concerne la vaisselle, pour laquelle les matières céramiques à la maison et l'aluminium au camping conservent leur supériorité.

Dans l'industrie, les matières plastiques ont trouvé des usages sans cesse accrus en nombre et en importance : signalons, en particulier, les isolants pour l'électrotechnique, les réservoirs, pompes et tuyauteries pour l'industrie chimique ; dans cette dernière application, l'un des produits les plus intéressants parmi ceux qui ont vu récemment le jour est le *Mipolam*, mélange de produits de polymérisation uréo-acryliques, qui possède une résistance absolue aux acides et se prête particulièrement bien à l'établissement de tuyaux pouvant être facilement coudés ou réunis par joints emmanchés ou filetés. Nous voici loin du point de départ de l'industrie des matières plastiques et résines synthétiques, qui était — il n'est pas inutile de le rappeler — la recherche de succédanés de la gomme laque, d'une part, de l'ivoire, d'autre part. Chose curieuse, le but des premiers chercheurs n'a été que bien imparfaitement atteint (malgré ses énergiques efforts, l'Allemagne doit encore importer annuellement une quantité de gomme laque brute correspondant à 1 500 t de produit raffiné) et, par contre, les nouveaux débouchés ont dépassé, par leur diversité comme par leur intérêt industriel, tout ce qui était humainement prévisible.

A l'heure actuelle, les problèmes à l'ordre du jour sont la *fabrication du verre artificiel* et le *remplacement des métaux par les matières plastiques*. Pour la première, il s'agit surtout, comme l'on sait (1), des verres d'optique, qui exigent des masses parfaitement transparentes, homogènes, ayant un indice de réfraction convenable ; la première condition ne soulève plus de difficulté ; les deux autres sont déjà plus délicates à remplir, mais la grande question est d'obtenir directement par moulage des surfaces optiquement satisfaisantes : on conçoit, en effet, que la nécessité d'un surfaçage ultérieur rende beaucoup moins intéressante, économiquement parlant, la fabrication de tels verres, qui ne gardent plus alors pour eux que leur absence de fragilité, avantage surtout sensible dans la lunetterie et non, par

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 236, page 103.

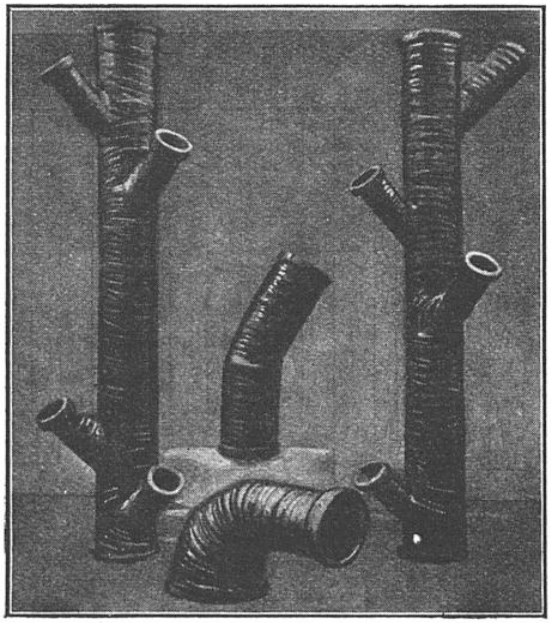


FIG. 5. — CONDUITES POUR L'INDUSTRIE CHIMIQUE EN « HAVEG », L'UN DES PLUS INTÉRESSANTS PHÉNOPLASTES A HAUTE RÉSISTANCE AUX AGENTS CORROSIFS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

exemple, dans l'industrie des objectifs photographiques, jumelles, etc., qui serait sans doute le débouché le plus intéressant.

En ce qui concerne le remplacement des métaux, on pourrait être tenté de penser qu'il n'y a là rien de bien nouveau (chacun de nous a vu les matières moulées se substituer au fer et au laiton dans les récepteurs téléphoniques, l'appareillage électrique, etc.) si l'on ne s'empressait de préciser qu'il s'agit maintenant de l'*obtention de pièces soumises à des efforts mécaniques importants :* n'a-t-on pas écrit dernièrement que les Allemands construisent des autos où il n'entrait pas un gramme de métal ! En fait, nous n'en sommes pas encore là, mais ce qui est certain, c'est que des études très poussées sont poursuivies chez nos voisins pour le moulage, sur des presses de 5 000 t, de carrosserie pour voitures populaires, et que les matières plastiques éliminent de plus en plus le métal, même pour des organes très chargés ; bien entendu, il s'agit ici de pièces réalisées à la façon des pignons d'engrenages silencieux, c'est-à-dire par imprégnation d'un support en tissu, en fibres textiles (agave et sisal notamment), en papier dur ou en bois déroulé extrêmement mince. En ce qui concerne les engrenages, un nouveau progrès a été obtenu par la substitution aux pignons pleins de pignons à rayons, plus silencieux encore, surtout aux grands régimes.

Dans l'*aviation* également, l'utilisation des matières plastiques pour la réalisation de pièces travaillantes a été très étudiée. Ces matières ont pour elles leur grande légèreté, et, en outre, leur module d'élasticité élevé, qui permettrait d'éliminer, en grande partie, le danger des vibrations, danger terrible, puisqu'on a vu des avions exploser littéralement en vol à la suite de vibrations prenant naissance par entrée subite en résonance de certains organes à un régime correspondant à leur fréquence de vibration propre. La résistance mécanique est satisfaisante, et le rapport de la résistance à la densité, qui est la caractéristique importante en construction aéronautique, arriverait à être plus élevé que pour le duralumin ; des travaux tout récents permettent d'ailleurs d'espérer que les caractéristiques mécaniques pourront être sensiblement améliorées : ils portent surtout sur la mise sous tension préalable des matériaux d'armature avant imprégnation.

On a pu établir ainsi, notamment, des lon-

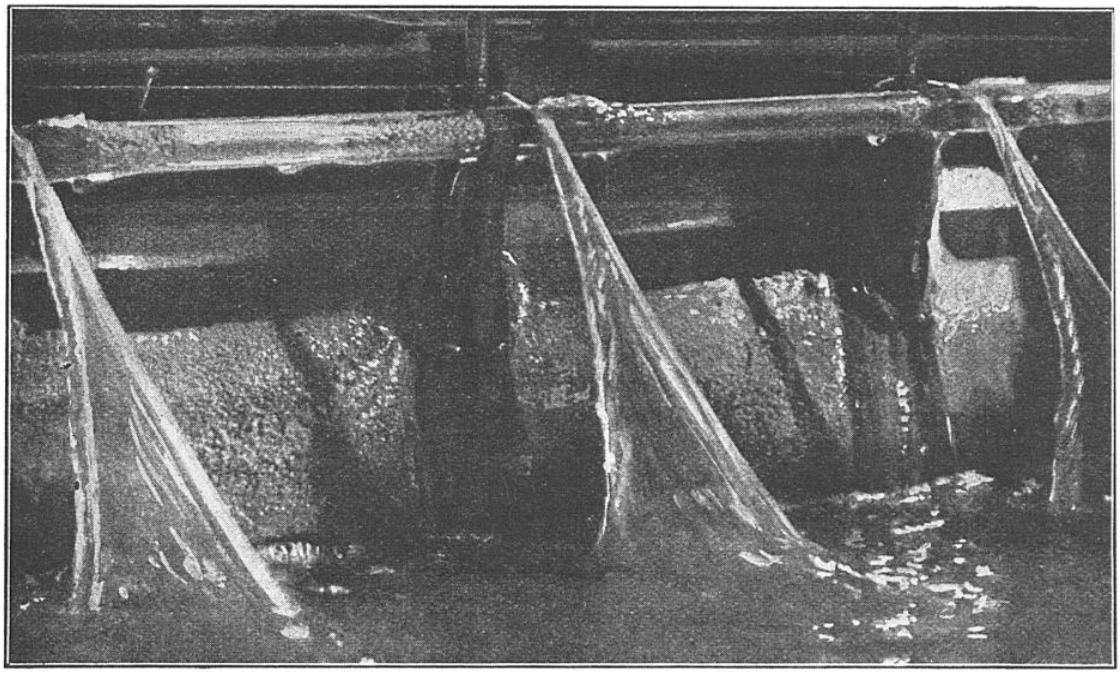


FIG. 6. — FILS DE « LANITAL » SORTANT DU BAIN DE COAGULATION

Les brins élémentaires sortent du bain encore divisés et à peine coagulés ; ils achèvent de se solidifier et se rassemblent en un fil comportant ainsi plusieurs centaines de brins.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

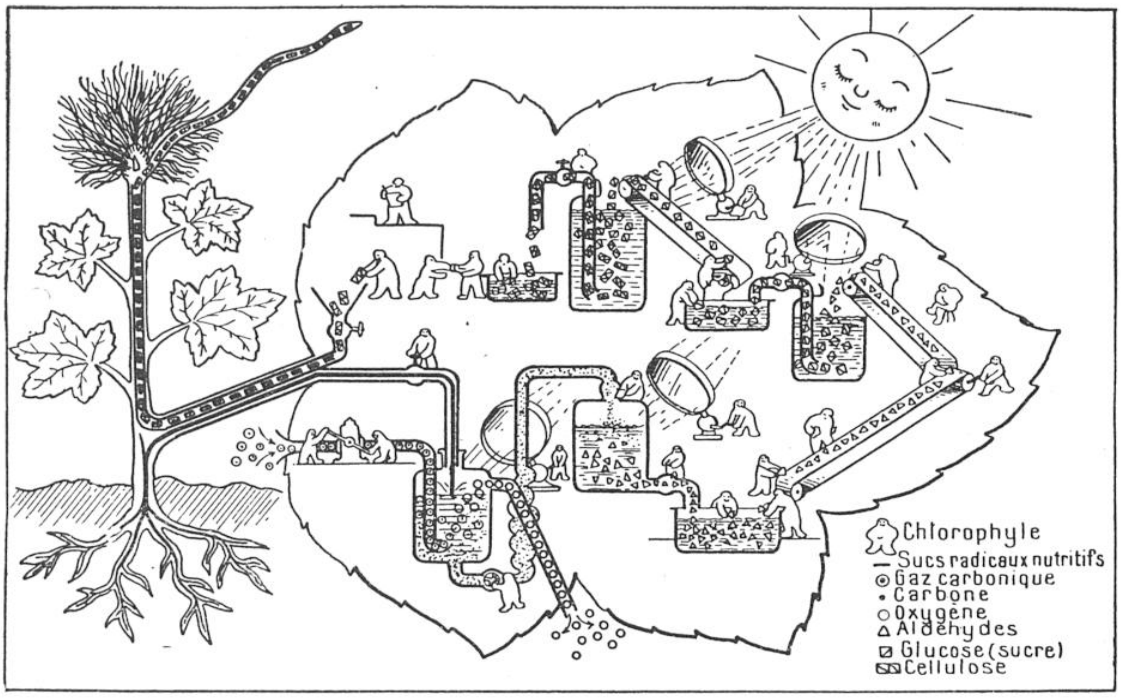


FIG. 7. — COMMENT LE COTONNIER FABRIQUE LA CELLULOSE

Par un mécanisme chimique d'apparence complexe, mais qui se réduit en réalité à des condensations et à des polymérisations sous l'influence dominante de la lumière solaire (photosynthèse) et de la chlorophylle, la plante élabore, à partir de l'eau et du gaz carbonique, des aldéhydes, des sucres, des matières amylacées et de la cellulose ; cette dernière constitue la fibre de coton.

gerons et des hélices qui, aux essais, ont donné des résultats très encourageants ; ces nouvelles hélices présentent sur les hélices en bois, outre l'avantage du bon marché, celui de ne pas risquer d'éclater lorsqu'un projectile vient à les frapper ; elles sont également moins sensibles au givrage, et c'est ce qui les fit adopter par Byrd lors de son expédition polaire. Par ailleurs, l'emploi des colles à base de résine synthétique se développe dans la construction des avions en bois, mais ceci sort de la question actuelle.

Pour rentrer dans notre sujet, nous dirons un mot des nouveaux *paliers en matières moulées :* et il ne s'agit pas ici de petites pièces, mais bien des plus gros paliers de laminoirs ou d'engins de manutention ; de tels paliers supportent en service continu des charges de plus de 150 kg/cm², et leur coefficient de frottement est plus réduit que celui des paliers en métal usuel.

Les textiles artificiels

Ici encore, nous ne reviendrons pas sur des faits qui sont connus de nos lecteurs (1) ; les *soies* artificielles ont poursuivi leur brillante carrière : nous trouvons bien là le type même de l'ersatz de première catégorie, qui met à la disposition de l'homme, en quantités illimitées et à bas prix, une matière égale ou supérieure au produit rare et cher qu'il s'était primitivement proposé d'imiter ; le point final a été mis à cette évolution lorsque les producteurs ont fort intelligemment abandonné le mot « soie », suivi du toujours un peu péjoratif « artificiel », pour les appellations de rayonne, albène, etc., noms nouveaux convenant mieux à une matière nouvelle qui n'a plus rien à envier à celle qui lui servit de modèle ; par ailleurs, les chiffres de production n'ont cessé de s'accroître : 150 000 t pour les seuls Etats-Unis en 1937, contre 80 000 t en 1934.

En ce qui concerne les *laines artificielles*, nous nous trouvons en face d'une situation déjà tout autre ; il s'agit déjà ici d'un ersatz de deuxième catégorie, qui présente surtout de l'intérêt pour les peuples qui se trouvent manquer de la matière première naturelle ; c'est pourquoi l'industrie de la laine artificielle s'est surtout développée dans les pays qui vivent en économie fermée : Alle-

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 217, page 21, et n° 232, page 293.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

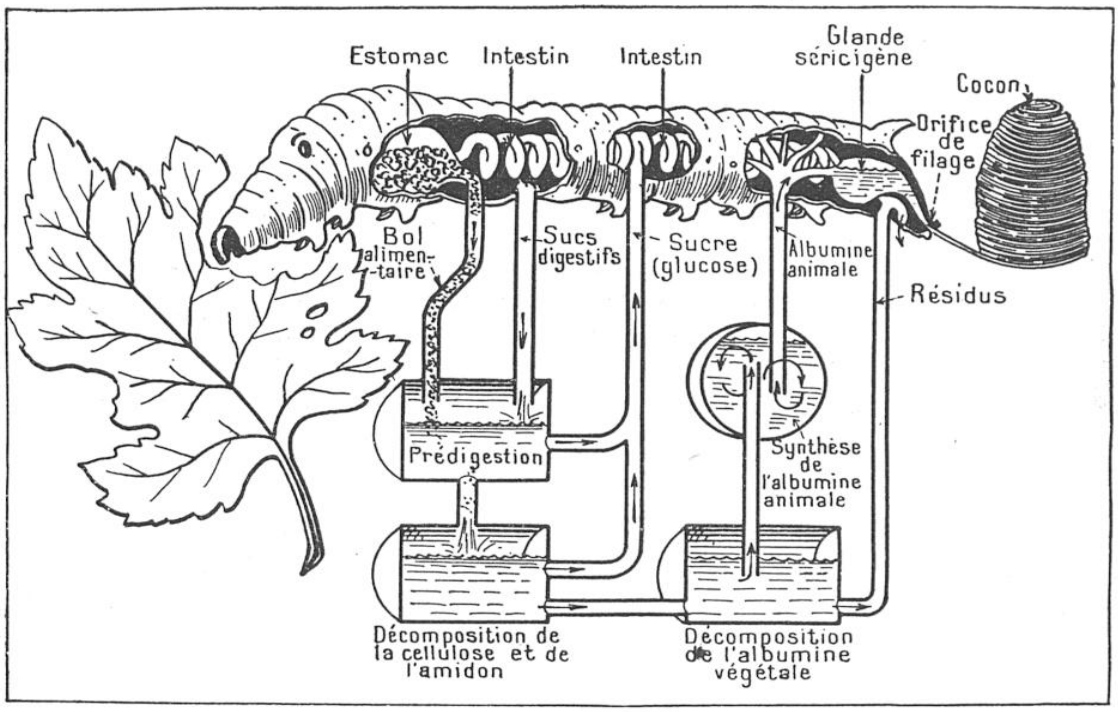


FIG. 8. — COMMENT LE VER A SOIE FABRIQUE LA SOIE NATURELLE

Le ver à soie se nourrit de la feuille de mûrier, composée principalement, comme toutes les autres, de cellulose, mais contenant cependant une quantité d'éléments azotés suffisante pour permettre la transformation de la cellulose en soie (n'oublions pas que la soie naturelle *renferme de l'azote) ; c'est par un mécanisme complètement différent que l'homme obtient un résultat cependant analogue, en transformant cette même cellulose en* soies artificielles, *ne contenant pas d'azote.*

magne, Italie et Japon ; toutefois, les produits ainsi obtenus, et qui sont soit à base de viscose (type Flox), soit à base de caséine (type Lanital) présentent maintenant, par eux-mêmes, un intérêt tel que l'Angleterre elle-même, le pays le plus riche en laine naturelle, a créé une industrie de la laine artificielle dont la production atteint, dès à présent, le cinquième ou le sixième de celle de l'Allemagne (1) ; évidemment, pour l'Angleterre comme pour nous, ce qui domine tout c'est le prix de revient ; bien que les comparaisons n'aient plus beaucoup de sens dans les conditions économiques actuelles, disons pour fixer les idées que le lanital est vendu en Italie 20 lires le kilogramme, soit environ 40 francs ; à ce prix, le produit trouverait certainement preneur chez nous, car sa qualité est très satisfaisante. Toutefois, nous aurions grand tort de nous mettre, ici encore, à la remorque de l'étranger, d'autant que les conditions sont bien différentes de part et d'autre des Alpes. Au lieu de s'adresser à la caséine, qui pourrait être réservée à la fabrication des colles et matières plastiques, nous ferions peut-être mieux de nous tourner du côté de certaines fibres coloniales de peu de valeur qu'un traitement simple pourrait transformer en une laine artificielle très satisfaisante, seule ou en mélange avec d'autres textiles ; nous avons eu entre les mains — et même sur le dos — un tel tissu, mis il y a quelque dix ans sur le marché par une firme française, sous le nom de Simililaine, et qui n'a pas eu la fortune qu'il méritait ; nous croyons que la question serait à reprendre, et que la laine naturelle, loin de rencontrer là un concurrent dangereux, y trouverait un associé, comme cela s'est produit pour la soie.

Le *coton artificiel*, enfin, représente l'ersatz de troisième catégorie, et n'a donc pas d'intérêt pour nous tant que notre tarif douanier

(1) Il est difficile de donner des chiffres précis, car les Allemands englobent sous le même terme de *Kunstwolle* (Zellwolle, Kaseinwolle) les succédanés de la laine (Tierwolle) et du coton (Baumwolle) ; toutefois, nous sommes en mesure de donner ici une évaluation approximative des diverses productions annuelles : Allemagne, 18 000 t (viscose surtout) ; Italie, 12 000 t (lanital surtout) ; Japon, 10 000 t ; Angleterre, 3 000 t ; France, 1 800 t.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ne dépassera pas les limites de l'absurde, dont il s'approche d'ailleurs dangereusement ; les Allemands, contraints de suppléer par leurs seules forces à ce qui leur faisait défaut, ont fourni un effort admirable qui a été couronné d'un succès presque total ; leurs nouveaux textiles sont égaux ou supérieurs au coton naturel sous tous les rapports, sauf en ce qui concerne la résistance aux lavages trop énergiques ; ceci ne constitue pas un inconvénient majeur dans un pays où la routine des ménagères elle-même ne saurait être un obstacle insurmontable.

Parmi les derniers-nés de l'industrie allemande des laines et cotons artificiels, nous signalerons notamment les nouveaux produits de l'« I. G. Farbenindustrie » : le *Vistralan*, qui se comporte à la teinture comme le produit naturel, ce qui permet de teindre les fils mélangés en un seul bain ; les *Vistra XT* et *XT-h*, qui possèdent complètement l'aspect, le « crochet », l'élasticité et le pouvoir isolant de la laine, et qui — le second tout au moins — conservent ces propriétés dans les bains de teinture et de lavage bouillants ; le *Cuprama SK*, excellente laine artificielle obtenue par le procédé dit « au cuivre ». Le procédé de l'acétate a fourni, lui aussi, des produits remarquables, et notamment des fils creux donnant des tisssus très chauds et facilement lavables. En ce qui concerne les cotons artificiels, les progrès ont surtout porté sur l'amélioration de la résistance à la traction, à l'état sec ou humide, et ont permis l'emploi des nouveaux textiles pour la fabrication de courroies de transmission, de bâches, de tuyaux à incendie, etc.

Il nous reste à parler de l'événement le plus sensationnel de ces derniers temps en matière de textile artificiel : l'apparition des *tissus en fil de verre ;* à vrai dire, l'idée n'est pas nouvelle, et l'on connaît depuis longtemps ces sortes de bourres, appelées improprement laine ou coton de verre, que les chimistes utilisent pour filtrer les liqueurs attaquant le papier, mais tous les essais effectués pour améliorer ces produits et en

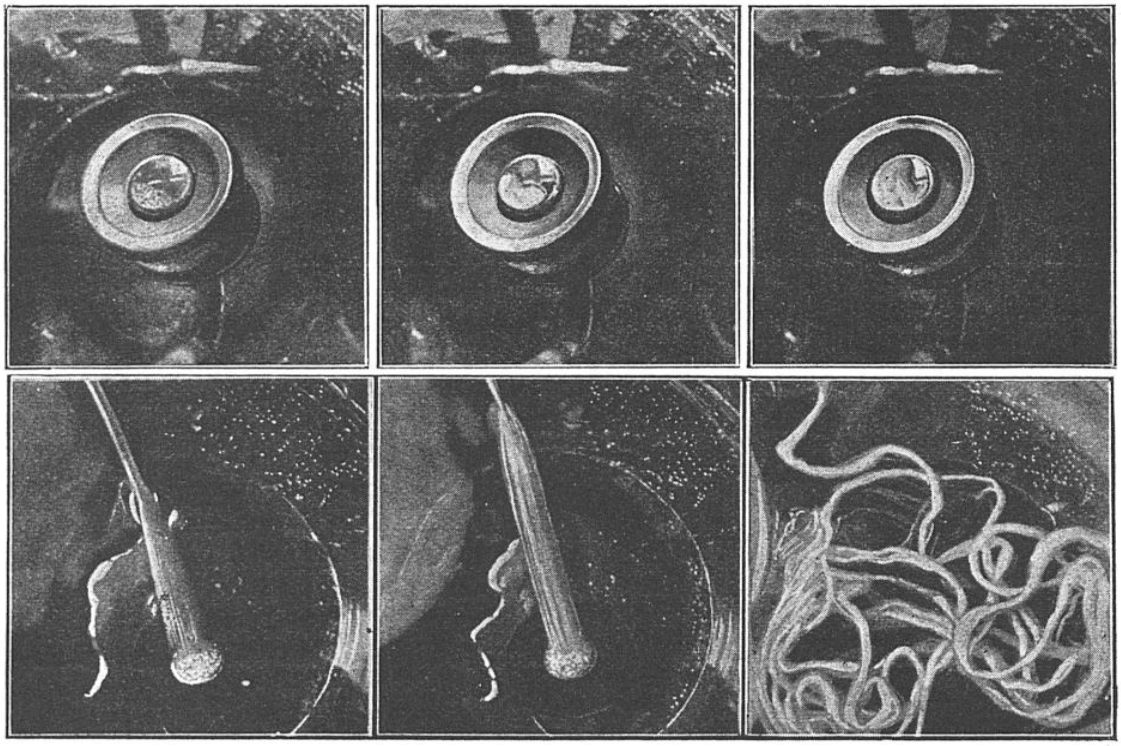


FIG. 9. — PHASES SUCCESSIVES DE LA FORMATION DU FIL ARTIFICIEL

C'est au niveau de la filière que se fait le passage de la solution visqueuse coagulable à l'état de véritable textile. On voit ici, de gauche à droite et de haut en bas, la naissance du fil au sortir des filières, sortes de cupules en alliage précieux, de 12 à 15 mm de diamètre, comportant jusqu'à 1 000 trous d'où chaque brin sort à une vitesse pouvant atteindre 10 mètres à la seconde. En bas, à droite, le fil terminé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faire un véritable textile ont piteusement échoué, au point de décourager tous les chercheurs ; cependant, la science ne se décourage jamais, et voici que des ingénieurs, et notamment ceux de l'« Owen Illinois Glass Co », viennent de résoudre la première partie du problème, qui consistait à obtenir régulièrement et économiquement des fils dont les brins élémentaires soient d'une finesse suffisante ; cette condition primordiale a été pleinement satisfaite, puisque le diamètre des nouveaux fils, obtenus par filage sous pression ou au moyen d'une centrifugeuse, est de l'ordre de 5 millièmes de millimètre, soit à peu près moitié moins que la soie naturelle ou les plus fines rayonnes.

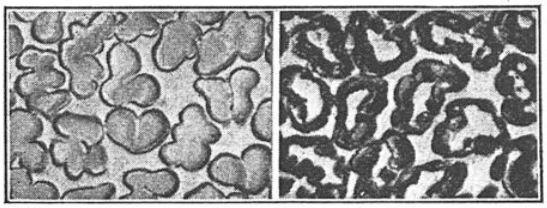


FIG. 10. — CES DEUX MICROGRAPHIES (COUPES TRANSVERSALES DE FILS DE SOIES A L'ACÉTATE) MONTRENT TRÈS NETTEMENT LA DIFFÉRENCE EXISTANT ENTRE LE FIL ORDINAIRE (A GAUCHE) ET LE NOUVEAU FIL ARTIFICIEL CREUX (A DROITE)

Le nouveau textile a pour lui son bas prix de revient : comparativement à la viscose, les investissements qu'il nécessite sont peu importants, et les frais de fabrication sont réduits ; il résiste naturellement à la corrosion, à la chaleur, et est complètement incombustible ; en outre, sa résistance à la rupture est très élevée (infiniment plus que celle du verre massif, pour lequel il n'est d'ailleurs pratiquement jamais question de traction pure) : elle atteindrait, paraît-il, 100 kg/mm², chiffre qui correspond à un excellent acier.

Nul ne saurait dire quel est l'avenir de cette nouvelle industrie, qui a déjà trouvé d'importants débouchés (isolants électriques, calorifuges, filtration, sacs pour matières corrosives, etc.) ; peut-être pourra-t-on parvenir à filer de la même façon les laitiers de hauts fourneaux, dont on tire déjà une « laine » employée comme isolant thermique ; si de tels textiles *minéraux* viennent concurrencer les textiles *organiques* naturels et artificiels — ce qui n'a rien d'impossible, — peut-être ceux qui croient encore que la constitution chimique présente quelque importance en matière d'« ersatz » reviendront-ils, enfin, de leur erreur.

Les caoutchoucs synthétiques

C'est cette erreur, avons-nous dit, qui a retardé les progrès de l'industrie du caoutchouc synthétique (1), et qui l'entrave sans doute encore ; en effet, si l'on a renoncé assez rapidement à obtenir du « vrai » caoutchouc par polymérisation de l'isoprène, on semble persister à partir de composés chimiquement très voisins, comme le butadiène ou ses dérivés halogénés ; il est d'ailleurs à remarquer que c'est grâce à l'un de ces derniers, le chloro-2-butadiène, que l'on a pu obtenir les nouveaux produits si intéressants que sont les caoutchoucs chlorés, qui, ne serait-ce que par la présence de chlore, diffèrent déjà très notablement du caoutchouc naturel, sur lequel ils présentent de nombreux avantages, entre autres celui de résister aux huiles minérales et à l'action de l'air et de la lumière.

Si l'industrie du caoutchouc synthétique n'a pas fait l'objet d'innovations de principe

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 224, page 113, et n° 238, page 272.

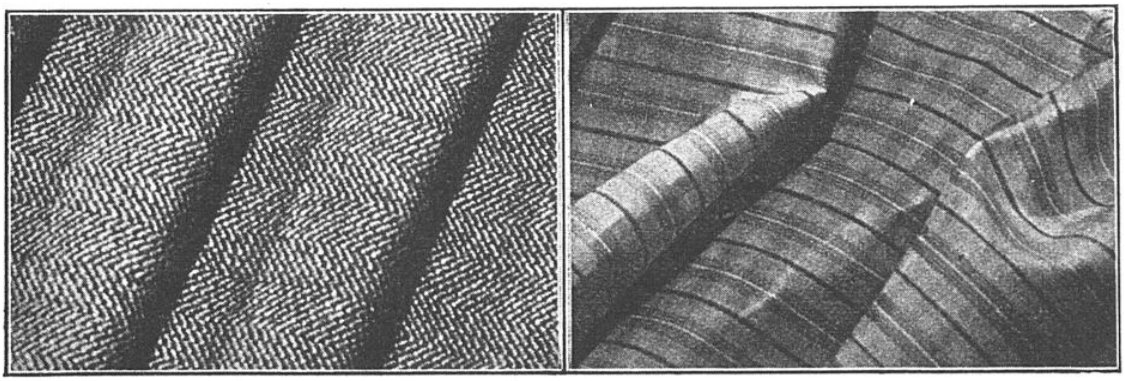
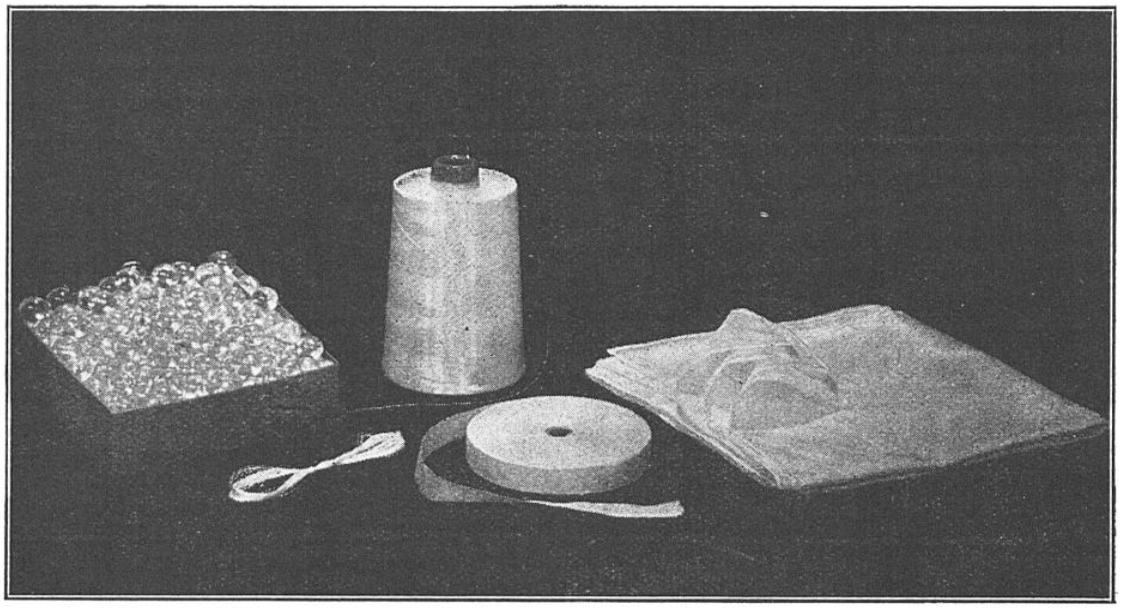


FIG. 11. — LAINAGE ET TISSUS POUR CHEMISES D'HOMMES EN TEXTILE ARTIFICIEL « FLOX »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



(Saint-Gobain.)

FIG. 12. — BOBINE, FICELLE, RUBAN ET TISSU DE SOIE DE VERRE OBTENUE A PARTIR DES BILLES QUE L'ON VOIT DANS LA CAISSETTE A GAUCHE

au cours des dernières années, elle compte, par contre, à son actif quelques notables progrès, dus notamment à l'adoption du procédé de polymérisation à l'état d'émulsion. Les Allemands ont mis au point un nouveau Buna, le *Perbunan*, qui allie à une grande élasticité une résistance extrême aux hydrocarbures et au vieillissement ; le « Buna S » conserve les applications que lui ont values ses qualités mécaniques et élastiques, tandis que les « Zahlenbuna », c'est-à-dire les Buna « au sodium » désignés par des chiffres : « Buna-85 », « Buna-115 », semblent en régression.

Les applications du caoutchouc synthétique se développent dans tous les pays, mais à des degrés bien différents ; en Allemagne, par exemple, on fait en Buna tout ce qui peut être fait en Buna, puisqu'il s'agit, avant tout, de réduire les importations de caoutchouc, toutes autres considérations passant au second plan (1) ; aux Etats-Unis, par contre, le Néoprène, sensiblement plus cher que le produit naturel, n'est employé que là où ses qualités le rendent plus avantageux ; sa résistance à l'huile lui assure des débouchés importants dans l'industrie du pétrole et dans une foule d'usages divers (joints et garnitures, rouleaux d'imprimerie, etc.) ; sa résistance à la chaleur le fait employer pour la fabrication des tuyaux de vapeur de chauffage sur



(Saint-Gobain.)

FIG. 13. — TISSU JACQUART EN SOIE DE VERRE

(1) Toutefois, il semble que, en 1937, la production de Buna n'ait guère dépassé 20 000 t, soit le tiers de la consommation de caoutchouc naturel.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les chemins de fer, tandis que son imperméabilité supérieure à celle du caoutchouc naturel, jointe à sa résistance à l'air et à la lumière, en a généralisé l'emploi pour la confection des enveloppes de ballons, des masques à gaz, etc.

Un autre débouché qui s'est beaucoup accru est la fabrication des peintures protectrices, qui ont permis notamment de résoudre le problème si ardu du revêtement des alliages légers et ultra-légers ; signalons encore, parmi les nouvelles applications du caoutchouc synthétique, le papier *Koroseal*, obtenu par imprégnation d'un Kraft de forte épaisseur, qui semble appelé à trouver de nombreux usages, étant imperméable à l'eau et aux huiles, inaltérable à la plupart des produits chimiques, à la chaleur et à la lumière, incolore et, considération importante, dépourvu de toute toxicité.

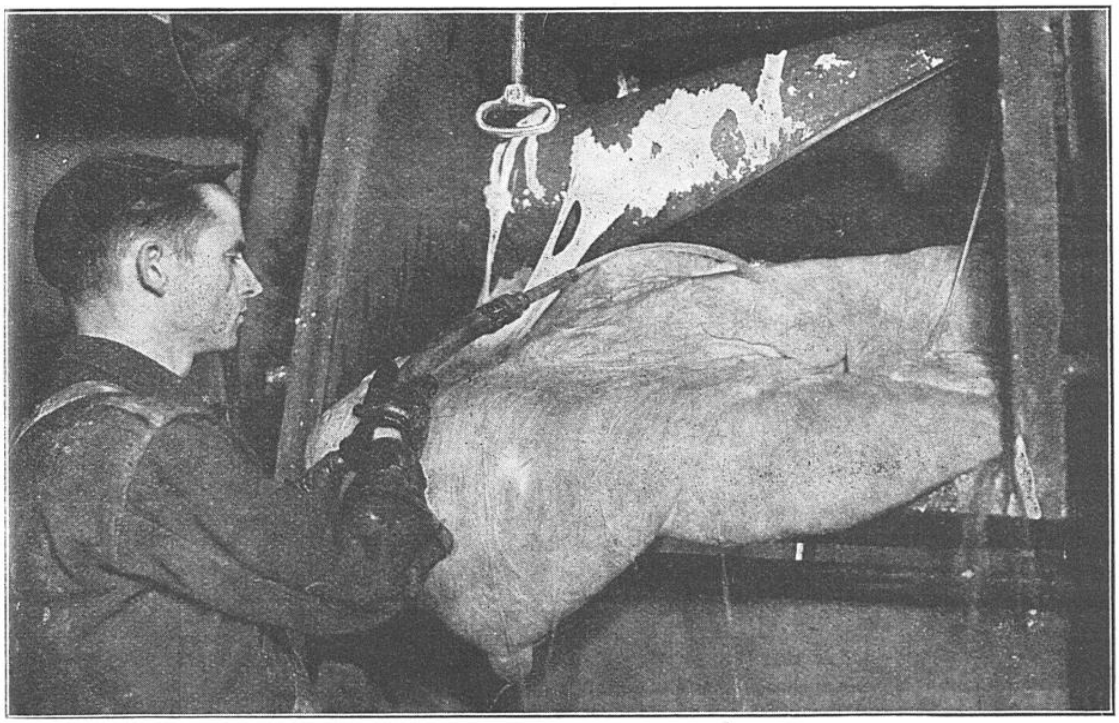


FIG. 14. — UN STADE IMPORTANT DE LA FABRICATION DU « NÉOPRÈNE » : LE MALAXAGE

L'appareil, généralement appelé « masticateur », comporte essentiellement des rouleaux munis de sortes de lames hélicoïdales ; l'opération n'a pas uniquement pour but d'assurer l'homogénéité du produit : elle achève de lui conférer ses qualités essentielles de résistance et d'élasticité.

Les carburants de remplacement

Nous avons affaire ici à un problème bien différent des précédents : en effet, ce qu'il s'agit de remplacer, ce n'est plus une *matière*, c'est de l'*énergie ;* donc, tout procédé de production de force motrice peut, dans une certaine mesure, être considéré comme un « ersatz » des combustibles liquides ; la question est donc à la fois plus vaste et plus complexe, d'autant plus que les divers facteurs techniques et économiques s'enchevêtrent sans qu'il soit toujours facile de discerner le rôle de chacun d'eux, et sans que, d'ailleurs, on s'efforce toujours de le faire en toute indépendance.

Nous trouvons tout d'abord, parmi les différentes sources d'énergie, l'*électricité*, qui, pour l'instant, ne saurait vraiment prétendre à remplacer les combustibles liquides ; si les automobiles à accumulateurs présentent un intérêt incontestable dans certaines applications, il n'en reste pas moins que celles-ci sont très limitées dans l'état actuel de la technique ; le trolleybus, par contre, pourrait être plus en honneur, du moins dans notre pays.

En traction ferroviaire, l'électricité ne saurait être considérée comme un remplaçant des carburants, puisque les lignes pouvant être le plus avantageusement électrifiées sont précisément ces artères à grand trafic où

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'automotrice présente le moins d'intérêt.

En résumé, tant que l'électricité nécessitera pour son transport un fil et, pour son stockage, ce « récipient » relativement coûteux, lourd et fragile qu'est l'accumulateur, cette force ne pourra, malgré tous ses avantages, concurrencer l'énergie thermique que dans des cas bien particuliers.

Puisque nous voici ramenés aux combustibles, voyons donc quels sont ceux qui pourraient remplacer les dérivés des pétroles naturels ; parmi les combustibles gazeux, nous trouvons d'abord le gaz de ville, les gaz de cokeries, de hauts fourneaux, etc., qui sont utilisés sous forme de *gaz comprimés* (1) ; ces combustibles ont fait l'objet d'essais très encourageants, mais ils doivent être obligatoirement enfermés dans des tubes qui, même allégés grâce au frettage, sont encore bien lourds, de sorte que les véhicules ainsi alimentés ne sauraient être avantageusement utilisés que dans un assez faible rayon autour de l'usine ou du dépôt nourricier, bref dans des applications qui sont, somme toute, celles des automobiles à accumulateurs, sur lesquelles ils présentent, toutefois, l'avantage d'une vitesse *maximum* supérieure. D'un emploi plus général semble pouvoir être le gaz pauvre, produit dans un *gazogène* porté par le véhicule (1) ; mais le camion à gaz pauvre ne s'est pas développé autant que d'aucuns l'espéraient, malgré les encouragements de tous ordres qui lui ont été prodigués ; aussi est-il question de le rendre obligatoire pour les entreprises de transport d'une certaine importance : c'est évidemment un moyen. Il semblerait plus indiqué d'utiliser le gazogène sur le rail, à bord des automotrices, puisque, dans ce domaine, la vapeur a habitué le personnel aux mises en marche peu rapides et aux manipulations malpropres ; les compétences n'en ont pas jugé ainsi.

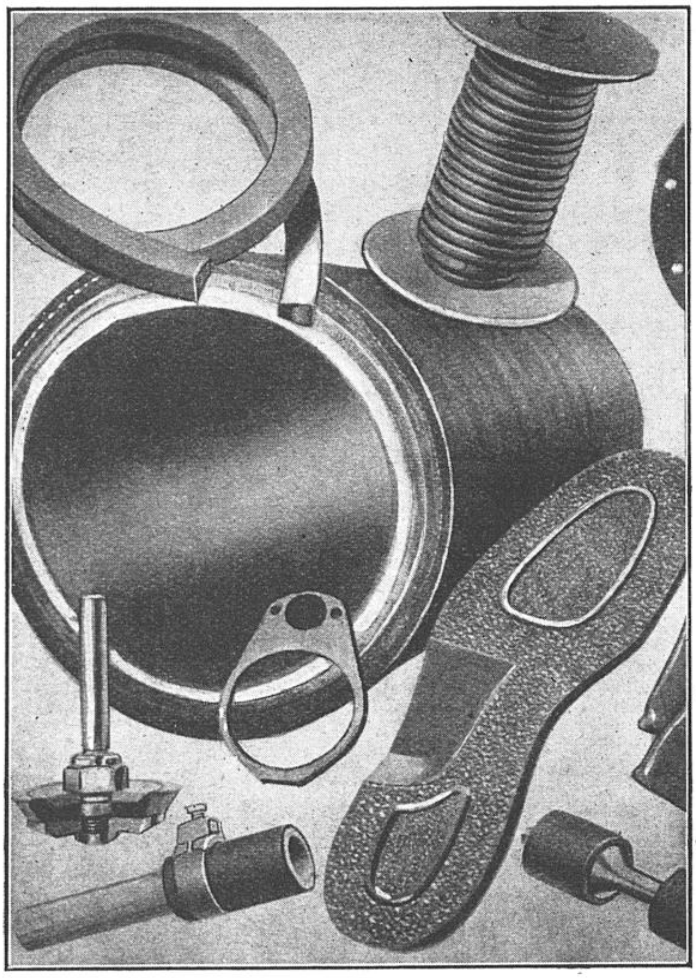


FIG. 15. — QUELQUES EXEMPLES DE PIÈCES RÉALISÉES EN CAOUTCHOUC ARTIFICIEL « NÉOPRÈNE » : COURROIES TRAPÉZOIDALES, CABLES, TUYAUX, SOUPAPES, SEMELLES, ETC.

En ce qui concerne l'*hydrogène* (2) et l'*acétylène*, des études se poursuivent en vue, notamment, de modérer leur tempérament un peu fougueux ; l'addition de gaz ammoniac paraît pouvoir donner, dans ce sens, des résultats intéressants.

A l'autre extrémité de la classification usuelle, nous trouvons les *combustibles solides*, houilles, lignites, etc., le plus souvent brûlés directement pour la production de vapeur ou pour le chauffage de fours ; on sait que, dans ce dernier but, la tendance est plutôt à accroître l'utilisation des combustibles liquides ; pourtant, avant de chercher à restreindre l'emploi de ces derniers dans le domaine qui leur appartient, il sem-

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 213, page 251.

(1) *Voir La Science et la Vie*, n° 252, page 437.

(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 222, page 483.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

blerait assez logique de ne pas laisser diminuer le champ d'utilisation des combustibles solides ; ce n'est que par un agréable mélange de considérations techniques et économiques que l'on a pu voir continuer à se développer l'emploi du mazout pour le chauffage central, la chauffe des navires à vapeur, des fours de boulangers, etc., tandis que l'on préconisait le charbon ou le bois pour la propulsion des camions. Par ailleurs, les combustibles solides peuvent concurrencer directement les combustibles liquides sous la forme pulvérisée ; on sait que c'était là l'idée primitive de Rudolf Diesel, et que, depuis quelques années, elle a été reprise par R. Pawlikowski (1) ; d'après les communications faites par cet ingénieur, le problème de l'évacuation des cendres serait maintenant résolu ; toutefois, ce procédé, qui nous ramène aux sujétions du Diesel à injection pneumatique, ne semble pouvoir se développer que pour des installations fixes, où la turbine à vapeur paraît plus indiquée.

En ce qui concerne les *combustibles liquides*, qui constituent les carburants de remplacement proprement dits, nous serons assez bref, la question ayant fait l'objet, ici même, il y a quelques mois, d'une remarquable mise au point de M. Berthelot (2) ; nous trouvons ici — outre l'alcool éthylique tiré des produits végétaux et dont l'emploi comme carburant est un non-sens (3) — l'alcool méthylique obtenu par hydrogénation de l'oxyde de carbone, et les véritables pétroles artificiels fournis par l'hydrogénation, soit de cet oxyde de carbone, soit des combustibles solides. Dans tous les cas, la grosse difficulté est, comme l'a fait ressortir M. Berthelot, d'obtenir à un prix abordable l'hydrogène nécessaire, qui représente en moyenne 50 % des frais de fabrication. Dans l'état actuel des choses, c'est le gaz à l'eau qui constitue la source la plus économique d'hydrogène, ou de mélanges d'oxyde de carbone et d'hydrogène enrichis d'hydrogène et propres aux synthèses en question. M. Léon Jacqué, dans une conférence faite récemment au Conservatoire national des Arts et Métiers, a montré comment l'on pouvait espérer diminuer les frais, d'une part, en employant, dans des gazogènes spécialement adaptés, des combustibles de catégories inférieures, et, d'autre part, en abaissant, grâce aux progrès de la catalyse, les températures encore actuellement nécessaires à la réalisation de vitesses de réaction suffisantes. Quoi qu'il en soit, le prix des carburants de synthèse ne saurait être abaissé au voisinage des cours mondiaux des dérivés des pétroles naturels : pour arriver à une conclusion différente, il faut — et la chose a été faite — comparer le prix de revient en usine, sans impôts ni taxes, rémunération du capital, amortissements et frais de fabrication décomptés « au plus juste », avec le prix payé par l'automobiliste au poste d'essence !

Bref, les carburants de remplacement constituent le type même de l'ersatz de dernière catégorie, obtenu à grand'peine et à grands frais et qui ne remplace que bien imparfaitement le produit que la nature met si généreusement à notre disposition. En temps de paix, ces succédanés n'ont aucun intérêt objectif, et leur influence sur la balance commerciale — point sur lequel il y aurait beaucoup à dire — est peu de chose à côté du temps et des frais que leur mise au point nécessite, et surtout à côté de la gêne que leur emploi apporte à l'activité de toute la nation. Et, puisqu'il faut malheureusement prévoir le temps de guerre, la meilleure solution — que nous n'avons pas inventée — ne serait-elle pas tout simplement le stockage ? Il sera toujours plus facile, plus rapide et moins coûteux de constituer les réserves de combustibles liquides nécessaires à cinq, dix ou vingt ans de guerre, que de mettre au point des méthodes et de construire des usines qui, si l'on en juge par les résultats acquis, ne fourniraient jamais que parcimonieusement un produit ne permettant pas de tirer du matériel existant tout le rendement possible. Les dépôts sont aisés à disséminer, à protéger, et de toutes façons moins vulnérables que des usines ; on pourrait même songer à loger les réserves, si besoin en était, dans des cavités naturelles du sol permettant, par la nature de leurs parois, un étanchement facile ; enfin — et ceci n'est peut-être pas sans importance — de tels stocks ne constituent pas de l'argent complètement perdu : si l'avenir qui nous est réservé veut bien s'éclaircir, nos petits-neveux retrouveront avec plaisir ces gisements artificiels, et notre époque troublée leur aura du moins légué quelque chose d'utile.

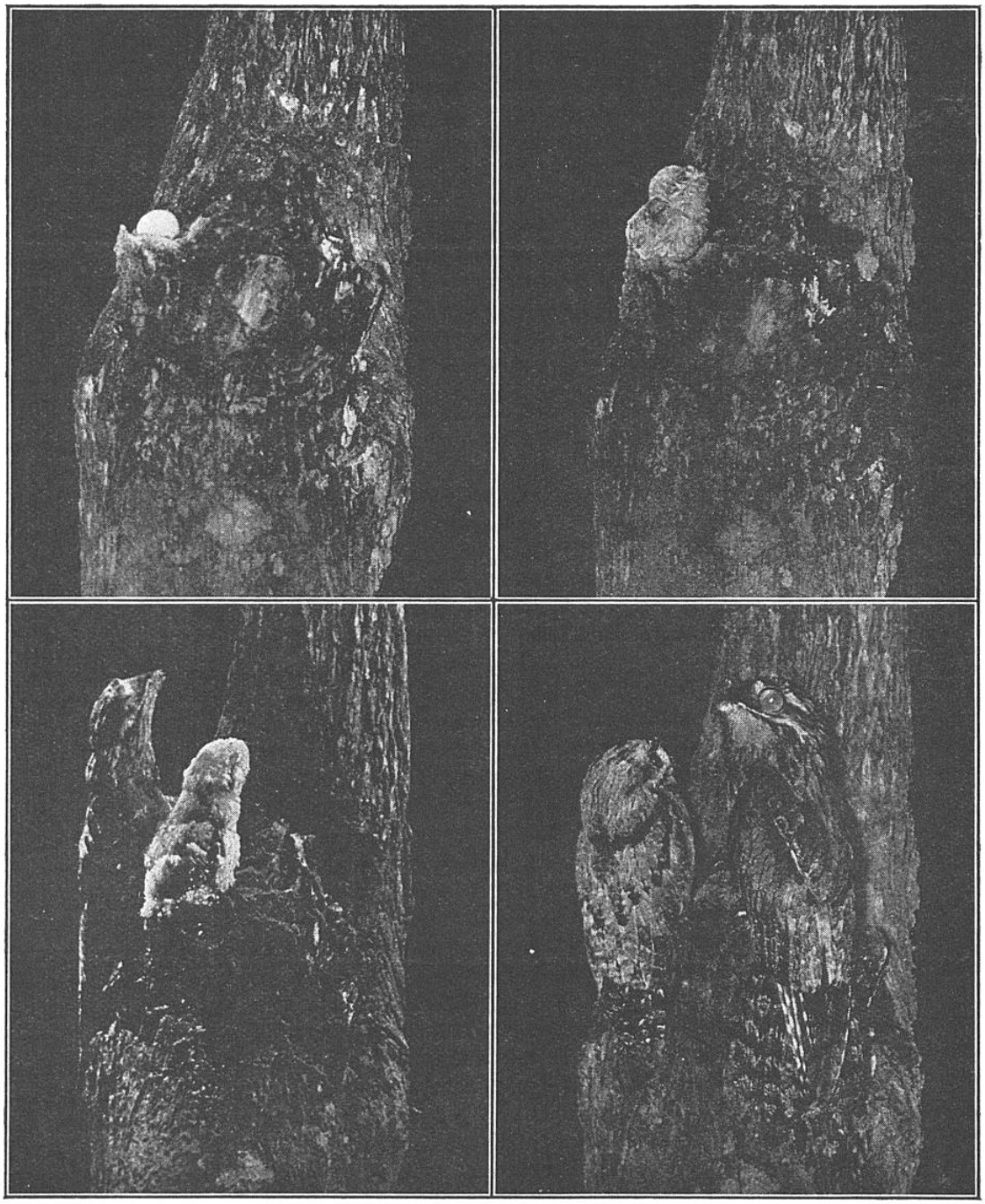
ANDRÉ GUILLAUMIN.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 219, page 208.

(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 253, page 300.

(3) Nous ne pouvons nous étendre ici sur ce point ; bornons-nous à indiquer, à titre d'exemple, que l'alcool de grain que l'on propose d'employer comme carburant, sous prétexte d'écouler une récolte de blé excédentaire, coûterait, d'après les estimations les plus autorisées, douze à quinze fois plus cher que l'essence, la différence devant être, bien entendu, trouvée dans la poche du contribuable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



L'OISEAU « NYCTIBIUS GRISEIUS » IMITE LE MOIGNON D'UNE BRANCHE MORTE

Cet oiseau nocturne, qui vit dans l'île de la Trinité, conserve durant le jour une immobilité absolue, dans une attitude verticale, la queue plaquée contre le tronc d'arbre dont il a choisi un accident noueux pour y blottir son nid. De gauche à droite et de haut en bas, on voit ici : l'œuf déposé dans la saillie d'un moignon de branche morte ; le poussin âgé de quatorze jours ; à vingt-six jours, le poussin reçoit de sa mère des « leçons de maintien » qu'il devra appliquer sa vie durant pour échapper à la vue de ses ennemis ; la leçon est parfaitement apprise. L'oiseau adulte va prendre son vol nocturne. Quand son plumage se sera foncé, il sera indiscernable d'un quelconque accident de bois mort.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

UNE GRANDE ÉNIGME BIOLOGIQUE : LE MIMÉTISME

Par Victor JOUGLA

Le mimétisme compte parmi les phénomènes les plus remarquables et, en même temps, les moins bien élucidés de la biologie animale. Il s'agit de la faculté que possèdent certains animaux de prendre des aspects ou des colorations qui les font paraître (à nos yeux tout au moins), pour ce qu'ils ne sont pas. Tantôt, par « homochromie », l'animal assortit une fois pour toutes sa couleur à celle du milieu où il vit habituellement ; tantôt, comme le caméléon, il modifie sa coloration lorsqu'il se déplace ; tantôt même, il adopte non seulement des couleurs, mais des formes qui rappellent des objets inanimés ou d'autres animaux. Les explications proposées jusqu'ici pour ces innombrables et incontestables faits d'observation : influence du milieu extérieur, sélection naturelle, psychisme de l'espèce, sont encore loin d'être entièrement satisfaisantes. Le problème du mimétisme est étroitement apparenté à celui, beaucoup plus général, de l'adaptation des êtres vivants aux conditions extérieures de la vie et de l'évolution des formes organisées, qui a suscité déjà de nombreuses théories entre lesquelles la biologie moderne n'a pu encore se prononcer.

Qu'est-ce que le mimétisme ? Et, d'abord, « existe-t-il » ?

Nous voici au bord de la mer. En général, les poissons sont « noir-bleu » sur le dos et « blanc-argent » sous le ventre. Pourquoi cette dichromie? Hasard? Non, puisque l'immense majorité de la gent aquatique adopte cette livrée. Effet de l'insolation ? Peut-être ; un baigneur qui présenterait avec une constance *absolue* son dos au soleil aurait le dos « bruni » tandis que sa poitrine garderait sa couleur « chair » naturelle. Volonté profonde (inconsciente et « biologique » pour tout dire) de l'animal? Dans ce cas, les motifs de cet acte de volonté seraient évidents : tout poisson a des ennemis de surface, les pêcheurs, hommes et cormorans, et des ennemis de profondeur : les rougets, par exemple, attaquent les mulets en remontant, tout comme le poisson-scie monte sournoisement à l'assaut des énormes proies dont il convoite les entrailles. Dans cette hypothèse, la dichromie des poissons aurait pour but d'échapper à l'attention des ennemis inférieurs, car l'« argenture » du ventre les confond avec l'eau supérieure, irradiée de lumière ; tandis que la couleur foncée de leur dos, se confondant avec celle du fond marin, les protégerait du regard des pêcheurs de surface.

Restons encore un instant avec les poissons. Visitons les *poissons plats*, soles et turbots, qui vivent, eux, à même le fond, de sable ou de galets. Ici, le mimétisme dorsal est encore plus subtil : le turbot et certaines soles imitent, à s'y méprendre, sur leur épiderme dorsal, le *fond de la mer* qu'ils fréquentent à plat ventre. En Amérique, Mast décrit des turbots qui, sur fond blanc, deviennent blancs ; noirs, sur fond noir et, ainsi de suite : bleus, verts, orange ou roses. Seul le rouge leur échappe, et encore *partiellement*. Après quelques jours d'exercices forcés, en aquarium truqué, le poisson réagit de plus en plus vite aux colorations les plus diverses des fonds qui lui sont présentés. Placé « à cheval » sur fond mi-partie blanc et noir, sa tête devient blanche et sa queue noire.

Comme vous voyez, je suis allé chercher mon « caméléon » au fond de la mer, mais seulement pour montrer que le caméléon quadrupède classique ne doit sa renommée qu'à sa familiarité avec les humains.

Un homme de lettres, excellent et patient observateur, Francis de Miomandre, a récemment publié les faits et gestes de *son caméléon*, Séti. Je ne retiendrai de ces faits et gestes que les deux suivants, parce qu'ils sont éminemment caractéristiques du problème qui nous occupe. Certain jour, Miomandre expose son caméléon au soleil, sur un *tapis rouge :* Séti, peu à peu, s'aplatit comme un gant et devient noir comme l'encre ! Voilà qui est inattendu, même pour les théoriciens qui ramènent le mimétisme a une imitation automatique des couleurs du milieu, phénomène qu'ils désignent sous le nom d'*homochromie*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici l'autre fait : abandonné longuement dans une pièce obscure, le caméléon, *surpris d'un brusque tour de commutateur*, apparaît tout blanc et sphérique. Pourquoi n'était-il pas noir, dans l'obscurité?

L'auteur laisse la réponse en suspens. Mais le physicien est obligé de reconnaître que *s'il désire* se chauffer *au maximum des possibilités que lui offre le Soleil*, le caméléon doit se peindre en noir (couleur absorbante par excellence) et si possible, « s'aplatir », c'est-à-dire offrir le maximum de surface pour le volume de son corps. C'est exactement ce qu'a fait le caméléon de Miomandre ; sur son tapis rouge ensoleillé, il est devenu « noir » et non pas rouge, comme il l'aurait fait probablement s'il s'était agi de passer inaperçu. Mais, apprivoisé, il se trouvait « chez lui », en sûreté, sur ce tapis rouge. L'acte apparaît donc ici non seulement volontaire, mais « intelligent ».

D'autre part, enfermé dans sa pièce close et obscure, le caméléon frileux prend ses dispositions pour *conserver le plus possible sa chaleur interne* et *ne pas jouer le rôle d'un radiateur* vis-à-vis de l'appartement privé de soleil. Il choisit donc la couleur blanche (d'*émission énergétique minimum*) et la forme sphérique, comme étant celle du *minimum de surface* pour le volume, incompressible mais incroyablement plastique, de son propre corps.

Nous voici donc passés, grâce à quelques exemples choisis, du « mimétisme » en apparence le plus passif, le plus naturel », celui des poissons, au « mimétisme » actif le plus savant, celui d'un caméléon qui semble connaître aussi bien que nos plus modernes physiciens, les lois du rayonnement et de l'absorption de l'énergie par le « corps noir ».

Entre ces deux *actes* extrêmes de mimétisme, celui des poissons plats, que l'on peut sans invraisemblance attribuer à un « réflexe » inconscient et celui du caméléon « savant » qui *choisit* entre se dissimuler par « homochromie » et « profiter au mieux, en toute sécurité, des conditions physiques du milieu extérieur », ce qui exige précisément une « antichromie », on peut classer toute une gamme variée d'autres exemples.

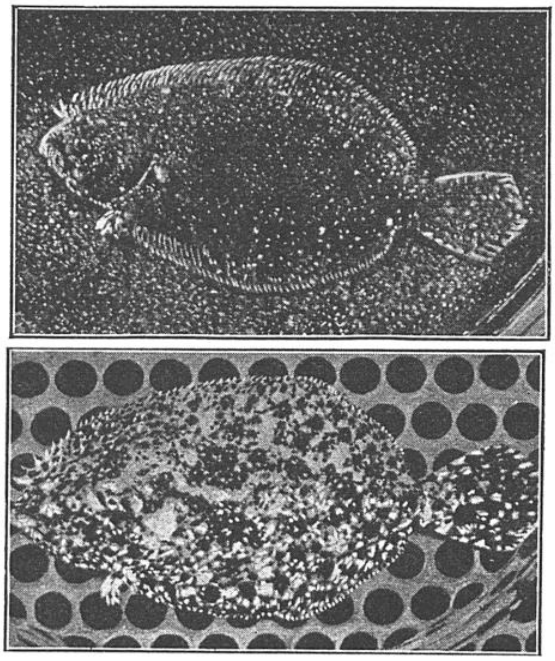


FIG. 1 ET 2. — LE MIMÉTISME DE CES TURBOTS, PARTICULIÈREMENT ÉTUDIÉ PAR MAST, EN AMÉRIQUE, EST VRAIMENT REMARQUABLE

Ces poissons font varier le mouchetage de leur peau dorsale de manière à imiter exactement le fond sur lequel ils sont posés. Quand le fond qui leur est proposé possède une structure par trop géométrique (fig. du bas), les turbots font ce qu'ils peuvent, mais, constatez-le, l'intention y est.

Les actes mimétiques sont » transitoires « ou « permanents » ; ils interviennent sur la *couleur* du corps ou sur sa *forme*. Mais ils prennent encore d'autres aspects « intentionnels » relevant de bien d'autres considérations que les conditions physiques. Nous en signalerons quelques-uns avant de terminer. En sorte que le *mimétisme*, accepté en tant qu'énigme naturelle à déchiffrer au même titre que toutes les autres énigmes de la Nature, peut se définir par la phrase suivante empruntée à M. Paul Vignon, professeur à l'Institut catholique de Paris : « Est mimétique, à mon gré, tout geste, tout acte en vertu de quoi le vivant se donne l'air de ce qu'il n'est point, soit qu'il copie un confrère, soit qu'il vise à se perdre dans le milieu, soit qu'il imite un objet particulier. » Le mimétisme dérive, on le voit, d'un processus complexe.

Les trois degrés du mimétisme

Il ressort de là qu'il faut distinguer trois sortes de « copies » : celles, d'abord, qui semblent relever d'un acte réfléchi, « psychique » ; celles qui relèvent d'un acte « instinctif » ; celles qui sont incorporées, de la naissance à la mort, dans « l'organisme » lui-même.

Le mimétisme « psychique » — quasi intelligent — nous venons, avec le caméléon, d'en fournir un exemple qui ne laisse rien

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à désirer. Mais, dans le monde infiniment riche où nous pénétrons dès cet instant, il est aisé de produire d'autres cas, non moins évocateurs. Que pensez-vous des « chenilles-serpents » ? Ce ne sont pas des serpents, ce sont des chenilles qui adoptent, momentanément, la forme, par exemple, d'un « serpent minute » afin d'éloigner leur ennemi.

Voici *Leucorhampa ornatus*. C'est une chenille de 15 cm qui, à l'état normal, imite déjà une *brindille de bois* ; mais qu'un babouin, par exemple, l'approche, aussitôt elle gonfle sa tête en triangle ; elle y fait apparaître deux ocelles pointés du même noir vif que la prunelle du serpent. Le babouin s'enfuit en poussant des cris. Après quoi, la chenille reprend sa forme de... chenille en bois mort. D'autres chenilles-serpents (dont l'énumération porterait la liste à une vingtaine d'espèces) appesantissent leur imitation sur les « écailles » labiales du « confrère animal imité », comme dit Paul Vignon ; d'autres la font porter sur les écailles *multicolores* du corps entier, etc.

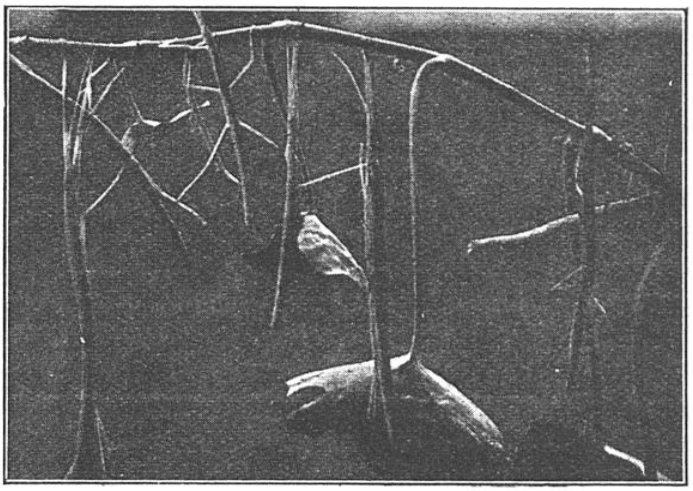


FIG. 4. — LES PHASMES DU LIERRE « CARIAUSUS MOROSUS » PRENNENT, EUX, UN ASPECT ANALOGUE A CELUI DE BRINDILLES ET SE FIXENT EN PENDELOQUES AUX BRANCHES DU VÉGÉTAL

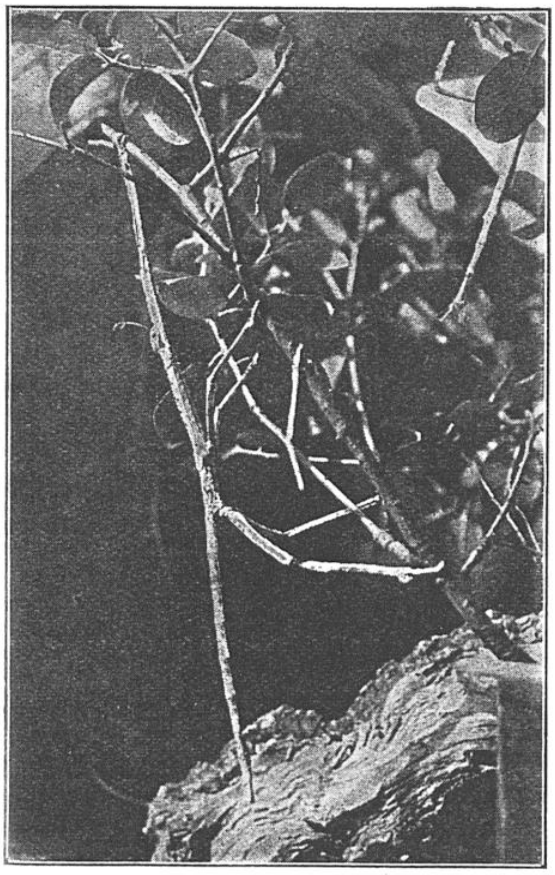


FIG. 3. — VOICI UN PHASME « EURYENEMA GOLIATH » SUSPENDU A UN ARBUSTE

Le corps de l'insecte, dont les membres sont entrelacés avec les petites branches de l'arbuste, ne peut être discerné qu'avec une grande attention.

Passons au « mimétisme instinctif » : c'est, à notre sens, celui par lequel s'effectuent les variations quasi automatiques — « réflexes », disent les biologistes — *de couleur et de dessin*, déjà signalées à propos des poissons plats. Car il faut maintenant y insister ; il ne s'agit pas seulement d'une imitation colorée du fond de la mer, mais encore d'une reproduction complète, imitant les contrastes, par exemple, des galets blancs sur le sable rouge ; bref, reproduisant ce que les Anglais désignent d'un mot presque intraduisible, le « pattern » — la « marque de fabrique » — falsifiée par le copiste.

L'imitation « psychique », volontaire, exige, de toute évidence, une opération *mentale*, quelle qu'elle soit, de quelque nom qu'on la désigne. L'imitation dite « instinctive » peut-elle s'expliquer par des « réflexes » ?

Et, d'abord, de quel mécanisme *physiologique* dispose l'animal pour changer ainsi d'aspect coloré, avec une aussi grande variété de stigmates? Ce mécanisme, on le connaît : des vésicules porteuses de *pigments colorés complémentaires* (rouge, jaune et bleu,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pas exemple) s'ouvrent ou se ferment sur excitation de nerfs *moteurs* affectés à la *commande* de ces vésicules. Par excitation « réflexe », on entend, d'ordinaire, la réponse des nerfs moteurs à l'excitation des nerfs sensoriels, sans que la volonté consciente intervienne. L'*organisation* de cette réponse s'effectue, chez les vertébrés, dans la moelle épinière ; chez les organismes inférieurs, dans les centres ganglionaires. Si vous touchez la « corne » d'un escargot, celui-ci rentre sa corne : cela *peut* être expliqué par un « réflexe ». C'est un acte automatique, « analogue » à toutes les *réactions* que l'on rencontre en physique et en mécanique. Les biologistes classent dans ce genre de « réactions » les « tropismes » — question sur laquelle nous reviendrons un jour : ainsi les fourmis reculent devant l'ultraviolet brusquement projeté devant elles ; certains insectes fuient instantanément la lumière ; d'autres y accourent jusqu'à se brûler, tels certains papillons « nocturnes ». Mais, pour ce qui concerne les poissons, il est évident que ce n'est pas l' « image » colorée du fond marin qui provoque automatiquement la reproduction de cette image sur la face dorsale (précisément opposée au fond en question). Il faut que la *transmission imagée* s'effectue par l'intermédiaire de la rétine, c'est-à-dire de la vision normale. Preuve : si, chez le turbot, à cheval *sur fond blanc et noir*, on crève l'œil regardant le côté blanc, c'est *toute la face dorsale qui devient noire.*

Ainsi posée, l'énigme de mimétisme instinctif n'en devient que plus mystérieuse, puisque les « réflexes » tropiques ne peuvent l'expliquer.

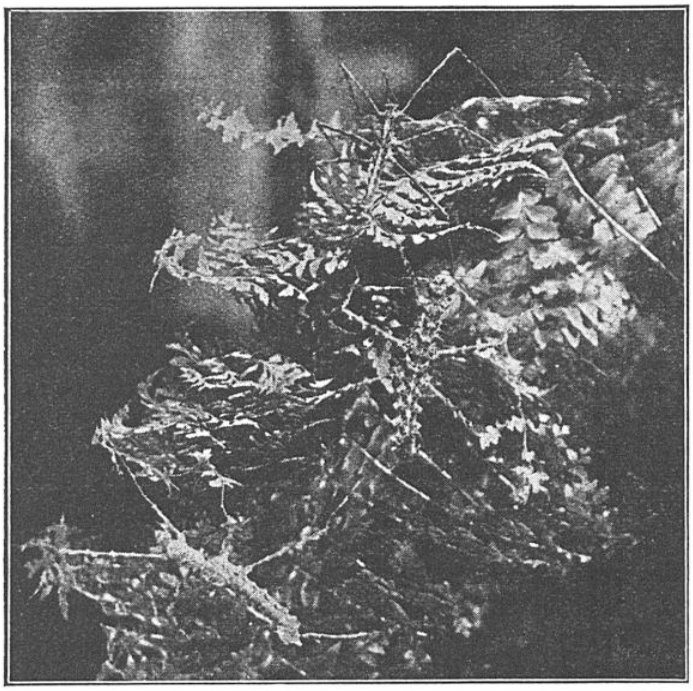


FIG. 5. — AUTRE PHASME QUI HABITE LA FOUGÈRE

La figure ci-dessus comporte trois de ces animaux dont un seul, au sommet de la photographie, est nettement visible. Les deux autres se confondent avec la texture de la feuille.

Mais bien plus grand encore reste le mystère entourant la troisième espèce de mimétisme, permanent, que nous avons appelé : « organique ». Nous allons y insister particulièrement.

Des insectes qui imitent des brindilles, des feuilles, des épines

L'exemple classique du mimétisme organique est celui de ces « phasmes », tel *Carausius morosus*, qui, suspendu dans le lierre, constituant son habitat naturel, ne peut se distinguer à première vue des brindilles du même végétal ; c'est encore celui de ces « phyllies » *(Phyllium bioculatum)* qui, vivant dans le chêne, ressemblent, à s'y méprendre, à l'une quelconque des feuilles de l'arbre, *vertes en été, jaunies à l'automne ;* c'est celui de la « sauterelle - paille » (*Leptacis filiformis*), qui, ailes repliées, évoque invinciblement un brin de tige d'avoine entouré de quelques feuilles ; c'est celui de ces « charançons » dont nous présentons quelques spécimens *(Lithinus nigrocostatus)* qui, appliqués à l'écorce du bouleau dont ils vivent, sont absolument indiscernables de la texture naturelle de cette écorce.

Dans cette voie, nous rencontrons encore des « insectes-épines » *(Pseudo-camthops spinulosa)*, et la série unique des *phasmes* dont la spécialité est d'imiter une brindille de bois avec ses ramifications et ses nodosités : les élytres, les antennes, les pattes de l'insecte constituent ces ramifications branchées sur le corps craquelé comme une écorce végétale. L'un de ces phasmes *(Achrioptera spinosissima)* pousse la virtuosité jusqu'à se colorer en *vert tendre* avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des nodosités sur sa queue et des *épines rouges* (évoquant celles des rosiers) sur les pattes et la partie antérieure du corps.

Les « sauterelles-feuilles »

Les sauterelles-feuilles, dont nous présentons ici un spécimen, se sont donné des ailes qui, repliées, en position de repos, « sont », pour l'objectif photographique, de « vraies » feuilles — c'est-à-dire possédant les nervures et les dentelures des feuilles au milieu desquelles elles vivent.

Mieux encore, vous trouverez, parmi elles, *Tanusia signata* dont les taches superficielles colorées imitent rigoureusement les mêmes stigmates possédés par certaines espèces végétales, qu'a identifiées M. Vignon. Et d'autres, telle *Pterochroza nimia*, qui se sont offert le luxe d'imiter les morsures des chenilles qui, d'ordinaire, broutent les « vraies » feuilles et non pas les ailes de sauterelles. Celles-ci ne l'admettraient pas ! Du reste, regardez de plus près (fig. 10) et vous verrez que les « pseudo-morsures » figurant en frange de l'aile droite de l'insecte se retrouvent, *parfaitement symétriques*, sur l'aile gauche. De même un autre « accident », un « trou » se retrouve symétriquement.



FIG. 6. — LE « PHYLLIUM BIOCULATUM » DE MALAISIE EST UN ORTHOPTÈRE DONT LES AILES, AU REPOS, IMITENT A S'Y MÉPRENDRE LES FEUILLES DE L'ARBUSTE QUI L'HÉBERGE

D'autres sauterelles-feuilles maculent leurs ailes de taches, non moins symétriques, évoquant des moisissures, tandis que l'avant de leur corps (visible par delà les ailes repliées) prend l'aspect putréfié. Les moisissures sont tellement bien copiées sur la nature qu'un spécialiste (mycologiste) est capable de dire, sans erreur possible, l'espèce de cryptogames qui, seule, est susceptible de les produire.

Les « sauterelles-feuilles » de l'Amérique Centrale ont fait, de la part de M. Vignon, l'objet d'une étude approfondie, appuyée des illustrations d'un grand Atlas (archives du Muséum) où le savant entomologiste analyse l'évolution des « nervures » des ailes. Il est évident, en effet, que les ner-

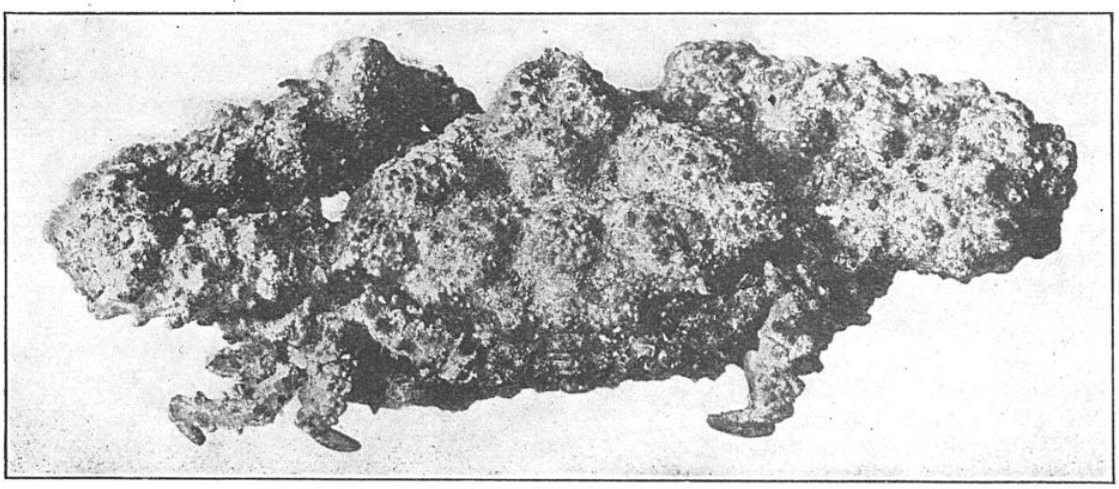


FIG. 7. — CRABE MIMÉTIQUE VIVANT SUR DES FONDS CALCAIRES, DONT LA RESSEMBLANCE AVEC UN FRAGMENT DE ROCHE EST EN TOUS POINTS REMARQUABLE

Il a fallu, d'ailleurs, le séparer de son rocher natal pour pouvoir le photographier distinctement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

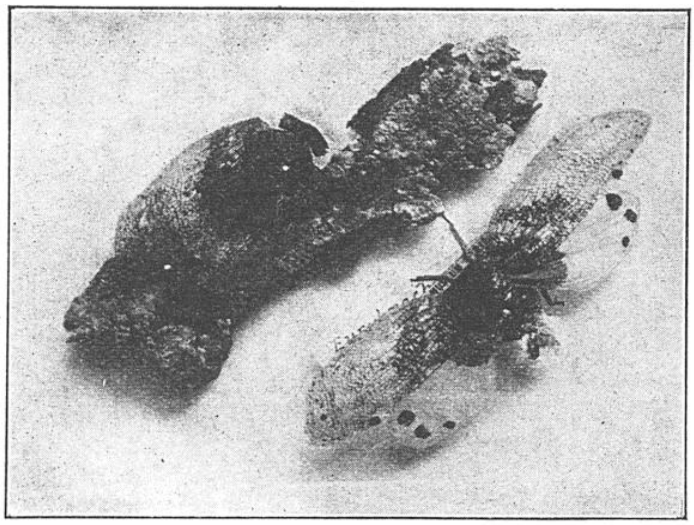


FIG. 8. — VOICI UN LÉPIDOPTÈRE MIMÉTIQUE VIVANT HABITUELLEMENT SUR LES ÉCORCES D'ARBRES

Comparez sa forme au repos sur l'écorce à gauche et sa forme active, ailes déployées, à droite. Ailes repliées, il est indiscernable de l'écorce. Ailes ouvertes, il s'orne de taches carmin.

vures d'une feuille destinée à ballotter au gré du vent, ne sont peut-être pas indiquées comme les meilleures pour une aile destinée à voler. Or, c'est merveille de voir, sous l'analyse de M. Vignon, comme l'insecte est parvenu à concilier son imitation végétale et les nécessités aérodynamiques. S'il se donne un stigmate en forme de « trou », ne craignez rien, l'insecte entoure le trou d'un renforcement comme l'ingénieur entoure d'un « bordé » spécial le hublot d'un avion.

De plus, M. Vignon suit, à la trace, par comparaison des espèces voisines, l'évolution par laquelle se forment les stigmates des ailes chez ces sauterelles-feuilles.

La morphologie *organique* de l'insecte semble due, en conséquence, à une volonté progressive émanant non plus du « psychisme individuel » dont les actes sont toujours temporaires, mais d'une sorte de psychisme *de l'espèce*. C'est peu à peu qu'une sauterelle-feuille sort, par mutations successives, du cadre ordinaire que sa race tient de la nature.

Ajoutons ceci que les sauterelles-feuilles sont extrêmement rares. Certains spécimens n'existent qu'à trois exemplaires dans les collections de musée. Cette rareté indique bien que ce n'est pas comme *moyen de défense* que l'espèce en question prend l'aspect d'une feuille. Elle semble moins favorisée, dans la lutte pour l'existence, que ses cousines les plus proches, demeurées d'aspect « normal ». On dirait, dans ce cas, que le mimétisme n'est qu'une fantaisie désintéressée et, pour tout dire, *d'artiste* copiant le milieu extérieur pour le plaisir.

L'oiseau « Nyctibius griseius » et les grenouilles « empoisonnées »

Remontons plus haut, beaucoup plus haut, dans l'échelle des êtres. Voici un oiseau nocturne d'Amérique, le *Nyctibius griseius*.

Cet animal niche dans le creux d'un tronc d'arbre. Dès qu'il sort de l'œuf, il prend la couleur et la forme d'un bout de branche *brisé* en biseau. A mesure qu'il grandit, cette imitation se perfectionne. Voyez plutôt les photographies page 494. Ne dirait-on pas de cet oiseau qu'il figure le bas d'une branche cassée? C'est la femelle adulte, en

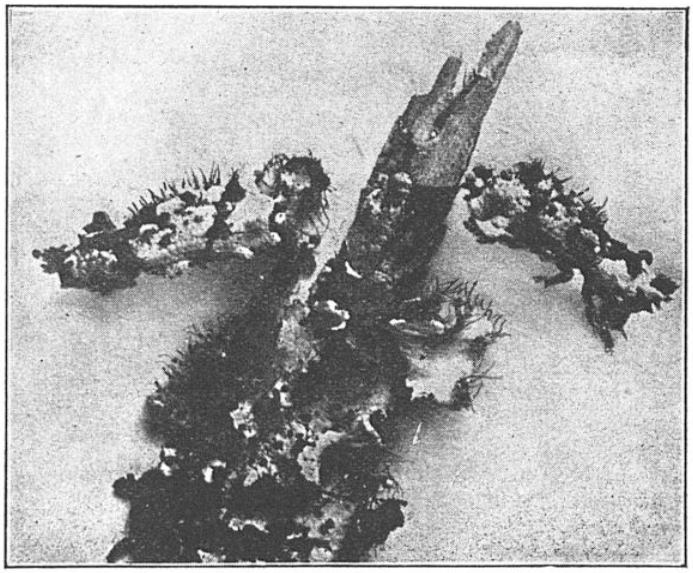


FIG. 9. — VOICI MAINTENANT UN COLÉOPTÈRE (UN CHARANÇON) « LITHINUS NIGROCOSTATUS » PLAQUÉ SUR UNE BRINDILLE ELLE-MÊME RECOUVERTE DE LICHEN

L'insecte est indiscernable d'un brin de ce végétal parasite.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

train de couver. Ici, le « génie de l'espèce », comme dirait Schopenhauer, semble bien avoir voulu atteindre un but : *passer inaperçu*. De fait, le *Nyctibius griseius* conserve, perché sur son tronc, une immobilité absolue durant le jour. Il ne circule que la nuit.

Voici un autre exemple, parfaitement antithétique du précédent, car, ici, c'est à un « contre-mimétisme », non moins volontaire d'apparence, que nous allons assister. Il s'agit d'une grenouille. Vous savez que les grenouilles sont très malaisées à distinguer quand elles reposent immobiles sur les herbes d'un étang. Grisâtres ou vertes, chacune choisit son poste de repos en conséquence pour demeurer le moins visible. Mais il existe une grenouille exotique infiniment curieuse. Loins d'imiter ses sœurs (de même espèce), qui portent la livrée verte, couleur des algues d'étang au milieu desquelles elles vivent, cette variété de grenouilles a adopté une livrée *ultra-voyante* ; par contraste, elles sont bariolées *de rouge et de noir !* Tous les oiseaux, tous les serpents vont donc les choisir pour victimes, pensez-vous? Non pas. Leur chair constitue un *poison* violent pour ces ennemis naturels. Aussi bien, le plus jeune caneton, tout frais sorti de l'œuf, se garde bien de toucher à ces grenouilles bicolores. Il « sait » — d'instinct — qu'elles sont « empoisonnées ». Et la couleur intensément « voyante » est là pour le lui rappeler. Dans ce cas, la variété de grenouilles a procédé par contre-mimétisme, par « antichromie » pour atteindre son but de protection.

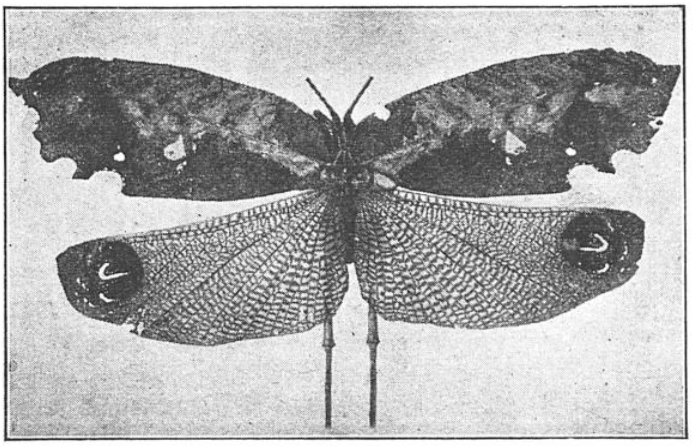


FIG. 10. — LA SAUTERELLE-FEUILLE « PTEROCHROZA NIMIA » DE VIGNON VIT EN AMÉRIQUE CENTRALE

Non seulement ses ailes déployées imitent une feuille avec ses nervures et ses taches colorées, mais encore ses ailes sont découpées comme par des rognures accidentelles et des trous dont il convient d'observer qu'ils ne sauraient être attribués au hasard, puisqu'ils sont disposés d'une manière parfaitement symétrique sur les deux ailes de l'animal.

L'immense portée biologique du problème du mimétisme

Nous pensons avoir choisi des exemples assez contrastés pour montrer les divers aspects sous lesquels se présente le problème du mimétisme. Nous pourrions *décupler* les exemples choisis. Ce n'est pas notre rôle.

Donnons maintenant la parole à M. Etienne Rabaud, professeur à la Sorbonne :

« Les exemples d'animaux simulant les objets les plus variés sont fort nombreux, écrit-il. Ce sont des *papillons* qui rappellent, à s'y méprendre, une feuille morte ou vivante, par la *forme* ou la *coloration*, le *dessin* et l'*attitude*... Ce sont des orthoptères variés, sauterelles, mantes ou phasmes qui affectent également, par des moyens analogues, un aspect très semblable. Ce sont des insectes dont le thorax porte un long prolongement donnant l'impression d'une épine ou d'un bourgeon, dont le corps cylindrique, les membres grêles ressemblent à quelque brindille de bois mort ou desséché ; ce sont enfin tous les animaux dont la coloration générale est censée se confondre avec celle de leur environnement.

« Longtemps on a cru voir un moyen de défense dans ces dispositions. Cette interprétation antropomorphique ne résiste pas à un examen comparatif étendu et à l'expérimentation. On s'accorde actuellement pour voir dans les faits de mimétisme de *simples convergences de formes*, résultats de pures coïncidences. »

C'est là, de toute évidence, une fin de non-recevoir. Pour M. Rabaud, le problème du mimétisme n'existe ni du point de vue « organique », ni du point de vue « psychique ». Quant aux effets de couleur — quelque « réfléchis » que le caméléon nous les ait offerts — ce ne seraient là que des effets dus à l'action réflexe du milieu sur l'organisme.

Il est certain, et personne ne le conteste, que les changements de coloration des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poissons plats et du caméléon ne peuvent être suivis par les physiologistes depuis l'*impression sensorielle rétinienne* jusqu'à la réponse motrice des nerfs sympathiques desquels dépendent les commandes des vésicules pigmentaires : et ce mécanisme peut être appelé un « réflexe ». Simple définition. On a mis en évidence l'intervention de la glande *hypophyse* dans le « phénomène dit d'homochromie » des grenouilles ; en son absence, le phénomène ne se produit pas. De même, si l'on ôte l'hypophyse aux turbots mimétiques, les changements de couleur ne se produisent plus. L'ablation des yeux détruit encore plus sûrement leur faculté mimétique.

Mais, à notre sens, le problème ne réside pas dans l'explication du *mécanisme physiologique*. Les physiologistes nous expliquent fort bien par quelles successions d'excitations « neuro-chimiques » et finalement « musculaires » notre bras se lève quand nous lui *ordonnons* de se lever. Mais pourquoi nous le levons ou nous l'abaissons, suivant *les circonstances* imprévues, à tout instant variables, que nous offre le milieu dans lequel nous vivons, voilà qui ne regarde pas le biologiste, mais bien le psychologue. Que cet acte physiologique dépende, *tout compte fait*, de notre volonté, cela ne fait aucun doute pour personne.

Le problème du mimétisme, tel que le présente M. Vignon, avec un faisceau de variantes hallucinant, dépasse la physiologie. Il touche à la nature profonde du phénomène vivant.

Pour Claude Bernard, les caractères de la vie se ramenaient à des caractères *de forme*. Aujourd'hui, sans doute, la morphologie est dominée par la biochimie : la présence ou l'absence de certaines « hormones » modifient les formes vivantes. Mais, par là, le « problème de la vie » n'est pas résolu : sa solution est reculée, voilà tout.

Au contraire, la thèse de M. Vignon, directement liée au « néovitalisme » moderne, inspiré de la grande philosophie de M. Bergson, est que le moteur premier *(primus movens)* biologique, ne saurait être trouvé ni dans des « lois » biochimiques ni, *a fortiori*, dans des *réactions* purement automatiques des êtres vivants aux *actions* physiques du milieu extérieur. Entre le « milieu » et « l'animal », il faut décider lequel des deux *prend l'initiative*.

Pour M. Vignon, dans le phénomène de la vie, c'est l'être vivant qui prend l'initiative. Et cette initiative commence au germe, à l'œuf. C'est ainsi que se pose la nécessité d'admettre une sorte de « psychisme » organique — de l'espèce. Tout se passe *comme si* la formation des organes adoptés par les différentes espèces n'avait en vue que des buts précis de conservation et de reproduction. L'idée « organoformatrice », comme dit M. Vignon, préside, une fois fixée dans l'espèce, au développement des organes individuels. Le biochimisme mis en œuvre, et préparé, dès l'œuf, pour atteindre ces buts, n'est que le moyen. Il ne rend pas compte des buts infiniment variés qui *diffèrent* avec les espèces pour un même milieu. Pourquoi *toutes* les sauterelles de l'Amérique Centrale ne sont-elles pas « mimétiques »?

Sur le *plan psychique* ainsi généralisé et débordant infiniment ce que nous nommons (bien *anthropomorphiquement*, cette fois) la « conscience » réfléchie, le phénomène du mimétisme pourrait trouver ainsi un commencement d'explication. Tandis que *tous* les animaux, surtout les insectes, ont dirigé la formation de leurs organes vers une « industrie » alimentaire ou de défense spécialisée d'incroyable façon, il se serait trouvé des insectes qui, hors du point de vue strictement utilitaire, auraient imité leur habitat, dans leurs ailes-feuilles, par une sorte de transposition immédiate de leur vision du monde, en une représentation matérielle, une sorte de tableau sculpté et peint.

De ce point de vue, le problème prend une singulière extension. Avez-vous réfléchi, par exemple, à ceci : comment se fait-il qu'*une seule* plume de paon, si brillamment ocellée en cercles multicolores, ait pu se développer tout en coordonnant, sur *chaque barbe de plume*, divergente et indépendante de sa voisine, la *distribution exacte des couleurs*, de telle sorte que l'ensemble réalise précisément l' « ocelle » géométrique? Celle-ci paraît traitée, *au compas*, comme par un minutieux artiste *absolument détaché de la physiologie de la plume* et même de sa structure *physique*, matérielle.

Vous le voyez, le mystère soulevé par le plumage d'un simple gallinacé apparaît d'une profondeur immense.

VICTOR JOUGLA.

La Science et la Vie est le seul magazine de vulgarisation scientifique et industrielle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LENTEMENT, MAIS SANS ARRÊT, NOS CONTINENTS SE DÉPLACENT

Par Pierre ROUSSEAU

L'écorce terrestre se modifie continuellement sous nos yeux par l'action du vent, des eaux pluviales qui entraînent au fond des océans les matériaux arrachés à la surface des continents, de l'érosion côtière, des tremblements de terre, des éruptions volcaniques et aussi, à un plus faible degré sans doute, des organismes vivants. La géologie, aidée par la zoologie et la botanique, a pu reconstituer en partie l'histoire de l'évolution géographique du monde terrestre et de l'apparition et de la disparition des continents au cours des âges. A ces variations incessantes de la croûte solide de notre planète, dont nous pouvons observer directement les phases contemporaines, se superposent d'autres mouvements que seules des mesures de haute précision ont pu mettre en évidence, bien que leur amplitude soit souvent considérable, puisqu'en certains points de l'équateur les marées de l'écorce terrestre atteignent 50 cm. On sait aujourd'hui que le pôle terrestre, le centre de gravité du globe, son moment d'inertie, éprouvent des modifications, régulières ou non, qui entraînent des variations concomitantes dans la valeur des latitudes et des longitudes, et aussi dans la durée du jour. L'écorce terrestre repose sur un magma visqueux en perpétuelle agitation. Non seulement elle échappe à toute représentation mathématique, mais la découverte de ses pulsations continuelles (liées à l'activité solaire) nous en démontre l'instabilité foncière.

Un soir du printemps de 1906, le grand géodésien Paul Helbronner, qui entreprenait alors de trianguler les Alpes françaises, devisait avec le général Defforges et lui faisait part de son espoir que la forme de la Terre serait un jour connue d'une façon rigoureusement mathématique. « Détrompez-vous, lui répondit le savant officier, il n'y a pas à espérer perfectionner la forme mathématique de la Terre. Nous sommes parvenus, par les mesures effectuées au cours des deux derniers siècles, aux limites possibles et utiles d'assimilation, à un volume géométrique, d'une masse essentiellement hétérogène, aussi variable dans sa densité que dans sa constitution physique, à la fois solide, liquide et, probablement, surtout pâteuse. Pour synthétiser la forme générale de la Terre, s'approchant en moyenne de celle d'un ellipsoïde et qu'il nous a plu de baptiser géoïde, on n'a fait qu'appliquer un nom à allure scientifique à ce qui peut beaucoup plus simplement se qualifier de pomme de terre ».

Pomme de terre de bien mauvaise qualité, pourrions-nous ajouter, puisque l'intérieur, loin d'être homogène, est une masse complexe de magma visqueux où se poursuivent d'incessantes réactions et, de temps en temps, de formidables bouleversements, et qui a été longuement triturée au cours des âges géologiques. Qu'à cette mixture de tant d'éléments divers puisse être assignée une figure géométrique, voilà, si l'on y réfléchit, qui serait, au contraire, bien étonnant. C'est, du reste, une ambition à laquelle les géophysiciens ont renoncé, et il n'est plus question, aujourd'hui, de savoir quel ellipsoïde est le plus exact : celui de Bessel (1841), dont le demi-grand axe est long de 6 377 397 m 15 et dont l'aplatissement est de 1/299,152 8 ; celui de Clarke (1881), avec 6 378 249 m 2 et 1/293,460 ; celui de Helmert (1907), avec 6 378 200 m et 1/298,3 ou celui de Hayford (1909), avec 6 378 388 m et 1/297. « La question, dit M. Helbronner, n'est pas d'espérer perfectionner les éléments caractéristiques d'un ellipsoïde théorique en augmentant le nombre des chiffres... mais bien de s'arrêter à la construction d'un cadre dans lequel se logera, d'une façon aussi convenable que possible, sans trop écraser les aspérités de ses bords et sans faire trop détonner les diverses notes, quelquefois un peu criardes de ses couleurs, le tableau d'ensemble des mesures accumulées dans le dernier siècle et sur presque toute la surface du globe. »

Voilà pourquoi tous les savants qui s'occupent de la Terre ont décidé d'adopter un compromis et choisi, pour représenter notre planète, l'ellipsoïde de Hayford qui, s'il n'est pas plus exact que les autres, *colle* du moins tant bien que mal avec les boursouflures du

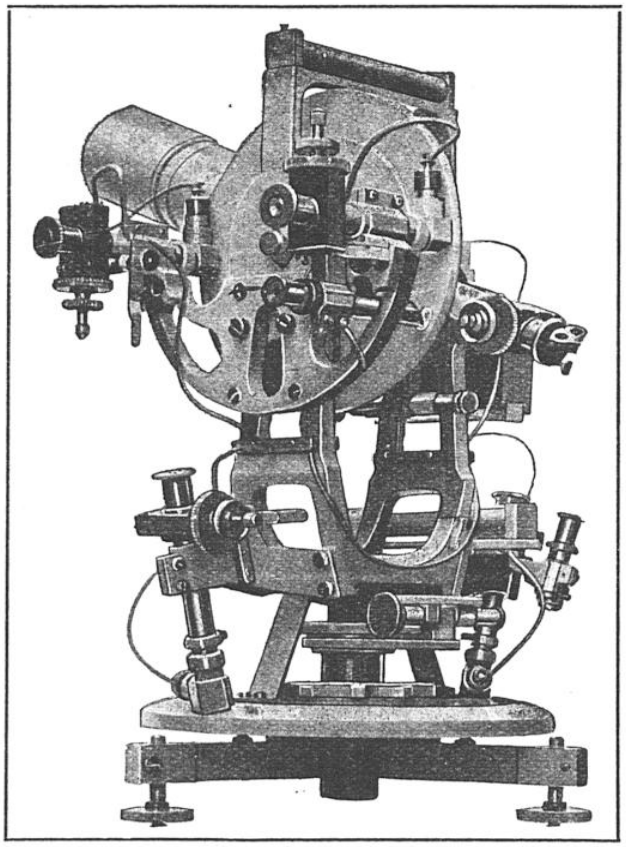
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

globe et présente, de plus, l'avantage de réunir, sur ses proportions générales, l'assentiment de l'unanimité des experts.

Un exemple montrera la nécessité de ce compromis : lorsque M. Helbronner « triangula » les Alpes, il découvrit qu'à la hauteur du Jura moyen, l'arc de méridien devait être divisé en deux parties, la partie septentrionale appartenant à un ellipsoïde plus aplati que la partie méridionale. Le général Bourgeois avait signalé naguère un fait analogue sur le méridien de Paris : au sud du Plateau Central, la figure théorique est serrée de plus près par un ellipsoïde d'aplatissement 1/308 et, au nord, par un ellipsoïde d'aplatissement un peu plus fort, 1/290.

En gros, on peut imaginer la surface terrestre comme comprise entre deux ellipsoïdes de révolution concentriques dont l'intervalle serait de 800 à 1 000 m. Quant à cette surface, le *géoïde*, on la définit, avec Gauss, comme la surface partout normale à la direction du fil à plomb et passant par un point fixe du niveau moyen de la mer. L'ellipsoïde international de référence — celui de Hayford — est ainsi choisi que, si l'on considère le volume compris entre lui et le géoïde, la portion située à l'intérieur équivaut à la portion située à l'extérieur de l'ellipsoïde.

De fait, sous certaines montagnes, le géoïde s'élève à plus de 1 000 m au-dessus de l'ellipsoïde. On conçoit que la direction du fil à plomb puisse alors s'écarter notablement de la normale à l'ellipsoïde : c'est le phénomène de la *déviation de la verticale*, et c'est justement cette déviation qui, grâce à un théorème dû à Stokes, permet de calculer la distance qui sépare le géoïde de l'ellipsoïde, c'est-à-dire la figure de la Terre, et a conduit au principe de l'isostasie.



(Chasselon.)

FIG. 1. — THÉODOLITE RÉITÉRATEUR A MICROSCOPES (MODÈLE DU SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE)

Cet instrument universel est propre à la fois aux observations géodésiques et astronomiques (déterminations des azimuths et des latitudes). La lunette se déplace autour d'un axe horizontal et tout l'instrument peut tourner autour d'un axe vertical. Les lectures sur les cercles gradués (vertical et horizontal) se font au microscope.

Les marées de l'écorce

Que la Terre soit un corps irrégulier plus ou moins déformé, plus ou moins difficile à habiller d'un vêtement mathématique, le géodésien, l'astronome pourraient à la rigueur s'en accommoder. Peu nous importe pratiquement, pourraient-ils se dire, que l'écorce terrestre ne soit pas géométriquement façonnée, qu'elle se divise même, comme le prétend le Japonais Naomi Miyabe, en blocs de 10 à 50 km de longueur, séparés par des failles, et reposant sur un lit basaltique pâteux : il nous suffit que ce sol soit fixe, pour y asseoir en toute quiétude nos instruments de précision et y établir nos mesures.

Eh bien ! le géodésien, l'astronome n'ont même pas cette consolation. Non seulement la surface terrestre n'est pas régulière, mais elle n'est pas fixe. L'un de ses mouvements fut mis en lumière, il y a trente ans, par Charles Lallemand. Au vrai, on soupçonnait depuis longtemps l'existence des marées de l'écorce : si la Terre est un corps visqueux, pensait-on, elle n'échappe sûrement pas à l'attraction du Soleil et de la Lune ; comme l'Océan, la partie solide doit présenter des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

oscillations diurnes, mensuelles, annuelles, et même des ondes de 9 ans 1/3 et de 18 ans 2/3, liées à la nutation. Le difficile était de les déceler. On ne dispose plus, alors, de repères fixes, et le seul instrument utilisable est le pendule, dont la direction doit suivre les déformations de l'écorce. La chose n'est pas rendue plus aisée pour cela : les déviations n'atteignent pas 1/100 de seconde, et la pointe d'un pendule de 1 mètre ne sort pas, dans ses écarts extrêmes, d'un cercle de 1/20 000 de mm de rayon !

Hecker, à Potsdam, parvint néanmoins à enregistrer ces écarts à l'aide d'un pendule horizontal, lequel permet d'amplifier les oscillations, et dont le déplacement équivalait à celui d'un pendule aussi haut que le mont Blanc. Il obtint ainsi une oscillation diurne, due au Soleil, et une autre de vingt-quatre heures due à la Lune, résultat qui mettait en évidence les marées journalières de l'écorce. On sait maintenant qu'à l'équateur, au moment des pleines ou des nouvelles lunes équinoxiales, l'amplitude de ces marées n'atteint pas moins de 50 cm. Sous nos latitudes, elle est moitié moindre, mais amène encore, entre l'Europe et l'Amérique, des différences de longitude de l'ordre de 0 s 002 5.

Les pôles voyageurs

La surprise des astronomes n'avait pas été moindre lorsqu'ils s'étaient aperçus, vers 1885, que leurs observatoires changeaient de place. Déterminant, en effet, leurs coordonnées géographiques, ils avaient remarqué que la latitude variait. La variation n'était pas grande, mais les premières mesures entreprises montrèrent que, de janvier 1889 à l'été de 1890, elle correspondait

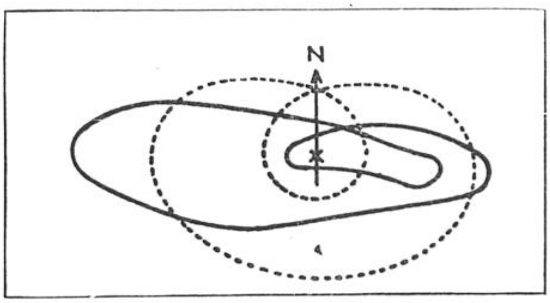


FIG. 2. - LES MARÉES DE L'ÉCORCE TERRESTRE

Cette courbe représente le mouvement moyen journalier du pendule, sous l'action de la Lune. Le trait continu correspond à l'onde réellement observée, le trait pointillé à l'onde théorique, calculée pour un globe dont la rigidité moyenne serait égale aux cinq sixièmes de celle de l'acier.

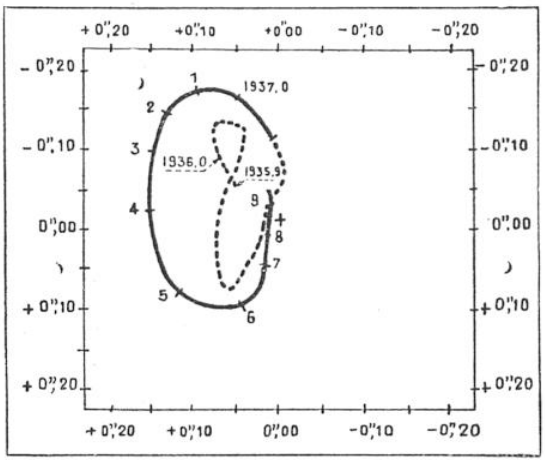


FIG. 3. — LA VARIATION DES LATITUDES EST ATTRIBUÉE A UN MOUVEMENT DU POLE

Voici la trajectoire du pôle terrestre depuis l'époque 1935,9, graduée en dixièmes d'année jusqu'à 1937,9.

à un déplacement de 20 m. On n'hésita pas à attribuer cette fluctuation à un mouvement du pôle, et l'Association Géodésique Internationale décida d'en faire continuer l'observation dans une demi-douzaine de stations, réparties tout le long du trente-neuvième parallèle. Comme la latitude d'un lieu est égale à la hauteur du pôle céleste au-dessus de l'horizon de ce lieu, la mission des hommes de science consistait à observer le pôle céleste, à en déterminer la trajectoire et à calculer la périodicité éventuelle de son mouvement.

En 1902, le problème se compliqua. Le grand savant japonais Kimura remarqua que les variations de latitude observées ne pouvaient pas être représentées uniquement par un déplacement du pôle terrestre, mais qu'il fallait ajouter, dans l'expression analytique de ce déplacement, un terme variable avec le temps, sensiblement le même pour toutes les stations. Cela revenait à supposer un changement de la direction de la verticale, comme si le centre de gravité du globe subissait un déplacement périodique le long de l'axe de rotation.

Un peu plus tard, Schnauder, discutant les observations de Potsdam, fit une nouvelle découverte : la latitude, étant calculée à l'aide d'étoiles du matin et d'étoiles du soir, n'avait pas la même valeur au bout de l'année.

Après trente-cinq ans de travail, comme le résumait l'an dernier Luigi Carnera, président de la Commission Internationale de la Variation des Latitudes, le problème est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

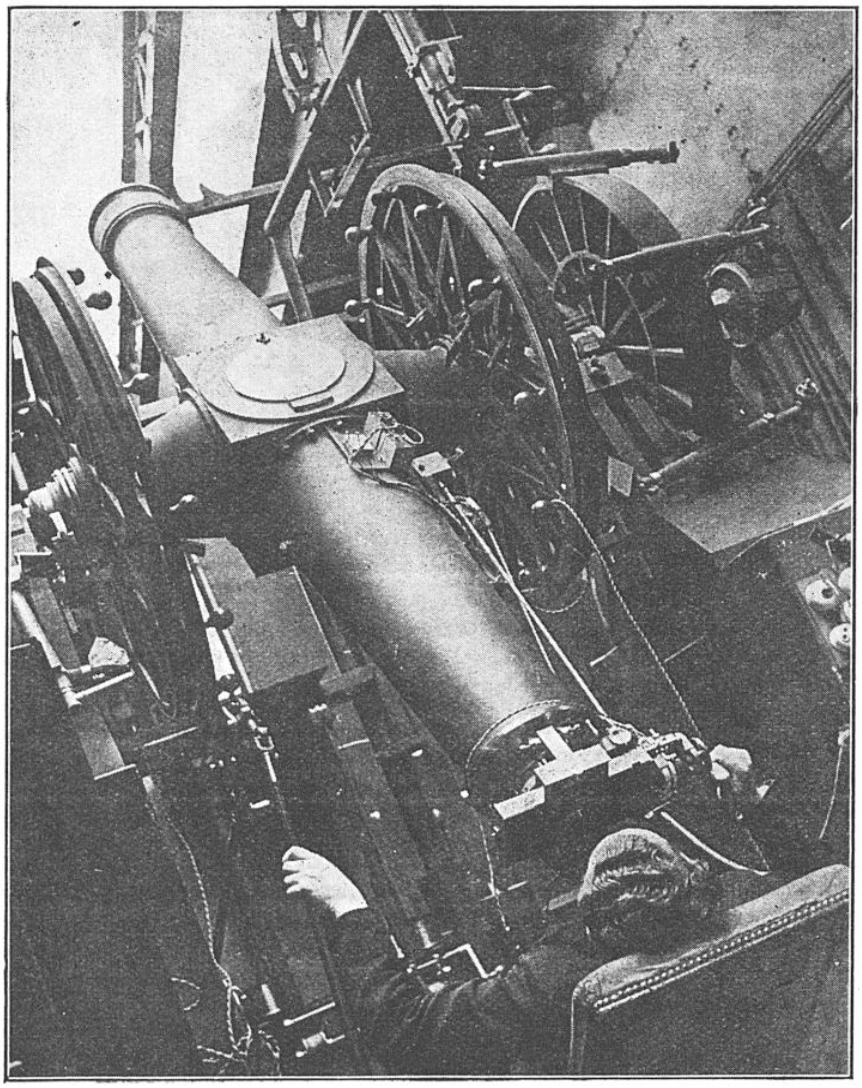


FIG. 4. - LA GRANDE LUNETTE MÉRIDIENNE DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Cette lunette est assujettie à balayer le plan du méridien, qui est défini, dans l'oculaire, par des fils d'araignée très fins. Observant le passage d'une étoile derrière ces fils et connaissant son ascension droite, l'astronome en déduit l'heure sidérale qui permet de corriger les horloges.

toujours ouvert : il reste encore à éclaircir l'origine du *terme de Kimura* et la cause de l'*erreur de fermeture*. Tout ce que l'on peut dire, c'est que, comme nous l'apprend la mécanique, le globe étant soumis à des forces extérieures constantes, son axe de rotation ne peut changer que si le globe lui-même subit des changements, c'est-à-dire s'il se produit, à l'intérieur, des variations dans la distribution des éléments. Or, nous savons que la Terre est un corps élastique, soumis parfois à d'importantes percussions internes. En tout cas, à l'heure actuelle, la variation des latitudes ne dépasse pas une amplitude d'une demi-seconde d'arc — soit une quinzaine de mètres — et la trajectoire du pôle terrestre, la «polhodie», est une sorte de spirale décrite en quatre cent trente-cinq jours.

La Terre, astre pulsatile

Les travaux les plus récents confirment l'instabilité foncière de la croûte terrestre, et il est fort remarquable que, rivés à cette mince pellicule qui drape le noyau interne et en suit tous les sursauts, les savants aient pu en mettre en lumière les lentes oscillations.

L'un de ces savants est M. N. Stoyko, astronome à l'Observatoire de Paris, qui s'est consacré à l'étude de ces agitations de la planète et qui est probablement, en la matière, la plus haute autorité du monde.

M. Stoyko travaille au Bureau International de l'Heure, qui centralise, comme on le sait, les déterminations d'heure de trente-cinq observatoires. C'est là qu'il put déceler des variations de longitude qui trahissent, à leur tour, une nouvelle source de perturbations de l'écorce.

Nos lecteurs savent comment les astronomes déterminent l'heure : quand une étoile d'ascension droite connue (1) franchit

(1) L'ascension droite d'une étoile est l'angle formé par le plan de son cercle horaire (grand cercle passant par les pôles) et d'un cercle horaire fixe pris pour origine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les fils d'araignée de la lunette méridienne, ils en déduisent immédiatement le temps sidéral, donc la correction à apporter aux horloges. Mais une étoile ne passe point au même moment, par exemple, au méridien de Paris et à celui de Washington. La différence des heures locales provient de la différence des longitudes, et on conçoit qu'elle permette de calculer cette dernière, puisque 15 degrés de parallèle mettent une heure pour défiler devant l'étoile.

C'est en étudiant la documentation du B. I. H. que M. Stoyko nota une variation dans la différence de longitude Paris-Washington. Cette variation, dont l'existence est aujourd'hui tout à fait confirmée, est périodique, de l'ordre de dix à onze ans, et son amplitude est de 0 s 055, soit de 18 m. Ainsi l'Europe et l'Amérique du Nord s'éloignèrent-elles de 1928 à 1933 et se rapprochent-elles de nouveau à l'heure actuelle. Les longitudes Paris-Tokio montrent une variation de sens opposé.

Il faut souligner que non seulement la courbe de ces variations coïncide avec celle de l'activité solaire, mais, en outre, qu'à une grande variation de cette activité correspond une grande variation de longitude.

Ce phénomène est facile à interpréter si l'on se souvient que la Terre est un corps élastique qui entre en vibrations périodiques sous l'action du Soleil. Les vibrations sont-elles communes au globe tout entier ou bien résident-elles seulement dans les couches superficielles ? Il est permis d'opter pour cette dernière hypothèse, que favorise la théorie de l'isostasie (1), et de penser, comme M. Stoyko et le mathématicien américain Brown, que ces vibrations sont celles d'une couche de 80 à 100 km d'épaisseur. Que l'on imagine alors un parallèle terrestre, déformé par ces vibrations et rendu plus ou moins elliptique : du côté du parallèle où il y a augmentation du rayon, on doit évi-

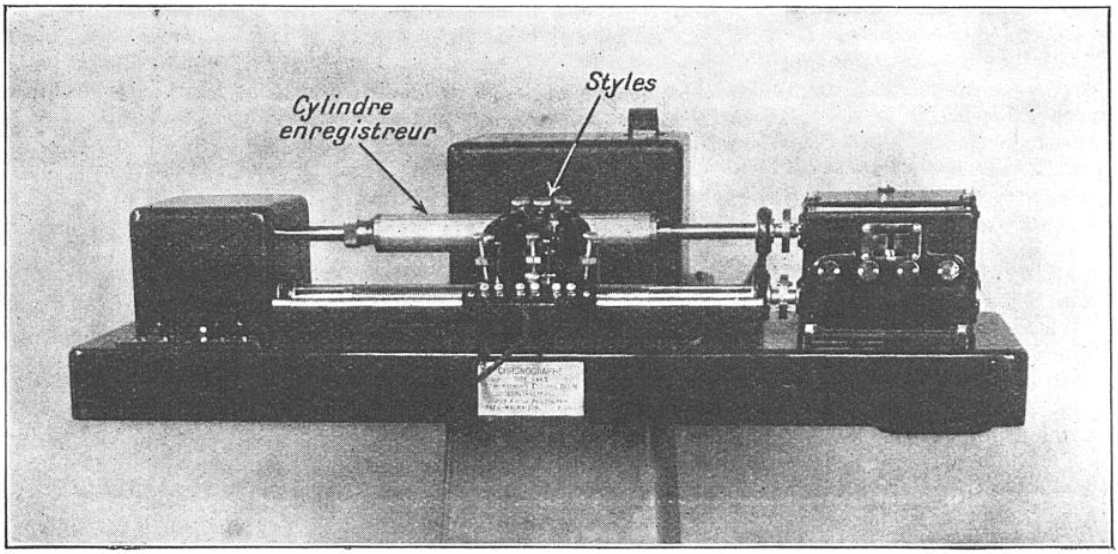


FIG. 5. — LE NOUVEAU CHRONOGRAPHE BELIN INSTALLÉ A L'OBSERVATOIRE DE PARIS

La pendule directrice de l'Observatoire, dont on mesure la « marche », entraîne un moteur synchrone qui, par l'intermédiaire d'engrenages de rapport convenable, fait tourner un cylindre à la vitesse d'un tour par seconde. Sur ce cylindre est fixée une feuille de papier coloré, recouverte d'une mince couche de paraffine. Sur des rails disposés parallèlement à la génératrice du cylindre se déplace, d'un mouvement uniforme, un chariot supportant un ou plusieurs inscripteurs électromagnétiques, dont l'armature se termine par une pointe. Les tops *émis par le garde-temps étalon actionnent les inscripteurs, dont les pointes, à chaque impulsion reçue, entrent en contact avec le papier et, grattant la couche de paraffine, tracent un trait très fin. La succession des débuts de ces traits forme une ligne droite, plus ou moins inclinée sur la génératrice. C'est la mesure de cette inclinaison qui donne la « marche » de la pendule « garde-temps ».*

(1) Suivant la théorie de la « compensation isostasique » émise en 1860 par Pratt et Airy, la quantité de matière répartie suivant les différents rayons terrestres serait la même, une compensation rigoureuse s'établissant entre les densités des matériaux constituant l'écorce, suivant l'épaisseur de celle-ci. Cette compensation serait réalisée sur une épaisseur de 100 km au maximum. (Voir *La Science et la Vie*, n° 229, page 12.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

demment observer une augmentation des longitudes (de Paris à Washington, par exemple), tandis que doit se produire une diminution du côté opposé (de Paris à Tokio). « Au maximum de l'activité solaire, explique l'auteur, le grand axe de l'ellipse correspondant au parallèle de 45° sera entre Paris et Tokio, et, en cas de minimum, entre Washington et Paris. » Une variation de 3 m du rayon de ce parallèle est suffisante pour rendre compte de cet effet, de sorte que la Terre peut apparaître comme un astre pulsatile à période voisine de celle du Soleil.

Ce n'est pas tout. M. Stoyko nota encore, dans les longitudes, des variations saisonnières. Une partie de cette périodicité, il est vrai, provient du déplacement du pôle : c'est la contre-partie, en longitude, de son déplacement en quatre cent trente-cinq jours. Une autre partie provient de la réfraction latérale, et une autre encore des erreurs accidentelles. Mais une fois ces divers facteurs éliminés, il reste une variation résiduelle, particulièrement observable entre l'Europe et l'Amérique du Nord, et qui conduit à des corrections de longitude, positives en été et négatives en hiver. Comme tout à l'heure, on peut expliquer ces variations en admettant qu'un parallèle, d'abord circulaire, devient elliptique, la différence entre le rayon de ce cercle et le demi-grand axe de cette ellipse étant de 1 m au maximum. L'une des causes peut en être la variation de densité des eaux superficielles de l'Atlantique-Nord : « Pendant la période d'hiver, la densité des eaux superficielles de l'Océan est plus grande que pendant la période d'été. Pour le même niveau superficiel, la masse de l'eau sera plus grande en hiver qu'en été. A cause de l'élasticité de la Terre, la courbure de la Terre, entre l'Amérique et l'Europe, doit diminuer en hiver et, comme conséquence, la différence des longitudes doit diminuer en hiver et augmenter en été. »

Les déformations de la Terre et la durée du jour

— Mais, objectera un lecteur curieux, ces variations de longitudes ne constituent-elles pas la dérive des continents étudiée par Wegener ?

Non, car Wegener parlait d'une dérive séculaire, c'est-à-dire continue, non périodique, dirigée vers l'ouest et, pour le Groenland, de 20 m par an. Or, les calculs de M. Stoyko démontrent que cette dérive séculaire, si elle existe encore, est complètement négligeable. C'est ce que confirment les mesures effectuées à Kornok (côte ouest du Groenland), en 1936-1937, sous la direction du géophysicien danois Nôrlund. D'ailleurs, Wegener considérait un déplacement vers l'équateur aussi bien qu'un déplacement vers l'ouest, et Cristobal de Losada y Puga a prouvé, il y a huit ans, que cette dérive vers l'équateur devrait amener un changement du moment d'inertie de la Terre, donc une modification de la durée du jour. Or, on observe bien certaines modifications de ce genre (1), mais, pour en rendre compte, l'auteur péruvien était forcé d'admettre que les continents descendent de 200 m par an vers l'équateur ! Si la géographie s'altérait aussi rapidement, cela sauterait sans peine aux yeux.

Cette altération de la durée du jour est cependant, elle-même, une vérification des résultats obtenus par M. Stoyko. Nous ne parlons pas du freinage dû aux marées et qui, depuis 1870, allonge le jour sidéral de 0 s 003 7 par an, mais des fluctuations irrégulières, beaucoup plus importantes, dont la dernière eut lieu en 1918, année où, d'après Spencer Jones, le jour diminua de 1 s 24. Mécaniquement, ces fluctuations obligent à considérer des variations du moment d'inertie de la Terre (2), donc des changements de son rayon, puisque la masse est toujours la même. Selon Larmor et Brown, un changement de 3 m dans la longueur du rayon rend compte de ces fluctuations. M. Stoyko a précisé, l'an dernier, ces considérations théoriques, en montrant que la vitesse de rotation du globe augmente de juillet à octobre et diminue pendant les autres mois, phénomène qui s'explique par une variation périodique de 2 m du rayon terrestre. Cela peut être dû à l'arrivée des eaux polaires dans des latitudes plus basses. Il n'est d'ailleurs pas exclu que le flux et le reflux saisonniers des eaux polaires, leur congélation, le déplacement des glaciers, la fonte des neiges ne jouent un rôle dans tous les phénomènes où intervient le moment d'inertie.

Ces sursauts de l'écorce se superposent, naturellement, aux autres variations périodiques, saisonnière et undécennale, et peut-être même à d'autres causes encore ignorées. Cela nous donne, assurément, une idée assez médiocre de la solidité des couches sur lesquelles l'humanité a dressé sa civilisation.

PIERRE ROUSSEAU.

(1) *La Science et la Vie*, n° 216, page 453.

(2) ω désignant la vitesse de rotation de la Terre et I son moment d'inertie par rapport à son axe, le moment cinétique $I\omega$ est constant. Si ω varie, il faut donc que I varie en sens inverse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LA TECHNIQUE MODERNE DES DESSINS ANIMÉS

Par Pierre KESZLER

Le dessin animé, longtemps traité en parent pauvre, vient de conquérir une place de choix parmi les productions de l'art cinématographique moderne. Plus encore que le film ordinaire, sur lequel il a l'avantage de pouvoir s'affranchir entièrement de la réalité, il fait appel à toutes les ressources de la technique cinématographique. On sait que celle-ci, grâce aux progrès réalisés dans les domaines les plus divers : optique, mécanique de précision, chimie, acoustique, électricité, etc., est parvenue aujourd'hui à un très haut degré de perfection. Truquages optiques et sonores, surimpressions, couleurs naturelles, et même illusion du relief obtenue par des procédés simples, mais remarquablement effectifs, font aujourd'hui du dessin animé un des modes d'expression de la pensée les plus souples qui soient et dont on est encore loin, aussi bien pour les productions artistiques ou commerciales que pour les films éducatifs, d'avoir épuisé les possibilités de réalisation.

La présentation au public du premier film de long métrage en dessins animés, *Blanche-Neige et les sept Nains*, a été accueillie vraiment triomphalement. Encore que l'admirable film de Walt Disney ne présente, par rapport aux dernières « Silly Symphonies », aucun autre progrès que sa longueur même, il marque en quelque sorte une étape importante de la carrière du dessin animé, en même temps que du cinéma pur et simple. En effet, dans cette importante production, Disney a vraiment synthétisé tout ce que le cinéma peut offrir aujourd'hui : imagination, mouvement, couleur, son, le tout en valeur absolue, puisque aucune limite ne restreignait son champ d'action. Dans une bande de ce genre, le réalisateur, pouvant sortir du réel et pénétrer de plain-pied dans la féerie, pourra pareillement remplacer tout le réel par de l'artificiel, sauf toutefois en ce qui concerne les voix humaines, seul domaine où la synthèse soit encore pratiquement impossible.

Si nous considérons *Blanche-Neige* comme un point de repère et non d'aboutissement, il sera intéressant de retracer les étapes parcourues par ce genre de spectacle, et de montrer comment, de perfectionnement en perfectionnement, ce stade type a été atteint.

Le « phénakistiscope »

Avant même que le film eût vu le jour, le dessin animé existait déjà, et il paraît probable que Léonard de Vinci, ce génial précurseur, en eut l'idée. Toutefois, il semble bien que la première réalisation pratique d'un appareil donnant l'impression d'un sujet en mouvement soit imputable au physicien belge Plateau qui, en 1831, faisait tourner deux disques en sens inverse, le premier portant des fentes par lesquelles l'observateur contemplait une suite de dessins tracés sur un autre disque. La rotation était commandée de telle sorte que l'axe optique de l'œil traversait la fente au moment où, à l'extrémité de cet axe optique, apparaissait le dessin ; c'était le *phénakistiscope*. Modifié, cet appareil devint le *zootrope* qui, il y a encore vingt-cinq ans, était vendu dans les bazars. Utilisant le même principe, des appareils ont été imaginés, notamment le théâtre optique d'Emile Reynaud, installé au musée Grévin en 1892 et qui ne cessa d'être exploité qu'en 1900 (c'est dire qu'il survécut cinq années au cinéma). Dans cet appareil, une bande de papier portait des dessins successifs analysant le mouvement, et par un jeu de rayons lumineux issus d'une lanterne et projetés sur un écran, on obtenait une scène animée, qui ne valait peut être pas les projections cinématographiques d'aujourd'hui, mais qui comportait tout de même la couleur et le son, puisque la projection était accompagnée de musique. Mais comme le projecteur ne comportait ni croix de malte ni obturateur, le repérage des images était assez mauvais et les spectateurs voyaient les personnages se déplacer par saccades, les images étant en outre « filées ». C'est pour remédier au défaut de repérage que E. Reynaud imagina de perforer le bord de sa bande de papier. Idée qui fut reprise lors de la fabrication des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

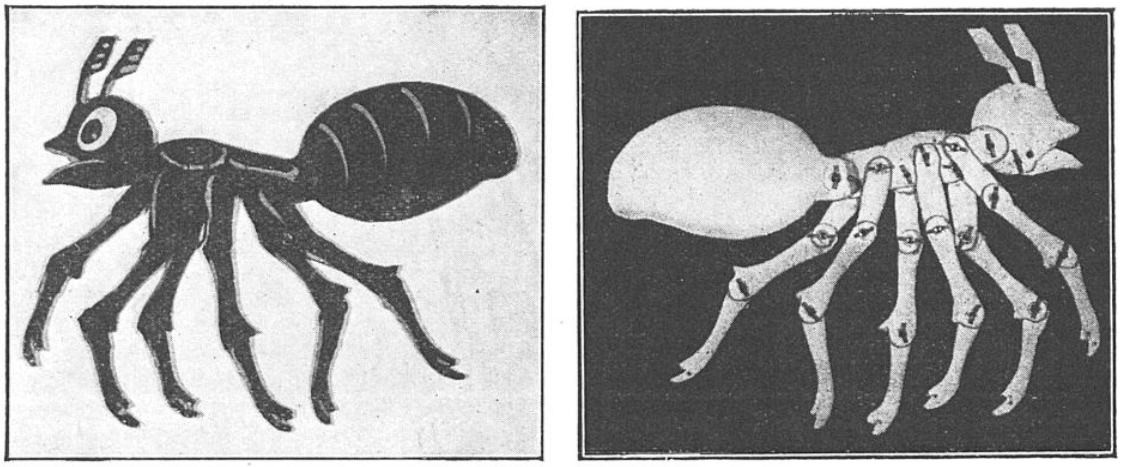


FIG. 1 ET 2. — RECTO ET VERSO D'UNE PUCE EN CARTON, DONT LES PATTES, L'ABDOMEN ET LE MANDIBULE, ARTICULÉS, PERMETTENT DE LA PHOTOGRAPHIER SUCCESSIVEMENT DANS DES POSITIONS DIFFÉRENTES POUR DONNER, A LA PROJECTION SUR L'ÉCRAN, L'ILLUSION DU MOUVEMENT

premières bandes cinématographiques et qui, on le sait, a fait fortune. En 1894, E. Reynaud remplaça les dessins par des photographies, ce qui vraiment faisait de son théâtre optique un cinéma, mais l'autre cinéma, le vrai, commençait à se développer, et l'entreprise de Reynaud n'eut pas de suite.

Les premiers dessins d'Emile Cohl

C'est en 1906 qu'Emile Cohl imagina de faire du cinéma en remplaçant les personnages vivants par une série de dessins analysant les mouvements, photographiés successivement. Son matériel et sa technique, pour sommaires qu'ils fussent, contenaient déjà tout le dessin animé.

Le principe non brevetable de cette technique (malheureusement pour Cohl qui mourut dans la misère) est d'une simplicité idéale. Le dessinateur imagine les mouvements de ses personnages et trace autant de dessins qu'il est nécessaire pour décomposer ces mouvements à la cadence de 16 images à la seconde. (Depuis que le film est sonore, cette cadence est portée à 24 images à la seconde.) En plaçant ces dessins l'un après l'autre dans le champ d'une camera et en tirant une vue de chaque, on obtient à la projection du film une reconstitution synthétique du mouvement. Evidemment, si l'on veut que les personnages n'aient pas l'air de sautiller dans tous les sens, il faut que chaque dessin élémentaire soit exactement calqué sur le précédent, sauf pour l'élément en mouvement, et que les dessins soient placés devant l'objectif de telle sorte que les mêmes parties du dessin se recouvrent.

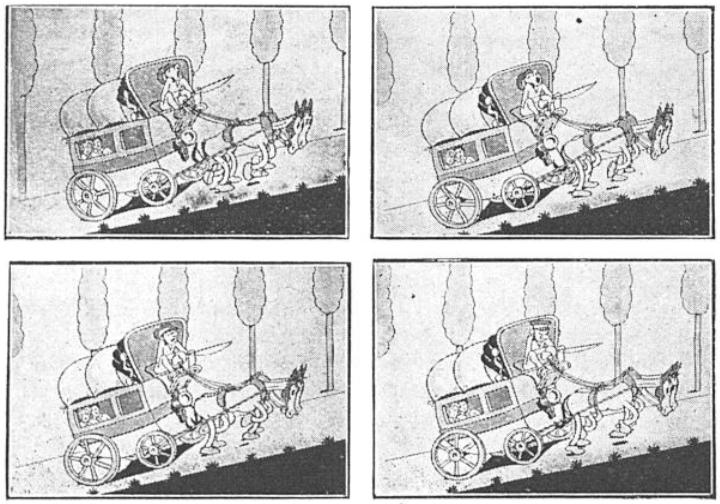


FIG. 3, 4, 5, 6. — DEVANT UN DÉCOR FIXE, VOICI LES PHASES DU BAILLEMENT DU CONDUCTEUR DE LA DILIGENCE DONT LES ROUES CHANGENT EN MÊME TEMPS DE POSITION AINSI QUE LES PATTES DES CHEVAUX

Un calcul très simple montre que ce procédé cinématographique entraîne la préparation d'un nombre considérable de dessins. En cinéma muet, celui pour le-

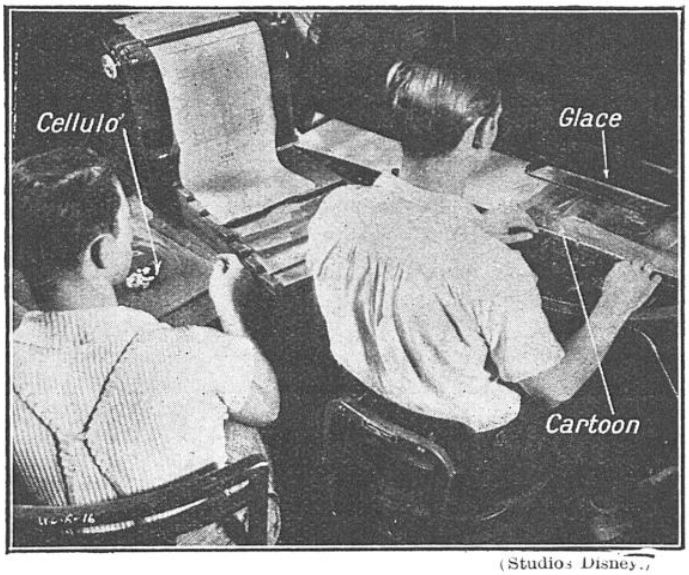
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quel Cohl travailla, il faut 16 images par seconde, donc 16 dessins. Pour un film de 10 mn, cela fait la bagatelle de 9 600 dessins. Aujourd'hui, un film d'une bobine (environ 300 m) en sonore nécessite 14 400 dessins. Comme Emile Cohl faisait tout lui-même, cela représentait un travail considérable qu'il simplifiait en traçant des dessins assez sommaires. On peut affirmer que le premier dessin animé fut celui que Cohl présenta à Paris en 1908 et intitulé *Fantasmagorie*.

La technique actuelle du dessin animé

Le premier point, lorsqu'on veut réaliser un dessin animé, est de préparer un scénario, exactement comme pour un film normal, mais avec cette différence que le canevas assez lâche d'un film, auquel la réalisation et le montage donneront sa véritable physionomie, est remplacé par un décompte exact, à une image près, pour le dessin animé. Aussi longtemps que le film était muet, cette rigueur mathématique n'était pas indispensable, car seuls les dessins pouvaient en souffrir. Mais avec l'accompagnement sonore, aucune tolérance ne peut être accordée entre la longueur exacte de chacune des bandes, images et son ; c'est l'évidence même, faute de quoi le son et les images se « décrocheraient » définitivement au premier écart de l'un d'eux.

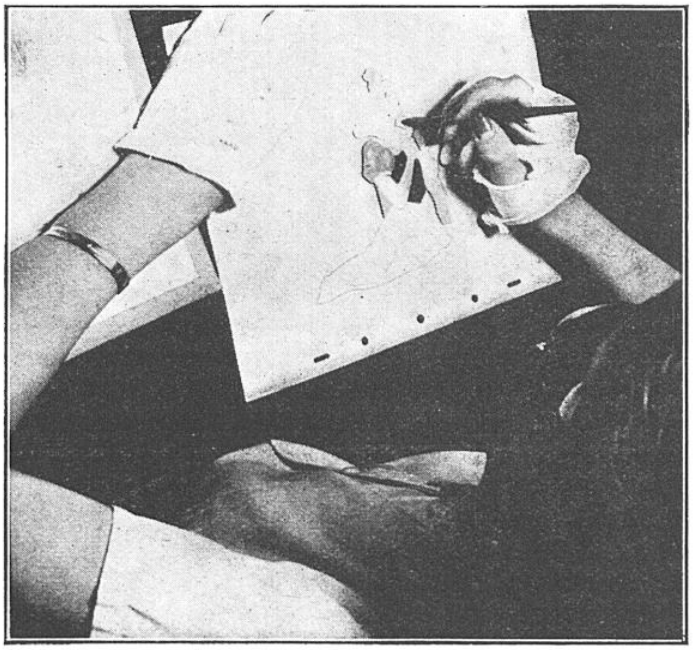
Le scénario étant arrêté et mis au point, on compose la bande sonore en imposant à ses réalisateurs un canevas aussi précis que pour le scénario. Tel bruit, telle note doivent se trouver exactement à telle ou telle image, ni à la précédente, ni à la suivante. En effet, si Mickey assène un coup de trique à son adversaire, il faut que le choc sonore coïn-



(Studios Disney.)

FIG. 8. — LA MISE EN PLACE D'UN CELLULO

Voici un document fort complet donnant une idée précise du travail de prise de vues. Sur la tablette de la machine est placé un cartoon, peint à l'aquarelle, qui pourra être déplacé de gauche à droite pour un effet panoramique. La glace de la machine est relevée et l'aide-opérateur va donner à son collègue le cellulo correspondant au numéro d'image. Une fois le cellulo en place, le cameraman abaissera la glace et déclenchera l'obturateur de la chambre placée exactement au-dessus.



(Studios Disney.)

FIG. 7. — PRÉPARATION D'UN CELLULO

Le contour du dessin est tracé sur l'envers du cellulo, et ce dernier posé sur une feuille blanche. Selon les indications données sur le cartoon schématique, l'artiste peint à la gouache le personnage de Blanche-Neige. On remarque à la base du cellulo les crans servant au repérage pour la photographie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cide rigoureusement avec le dessin représentant la trique entrant en contact avec le crâne du méchant animal.

Le synchronisme étant établi *avant coup* entre les deux bandes, le créateur du film dessine un certain nombre de planches, techniquement baptisées *cartoons* et représentant chacun des personnages du film avec ses expressions typiques. Ces cartoons ne seront jamais photographiés. Ce sont des prototypes dont le créateur et ses collaborateurs doivent se pénétrer pour que, d'un bout à l'autre du film, chaque personnage « se ressemble ». Le créateur, scénario en main, dessine alors une série d'images qui constituent l'âme proprement dite de la production. Ce sont, en quelque sorte, les barres de mesure du film, une vingtaine de dessins devant s'intercaler entre chacune de ces images. Les collaborateurs relient ensuite ces images par le nombre voulu de dessins intermédiaires afin que les mouvements soient décomposés. Lorsqu'un seul personnage est en scène, c'est un travail relativement aisé. S'il y en a plusieurs, autant d'animateurs se partageront la besogne et traiteront séparément chaque personnage.

Les cellulos

Dès 1914, un dessinateur, Earl Hurd, imagina une simplification du travail en traçant sur un fond opaque le décor dans lequel se mouvaient les personnages et en dessinant ceux-ci à l'encre de Chine sur des feuilles transparentes de cellulo. On évitait ainsi d'avoir à reporter chaque fois sur le dessin le fond de décor. En France, M. Lortac utilisa des espèces de pantins plats en carton, dont les articulations étaient mobiles, et qu'il déplaçait sur le carton représentant le décor. Aujourd'hui, on ne se sert plus que des cellulos.

Dans le cellulo, bien entendu, il faut que tout le personnage soit opaque, ce qui est

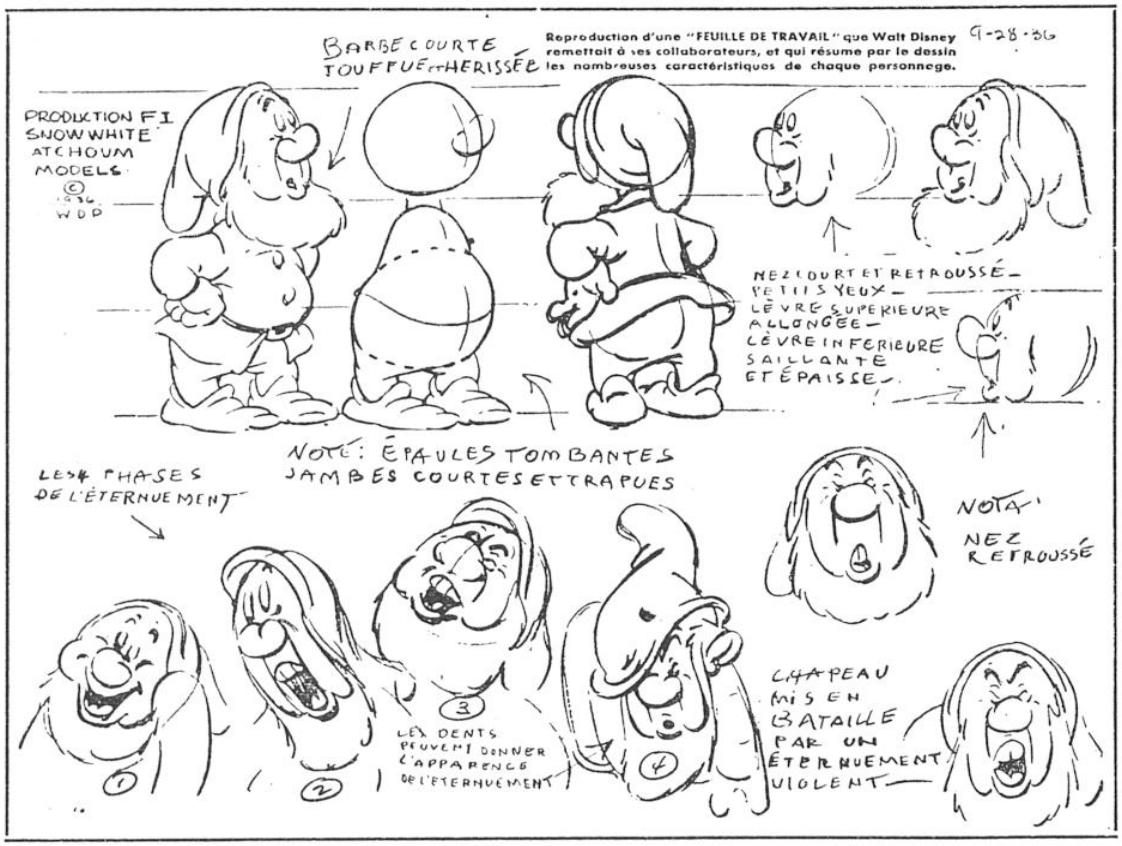


FIG. 9. — UNE FEUILLE DE TRAVAIL ÉTABLIE PAR DISNEY POUR SES COLLABORATEURS

*Il s'agit du nain Atchoum (*Sneezy *dans la version anglaise) dont il faut noter les caractères saillants et préciser les expressions au cours de ses continuels éternuements.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

réalisé automatiquement dans les productions en couleurs. Les cellulos sont obtenus en décalquant le *cartoon* dessiné par le créateur ou par un animateur et en le coloriant généralement à la gouache (les fonds sont habituellement peints à l'aquarelle).

Chaque cellulo est numéroté et, au moment de la prise de vues, on place d'abord le décor, calé soigneusement par un certain nombre d'ergots de repérage, puis chacun des cellulos analysant le mouvement. Bien entendu, les cellulos portent des encoches s'encastrant exactement dans les ergots afin de se placer correctement. Si la scène comporte plusieurs personnages, il y a presque toujours autant de cellulos que de personnages. On les superpose, on cale le tout avec une glace à faces parallèles et on déclenche l'obturateur de la camera.

Dans les studios spécialisés, l'outillage est assez perfectionné pour que les opérations de mise en place et de prise de vues soient extrêmement rapides et ne dépassent pas quelques secondes. Malgré cela, la photographie d'un dessin animé est longue par suite du grand nombre des opérations.

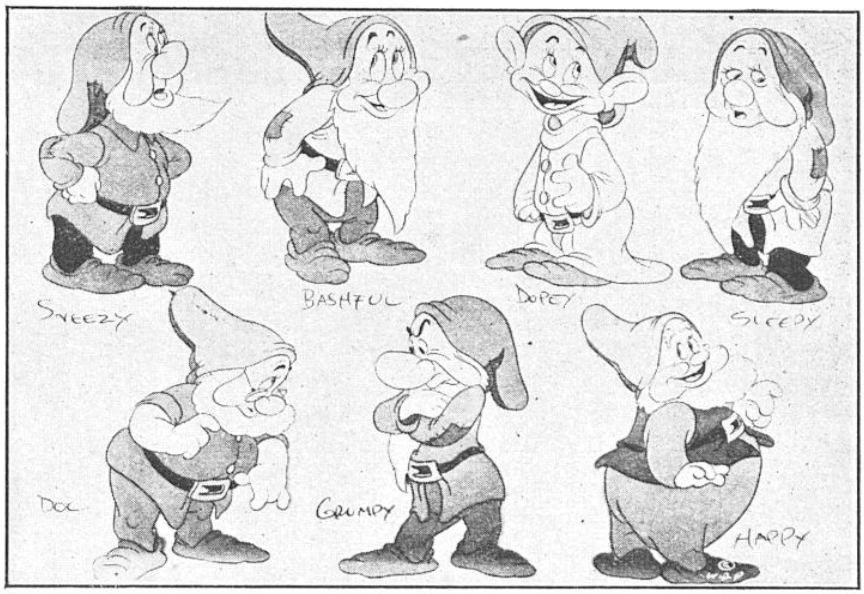


FIG. 10. — LES SEPT NAINS ET LEURS ATTITUDES CARACTÉRISTIQUES

Voici les dessins originaux des sept nains exécutés par Walt Disney : Sneezy *(Atchoum)*, Bashful *(Timide)*, Dopey *(Simplet)*, Sleepy *(Dormeur)*, Doc *(Prof)*, Grumpy *(Grincheux)* et Happy *(Joyeux)*.

Les truquages

Bien qu'on conçoive mal que, dans une production intégralement synthétique, il soit encore nécessaire d'opérer des truquages, il est pourtant indispensable de recourir à certains d'entre eux si l'on veut éviter de créer un nombre prohibitif de *cartoons*. Par exemple, toutes les fois que, dans un film normal, on recourt au *travelling*, c'est-à-dire au mouvement de la camera par rapport au sujet, en vue d'obtenir certains effets, on opère de même avec les dessins animés.

Le travelling en profondeur, c'est-à-dire en rapprochant ou en éloignant la camera, s'obtient très aisément en déplaçant l'appareil de prise de vues perpendiculairement au plan des *cartoons*.

Par contre, lorsque le travelling doit suivre un personnage se déplaçant sur le fond, les cellulos représentant ce personnage sont tous calés au même endroit, c'est-à-dire dans l'axe de la camera, et c'est le *cartoon-décor* qui est déplacé, parallèlement à lui-même, image par image.

Un autre truquage consiste à utiliser le même cellulo à plusieurs reprises. Si un personnage exécute plusieurs fois le même mouvement, il est évident que les éléments de geste sont les mêmes, et il suffit de reclasser les cellulos après une première prise de vues pour en effectuer une seconde (1). De même, si l'on veut faire tourner un moulin à vent, par exemple, un seul cellulo, représentant les ailes du moulin, sera déplacé autour du point représentant son axe.

Un autre truquage fort intéressant est l'effet de relief. Déjà le seul fait d'employer la couleur donne aux images, forcément plates, une apparence plus plastique qu'un dessin en noir. On peut accroître cette illusion en forçant les ombres, en donnant un

(1) Dans *Blanche-Neige*, Walt Disney a mis un point d'honneur à ne pas se servir de cette simplification, arguant de ce qu'elle pouvait altérer la qualité artistique du film. On ne peut que s'incliner devant une telle conscience professionnelle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

certain flou aux plans rapprochés, etc. ; autant de petits moyens permettant cependant de provoquer de grands effets.

Quelques particularités de « Blanche-Neige »

Ainsi que nous l'avons dit au début de cette étude, Walt Disney, dans son plus grand film, n'a apporté aucune innovation, ou, du moins, celles qui étaient inhérentes à ce genre de production ne marquaient aucun progrès sur ses bandes habituelles, ou même ne furent pas des plus heureuses. Nous verrons en quoi.



FIG. 11. — LES « PLATEAUX » CHEZ DISNEY

Au lieu des vastes plateaux des cités du cinéma, nous ne trouvons chez Disney qu'une salle dans laquelle trois appareils de prises de vues fonctionnent constamment, servis par des opérateurs plaçant dans leur champ cartoons et cellulos. Etant donné la production considérable des studios Disney, il y a plusieurs salles analogues dans l'établissement.

Le scénario de *Blanche-Neige* fut conçu en 1933. Dès cette époque, le travail préparatoire, qui consistait à créer les types des différents personnages, à choisir les décors et à découper le scénario, dura plus d'une année et coûta la modeste somme de 250 000 dollars. Il a fallu ensuite plus de deux ans pour animer le film. Six cents personnes y collaborèrent avec un esprit d'équipe parfait et dans une discipline absolue. Le travail à la chaîne est la règle de la maison. Comme dans la construction d'une machine compliquée, il fallait obtenir de chaque élément constitutif du film une précision absolue.

De fait, on ne peut que s'incliner devant le résultat, du moins du point de vue de la technique. Le film a été réalisé en plusieurs versions sonores, afin de pouvoir être exploité dans tous les pays, ce qui a nécessité plusieurs montages comportant entre eux quelques différences. Le générique, entièrement dessiné, la chambre des nains, dont chaque lit porte le nom du propriétaire, sont évidemment différents. Enfin, pour donner une idée du travail que représente cette production, notons quelques chiffres évocateurs. Les animateurs firent deux millions et demi de dessins, bien que la bande définitive n'en comporte que 130 000 environ dans chaque version (d'une version à l'autre, il a fallu compter environ 15 000 dessins à remplacer). C'est dire que la mise en scène est bien aussi compliquée avec des personnages imaginaires qu'avec des vedettes.

Le procédé de couleur est le *technicolor*, utilisant le principe de la trichromie. Cette question de la couleur a d'ailleurs donné beaucoup de mal à l'équipe de W. Disney. En effet, attaquant un genre nouveau, l'artiste a pensé que les couleurs vives et peu nombreuses de ses productions habituelles risquaient de transformer sa féerie en chromo de mauvais goût. Il travailla donc avec ses collaborateurs la question des tonalités, tant au point de vue artistique qu'à celui du rendement en technicolor. D'innombrables essais furent nécessaires pour parvenir au but cherché, et incontestablement ce but fut atteint.

Pour donner une certaine précision, le prix de revient de cette production serait, d'après les chiffres publiés par Disney, de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1 500 000 dollars environ (soit, au cours du dollar au moment de la réalisation du film, plus de 30 millions de francs).

Les enseignements qu'il faut tirer de « Blanche-Neige »

Bien que le succès le plus mérité couronne la carrière de ce film étonnant, ce n'est pas diminuer sa valeur que de discerner les écueils à éviter dans l'avenir, pour ce genre de réalisation. Bien entendu, ce n'est pas ici le cadre d'une critique artistique ; nous ne nous plaçons qu'au point de vue technique.

Pour ses personnages humains, Disney a cinématographié des acteurs vivants, et, sur les attitudes, les gestes et l'articulation des lèvres, il a calqué ses dessins. Le résultat n'est pas très heureux. La reine, le prince charmant sont d'une raideur excessive, leurs mouvements sont saccadés. En aucun moment ils ne donnent l'impression de vivre. Ce sont des marionnettes, non des êtres vivants. Cette méthode de prise sur le vif, logique à premier examen, se révèle, ou bien insuffisamment précise, ou bien, et c'est fort possible, incompatible avec la technique du dessin animé.

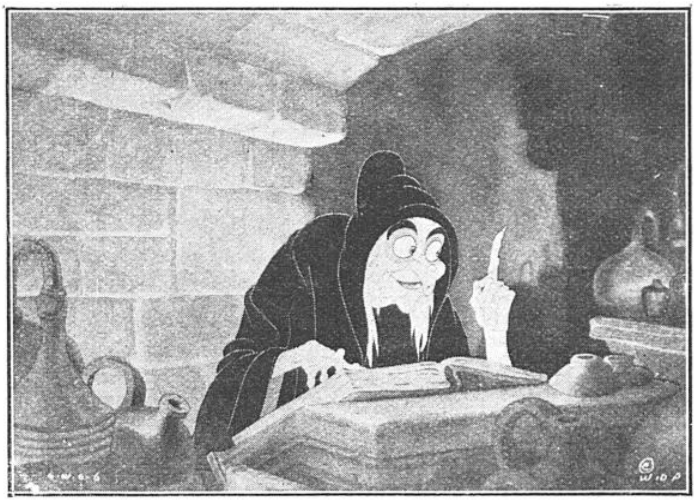


FIG. 12. — LA REINE DEVENUE SORCIÈRE

Toute la scène au cours de laquelle la reine, dans son cabinet magique, se métamorphose en vieille sorcière et prépare le philtre est, au point de vue technique cinématographique, l'une des plus parfaites. Travellings, superpositions, fondus enchaînés, synchronisation, trucs de dessins, effets de relief, tout a été utilisé pour ajouter au fantastique.

La manière de parler de *Blanche-Neige*, dont les lèvres s'agitent bizarrement, n'a vraiment aucun rapport avec la mimique normale.

Par contre, les expressions remarquables obtenues tant des nains que des animaux semblent prouver très nettement que l'imagination servie par une technique parfaite peut donner au cinéma un moyen nouveau de s'affranchir du cadre de la réalité, sans chercher à copier cette dernière.

Jusqu'à ce jour, on considérait comme un postulat qu'un dessin animé en deux bobines (600 m dont la projection dure environ 22 mn) constituait le maximum acceptable pour le spectateur. *Blanche-Neige* s'inscrit en faux contre cette règle.

Pourrait-on réaliser en France des dessins animés de long métrage ?

Sauf quelques bandes publicitaires, notre pays, depuis plusieurs années, n'a édité aucun dessin animé, court ou long. Ce n'est pas pourtant dans la patrie des Daumier, des Forain et de tant d'autres illustres caricaturistes que les éléments artistiques manqueraient. Bien au contraire. Disons tout de suite qu'avec des moyens infiniment plus modestes que la firme Disney, on a réalisé chez nous des films publicitaires dont la qualité technique était excellente. La question de produire des films d'édition est pur problème financier.

Il n'est que de réunir les cinquante ou cent artistes capables de s'astreindre à la discipline d'un travail anonyme et divisé au maximum, de leur adjoindre un certain nombre de techniciens rompus au métier cinématographique et de financer l'entreprise. Car, à coup sûr, on pourrait produire en France une bande de la qualité de *Blanche-Neige* et de la même importance, en moins de temps et à beaucoup moins de frais qu'en Amérique.

Quelques essais ont été entrepris, en vue de l'édition, par des dessinateurs connus et aimés du public, mais, faute de s'être entourés de techniciens éprouvés, ces artistes échouèrent alors que leur talent devrait leur permettre de concurrencer victorieusement la production américaine, très inégale, et qui n'atteint pas souvent la valeur de *Blanche-Neige*, et de quelques remarquables « Silly Symphonies ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'avenir que laisse entrevoir le dessin animé

Synthèse absolue de tous les éléments, voilà comment peut être défini un dessin animé. C'est dire que son emploi est infiniment plus vaste qu'on ne le croit. Il est à prévoir que le succès artistique et financier de *Blanche-Neige* incitera certains producteurs à exploiter un genre nouveau, dont les ressources s'annoncent considérables. Certes, la technique du dessin animé est-elle un peu particulière et nécessite-t-elle un soin minutieux plus proche de l'enluminure que de la fresque... mais aucune difficulté sérieuse ne s'oppose à ce qu'en n'importe quel pays on puisse en réaliser. C'est uniquement affaire de capitaux, évidemment très importants. Mais l'exemple des spécialistes américains est encourageant. La demande est, en effet, très supérieure à l'offre, ainsi qu'en fait foi la reparution fréquente d'une même bande dans des programmes différents.



FIG. 13. — BLANCHE-NEIGE AU MILIEU DES NAINS

Une « scène » comme celle-ci entraîne la superposition d'un grand nombre de cellulos. On remarque que, dans ce dessin, seule l'expression de l'héroïne est infiniment moins bien venue que celle des nains ou des animaux. Le regard est fixe, les bras raides, alors que tous les détails de Prof, au premier plan, sont au contraire d'une vie étonnante. Cette scène, une fois animée, provoque une sorte de décalage entre Blanche-Neige, poupée articulée, et les nains, personnages qui semblent vivre. La technique de Disney est très supérieure pour les personnages « imaginés » à ce qu'elle vaut pour les personnages humains.

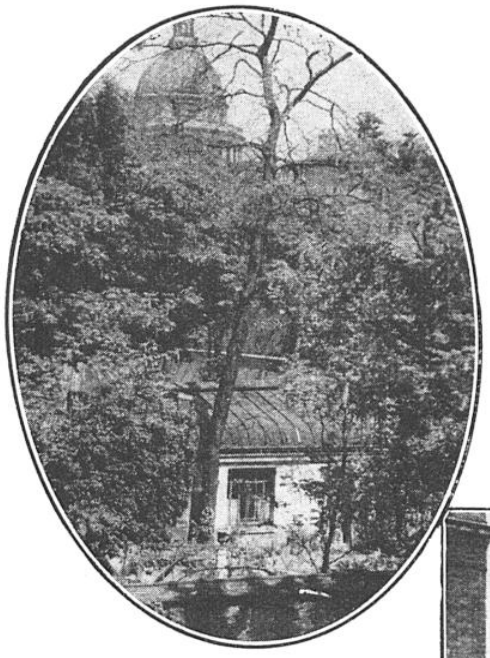
Gâtés par une trop grande facilité d'écoulement, les sept ou huit producteurs américains ne se donnent pas toujours la peine de chercher des sujets nouveaux et des idées originales, et on peut dire que, dans le reste du monde, rien de sérieux n'a été entrepris.

Espérons que l'exemple donné par *Blanche-Neige* suscitera une concurrence européenne, dont la qualité technique pourrait égaler la quasi-perfection américaine, et dont la verve et l'imagination surpasseraient, sans grande peine, les « gags » un peu usés des *Mickey*, *Popeye*, *Donald* et autres *Crazy Cat*.

PIERRE KESZLER.

Dans toutes les branches de la construction mécanique (automobile, aviation, machines-outils, etc.), la fabrication en *très grande série*, contrairement à une idée encore trop répandue parmi les profanes, ne peut livrer à la consommation que des produits de haute qualité. C'est la perfection technique et le « fini » dans l'exécution qui conditionnent, en effet, la rapidité et l'économie d'une telle fabrication, en substituant le contrôle rigoureusement objectif des propriétés des matériaux et des dimensions des organes à la mise au point subjective, en remplaçant l'ajustage à main d'homme par des assemblages réglés à l'avance avec précision. En grande série, il est plus facile et économique de faire de bons produits que de médiocres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



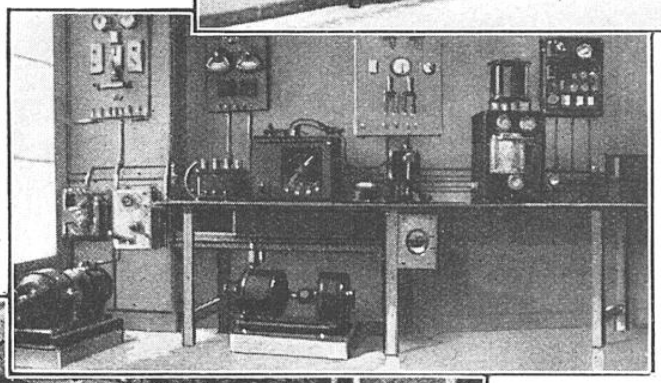
Ci-dessus :
Vue prise du 2e étage.
Au fond, le Panthéon.

C'est dans le cadre unique de notre école...

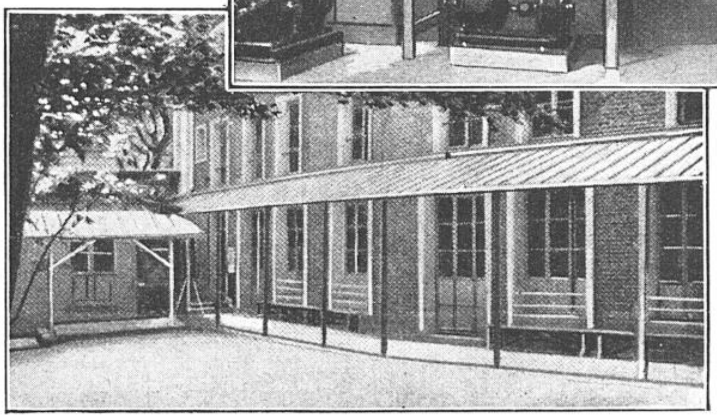
... sous la direction de J. E. LAVIGNE, pionnier de l'Enseignement Radioélectrique en France, entouré d'une élite de professeurs, que vos enfants, travaillant par ailleurs dans un milieu calme et sain, obtiendront les meilleurs résultats dans le minimum de temps.



Ci-dessus :
Un groupe d'élèves devant l'entrée.



Ci-contre :
Vue d'une partie du laboratoire des transmissions.



Ci-contre :
Trois étages de classes claires, bien aérées...

ÉCOLE FRANÇAISE DE RADIOÉLECTRICITÉ

(Près le Panthéon) **10, rue Amyot, PARIS-V^e^** Port-Royal 05-95

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A la rentrée d'Octobre...

150 ÉTUDIANTS

issus de l'Instruction secondaire ou primaire supérieure se sont inscrits à notre Ecole.

En fin d'année scolaire et au 1er janvier 1940 au plus tard, **95 °/o d'entre eux seront titulaires du diplôme officiel des P. T. T.** Ils auront alors devant eux un avenir assuré avec une **situation cotée, stable, sans aléa, avec retraite,** et équivalente en tous points à celle à laquelle ils auraient pu prétendre dans une autre branche après des études beaucoup plus longues.

L'ÉCOLE FRANÇAISE DE RADIOÉLECTRICITÉ a mis au point, pour ses différents cours, des programmes nettement spécialisés. Ses cours de monteurs-dépanneurs sont faits à l'aide de châssis neufs fournis par l'une des plus anciennes sociétés spécialisées en matériel radioélectrique : **LE PIGEON VOYAGEUR,** 252 *bis*, boulevard Saint-Germain, à Paris, et mis gracieusement à la disposition des élèves de l'école.

Nos accords avec les constructeurs nous permettent de garantir à nos élèves un maximum d'avantages après leurs examens.

Les études les plus sérieuses, dans le cadre le plus propice, sanctionnées par les diplômes les mieux cotés, tels sont les avantages que vous garantit

l'Ecole Française de Radioélectricité

Demandez-nous aujourd'hui même notre documentation très complète sur l'organisation des cours, ou mieux, venez vous rendre compte sur place.

BON A DÉCOUPER

Monsieur le Directeur de l'ÉCOLE FRANÇAISE DE RADIOÉLECTRICITÉ, 10 bis, rue Amyot, Paris (5e).

Veuillez me faire parvenir gratuitement et sans engagement de ma part votre brochure concernant les carrières de la Radio.

NOM .....

ADRESSE : .....

.....

PUBL. C. BLOCH.

OFFICIERS RADIOS -- MARINE MARCHANDE
RADIOS AVIATEURS

OPÉRATEURS :

Ministère de l'Air (Opérateur du). Ministère de l'Intérieur : Radio-Police. Ministère de la Guerre : Grandes Stations. Ministère des Colonies : Réseaux colonies.

GRANDES COMPAGNIES DE TRAFIC

TECHNICIENS :

Diplômes d'études supérieures. - Chefs monteurs-dépanneurs. Monteurs-aligneurs dépanneurs.

PRÉPARATION MILITAIRE :

Programme technique des E. O. R. -- Chefs de Postes. Aviation. -- Génie. -- Marine. -- Sapeurs télégraphistes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SUR LES FRONTIÈRES DE LA TECHNIQUE AÉRONAUTIQUE

Par A. VERDURAND
ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

La technique aéronautique a évolué depuis vingt-cinq ans, et évolue encore aujourd'hui, avec une rapidité telle qu'aucune anticipation n'est permise dans ce domaine. Si l'on étudie cependant les facteurs qui, dans l'état actuel de la science aérodynamique, de la métallurgie, de la thermodynamique, limitent encore les performances des appareils (vitesse, plafond, rayon d'action, charge utile), il est possible de mettre en évidence certaines tendances générales qui, dans un avenir immédiat, vont orienter l'évolution du matériel volant civil et militaire. Telles sont, par exemple, l'augmentation de la puissance et du rendement du groupe motopropulseur, la mise au point du turbo-compresseur et de la cabine étanche pour le vol à haute altitude, la réalisation d'avions à grand rayon d'action et à charge utile élevée pour les traversées transatlantiques, en attendant la révolution plus profonde, mais à échéance encore indéterminée, qu'apportera, dans tous les domaines d'application de la locomotion aérienne, l'aboutissement des recherches actuellement poursuivies concernant la turbine à gaz ou la tuyère thermopropulsive.

La vitesse

La vitesse constitue l'essence même de l'aviation. Non seulement c'est la vitesse qui produit la sustentation, mais c'est de la vitesse que l'avion tire ses principales qualités : économie, sécurité, régularité, confort, s'il s'agit d'avions de transport ; supériorité tactique, s'il s'agit d'avions de guerre.

La vitesse s'obtient en diminuant les résistances qui freinent l'avion et en augmentant la puissance qui le propulse.

Les recherches expérimentales faites au tunnel aérodynamique (1) et les études théoriques destinées à interpréter les résultats de ces recherches ont permis de faire une analyse de ces résistances et de les décomposer comme suit :

1° *Résistance induite*, produite par la déflexion vers le bas du courant d'air sur lequel l'aile prend son point d'appui ;

2° *Résistance de profil* de l'aile, due aux frottements de l'air sur la surface de l'aile ;

3° *Résistances parasites* dues aux frottements et tourbillons engendrés par le fuselage, les empennages, les fuseaux moteurs, le train d'atterrissage, les mâts et les haubans qui constituent la partie extérieure de la charpente de l'avion ;

4° *Résistance de refroidissement* due aux frottements et tourbillons engendrés par le passage de l'air au contact des surfaces refroidissantes du moteur (radiateur pour les moteurs à liquide, ailettes de cylindres pour les moteurs à refroidissement par air).

(1) Voir *La Science et la Vie* n° 226, page 263.

Les résistances parasites

Depuis que l'on est parvenu à assurer l'équilibre d'un avion en vol, on se préoccupe de diminuer les résistances qui le freinent. Les premiers avions comportant des mâts, des haubans, des trains d'atterrissage non escamotables, on s'efforça en premier lieu de réduire ces résistances parasites qui étaient de beaucoup les plus importantes. Les difficultés à vaincre étaient considérables. Pour pouvoir supprimer mâts et haubans, il fallait enfermer toute la charpente et le train d'atterrissage à l'intérieur de l'aile, et il fallait que celle-ci, privée de ses haubannages extérieurs, fût cependant capable de résister aux efforts exercés sur elle par le courant d'air sur lequel elle s'appuie. Il y avait là deux problèmes à résoudre : d'abord un problème aérodynamique ayant pour objet de réduire au minimum les efforts exercés sur l'aile et de répartir leurs points d'application entre les éléments de charpente calculés pour leur résister ; ensuite un problème mécanique ayant pour objet de déterminer les formes de charpente les plus légères possibles.

C'est par des milliers d'essais au tunnel portant sur d'innombrables formes d'ailes qu'on est arrivé à découvrir celles qui constituent les meilleures solutions du premier de ces deux problèmes. Une fois celui-ci résolu, la solution du second était relative-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment facile à trouver en employant les méthodes qui ont fait leurs preuves dans tous les problèmes de charpentes métalliques.

En même temps, on étudia la formation des tourbillons engendrés par les irrégularités de forme de l'avion. Pour cela, on fixa au bout d'un fil métallique quelques brins de laine qu'on promena au voisinage du fuselage, des fuseaux moteurs, des empennages. Là où se produit un tourbillon, les fils de laine, au lieu de rester couchés dans le sens du courant d'air, se mettent à danser.

Après avoir ainsi déterminé les points où naissent les tourbillons, on s'applique à les faire disparaître en modelant avec de la cire molle les formes de la maquette.

Une remarque s'impose immédiatement : les méthodes que nous venons d'exposer ne laissent qu'une bien faible marge à l'imagination de l'inventeur. Leur rigueur expérimentale impose à l'ingénieur les formes qui résolvent les problèmes dont il a posé les prémices avant d'entreprendre ses recherches. Cela explique que, dans le monde entier, ces méthodes aboutissent à des formes identiques : ainsi est né le monoplan cantilever à aile basse ou à aile médiane et à train d'atterrissage rétractable en vol.

Il est très probable que cette formule, aujourd'hui devenue universelle, constitue le dernier terme de l'évolution de l'avion *à ailes rigides*, né des œuvres d'Ader et des frères Wright. Elle progressera dans les détails, et cette progression pourra produire encore des résultats considérables ; mais, dans ses grandes lignes, la forme de l'avion restera sans doute immuable.

Les perfectionnements de détail qu'on lui apportera auront en particulier pour objet de réduire les autres espèces de résistances, dont nous n'avons pas encore parlé.

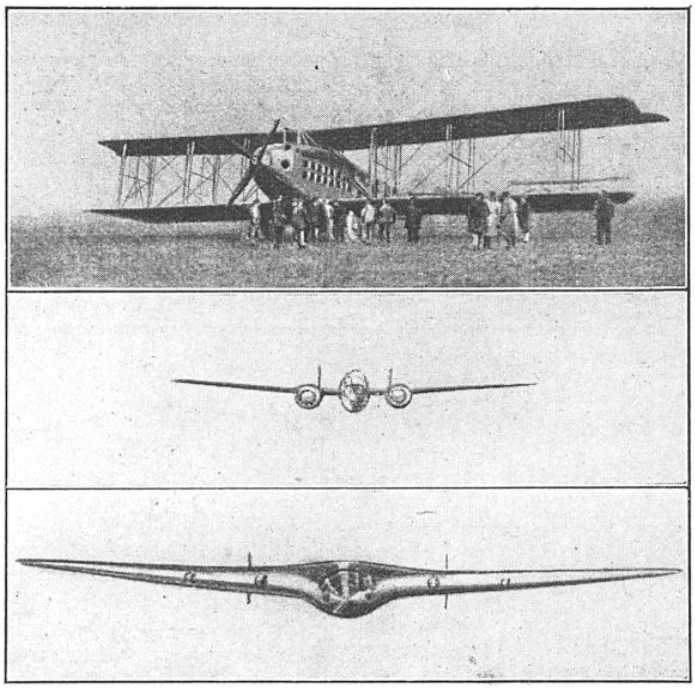


FIG. 1. — TROIS ÉTAPES DE LA TECHNIQUE AÉRONAUTIQUE DE 1922 A 1940 (ÉCHELLE : 2,5 MM PAR MÈTRE)
De haut en bas : 1922, quadrimoteur « Bréguet-Bugatti » *(6 t, 900 ch, 135 m² d'ailes, 44 kg par m², 180 km/h, 500 km de rayon d'action, envergure 26 m) ;* 1938, bimoteur « Bréguet » de bombardement *(4 t, 1 340 ch, 29 m² d'ailes, 138 kg par m², 500 km/h, 1 500 km de rayon d'action, envergure 15 m) ;* 1940, quadrimoteur « Miles » transatlantique *actuellement en projet (28 t, 4 000 ch, 164 m² d'ailes, 172 kg par m², 450 km/h, 6 000 km de rayon d'action, envergure 30 m).*

Résistance de profil

En effet, si les résistances parasites représentaient plus de 50 % de la résistance totale sur les anciens types d'avions, elles n'en représentent plus qu'une très faible fraction sur les avions modernes. On a donc commencé à s'attaquer aux autres catégories de résistances et d'abord *à la résistance de profil*. Celle-ci, étant due au frottement de l'air, est proportionnelle à la surface de l'aile. Le moyen le plus efficace pour la réduire consistait donc à diminuer les dimensions des ailes, ce qui, du même coup, diminuait leur poids. Malheureusement, on augmentait en même temps la vitesse et les risques d'atterrissage. En conséquence, on a dû rechercher des dispositifs dits « hypersustentateurs » qui permettent au pilote de doubler la portance de l'aile pendant le décollage ou pendant l'atterrissage. Les dispositifs les plus efficaces découverts à ce jour sont les volets de courbure placés au bord de fuite de l'avion. Ces volets jouent également à l'atterrissage le rôle de freins aérodynamiques, car, en les braquant jusqu'à 45 ou 50°, on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

double aussi la résistance aérodynamique de l'aile. Ces dispositifs, combinés avec l'emploi de freins sur roues, ont permis de réduire dans d'énormes proportions la surface des ailes. Lors de son voyage autour du monde, le *Lockheed* de Howard Hughes décollait à 230 kg par m², alors que les avions de chasse, pendant la guerre, ne portaient que 50 kg au m² ; depuis 1918, la surface des ailes a été réduite des trois quarts.

La résistance induite

Du même coup, la *résistance induite* s'est trouvée considérablement diminuée. En effet, cette résistance était d'autant plus grande que l'incidence de l'aile était plus forte, puisqu'elle est due à la déflexion vers le bas imprimée par l'aile au courant d'air sustentateur. Or, à mesure qu'on augmente la vitesse de l'avion, on est amené à diminuer l'incidence de l'aile. Ainsi l'importance de la résistance induite par rapport aux autres résistances a considérablement diminué sur les avions que l'on sait aujourd'hui réaliser.

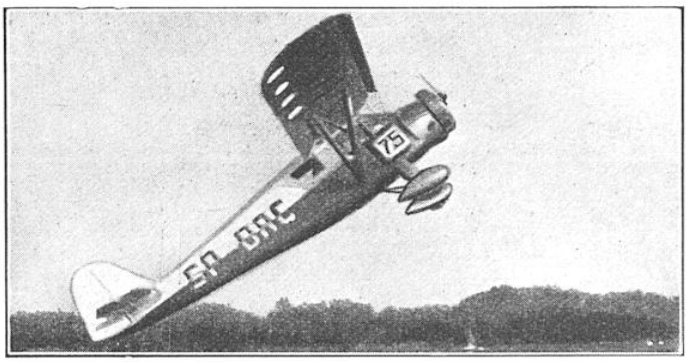


FIG. 2. — CE QU'ON PEUT ATTENDRE DES DISPOSITIFS HYPERSUSTENTATEURS

Cet avion de tourisme polonais R. W. D., muni d'ailes à fente et à volets de courbure, franchit, à l'extrémité de la piste de décollage, un obstacle de 8 m de haut sans redouter la perte de vitesse qui se produirait fatalement avec un avion ordinaire. (Cette épreuve vraiment remarquable a été exécutée en août 1934 au concours international des avions de tourisme.)

La résistance de refroidissement (groupes motopropulseurs)

Demeure la *résistance de refroidissement*. Celle-ci étant produite par le frottement de l'air sur les ailettes des cylindres ou du radiateur, on abaissera son coefficient en réduisant la vitesse de l'air qui lèche ces ailettes. Pour que le refroidissement reste néanmoins suffisant, on est conduit à augmenter la surface des ailettes. Enfin, on s'efforcera d'augmenter la densité de l'air qui frappe les surfaces à refroidir. Ceci est possible à grande vitesse en utilisant celle-ci pour comprimer l'air dans des tuyères de formes appropriées.

Gains de puissance propulsive

En même temps qu'on diminue les résistances de l'avion, on augmente la puissance qui le propulse. Il est bien évident, toutefois, que pour conserver le bénéfice des économies produites par l'effacement des résistances, il faut obtenir cet accroissement de puissance sans augmenter la quantité de combustible consommé. C'est pourquoi l'on a cherché d'abord à élever le taux de la compression afin d'utiliser plus complètement la détente des gaz. Cette augmentation de compression a été rendue possible par la fabrication de combustibles à haut pouvoir antidétonant, et aussi en réalisant des carburateurs à réglage automatique qui dosent correctement le mélange air-essence à toutes les altitudes et pour toutes les puissances. On est ainsi parvenu à réduire la consommation par cheval-heure de 250 à 200 g. On fera mieux encore dans un proche avenir.

D'autre part, en dotant les moteurs de compresseurs, on est arrivé à maintenir leur puissance jusqu'à des altitudes de 7 000 m. Comme l'air est moins dense aux grandes altitudes, la puissance motrice y est mieux utilisée puisque les résistances s'opposant à l'avancement de l'avion diminuent en même temps que la densité de l'air.

Un autre progrès a été réalisé grâce à l'amélioration de rendement de l'hélice. On sait qu'une partie seulement de la puissance développée par le moteur est transformée par l'hélice en effort de traction utile. Cette proportion était autrefois de l'ordre de 75 % ; encore ce rendement n'était-il obtenu que pour une seule vitesse de l'avion et pour un seul régime du moteur et pour une seule altitude. Par une étude plus poussée des formes des pales, on transforme à l'heure actuelle plus de 80 % de la puissance du moteur en effort de propulsion, et par l'emploi de l'hélice à pas réglable en vol on réalise pour tous les régimes, et pour une marge d'altitudes très étendue, un rendement de cet ordre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les vols stratosphériques

Nous avons vu que l'avion gagnait de la vitesse en volant en air raréfié. Il est donc intéressant d'examiner ce que l'on peut faire pour réaliser pratiquement la navigation à grande altitude. Théoriquement, rien n'est plus simple : il suffit de doter le moteur d'un compresseur qui rétablisse au carburateur la même pression qu'au niveau de la mer. En pratique, on se heurte à des difficultés qui deviennent de plus en plus grandes à mesure que l'altitude de vol s'accroît. D'abord, le compresseur absorbe de plus en plus de puissance, ce qui diminue d'autant la puissance utilisable sur l'hélice. Ensuite, à mesure que l'air se raréfie, il faut augmenter la surface de refroidissement du moteur ou du radiateur. Sans compter qu'il faut aussi refroidir l'air qui sort du compresseur. Jusqu'à 8 000 à 9 000 m, ces difficultés ne sont pas assez considérables pour empêcher la réalisation de groupes motopropulseurs utilisables sur avions de transport ou sur avions militaires, car la température de l'air diminuant de 6° à 7° C par 1 000 m, cette diminution compense en partie la diminution de densité de l'air de refroidissement. Mais, à partir du moment où l'on pénètre dans la stratosphère, la température de l'air cesse de diminuer et les difficultés de refroidissement deviennent alors considérables. Il s'y ajoute l'insuffisance de surface de l'hélice qui devrait être à pales extensibles pour conserver un bon rendement aux altitudes très grandes. Enfin, au-dessus de 4 000 m, il faut doter l'avion d'une cabine étanche, dans laquelle on comprime l'air nécessaire pour les passagers (1). Les inhalateurs d'oxygène, d'un emploi mal commode, ne suffisent même pas, à partir de 7 à 8 000 m, pour assurer le fonctionnement normal de l'organisme.

En résumé, le gain de vitesse qui résulte du vol à grande altitude est partiellement compensé par l'augmentation de poids nécessitée par les équipements de vol spéciaux pour ces altitudes, et aussi par la puissance consommée par le compresseur. Pourra-t-on cependant, dans l'avenir, trouver avantage à voyager dans la stratosphère, entre 10 000 et 15 000 m d'altitude ? Cela n'est pas impossible. En premier lieu, le compresseur d'air pourra être actionné par une turbine, elle-même entraînée par les gaz d'échappement suivant l'invention du Français Rateau. Cette solution est d'autant plus intéressante que le rendement de la turbine augmente avec l'altitude par suite de la diminution de la contre-pression à l'échappement. La seule difficulté qui ait retardé l'emploi de ce turbo-compresseur est d'ordre métallurgique : il faut, en effet, utiliser pour la roue de la turbine un métal capable de résister aux hautes températures. A ce point de vue, le moteur Diesel qui, par la longueur de sa détente, refroidit davantage les gaz d'échappement, présente un avantage notable sur le moteur à essence pour la navigation dans la stratosphère. Comme, d'autre part, il évacue une quantité de chaleur moins élevée par les ailettes des cylindres ou du radiateur, on voit qu'à tous points de vue son emploi est indiqué pour ce genre de navigation. C'est pourquoi les travaux de M. Clerget pour l'établissement d'un groupe motopropulseur Diesel destiné à la navigation dans la stratosphère sont susceptibles de donner à la France un avantage marqué

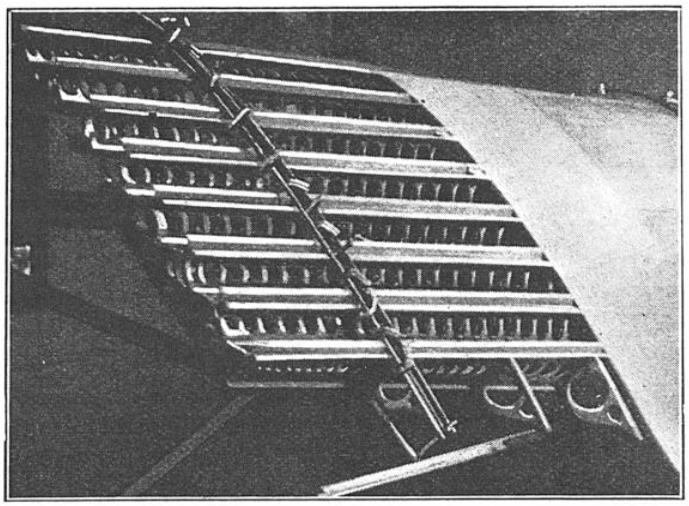


FIG. 3. — CHARPENTE MULTICELLULAIRE D'AILE D'AVION SYSTÈME « BARKLEY-GROW »

On conçoit que ce mode de construction, en appelant le revêtement métallique à participer à la résistance mécanique de l'ensemble, constitue toute une série de caissons rigides juxtaposés dont la réunion assure à la voilure une grande légèreté en même temps qu'une rigoureuse indéformabilité.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 256, page 255.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans ce domaine. Il est souhaitable qu'il n'en soit pas du fruit de ces recherches comme du turbo-compresseur Rateau qui a été abandonné en France, tandis que l'aviation américaine l'utilise couramment sur ses avions de chasse et se prépare à l'utiliser sur ses avions de transport pour grandes altitudes.

Un autre phénomène pourra également être utilisé à ces altitudes élevées. Il s'agit de l'échauffement de l'air de refroidissement au contact des ailettes du radiateur ou des cylindres. Cet air ainsi réchauffé peut aider à la propulsion de l'avion. Il suffit, pour cela, de l'évacuer par des tuyères dirigées vers l'arrière de l'avion et dans lesquelles cet air se détend jusqu'à la pression extérieure. En se détendant, l'air chaud prend appui sur les parois de la tuyère, à laquelle il communique une certaine impulsion d'arrière en avant qui s'ajoute à la traction de l'hélice. L'étude approfondie de ce phénomène montre que la puissance ainsi récupérée ne devient appréciable qu'aux vitesses dépassant 400 km/h. Or, la navigation à 7 000 ou 8 000 m permettra de réaliser des vitesses de croisière de 500 à 600 km/h. Pour ces vitesses, le rendement du moteur à air chaud constitué par les organes de refroidissement sera d'autant meilleur que l'échappement se produira en atmosphère plus raréfiée (1). Pour la même raison, il sera possible également d'utiliser la détente des gaz d'échappement en vue d'augmenter l'effort de propulsion fourni par le groupe motopropulseur. Voilà donc un certain nombre de problèmes dont la solution sera susceptible de faciliter la navigation à des altitudes de plus en plus élevées.

Enfin, il faut remarquer que la navigation à très grande altitude exigera une augmentation de la surface portante et du diamètre de l'hélice, en raison de la faible densité de l'air à l'altitude d'utilisation. Cette circonstance, qui augmentera les facilités de décollage et d'atterrissage, est favorable à l'utilisation des grandes altitudes.

Il n'est pas impossible que les avions stratosphériques de l'avenir soient propulsés par des turbines à gaz dont le rendement sera d'autant meilleur que l'échappement se produira en atmosphère plus raréfiée. Depuis une trentaine d'années, on travaille à la réalisation de la turbine à gaz qui se heurte à de grosses difficultés d'ordre métallurgique.

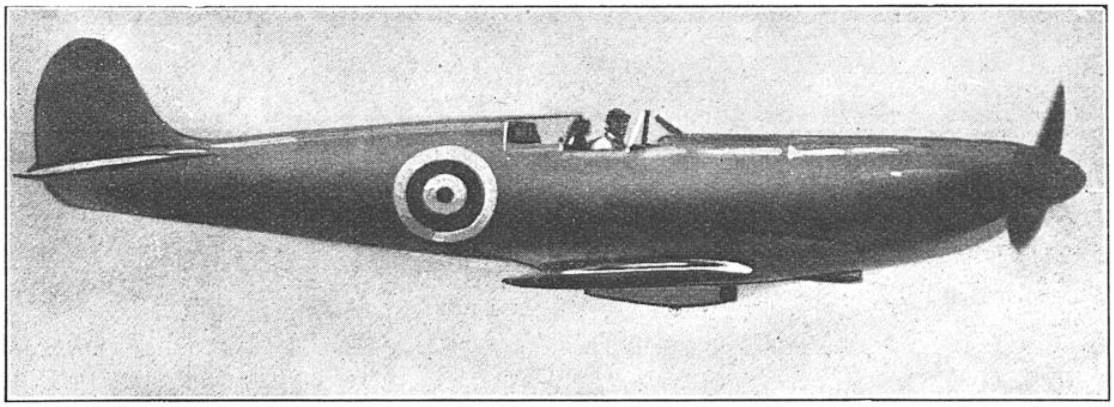


FIG. 4. — AVION VICKERS « SPITFIRE », LE PLUS RAPIDE DES AVIONS DE CHASSE ANGLAIS

Cet appareil semble complètement dépourvu de surface portante, tant ses ailes minces sont de dimensions réduites. On conçoit qu'avec de tels bolides, à moins qu'ils ne soient équipés de dispositifs hypersustentateurs pour augmenter leur portance et réduire leur vitesse, il soit pratiquement impossible d'atterrir.

L'aviation transatlantique

La traversée des déserts ou des océans nécessitera des avions à grand rayon d'action transportant une charge payante suffisante pour couvrir les frais de la traversée. Comment arrivera-t-on à réaliser de tels appareils? Remarquons d'abord que tous les gains de vitesse obtenus, en augmentant la finesse du planeur et le rendement du groupe motopropulseur, ou en utilisant le vol à grande altitude, ont pour effet d'accroître le rayon d'action dans la même proportion que la vitesse (1), sans qu'il en coûte un gramme de plus de combustible. Une meil-

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 251, page 358.

(1) La proportion est même plus élevée puisque l'influence relative des vents contraires diminue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leure répartition des efforts dans la charpente de l'aile par l'emploi de formes mieux étudiées permet de diminuer le poids de charpente et par conséquent d'augmenter d'autant la charge utile. Il en est de même de l'augmentation de la charge par mètre carré de surface portante qui, en réduisant les dimensions des ailes, réduit aussi leur poids. Enfin, contrairement à ce que faisaient prévoir les théories trop rudimentaires des débuts de l'aviation, l'augmentation de tonnage de l'avion, et surtout de l'hydravion, a pour effet d'augmenter la proportion de la charge utile au poids total. Ceci tient, pour une part, à la possibilité d'utiliser sur les très gros appareils des charges plus élevées par mètre carré de surface portante. Pour une autre part, cela tient à la possibilité de loger les moteurs dans l'épaisseur de l'aile. La suppression des fuseaux moteurs augmente ainsi sensiblement la finesse de l'appareil. Enfin, la résistance due au frottement de l'air sur la surface externe de l'avion diminue d'environ 20 % lorsqu'on passe de 10 t à 100 t (1).

Pour toutes ces raisons, on est assuré maintenant d'obtenir avec les appareils de l'ordre de 80 à 150 t un rendement économique suffisant pour assurer dans des conditions plus avantageuses que par paquebot l'exploitation sans escale de la ligne *Paris-New York* (2). Un hydravion de 100 t aura une charge utile d'environ 50 t, qui se répartira ainsi : combustible et lubrifiant, 30 t ; équipage, aménagements des cabines, appareaux de sécurité, 5 t ; charge payante, 15 t.

L'hydravion transatlantique *Dornier*, quadrimoteur qui effectue actuellement ses premiers vols, et dont le poids en charge est de 20 t, ne pourra transporter d'Europe aux Etats-Unis que 500 kg de poste. On peut juger par ces chiffres de l'avantage du très gros hydravion.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 245, page 333.
(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 254, page 125.

L'aviation de demain

Dans quelle proportion utilisera-t-on pratiquement, au cours des prochaines années, toutes ces possibilités nouvelles de l'avion?

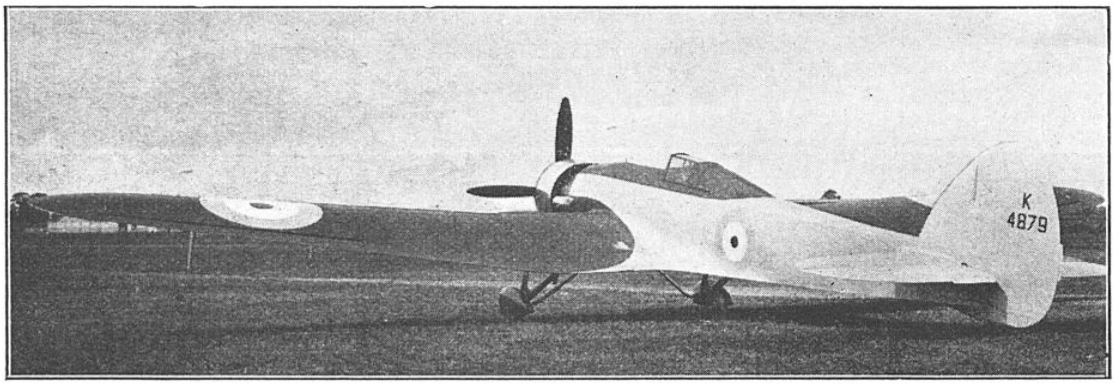


FIG. 5. — L'AVION SPÉCIAL « BRISTOL-138 » QUI A CONQUIS, AVEC 16 400 M, LE RECORD D'ALTITUDE (CE RECORD VIENT D'ÊTRE BATTU PAR L'ITALIEN PEZZI AVEC 17 074 MÈTRES)
Cet appareil contraste, par les dimensions de sa voilure, avec les avions de vitesse dont on a vu plus haut les silhouettes. Ce sera l'un des avantages des appareils stratosphériques que d'avoir une voilure de dimensions relativement grandes, qui facilitera les décollages et les atterrissages avec les lourdes charges, correspondant à leurs rayons d'action de plusieurs milliers de kilomètres.

En ce qui concerne l'aviation de transport, il est probable qu'on ne cherchera pas à dépasser, dans un proche avenir, des vitesses de 300 km/h à basse altitude et de 350 km/h au-dessus de 4 000 m, car ces vitesses sont très suffisantes pour lutter contre des vents contraires de 50 à 80 km/h à basse altitude et de 80 à 120 km/h aux altitudes de 6 000 à 8 000 m (1). Ces vitesses mettent New York à 20 h, Buenos-Aires à 40 h et Tokio à 60 h de Paris.

On ne cherchera pas à naviguer normalement à plus de 5 000 à 6 000 m, car, à cette altitude, on survolera la plupart des perturbations météorologiques, mais l'on conservera un excédent de puissance suffisant pour monter à 8 000 ou 9 000 m, pendant deux ou trois heures en cas de besoin, afin de passer au-dessus d'une perturbation exceptionnellement élevée et trop étendue pour

(1) Des vents de cette force ne règnent jamais que sur une partie du parcours Paris-New York.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que l'avion puisse la contourner sans s'exposer à un retard trop considérable.

Il est peu probable également qu'on dépasse dans un proche avenir les tonnages de 100 à 150 t (1).

En effet, l'un des avantages de l'avion consiste dans la possibilité de multiplier les départs suivant les besoins saisonniers, ce qui nécessite une nombreuse flotte d'avions de tonnage modéré.

En ce qui concerne l'aviation de guerre, on s'efforcera, en revanche, d'atteindre des vitesses de plus en plus élevées qui assurent une supériorité incontestable sur l'adversaire. Il en sera de même pour les altitudes de croisière. Toutefois, les augmentations de vitesses ne devront pas être obtenues au détriment de la manœuvrabilité.

En ce qui concerne le tonnage, il semble qu'on en restera à des chiffres relativement faibles pour tous les appareils de guerre destinés au combat aérien proprement dit, et à la coopération avec l'armée de terre, précisément parce que leur manœuvrabilité est une condition essentielle de leur supériorité au combat. Au contraire, pour les avions de bombardement de nuit, destinés à voyager à grande altitude et souvent dans les nuages, il est probable qu'on utilisera des tonnages élevés. L'emploi de ces appareils nécessite, en effet, la formation d'équipages entraînés à des conditions de navigation exceptionnellement difficiles. Ces équipages sont longs à former et leur formation coûte très cher. Pour tirer le maximum de rendement de leurs aptitudes, on leur confiera donc des avions de gros tonnage transportant un poids élevé de projectiles. Un ou deux appareils de très gros tonnage navigant de nuit à grande altitude et à grande vitesse échapperont mieux que plusieurs avions de faible tonnage à la D. C. A.

Enfin, il ne fait pas de doute que, dans l'avenir, les armées terrestres (artillerie, chars d'assaut, infanterie) seront dotées de tout petits avions à faible puissance et à faible vitesse, constituant de véritables observatoires de commandement qui, volant à quelques centaines de mètres au-dessus du champ de bataille, permettront aux commandants de groupes d'artillerie ou de chars d'assaut de commander leurs unités par téléphonie sans fil. Dès maintenant, la protection de ces petits appareils est rendue possible par l'armement de défense contre les aéronefs dont sont dotées les divisions d'infanterie. Cet armement (mitrailleuses de 13 mm, canons de 20 mm à 40 mm) interdira complètement le survol de ces unités par des avions ennemis descendant à moins de 2 000 m. En conséquence, les petits avions de commandement évoluant entre 400 et 800 m d'altitude seront complètement à l'abri des attaques ennemies tant qu'ils resteront au-dessus des unités terrestres amies.

Ces quelques prévisions ne prétendent nullement représenter fidèlement ce que sera l'aviation dans cinquante ans ni même dans vingt ans. Affirmer quelque chose dans ce domaine serait bien téméraire, étant donné la rapidité d'évolution de toutes les techniques, surtout de la technique aéronautique. On ne peut donc, sans s'exposer à des démentis certains, anticiper en ces matières de plus de quelques années.

A. VERDURAND.

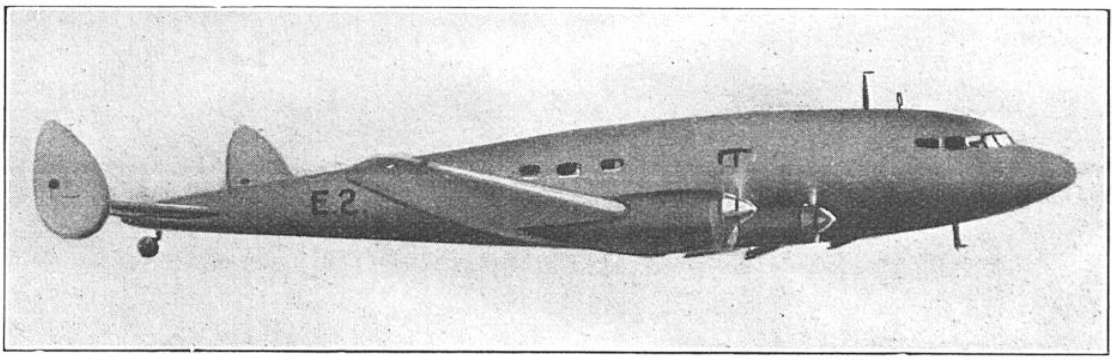


FIG. 6. — QUADRIMOTEUR TRANSATLANTIQUE « DE HAVILLAND », DU TYPE « ALBATROSS »
Les formes de cet appareil évoquent invinciblement celles d'un requin prêt à saisir sa proie. Il n'est pas jusqu'à ses toutes petites ailes qui ne rappellent les « ailerons » de ce squale.

(1) D'ailleurs les avantages économiques de l'augmentation du tonnage, très sensibles lorsqu'on passe de 20 à 100 t, deviennent beaucoup moins considérables à partir de 100 . (Voir dans ce numéro, p. 539.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'AVENIR DU MATERIEL NAVAL DEVANT LE PROGRÈS AÉRONAUTIQUE

Par Camille ROUGERON

INGÉNIEUR EN CHEF DU GÉNIE MARITIME (C. R.)

L'évolution technique du matériel naval (navires marchands et bâtiments de guerre) s'est poursuivie au cours des vingt-cinq dernières années à un rythme très ralenti. Au contraire, le matériel volant (avions et hydravions) a amélioré d'une manière considérable ses performances de tous ordres : vitesse, rayon d'action, plafond, tonnage, sans oublier la sécurité. Aussi la concurrence entre les deux modes de locomotion, marin et aérien, se fait-elle chaque jour plus âpre, et il faut bien constater que, dans cette compétition, c'est jusqu'ici l'avion qui a marqué tous les points. Les ressources de la technique des constructions navales sont cependant loin d'être épuisées. Sans doute allons-nous voir apparaître bientôt, sous l'empire de la nécessité, des formules nouvelles faisant appel, pour la coque, à des tracés nouveaux à redans favorables aux grandes vitesses ; pour la charpente, aux alliages légers inoxydables ; pour l'appareil propulsif, aux moteurs légers et rapides à explosion ou à combustion. Le renouvellement technique des flottes militaires et marchandes s'impose inéluctablement, si on veut leur conserver dans l'avenir un rôle non négligeable en face des flottes aériennes qui les menacent dans leur existence même.

Le matériel naval a été pendant longtemps à l'avant-garde de la technique. Il tenait alors la place que nous voyons prise aujourd'hui par l'automobile, l'avion, la T. S. F. ou la télévision.

Faut-il rappeler qu'il a été le premier à appliquer la propulsion mécanique à un moyen de transport, et qu'il y a plus d'un siècle que des paquebots à vapeur faisaient un service transatlantique, à une époque où il n'était évidemment question ni d'automobile, ni d'aviation, mais où le chemin de fer lui-même, création plus que centenaire, n'avait pas encore vu le jour?

Pour s'en tenir à des temps moins reculés, faut-il rappeler que les plus grands progrès de la chaudière, voici une cinquantaine d'années, viennent à l'origine de ses applications au torpilleur, que la métallurgie des aciers spéciaux prit naissance avec les exigences des marines de guerre en matière de blindages, que les premières turbines furent construites pour la propulsion des navires de commerce?

Mais, depuis vingt-cinq ans, au milieu des progrès extraordinaires de toutes les techniques, la place que tient le matériel naval est devenue infiniment plus modeste, et ce n'est pas dans l'histoire de son développement qu'il faut chercher l'origine de ces merveilles qu'ont suscitées les progrès d'autres engins de transport comme l'automobile et l'avion : moteur à explosion, métaux spéciaux, alliages légers, fabrication de haute précision en grande série.

Les formes

Les formes du navire ont continué d'être étudiées dans les nombreux bassins d'essais de carènes, mais cette étude n'a donné aucun résultat sensationnel nouveau ; l'explication la plus vraisemblable est que les recherches faites au début de ce siècle, par Taylor en particulier, ont à peu près épuisé la question. Les innovations récentes, qui reprennent d'ailleurs pour la plupart des suggestions et réalisations assez anciennes, n'introduisent pas de progrès très notables.

Il faut excepter cependant les résultats obtenus en ce qui concerne les très grandes vitesses pour navires de faible tonnage par l'emploi des carènes à redan ou en forme de glisseurs. Mais, en dehors d'une seule application aux vedettes lance-torpilles (1) qui ne sont qu'une fraction négligeable du tonnage à flot des marines de guerre, ces résultats sont limités au domaine sportif. Il faut en chercher la cause dans le refus persistant des marines de guerre et de commerce à s'intéresser aux types de moteurs légers, Diesel ou à explosion, créés en dehors d'elles, et qui sont seuls susceptibles de tirer des formes nouvelles les applications qu'elles pourraient trouver, aussi bien du point de vue militaire que pour le transport des passagers.

(1) Voir dans ce numéro, page 529.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

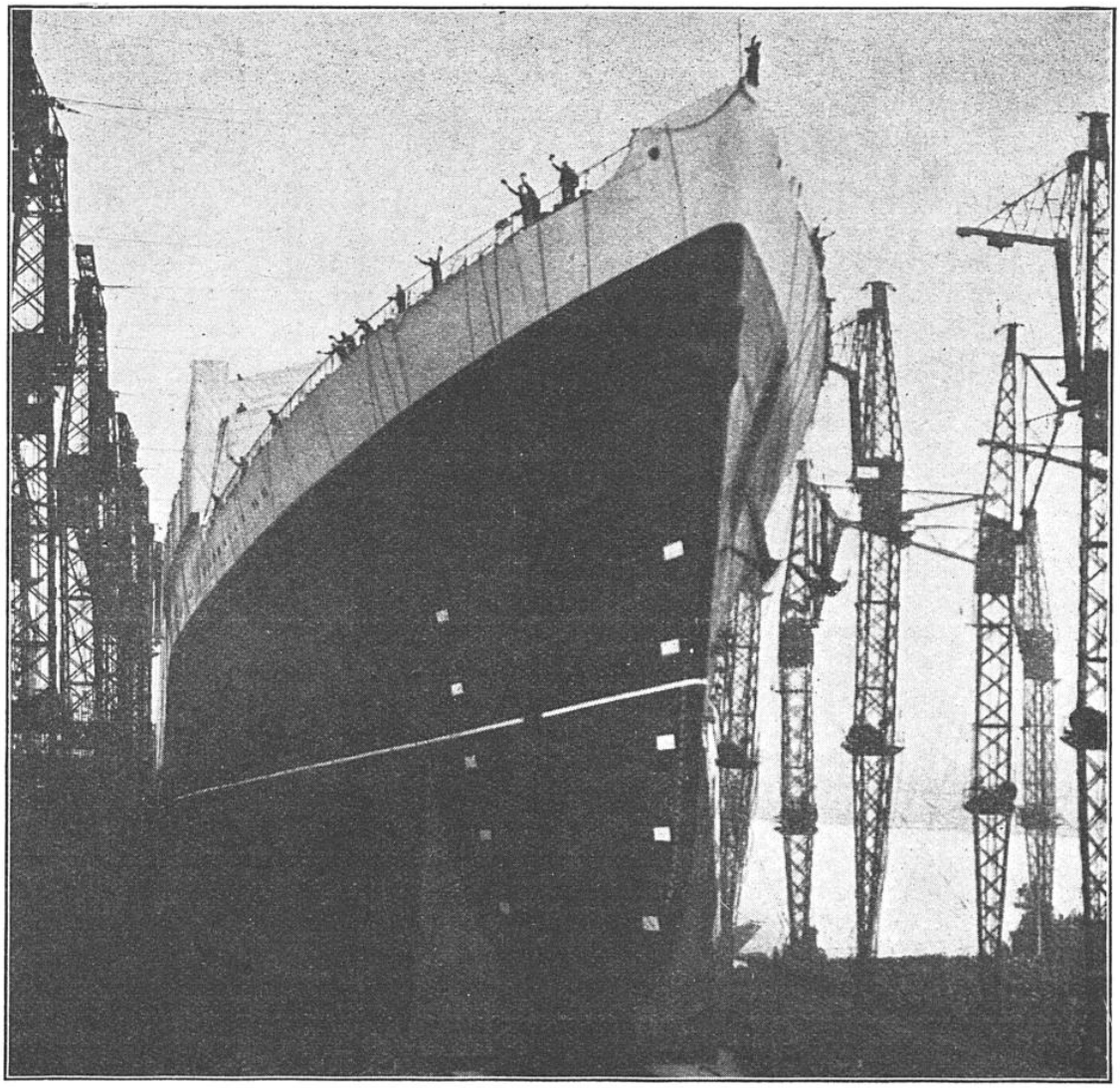


FIG. 1. — LA « QUEEN-ELIZABETH », LE PLUS GRAND PAQUEBOT DU MONDE

La Queen-Elizabeth, *le dernier paquebot de la* Cunard-White Star, *a été lancé le 27 septembre, en présence de la reine d'Angleterre, aux chantiers John Brown et Co, à Clydebank. Il est à la fois, avec sa longueur de 314,15 m, le plus long paquebot à flot, et le plus grand, avec son tonnage de 85 000 tonneaux, contre 81 235 à la* Queen-Mary, *et 83 423 à la* Normandie. *Il transportera 2 410 passagers (1 937 sur la* Queen-Mary*). Avec le pont des sports et le « sun-deck », il possèdera quatorze ponts.*

La charpente

Les matériaux employés à la construction des coques n'ont guère varié. On retrouve, sur la *Normandie* comme sur la *Queen-Mary*, le même mélange d'acier ordinaire pour l'ensemble de la charpente et d'aciers spéciaux pour les points les plus chargés que l'on pouvait déjà observer sur les paquebots construits aux alentours de 1910. Les alliages légers ont fait une apparition bien modeste, limitée à quelques applications secondaires sur les navires de guerre, et qui entrent d'ailleurs pour une fraction négligeable dans le poids total de la charpente. Mais il n'est pas question encore de coques entières en alliages légers. Il faut vraisemblablement attendre, pour que cesse cet ostracisme qui va tourner au scandale avec l'apparition des alliages aluminium-magnésium à très haute résistance et inoxydables, l'expérience qui découlera des essais d'hy-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

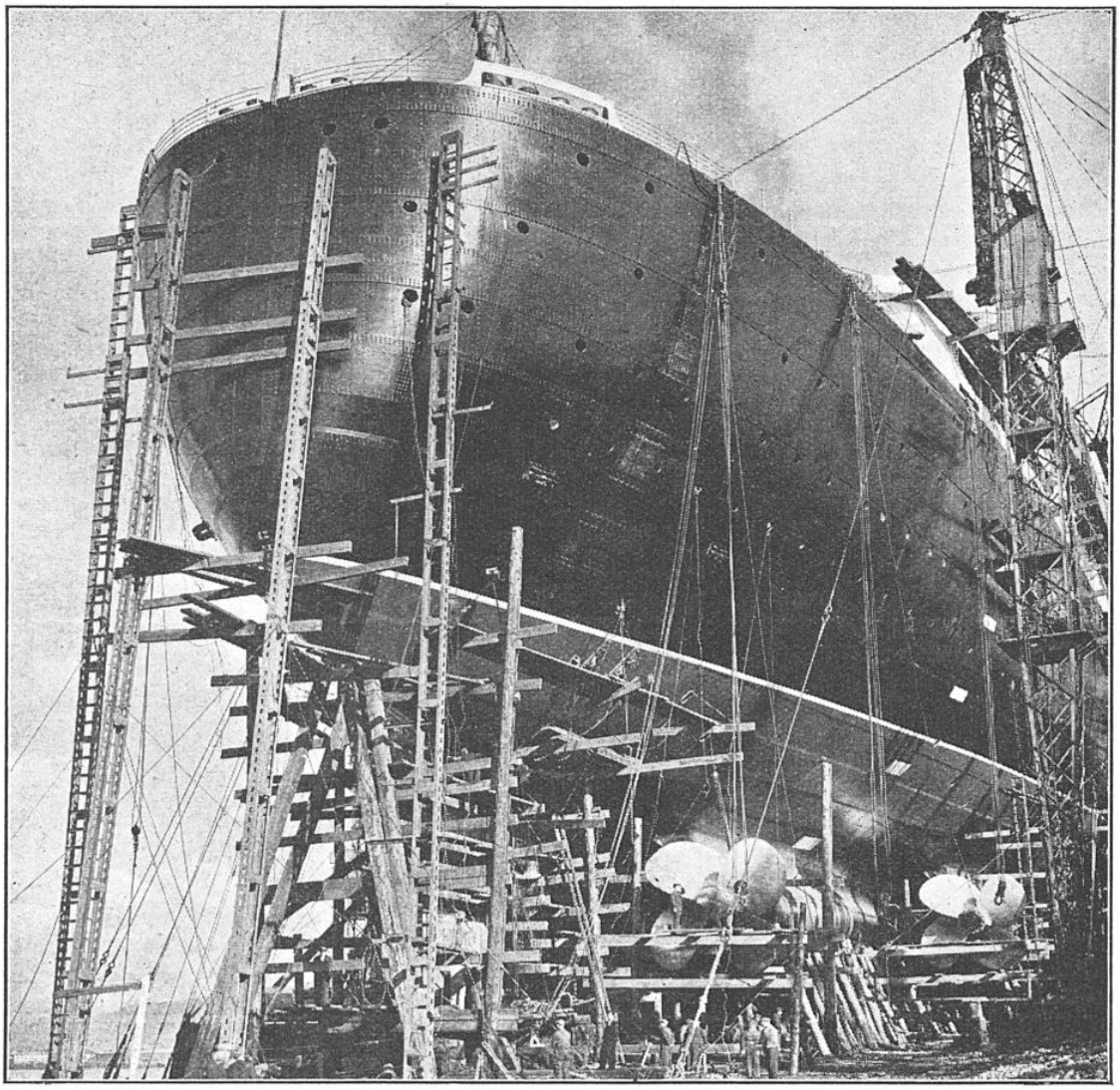


FIG. 2. — LES FORMES ARRIÈRE DE LA « QUEEN-ELIZABETH »

La Queen-Elizabeth *sera certainement le paquebot le plus puissant du monde, avec un appareil moteur dont les caractéristiques n'ont pas été publiées mais qui excédera notablement 200 000 ch, et le plus rapide avec une vitesse qui dépassera largement les 30 nœuds. On voit sur cette photographie quelques pièces de forge et de fonderie d'un poids inusité. Les supports d'arbres pour les hélices latérales pèsent 180 t ; ceux des arbres centraux, 120 t. Le gouvernail pèse 120 t, et sa pièce d'étambot, 190 t.*

dravions transatlantiques de volume supérieur à celui d'un navire de 1 000 tonnes.

Le dessin d'ensemble de la charpente n'a subi aucune transformation. Les marines de guerre ont fini par généraliser l'emploi de la construction longitudinale, qui permet de faire participer presque tous les matériaux à l'effort principal, celui de la flexion longitudinale du navire sur mer agitée. En dehors des pétroliers, où le même principe est appliqué sous la forme que lui ont donné des constructeurs dont Isherwood est le plus connu, la marine de commerce en est encore restée à la construction transversale.

Le mode d'assemblage des matériaux fait une exception assez rare pour qu'on la signale. Les techniciens maritimes se sont vivement intéressés, dès ses débuts, à la soudure électrique. Elle a connu, dans ses applications au matériel naval, un développement rapide, soit en combinaison avec le rivetage, soit même pour la construction

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de navires pétroliers de gros tonnage entièrement soudés. Il n'est pas douteux qu'au cours des vingt-cinq prochaines années ce qui subsistera du navire en acier fera intégralement appel à ce mode d'assemblage.

L'appareil propulsif

La vapeur, malgré la consommation plus élevée de combustible des appareils propulsifs qui l'utilisent, règne encore sur la plus grande partie du tonnage à flot.

La vieille chaudière cylindrique, lourde, encombrante, incapable de fournir les pressions élevées indispensables à l'économie de l'appareil moteur, a définitivement fait place à des chaudières à tubes d'eau plus modernes. La surchauffe se généralise. Les pressions ont augmenté, mais sans atteindre les valeurs très élevées en usage dans les centrales électriques.

La turbine a presque complètement éliminé la machine alternative. Elle est presque toujours complétée par un réducteur à engrenages. Les tentatives faites pour utiliser la transmission électrique comme réducteur n'ont connu qu'un succès modeste. Les cuirassés américains, qui avaient inauguré les applications de ce type d'appareil moteur à la marine de guerre, ont été refondus depuis, avec remplacement de la transmission électrique par un réducteur à engrenages.

Le Diesel a fait des progrès considérables. Il équipe, depuis plusieurs années, la majorité des navires nouvellement construits. Malgré la tentative du *Deutschland*, il n'a pu, cependant, prendre place en marine de guerre. La raison en est certainement la divergence croissante entre le type de Diesel « marin » et les autres applications du Diesel aux engins de transport : automobiles, automotrices sur voies ferrées, avions. Nous renvoyons le lecteur que la question intéresserait aux études si suggestives que vient de publier, l'été dernier, le grand technicien anglais du moteur, Ricardo, qui « voudrait bien voir tourner le moteur marin un peu plus vite », et à la réprobation générale qu'elles ont soulevée.

L'avenir du matériel naval

En face du concurrent qu'est l'avion, quelles sont les parties du matériel naval qui ont chance de subsister, et comment évolueront-elles?

Il n'y a pas très longtemps que la réponse à une telle question ne pouvait guère être fondée que sur des raisonnements théoriques et n'avait alors d'autre valeur que l'affirmation des sentiments plus ou moins traditionnels ou novateurs de celui qui la formulait.

Aujourd'hui, il suffit d'observer les faits pour y trouver la réponse cherchée. L'avion a déjà fait sentir son action, et par des événements d'une signification très claire. C'est d'ailleurs à l'occasion du matériel naval qu'a été énoncée cette loi générale d'évolution que tout matériel parvenu à la perfection est condamné à disparaître. Si l'on veut bien remplacer la « perfection », qui est un caractère très subjectif du matériel examiné et n'a rien à voir en cette affaire, par la « stagnation », qui est un caractère beaucoup plus objectif et de constatation facile, la formule est, en effet, d'application assez générale, et elle vient confirmer les conclusions que suggère aussi bien le raisonnement que l'expérience.

Dans le domaine du transport des marchandises, du moins des marchandises lourdes et de faible valeur, le raisonnement *a priori* interdit à l'avion tout espoir de concurrencer le navire de charge. L'expérience montre qu'en fait, cette concurrence ne s'est pas exercée jusqu'ici, et que la construction du cargo reste le principal élément d'activité non militaire des chantiers navals. Or, il est assez curieux de constater que c'est précisément le cargo qui, bien loin de s'endormir dans cette absence de concurrence, offre précisément l'exemple du renouvellement le plus récent et le plus complet. Les cargos spécialisés se sont développés ; une énorme flotte de pétroliers (1) est venue remplacer les charbonniers qui disparaissent. Des spécialités nouvelles se sont créées : les transports bananiers réfrigérés (2), les navires équipés pour la chasse à la baleine. Tous les types de navires de charge ont fait des progrès énormes en vitesse : sur le très gros programme de 54 navires représentant 450 000 tonnes dont M. Benni, ministre des Communications d'Italie, vient d'annoncer la récente mise en commande, on ne compte pas moins de 11 navires à moteurs de 9 000 t à 18 nœuds, 5 navires de 9 000 et 4 000 t à 17 nœuds, 17 navires de 10 000 et 4 000 t à 16 nœuds.

S'il est, au contraire, un transport où l'on peut prévoir que l'avenir est à l'avion, c'est bien celui de la poste et des passagers qui est cependant encore en presque totalité assuré par le paquebot. Mais les signes précurseurs de l'éviction par l'avion se multiplient. En voici deux pour 1938 : le transport par avion, sans surtaxe, de tout le trafic postal dit « de première catégorie » de l'Empire Britannique,

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 247, page 47.
(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 256, page 319.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le programme des 24 appareils transatlantiques à 100 passagers des *Pan American Airways*. Se rend-on compte de la portée de ces deux événements : transporter une lettre par avion de Londres en Australie, en quatre jours, pour moins de 10 centimes-or, avec des subventions postales inférieures à celles que réclamait le navire pour faire le même service en un mois ; offrir en 1940, sur la seule ligne américaine, la traversée de l'Atlantique en 20 heures avec une capacité de transport suffisante pour l'ensemble des passagers de première classe? Il est un réactif extrêmement sensible pour apprécier la rapidité et le sens certain de l'évolution, c'est l'empressement des armateurs à renouveler leurs flottes de grands paquebots. Ils laissent aujourd'hui, avec ensemble, cette tâche à l'Etat, et se bornent à essayer d'obtenir les sacrifices que refusent de consentir actionnaires et obligataires, en ressassant devant l'opinion publique les vieux clichés sur la nécessité pour un peuple de montrer son pavillon. Et l'on peut constater ici la stagnation du matériel qui en présage la disparition. Toute la réclame faite autour de ces splendides palais flottants n'aurait-elle pas pour but principal de masquer qu'en trente ans, du *Mauretania* à la *Normandie*, on est passé simplement de 26 à 30 nœuds ?

Il ne peut être question de résumer en dix lignes les raisons théoriques sérieuses qui donnent à croire que le navire de guerre, surtout sous sa forme actuelle, est incapable de résister à l'avion. Bornons-nous donc à noter les plus récents des événements qui appuient cette thèse, l'évacuation de Malte par la flotte anglaise sous la menace de l'aviation italienne, les patrouilles navales franco-anglaises venant rapidement à bout des attaques de cargos par sous-marins et incapables d'intervenir lorsque le sous-marin est remplacé par l'avion, les hésitations japonaises à affronter, avec sa flotte puissante et une aviation modeste, l'adversaire russe aussi faible sur l'eau qu'il est puissant en l'air. Et, là encore, notons la stagnation que ne parviennent pas à masquer les efforts répétés pour intéresser une opinion réticente aux problèmes de la maîtrise navale, quand la même opinion se passionne pour les questions aériennes. On nous parle de torpilleurs à plus de 40 nœuds ; il y a près de vingt-cinq ans que l'Amirauté anglaise mettait en chantier le *Teazer* qui, le premier, dépassa cette vitesse. On nous vante les mérites de croiseurs de bataille à 30 nœuds, armés de canons de 381 mm. Y a-t-il donc beaucoup de différence entre ces navires et ceux que Fisher et Tirpitz mettaient en chantier vers 1914?

Il semble que, loin de trouver dans la pression du concurrent le coup de fouet qui les incite à se renouveler pour survivre, les constructeurs des matériels menacés soient conscients de l'inanité des efforts qu'ils pourraient entreprendre. Et, cependant, le renouvellement n'a jamais été aussi urgent. Les moyens de transport et les moyens de combat s'éliminent aujourd'hui les uns les autres avec une rapidité inquiétante.

CAMILLE ROUGERON.

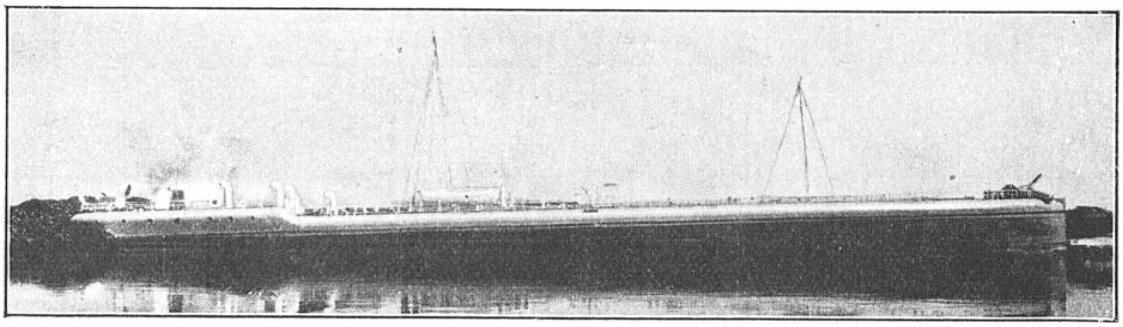


FIG. 3. — UN CARGO ENTIÈREMENT SOUDÉ SUR LES GRANDS LACS AMÉRICAINS

Le Dolomite-IV *est un cargo de 5 500 t à l'état lège, entièrement soudé, construit par* The Dolomite Marine Corporation, *de Rochester. Il mesure 91 m de long. Bien qu'affecté au service des Grands Lacs et de la côte Atlantique des Etats-Unis, il a été construit sous la cote «full-ocean » du Lloyd. La coque est en tôle de 12,7 mm entièrement soudée à l'arc, soit par soudeuse automatique, soit à la main. Le point certainement le plus original de la construction est un doublage au nickel pur de toutes les cales. Les tôles de doublage ont été soudées entre elles à l'arc et soudées électriquement par points sur la coque. L'avantage recherché est la rapidité de nettoyage. A son premier voyage, après avoir vidé une cargaison de pétrole et avoir subi un nettoyage à la vapeur, le* Dolomite-IV *a pu recharger du blé le lendemain.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VOICI LES UNITÉS LES PLUS RAPIDES DES FLOTTES DE COMBAT MODERNES : LES VEDETTES PORTE-TORPILLES

Par Henri LE MASSON

Les bâtiments les plus rapides qui entrent actuellement dans la composition des flottes de combat sont les vedettes porte-torpilles. Ce sont, jusqu'à présent, les seules unités qui, pour remplir les missions militaires qui leur sont dévolues, mettent à profit les plus récents progrès des moteurs à explosions et les formes de coques rationnelles à « redans » dont la résistance à l'avancement est réduite au minimum par suite de leur « déjaugeage » à grande vitesse. Le record dans ce domaine est détenu par les vedettes-torpilleurs de la marine française : elles ont atteint en effet, aux essais, des vitesses voisines de 55 nœuds (102 km/h). La France, cependant, ne possède actuellement que quatre de ces bâtiments (cinq sur cale), alors que les marines rivales disposent, en Allemagne, de dix-sept Schnellbooten, *en Italie, de cinquante* MAS, *en Grande-Bretagne, de trente* MTB, *en U. R. S. S., de plus d'une centaine d'unités de types divers. Les vedettes rapides porte-torpilles, aujourd'hui capables de tenir la mer d'une manière satisfaisante et dotées d'une protection antiaérienne efficace (canons automatiques et mitrailleuses), pourront constituer, grâce à leurs qualités manœuvrières et à la puissance de leur armement (torpilles), une menace sérieuse pour les flottes de ligne, surtout si leur action est menée en liaison avec les attaques aériennes des avions torpilleurs et bombardiers.*

Lors de la visite récente des souverains anglais à Paris, des vedettes de la marine militaire française furent chargées d'escorter l'embarcation royale, du quai d'Orsay à l'Hôtel de Ville.

Bien certainement, il n'avait jamais été donné aux Parisiens de voir d'aussi petits bâtiments de guerre. Deux de ces vedettes, en effet, n'étaient pas de simples canots de service, mais de redoutables engins, armés de torpilles et capables d'atteindre une vitesse supérieure à 50 nœuds (93 km/h).

Malgré ces caractéristiques militaires remarquables, les vedettes rapides, ou vedettes porte-torpilles, ou encore vedettes-torpilleurs, sont généralement de très petites unités. Ce sont, le plus souvent, des canots automobiles qui déplacent de 12 à 25 t, auxquels des moteurs à explosion d'une puissance unitaire de 1 000 à 1 200 ch sur les plus récemment construits, communiquent des vitesses allant de 30 à plus de 50 nœuds. Leur mission principale est de lancer une ou deux torpilles à courte portée, d'où la désignation de « marine d'assaut » parfois donnée à cette catégorie de bâtiments, application moderne d'une formule ancienne : le brûlot de la marine à voile, aux XVII^e^ et XVIII^e^ siècles, puis le canot à hampe-torpille des guerres navales de 1860 à 1880, qui demandaient à l'héroïsme de quelques marins de s'attaquer presque au corps à corps à un ennemi beaucoup plus puissant.

Deux circonstances ont permis le développement de ces petites unités dans leur forme actuelle : les rapides progrès du moteur à explosion et la mise au point des formes de coque hydroplanes, grâce auxquelles des canots automobiles, dénommés « glisseurs », ont atteint les vitesses-record que l'on connaît : plus de 200 km/h.

Les remarquables propriétés des formes hydroplanes

Les remarquables propriétés des formes hydroplanes sont connues depuis longtemps. En 1870, un pasteur anglais, le Révérend Ramus, avait obtenu de l'Amirauté britannique qu'elle fît l'essai d'une coque dont le fond, constitué par une succession de plans inclinés ou redans, avait tendance à se soulever hors de l'eau, pour glisser en quelque sorte à sa surface, lorsqu'on la remorquait à vive allure. L'idée était bonne ; mais elle était venue trop tôt. L'expérience a montré, en effet, qu'il faut au moins 45 ch par tonne de déplacement pour qu'une coque de forme appropriée se déjauge et « glisse » ; or, il n'existait pas alors de machines assez légères pour réaliser cette condition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les formes hydroplanes « brutes », essayées en 1870, présentaient, en outre, le sérieux inconvénient d'une très mauvaise tenue à la mer.

Dès la naissance du moteur à explosion, les constructeurs de canots automobiles, encouragés par de très nombreuses compétitions sportives, poursuivirent des essais pour améliorer ces formes et, en 1910, Thornycroft obtenait, au Rallye de Monaco, 35,50 nœuds d'un « racer » hydroplane ayant de très réelles qualités nautiques : le *Miranda-IV*, qui doit être considéré, au point de vue des formes de coque, comme le prototype des vedettes rapides modernes.

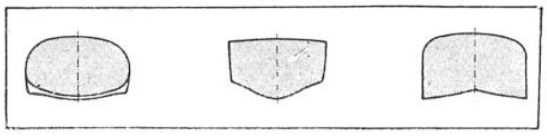


FIG. 1. — SECTIONS COMPARÉES DE TROIS COQUES DE FORMES DIFFÉRENTES

Ces coques ont été essayées par le constructeur anglais Thornycroft, pour le compte de l'Amirauté britannique, au moment où celle-ci fit étudier ses premières « vedettes rapides », dites CMB *de « 40 pieds ». Pour un même déplacement et un même moteur de 250 ch, les vitesses atteintes furent de 33,90 nœuds, 24,50 nœuds et 27, 50 nœuds. Le tracé adopté pour les* CMB *est celui de gauche.*

Les vedettes-torpilleurs pendant la guerre 1914-1918

Au moment où la guerre de 1914 éclata, les essais du *Miranda-IV*, suivis avec intérêt par l'Amirauté britannique, n'avaient, pourtant, donné lieu à aucune application militaire. La nécessité, sur plusieurs théâtres d'opérations, de venir au contact direct de l'ennemi, abrité dans ses bases, en fit sentir le besoin aux marines intéressées et c'est la raison pour laquelle les réalisations les plus intéressantes de ce type de bâtiment se rencontrent, pendant cette période, dans les marines anglaise et italienne. Des vedettes rapides étaient nécessaires à l'Amirauté britannique pour certaines opérations sur les Bancs de Flandres et à l'Italie pour attaquer l'ennemi autrichien dans le dédale de l'archipel dalmate.

Les Anglais avaient ainsi posé les données du problème : 30 nœuds au moins ; autonomie : 150 milles (277 km) ; armement : une torpille de 450 cm ; de bonnes qualités de tenue à la mer ; un déplacement et une longueur tels que l'embarcation pût être facilement suspendue aux bossoirs d'un croiseur léger.

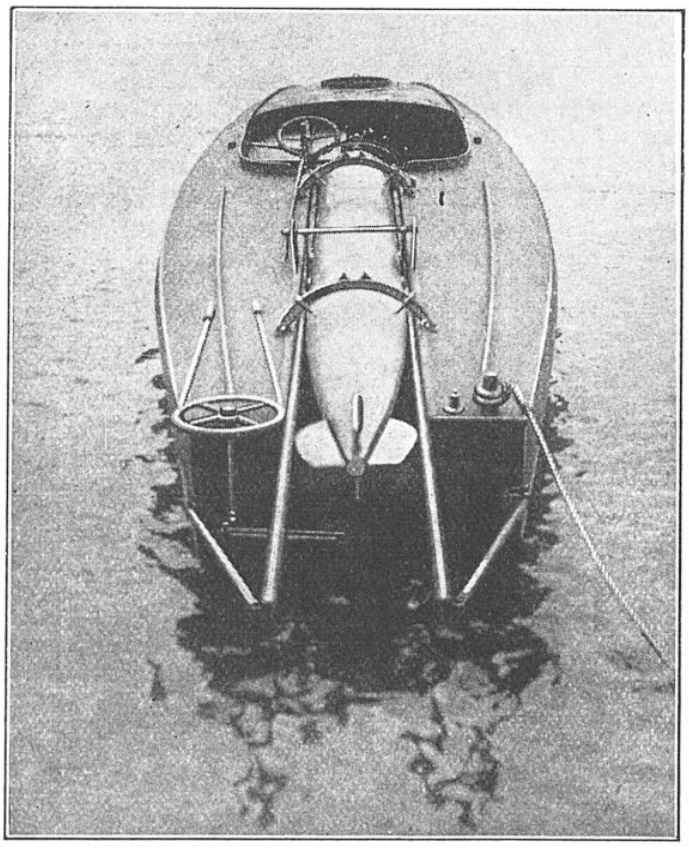


FIG. 2. — TYPE DE VEDETTE PORTE-TORPILLE « THORNYCROFT, » CONSTRUITE ENTRE 1916 ET 1918

C'est le modèle le plus réduit de ces engins construits pendant la guerre. Il était monté par deux ou, au maximum, trois hommes.

En raison de son expérience, l'Amirauté britannique confia à Thornycroft la construction de ces petites unités, baptisées « coastal motor boats » (« vedettes côtières à moteurs ») ou, en abrégé : CMB. Les premières, dites de «40 pieds», parce qu'elles avaient 12 m de longueur, déplaçaient seulement 4,250 t et avaient un moteur 12 cylindres en V de 250 ch. Très vite, il fallut agrandir le type pour pouvoir compléter l'armement par des mitrailleuses contre avions et des grenades contre les sous-marins. On jugeait également indispensable d'atteindre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

38 nœuds. Thornycroft mit alors au point les « 55 pieds » qui devinrent le type le plus courant : 12,220 t, deux moteurs de 375 ch chacun. Ces petites unités embarquaient deux torpilles de 450 mm et 5 hommes d'équipage. Un peu plus tard, on devait lancer quelques « CMB » de « 70 pieds », spécialement étudiés pour aller mouiller quatre mines sous-marines.

Les « CMB » étaient remarquables par la disposition de leur armement. Les torpilles étaient placées horizontalement dans une sorte de fosse, aménagée dans l'axe de la vedette et qui occupait l'arrière du petit bâtiment. Pour « lancer », on les projetait par l'arrière et la queue la première, au moyen d'une sorte de « bélier », dont le déclenchement était provoqué par l'explosion d'une petite charge de poudre. Le choc dans l'eau mettait en marche les hélices de la torpille, et, pendant que celle-ci s'immergeait, le « CMB » s'échappait dans une brusque embardée, en mettant la barre toute d'un bord, pour ne pas rester dangereusement sur la route de la torpille.

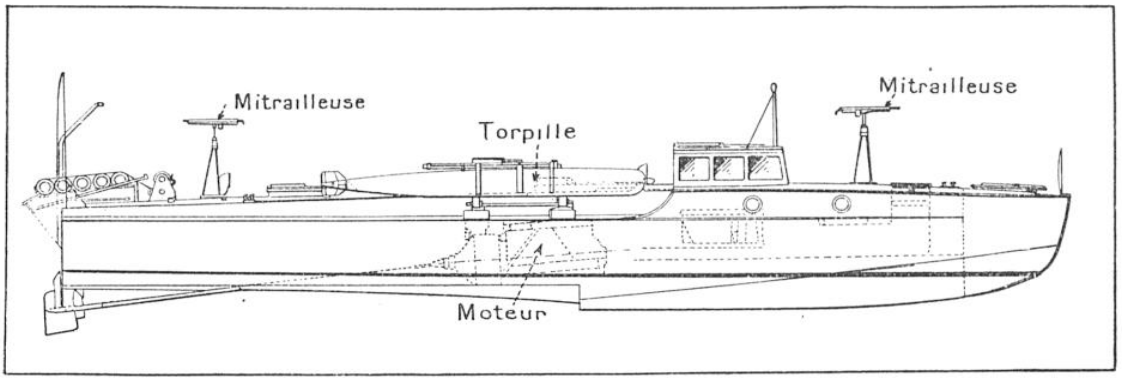


FIG. 3. — PROFIL D'UN « MAS » CARACTÉRISTIQUE DES VEDETTES RAPIDES ITALIENNES
Longueur, 16 m ; largeur, 3 m 50 ; tirant d'eau, 1 m 10 ; déplacement, 16 t, dont 6 t pour la coque, 5 t pour l'appareil moteur de 1 500 ch (auxiliaires compris) et 2,6 t pour l'armement ; vitesse atteinte aux essais, 48,12 nœuds, et 35 nœuds soutenus facilement par creux de 0 m 50.

Les particularités des vedettes italiennes de guerre

Les vedettes italiennes de la guerre sont nées d'une embarcation construite fin 1914 sur les plans du directeur du chantier S. V. A. N. Désignées « Motobarca Armata Svan », en abrégé MAS, elles étaient, à l'origine, surtout destinées à chasser les sous-marins et, dans ce cas, recevaient un canon de 57 mm ou de 75 mm et des grenades au lieu de torpilles. On les dénomma alors : « Motoscafi Anti Sommergibili ». Plus tard, en 1918, lorsque le grand poète d'Annunzio participa à quelques-unes des audacieuses entreprises de ces petites unités, il devait leur trouver une magnifique devise, qui cadrait admirablement avec les initiales sous lesquelles on les désignait : *Memento Audere Semper*.

Les « MAS » étaient qualifiés « veloci » (rapides), ou « velocissimi » (très rapides), suivant leur vitesse : 22/25 nœuds, ou plus de 30 nœuds. Les plus rapides s'apparentaient aux « CMB » anglais et embarquaient deux torpilles, soit dans des tubes avant, soit, le plus fréquemment, maintenues de chaque bord au moyen de pinces-tenailles fixées sur la coque par des bras à charnières. Au moment du lancement, on amenait les torpilles à une faible hauteur au-dessus de l'eau et la simple manœuvre d'un levier suffisait pour provoquer l'ouverture des tenailles et le rabattement du levier de prise d'air de la torpille qui mettait en marche ses hélices.

C'est au moyen d'une vedette de ce type que le commandant Rizzo réussit, au petit jour, le 10 juin 1918, le torpillage du dreadnought autrichien *Saint-Etienne* : vraiment, ce jour-là, on put écrire que David avait vaincu Goliath.

Les Italiens firent preuve d'une grande ingéniosité dans l'équipement de leurs vedettes pour leur permettre d'avancer sans bruit dans l'archipel dalmate, afin de retarder le plus possible l'intervention des batteries de côte ennemies et les aider à franchir les barrages installés au travers des passes.

C'est ainsi qu'ils dotèrent certains « MAS » rapides d'accumulateurs et d'un moteur électrique permettant quatre heures de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

marche à 3 nœuds, et qu'ils étudièrent des engins spéciaux pour forcer l'entrée des rades de Pola et de Trieste. Ces derniers, qui étaient des vedettes-torpilleurs, mais non des vedettes rapides, étaient des embarcations en bois de 16 m de long, déplaçant 8 t, entièrement propulsées à l'électricité, donc parfaitement silencieuses. Un petit torpilleur les remorquait de nuit à proximité des barrages ; des scies circulaires embrayées sur le moteur permettaient de couper les aussières, ou bien on déjaugeait l'avant, à l'aide de poids mobiles déplacés par l'équipage ; puis, quand l'embarcation était bien engagée sur le barrage, on le lui faisait franchir à la façon d'un « tank » terrestre, au moyen d'une grosse chaîne-galle à deux bandes sans fin armées de griffes, et commandée par le moteur. Plusieurs forcements de passes furent réussis par cette méthode : l'un d'eux coûta aux Autrichiens la perte du vieux cuirassé *Wien*, torpillé en rade de Trieste, le 10 novembre 1917.

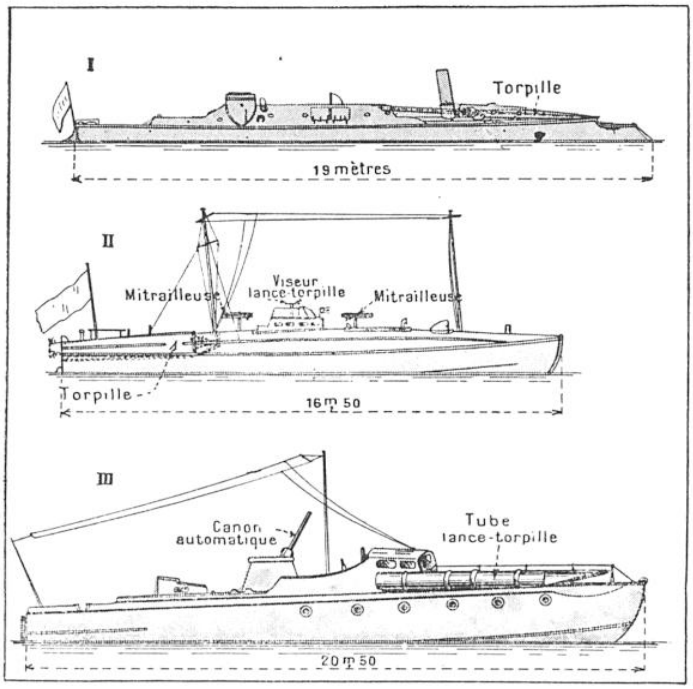


FIG. 4. — PROFILS D'UN TORPILLEUR-VEDETTE DE 1883, D'UN « CMB » DE 1916-1917 ET D'UNE DES NOUVELLES VEDETTES RAPIDES « MTB » DE L'AMIRAUTÉ BRITANNIQUE

Le torpilleur-vedette construit en 1883 pour le gouvernement britannique était susceptible d'être embarqué à bord d'un cuirassé. Remarquer que les torpilles de ce petit bâtiment étaient lancées par l'avant au moyen d'un « bélier » analogue à celui qui fut utilisé sur les CMB, *mais pour le lancement vers l'arrière, hélice la première. Les coques des deux derniers bâtiments sont en bois. Remarquer le franc-bord plus considérable du* MTB *moderne. En outre, l'encombrement des moteurs de ce dernier est moindre, malgré leur puissance unitaire beaucoup plus considérable.*

Les Allemands et les Autrichiens, qui avaient appris à connaître à leurs dépens la valeur des « CMB » et des « MAS », s'intéressèrent également à ces petites unités. De leurs réalisations, dont les tentatives d'emploi furent peu nombreuses, il faut surtout retenir la formule ingénieuse adoptée par les Allemands pour équiper plusieurs vedettes en « canots-porte-torpilles-dirigés », c'est-à-dire sans équipage et dont l'avant de l'embarcation était bourré d'explosifs. On commandait leurs évolutions de terre par l'intermédiaire d'un fil emmagasiné sur un tambour qui se déroulait librement et les indications nécessaires pour la route étaient transmises par T. S. F. d'un avion qui survolait la vedette. Un de ces engins réussit à atteindre le monitor anglais *Erebus*, au large de Douvres ; mais celui-ci encaissa l'explosion sans dommage sérieux, grâce à son caisson extérieur pare-torpilles et put rentrer au port par ses propres moyens.

L'évolution des vedettes-torpilleurs depuis la guerre

Après 1918, la marine italienne continua seule à armer des flottilles de vedettes rapides. Lorsqu'en 1935 l'Amirauté britannique décida de comprendre dans son programme naval un certain nombre de ces petites unités, il y avait huit ans déjà qu'elle paraissait ne plus s'intéresser à cette formule de bâtiments et qu'elle avait condamné les derniers « CMB » rattachés à l'Ecole des Torpilles. En Allemagne existaient encore quelques « Schnellbooten » de 1918 ; dans plusieurs autres marines, on se bornait à l'étude, à titre expérimental, de rares spécimens commandés à Thornycroft ; en France, enfin, plusieurs essais de construction nationale avaient été tentés. Brusquement, un intérêt nouveau se manifesta en faveur des vedettes rapides et, avant d'indiquer quelles peuvent être leurs perspectives futures,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nous voudrions montrer en quoi les vedettes actuelles diffèrent des embarcations de la guerre de 1914.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, et malgré certaines affirmations intéressées, il n'y a pas eu de progrès sensibles au point de vue des formes de coque. De très nombreuses applications dans la marine de plaisance, surtout aux Etats-Unis où, sous le nom de « cruisers » et de « commuters », existent un très grand nombre d'embarcations rapides de ce type, ont confirmé les qualités manœuvrières et de tenue à la mer des formes de coque que nous avons déjà indiquées.

Les efforts des constructeurs ont surtout tendu à améliorer le rendement des moteurs et à réduire les poids morts : coque et machines, pour augmenter la charge utile représentée par l'armement et par le combustible et permettre un accroissement du potentiel militaire, au double point de vue puissance de l'armement (nombre et calibre des torpilles) et rayon d'action.

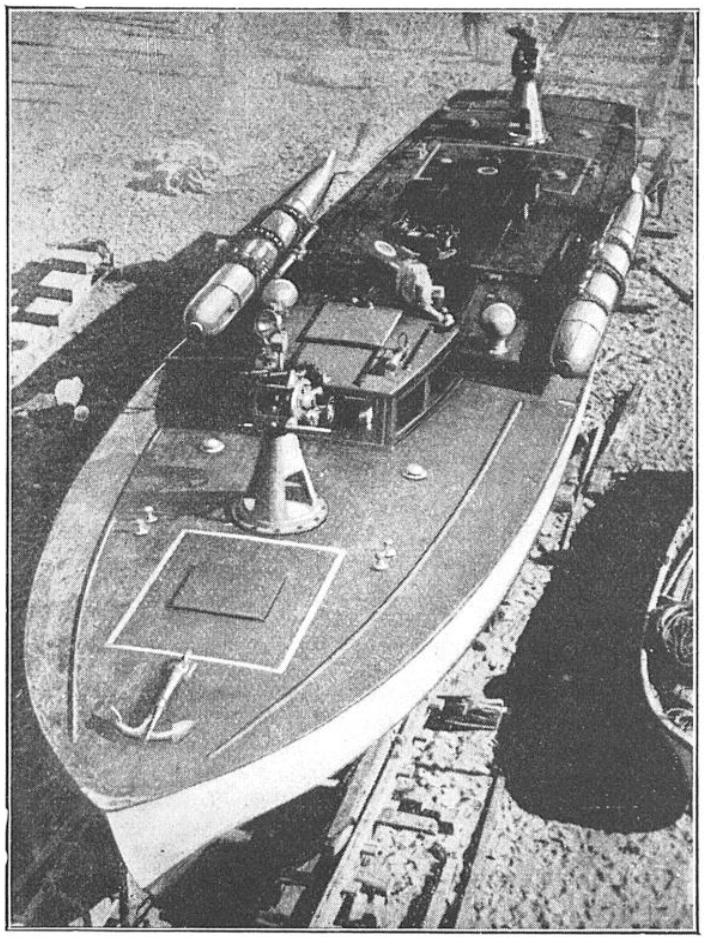


FIG. 5. — VEDETTE-TORPILLEUR « MAS » ITALIENNE

On remarquera les mitrailleuses légères sur leur trépied. Les torpilles sont maintenues une de chaque bord, au moyen de pince-tenailles qui se rabattent jusqu'à une faible hauteur au-dessus de l'eau, au moment du lancement.

Le devis du déplacement d'une vedette rapide, en effet, se répartit essentiellement en quatre postes : la coque, l'appareil moteur, l'armement, le combustible. Indiquons, pour fixer les idées, que sur un « CMB » anglais de « 55 pieds », déplaçant 12,220 t, la coque absorbait 5,500 t et les moteurs (auxiliaires et équipement électrique compris) : 4,100 t. Il restait donc disponible 2,620 t, dont la moitié était consacrée aux 2 torpilles de 450. Compte tenu des 5 hommes d'équipage : 2 officiers, 2 mécaniciens, un opérateur de radio, des mitrailleuses contre avions, du petit poste de T. S. F., etc., il restait seulement, pour le combustible, de quoi permettre cinq heures de marche à 38 nœuds de moyenne, avec pointe possible à 40 nœuds, mais au prix d'une plus grande consommation.

Il y avait peu à gagner sur le poids de la coque, car celle-ci était en bois, donc beaucoup moins lourde qu'une coque identique en acier et l'on se trouvait devant un dilemme. Si l'on réduisait l'épaisseur du bordé au minimum possible, grâce à l'emploi d'un contreplaqué à la fois très léger et très résistant, il fallait renforcer considérablement la robustesse des couples et vice versa. Au fur et à mesure, en effet, que l'on s'efforce d'accroître la vitesse des vedettes, on doit craindre davantage les suites des coups de bélier des vagues contre les coques.

Aujourd'hui encore, le bois conserve sa supériorité pour les petites unités de 12 à 30 t, en raison de son élasticité. Le métal, malgré son poids intrinsèque plus lourd, ne devient possible et peut-être même préférable qu'au delà. Il faut, d'ailleurs, dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ce cas ou bien des tôles de bordé relativement épaisses pour éviter que le choc des lames ne les enfonce, ou bien un vaigrage plus serré que celui d'une vedette construite en bois.

Les progrès des appareils moteurs

Avec les moteurs, au contraire, il a été possible de réaliser des gains de poids substantiels. Les vedettes-torpilleurs ont largement bénéficié des progrès de l'aviation. Le moteur « Rolls Royce » de 2 150 ch, avec lequel Sir Malcolm Campbell a obtenu de son glisseur à simple redan, le *Blue Bird* (l'*Oiseau-Bleu*), la remarquable vitesse de 113 nœuds, soit 210 km/h, pesait seulement 750 kg, soit à peine 349 g/ch, au lieu de 3,140 kg/ch pour les moteurs de 375 ch des « CMB » de « 53 pieds » et des 32 kg/ch des machines à vapeur « légères » (tout est relatif) des vedettes-torpilleurs de 1883 (déplacement : 12,890 t ; vitesse : 17 nœuds ; puissance : 250 ch).

Il ne saurait être question d'équiper des vedettes rapides avec les moteurs du *Blue Bird*, construits uniquement en vue d'une performance sportive ; ceux-ci ne seraient ni assez « sûrs », ni assez robustes, conditions indispensables pour des engins militaires ; mais les moteurs des vedettes modernes ont un poids au cheval inférieur de plus de moitié à celui des « CMB » de la guerre. Leur fonctionnement est également beaucoup plus économique et, à poids égal, ils permettraient de réaliser avec les coques des « 55 pieds » des vitesses de l'ordre de 48 à 50 nœuds, au lieu des 38 à 40 nœuds de 1917, ces mêmes embarcations ayant une autonomie plus importante (1).

Les nouvelles vedettes-torpilleurs de la marine britannique

La marine anglaise est celle qui poursuit, en ce moment, le plus grand effort de construction de vedettes rapides : elle en possède de différents types.

Les « MTB » (abréviation pour « Motor Torpedo Boats » : torpilleurs à moteurs) nº 1 à 22, de la B. P. Boat, déplacent 18 t en charge ; ils sont propulsés par trois moteurs 12 cylindres en V « Napier Lion », totalisant 1 500 ch, et armés de 2 torpilles de 450 mm et de 4 mitrailleuses. Ils ont atteint aux essais 40 nœuds et soutiennent facilement 36 nœuds. Leur rayon d'action est de 600 milles (1 108 km) à 20 nœuds. Ces vedettes ont des caractéristiques générales assez voisines de celles des « CMB » de « 55 pieds » ; mais, malgré une puissance motrice deux fois plus élevée, elles sont plutôt un peu moins rapides. On a surtout voulu leur donner une excellente tenue à la mer et des formes de coque leur permettant de conserver leur vitesse par mer assez forte. Leurs qualités nautiques ont été démontrées par l'arrivée à Malte d'une flottille de ces petites unités qui y sont allées par leurs propres moyens ; mais leur vitesse est nettement insuffisante à une époque où les destroyers sont capables de soutenir de 35 à 40 nœuds.

Les autres vedettes anglaises appartiennent à deux types différents : « MTB-101 » (const. White) et « MTB-102 » (const. Vosper). De la première, on sait seulement qu'elle aura des formes de coque un peu particulières, ses autres caractéristiques générales étant assez semblables à celles de la « MTB-102 » : embarcation de 28 t en charge, propulsée par trois moteurs « Isotta-Fraschini » de 1 000 ch chacun, à 1 800 t/mn et dont le poids au cheval (auxiliaires non compris) est de 1 kg 350. Son rayon d'action atteint 450 milles (840 km) à 20 nœuds et son armement comporte : 2 torpilles de 533 mm et 2 canons antiavions de 20 mm. L'accroissement de la puissance de l'armement est sensible : une torpille du calibre 533 pèse, en effet, 1 500 à 1 800 kg, au lieu de 650 à 800 kg pour une torpille de 450. La vedette « MTB-102 » a atteint, lège : 47,60 nœuds, et en pleine charge : 43,70. Grâce à ses formes de coque, incontestablement très réussies, son sillage, en vitesse, est beaucoup moins important que celui des autres embarcations de ce type et elle a prouvé d'excellentes qualités de tenue à la mer, en soutenant 40 nœuds par un violent coup de vent et malgré des vagues de 3 m.

Il y a quelques semaines, l'Amirauté britannique a décidé de commander plusieurs nouvelles vedettes de ce type et également des Thornycroft.

Les marines italienne et allemande construisent des vedettes-torpilleurs d'assez fort tonnage

En dehors des « MAS », nos 501 à 516, de 20 t, types *Svan* et *Baglietto*, dont nous

(1) Tout à fait caractéristiques des performances d'une vedette-torpilleur récente sont les résultats obtenus, il y a quelques mois, par les Italiens avec un « MAS » de 20 t, à moteurs « Isotta-Fraschini » de 2 000 ch : une heure de marche à toute puissance à 48,43 nœuds ; deux heures à 47,83 nœuds de moyenne ; six heures à 46,46 nœuds de moyenne ; neuf heures à 45,75 nœuds de moyenne ; douze heures à 44,35 nœuds de moyenne. On est loin, on le voit, des cinq heures de route à 30 ou à 38 nœuds de moyenne de la guerre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avons, précédemment, mentionné les performances, il faut signaler, dans la marine italienne, qui possède une cinquantaine de vedettes rapides, les essais du *Stefano Turr*, vedette de 59 t, en charge, propulsée par quatre Diesel légers Fiat à 4 temps, totalisant 3 000 ch et dont on espère 34 nœuds (30 nœuds auraient été le maximum obtenu). Quatre torpilles de 450 et trois mitrailleuses antiaériennes arment cet engin, dont les formes ne sont pas tout à fait celles d'un glisseur et qui tend à se rapprocher du petit torpilleur côtier, très en faveur en Italie, pendant de nombreuses années.

C'est également à un déplacement de 60 t environ que sont arrivés les Allemands pour leurs « Schnellbooten ». Les caractéristiques des unités, livrées à la marine hitlérienne par les chantiers Lurssen, les spécialistes germaniques en la matière, ne sont pas exactement connues ; mais si l'on admet que ces petits bâtiments doivent être très voisins des « borbeni camci », livrés par ce même constructeur à la marine yougoslave, on peut tenir pour probable qu'il s'agit d'embarcations, longues de 28/30 m environ, auxquelles trois moteurs Mercedes-Benz de 950 ch chacun, ou bien des Diesel légers assurent une vitesse de 32 à 34 nœuds. Grâce à un moteur auxiliaire, spécial pour la marche en croisière, les « Schnellbooten » auraient un important rayon d'action qui serait de l'ordre de 1 600 milles (3 000 km). Armés de deux torpilles du calibre 500 et d'une mitrailleuse lourde antiaérienne de 20 mm, ils ont un équipage d'une douzaine d'hommes.

Les vedettes-torpilleurs de la marine française

Notre marine n'a eu en service, pendant la guerre, aucune vedette-torpilleur : elle ne s'intéressa à ces engins qu'après l'armistice, lorsqu'elle en commanda deux à Thornycroft, dans le but d'expérimenter un type vraiment moderne de ces petits bâtiments. Depuis, elle en a fait construire par différents chantiers français : ces petits bâtiments sont désignés par les initiales « VT » (vedette-torpilleur), suivies d'un numéro d'ordre.

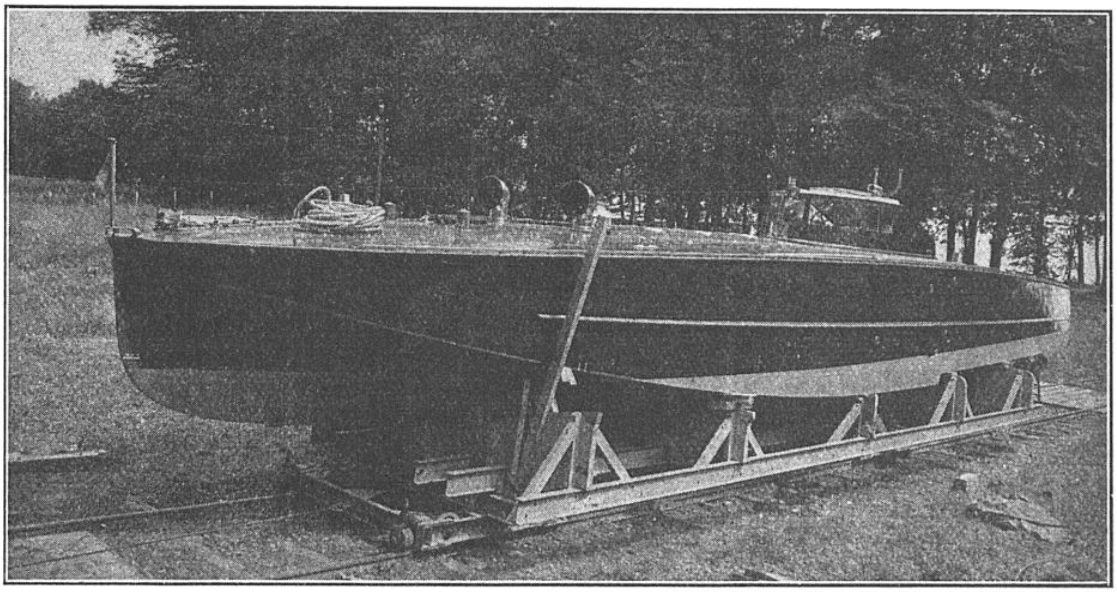


FIG. 6. — UNE DES VEDETTES RAPIDES FRANÇAISES ACTUELLEMENT EN SERVICE

Ce document montre bien les formes très particulières de ces embarcations et, d'autre part, leur construction de coque extrêmement soignée, comparable à celle d'un canot automobile de grand luxe.

Le déplacement normal des vedettes actuellement en service atteint 19 t et, en pleine charge, 22 t. La coque, longue de 19,50 m, large de 4 m et de 2,10 m de creux, est en acajou, comporte un redan et, peut-être plus encore que les vedettes rapides des autres marines, présente les caractéristiques extérieures d'un véritable « racer » de course.

Les « VT » 8, 9 et 10 de la marine française, construites sur la Seine ou sur la Loire,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

détiennent, d'ailleurs, le record de vitesse pour les bâtiments de guerre : étudiées pour 48 nœuds, elles ont atteint, aux essais, 52 à 55 nœuds, démontrant leurs grandes facilités manœuvrières en virant de bord, complètement, dans un rayon de 20 m et l'excellence de leurs qualités nautiques en effectuant à diverses reprises des traversées telles que Cherbourg-Brest, à plus de 45 nœuds de moyenne, performance réalisée par mer fortement hachée.

Leurs deux moteurs Lorraine, 12 cylindres en V de 84 litres de cylindrée, développent chacun 1 100 ch à 1 600 tours/mn, leur régime maximum. La consommation d'essence et d'huile est respectivement de 260 g d'essence et 10 à 12 g d'huile par ch.h. En dehors de ces moteurs, il en existe deux autres de 40 ch, reliés mécaniquement aux moteurs principaux par renvoi, destinés à faciliter le lancement de ces derniers et éventuellement la propulsion auxiliaire de la vedette en croisière.

A l'avant, se trouve un premier compartiment étanche, dit compartiment de « choc » ; derrière, viennent successivement la chambre des moteurs, puis la chambre de navigation où sont centralisés tous les dispositifs de commande : moteurs, gouvernails, lancement des torpilles, enfin les réservoirs à essence. A l'origine, les deux torpilles, embarquées sur ces vedettes, étaient disposées comme sur les « CMB » et les « MTB » anglais ; depuis, une de ces embarcations a été équipée avec un dispositif de pinces-tenailles sur bras mobiles, à l'instar du dispositif des « MAS » italiens.

Le développement possible des vedettes rapides

Les autres marines mondiales qui arment actuellement des vedettes-torpilleurs sont : les Pays-Bas (5), la Grèce (2), la Finlande (7), la Suède (2), la Turquie (6), le Siam (8), la Chine (11), la Yougoslavie (10).

Ces vedettes sont rarement de construction nationale ; presque toutes appartiennent au type Thornycroft ; quelques-unes sont de construction italienne ou allemande.

L'U. R. S. S., enfin, possède de très nombreuses flottilles, qui, d'après certaines informations, comprendraient déjà une centaine d'unités, inspirées vraisemblablement de plans anglais et italiens. Il est certain, en tout cas, que de nombreux moteurs à essence et des Diesel légers de 750 ch ou de 1 000 ch ont été livrés par Fiat au gouvernement soviétique.

Quelles sont les possibilités de développement des vedettes rapides? Nous avons déjà indiqué que c'étaient, il y a vingt-cinq ans, des embarcations de quelques tonnes seulement et de 30 nœuds ; les vitesses les plus élevées sont atteintes aujourd'hui par des vedettes de 18 à 28 t, mesurant 19 à 22 m de longueur pour 4 à 5 m de largeur

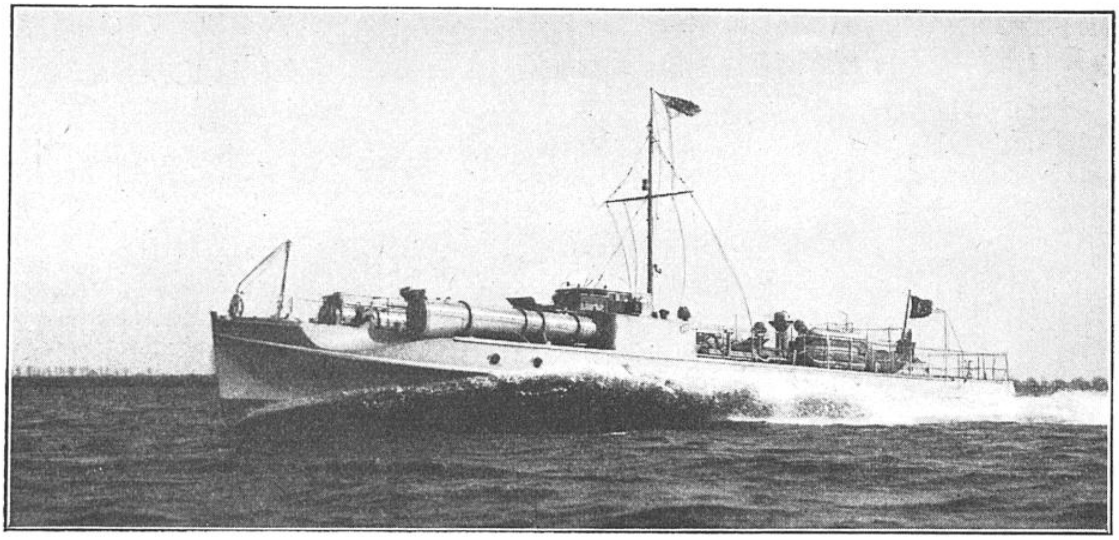


FIG. 7. — LES « SCHNELLBOOTEN » ALLEMANDS NE SONT PAS DE VÉRITABLES « GLISSEURS ». ILS SONT, D'AILLEURS, SENSIBLEMENT PLUS GROS QUE LA PLUPART DES VEDETTES RAPIDES EN SERVICE DANS LES AUTRES MARINES, TOUT EN ÉTANT DESTINÉS AUX MÊMES MISSIONS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et non par celles de plus fort déplacement, construites par certaines marines et dont les formes, d'ailleurs, ne sont pas exactement celles d'un glisseur véritable.

Pour faire « glisser », en effet, à plus de cinquante nœuds une vedette-torpilleur d'une trentaine de mètres de longueur, comme les « Schnellbooten » allemands, on a calculé qu'il faudrait disposer d'une puissance motrice de l'ordre de 10 000 à 11 000 ch et porter le déplacement à 90 t. Dans l'état actuel de la construction des moteurs, on n'y saurait songer et ce n'est que dans l'éventualité de nouveaux progrès, comme il s'en est, d'ailleurs, produit de sensibles depuis une vingtaine d'années, que la construction de glisseurs d'un déplacement plus fort deviendra possible. Dans cet ordre d'idée, on a également déterminé qu'il faudrait respectivement 96 000 et 142 000 ch pour entraîner à 50 et à 74 nœuds un bâtiment de 1 000 t, à forme de « glisseur » et dont la longueur atteindrait 68 m. Pour réaliser un tel projet, il faudrait pouvoir construire des moteurs de 12 000 ch au moins, d'un poids au ch comparable à celui des moteurs d'avion les plus légers et qui seraient attelés en tandem sur quatre arbres porte-hélices. Des engins de ce genre seraient, peut-être, des « glisseurs » ; mais ce ne seraient plus des vedettes et ils ne répondraient pas aux buts militaires envisagés pour ces dernières. Il faut, par contre, voir peut-être dans cette anticipation une évolution possible du destroyer léger.

Sous réserve que l'on ne mettra pas au point, d'ici peu, de nouvelles formes de coque assurant une meilleure tenue par forte mer et offrant une moindre résistance à l'avancement, on peut admettre que les vedettes, susceptibles d'être construites dans un avenir rapproché, seront, à peu de choses près, assez semblables à celles que nous avons décrites, étant entendu que la tendance actuelle consiste à leur assurer, sans pousser, 60 nœuds à l'état lège et 50 nœuds — au moins — en pleine charge, avec un rayon d'action convenable.

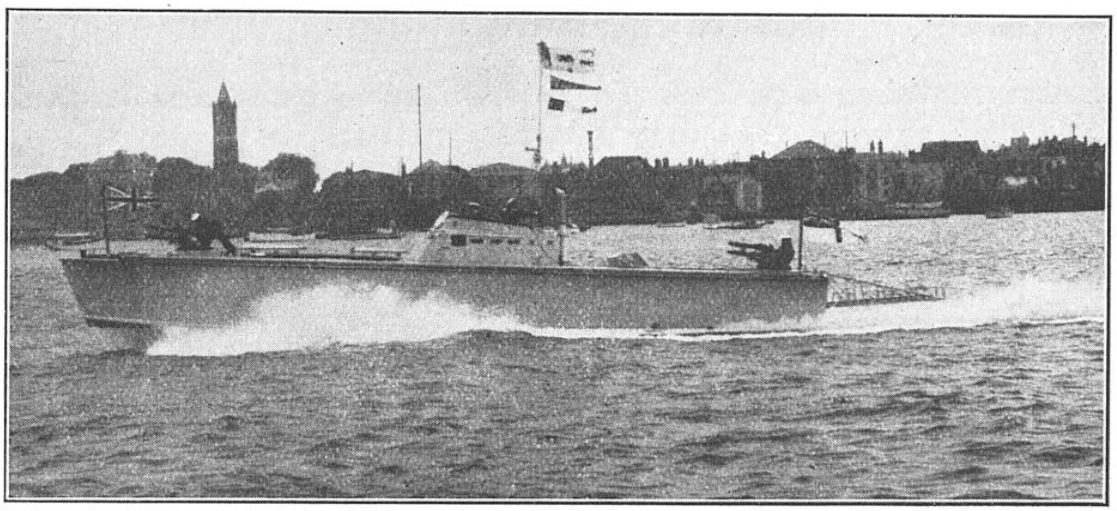


FIG. 8. — VOICI, VU EN PLEINE VITESSE, UN DES NOUVEAUX « MTB » ANGLAIS DE 1938

Remarquer l'élévation sensible du franc-bord des vedettes récemment construites : à l'avant et à l'arrière, sur deux circulaires, sont installées deux paires de mitrailleuses légères contre avions. L'équipage des MTB *comporte normalement : deux officiers et cinq mécaniciens, matelots et radio. On remarquera à l'arrière les « cuillères » rabattues destinées à guider les torpilles au delà du tableau arrière de l'embarcation, lors d'un lancement. En temps normal, ces cuillères sont repliées sur le pont. Cette vedette lance ses torpilles par l'arrière. Les plus récents modèles portent deux tubes lance-torpilles sur le pont (fig. 9).*

Construira-t-on des transports de vedettes ?

Pour remédier à l'insuffisance relative du rayon d'action des vedettes rapides, on peut concevoir des bâtiments-bases, spécialement aménagés pour leur transport, comme il en existe pour l'aviation maritime (porte-avions et transports d'aviation). On ne ferait que reprendre une idée ancienne, puisque, vers 1890, les Russes, puis les Anglais avec l'*Hekla* et le *Vulcan*, la France, enfin, avec la *Foudre*, ont lancé des croiseurs porte-torpilleurs. Ces bâtiments em-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

barquaient, chacun, 6 à 10 vedettes-torpilleurs, d'un déplacement, d'ailleurs, plus fort que celui des premiers « CMB » anglais, construits, nous l'avons vu, pour pouvoir être suspendus aux bossoirs de croiseurs légers. Les torpilleurs-vedettes de la *Foudre* déplaçaient 14,250 t et avaient 18 m de longueur. Ils pouvaient filer 17 nœuds pendant 6 heures, et leur armement consistait en un tube d'étrave fixe du calibre 356 mm (torpille de 328 kg) (1).

A cette époque, on prévoyait souvent, porte-torpilles auxiliaires, au moyen d'appareils de lancement conservés à bord en réserve.

Pour terminer, nous remarquerons que, sauf en Italie et surtout en U. R. S. S., les vedettes rapides n'existent encore qu'en assez petit nombre, bien que ce soit, surtout, par masses qu'on imagine leur emploi, tout au moins de jour et en liaison avec une attaque d'avions torpilleurs ou de bombardement, pour obliger l'adversaire à diviser ses moyens de défense

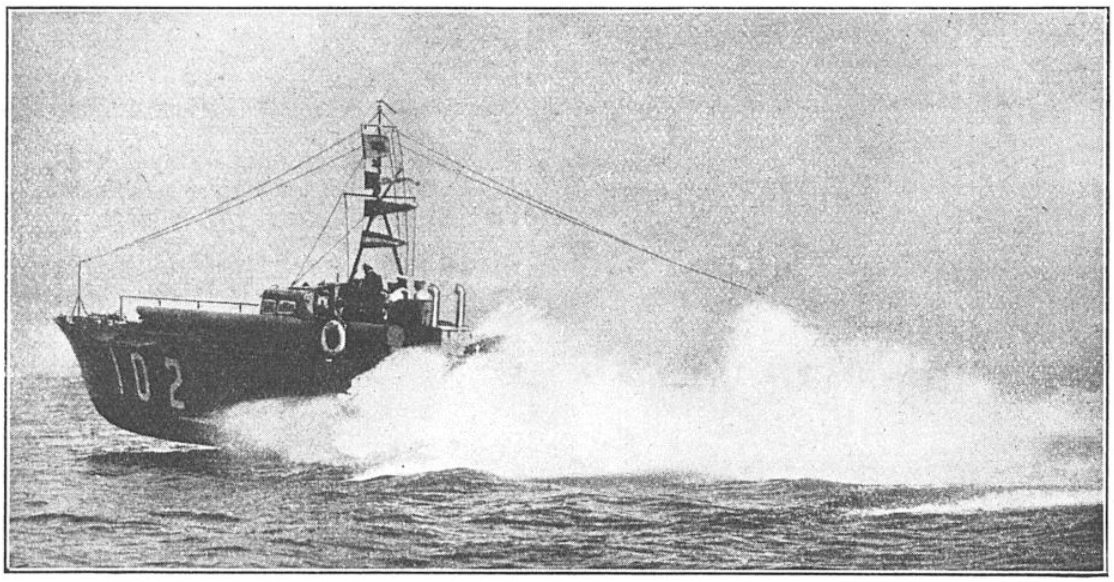


FIG. 9. — VEDETTE RAPIDE ANGLAISE « MTB-102 »

Ce bâtiment est tout à fait caractéristique de l'évolution récente des vedettes-torpilleurs. C'est actuellement le type de vedette rapide qui transporte l'armement le plus considérable (torpilles du calibre 533 mm et mitrailleuses de 20 mm). En outre, ce type de vedette présente le sillage le moins important et paraît de plus posséder les meilleures qualités de « tenue à la mer ».

dans la drôme des cuirassés, une ou deux vedettes-torpilleurs de même type et il n'est pas impossible que, dans un proche avenir, certaines embarcations de service des navires de ligne et des grands croiseurs modernes soient aménagées pour remplir, le cas échéant, cet emploi. Dans plusieurs marines, en Angleterre notamment, les principes de construction des « MTB » leur sont appliqués et on conçoit très bien la transformation possible des grands canots de 13 à 15 m de long et 23 à 27 nœuds des récents bâtiments anglais, en vedettes contre deux attaquants également rapides et très mobiles, mais opérant dans des plans totalement différents. Peut-être a-t-on pensé que, sauf cas particuliers, la construction immédiate d'un grand nombre de ces petits bâtiments ne s'imposait pas vraiment. D'une part, il s'agit d'engins fragiles et relativement coûteux (1) ; d'autre part, on peut admettre que — si besoin était — et à la condition de le prévoir, il ne faudrait sans doute pas très longtemps pour reproduire en série des prototypes bien étudiés et expérimentés.

HENRI LE MASSON.

(1) Un peu avant la guerre de 1914, on avait déjà renoncé à cette formule et, dans notre marine, par exemple, le croiseur porte-torpilleur *La Foudre* était utilisé simplement comme navire-atelier d'escadre : on devait, peu après, s'en servir pour le transport de nos premiers hydravions.

(1) On a indiqué récemment en Angleterre, au cours de débats parlementaires, que le prix unitaire des nouvelles vedettes rapides et puissamment armées « MTB » variait, selon le type et sans armement, entre 500 000 et 700 000 francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

OU S'ARRÊTERA LA COURSE AU TONNAGE DES AVIONS ET HYDRAVIONS GÉANTS ?

Par Camille ROUGERON

INGÉNIEUR EN CHEF DU GÉNIE MARITIME (C. R.)

L'évolution de l'avion vers les très gros tonnages apparaîtra sans doute aux ingénieurs de l'avenir comme l'un des progrès les plus marquants de la technique aéronautique de 1938. Aux Etats-Unis, où l'on est traditionnellement plus audacieux qu'en Europe, un bombardier stratosphérique de 75 t serait actuellement en construction ; d'autre part, La Science et la Vie *a déjà signalé (1) l'initiative de la compagnie américaine* Pan American Airways *demandant aux constructeurs américains d'étudier des hydravions de 100 t pour assurer un service régulier sur l'Atlantique-Nord. Cependant l'accroissement des tonnages ne saurait se poursuivre indéfiniment. L'étude attentive des différents facteurs qui déterminent le choix des dimensions d'un appareil montre qu'il arrive un moment où leur augmentation, bien que techniquement réalisable, n'est plus justifiée par une amélioration des performances. La limite, dans les conditions actuelles de la technique, apparaît assez voisine de 100 t, chiffre qui sera prochainement atteint en Amérique et qui ne paraît pas devoir être dépassé de longtemps.*

La réaction continue des progrès de la technique sur les règles de « dimensionnement » des engins explique beaucoup d'erreurs. Elle explique notamment celles que commettent des ingénieurs trop prudents qui, accrochés à des formules qu'ils croient longuement éprouvées, ne s'aperçoivent pas toujours qu'elles ont vieilli.

Faut-il faire de petits avions ou des gros? Des ailes épaisses ou des ailes minces? Des revêtements travaillants ou non? Quel est l'allongement le plus favorable? Doit-on donner la préférence à plusieurs moteurs répartis le long de l'envergure ou bien au gros moteur unique ? Autant de questions à évolution continue et rapide, dont la vieille querelle du monoplan et du biplan fournit un exemple et qu'il est bon de reprendre de temps à autre si l'on ne veut pas se trouver le dernier défenseur d'une formule périmée.

C'est le malheur qui advint à la marine britannique lorsque, seule, après la guerre de 1914-1918, elle entreprit de compléter sa flotte de ligne par deux navires de 35 000 t. Fallait-il construire des cuirassés, dont les derniers types de 1914, en Angleterre comme en Allemagne, faisaient de 23 à 24 nœuds? Fallait-il construire des croiseurs de bataille, c'est-à-dire des navires qui, en 1914, faisaient dans les mêmes pays de 28 à 30 nœuds? La marine britannique avait perdu au Jutland des croiseurs de bataille, coulés par leurs similaires allemands. L'explication, incontestée sinon incontestable, de cet échec était l'insuffisance de la protection de ces navires, qu'on avait sacrifiée au bénéfice de la vitesse. L'Amirauté, respectueuse des enseignements de la guerre, n'hésita pas et commanda deux cuirassés à 23,5 nœuds, le *Nelson* et le *Rodney*.

Ce furent les derniers navires de ce type. C'est qu'en effet, au moment où ils entraient en service, en 1926, le cuirassé à 23,5 nœuds était mort. Il était mort, aux alentours de 1916, quand l'introduction généralisée de la chaudière à petits tubes et de la turbine à engrenages eut réduit de près de moitié le poids et l'encombrement des appareils moteurs et évaporatoires pour grands navires. On avait oublié de dresser l'acte de décès. Mais ce n'est pas l'usage. L'a-t-on fait davantage lorsque, aux alentours de 1929, moururent à la fois le biplan et le « croiseur aérien » type Douhet, tués par l'avènement du moteur à compresseur pesant 500 grammes au cheval ?

Les militaires et leurs ingénieurs admettent difficilement des disparitions aussi brutales. Ils accueillent plus volontiers le petit perfectionnement qui permet de gagner 5 % sur la vitesse et 10 % sur le rayon

(1) Voir *La Science et la Vie*, nº 254, page 125.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'action qu'une formule révolutionnaire.

M. Caquot, alors directeur général technique au ministère de l'Air, fut le premier, et pendant plusieurs années le seul, qui ait compris dans l'aviation française la répercussion sur la construction des cellules du progrès des moteurs aux alentours de 1929. Il lança ce que l'on appela alors la « politique des prototypes » dans la voie exclusive du monoplan multimoteur, qui nous eût assuré une belle avance, si cette formule, qui principes, l'évolution présente de l'aviation vers les gros tonnages, qui apparaîtra probablement un jour (avec les débuts du vol stratosphérique) comme l'un des progrès marquants réalisés vers les années 1938 à 1940.

La notion du tonnage optimum

De tout temps, depuis les débuts de l'aviation jusqu'à l'époque actuelle, la conception de l'avion géant a hanté les

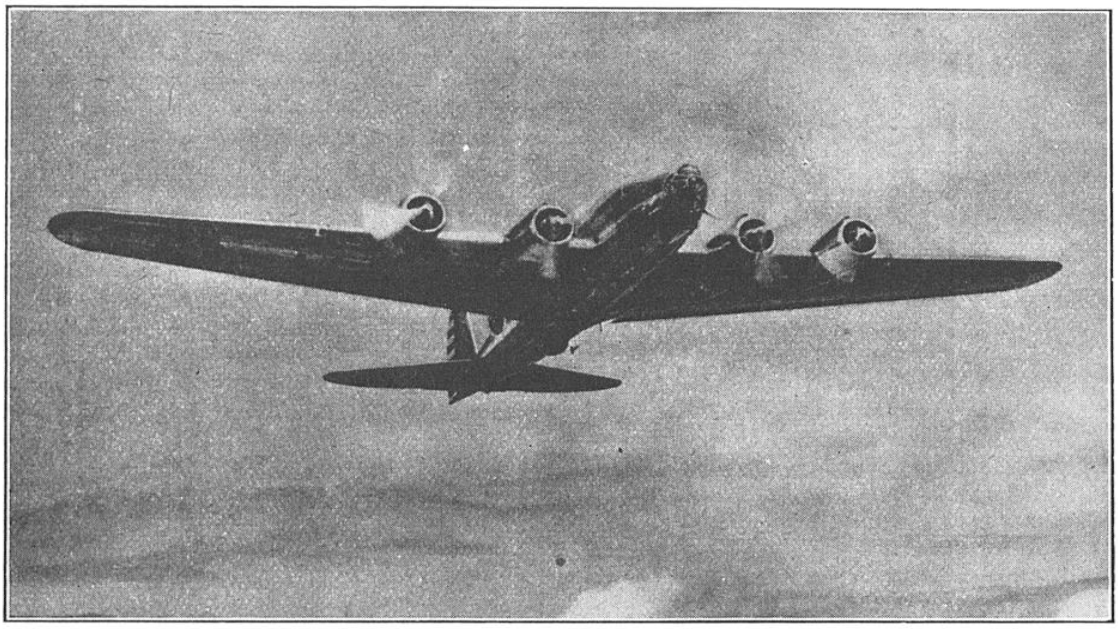


FIG. 1. — LE BOMBARDIER GÉANT AMÉRICAIN « BOEING B-17 »

L'aviation militaire des Etats-Unis a été la première à se lancer dans la voie des bombardiers géants. Le Boeing B-17 « Forteresse volante », *que représente la photographie ci-dessus, est un quadrimoteur datant de 1935. Son poids total est de 15 250 kg, sa vitesse maximum de 400 km/h, son envergure de 30 m. Il est mû par quatre moteurs « Wright-Cyclone » de 1 000 ch.*

triompha dix ans plus tard, n'avait pas rencontré l'hostilité générale des techniciens qu'elle troublait dans leurs habitudes et des états-majors qu'elle obligeait à réviser leurs programmes.

Le jeune ingénieur que nous étions alors se souvient de même qu'en 1926, lorsqu'il consacra sa première étude à montrer l'erreur commise par la marine anglaise en reproduisant trop fidèlement, avec le *Nelson*, une conception périmée, il reçut pareil accueil de ses aînés, sous la forme de l'ensemble d'arguments technico-historiques qu'on ne manque pas de sortir en de telles circonstances.

Ce ne sont pas là raisons suffisantes pour nous décourager d'étudier, suivant les mêmes cerveaux des ingénieurs. On se souvient des premières réalisations de Sikorsky avant 1914, des quelques avions de bombardement italiens, russes et allemands construits au cours de la guerre, des 40 tonnes du *Dornier* « *Do.-X* » en 1930, pour aboutir aux appareils transatlantiques d'une centaine de tonnes du programme actuel des *Pan American Airways*, et qui verront le jour en 1940.

Il n'est pas douteux que ces tentatives n'ont longtemps connu que des échecs. Et l'on entend par ce terme non pas les catastrophes qui furent l'aboutissement fréquent de telles constructions, mais bien l'insuffisance générale des performances que révélait à l'usage la comparaison du très

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gros avion avec d'autres appareils de tonnage plus modeste.

Le très gros avion était évidemment capable d'emporter un tonnage utile plus élevé. Mais il perdait cet avantage dès qu'on évaluait le rendement en rapportant le tonnage utile au poids mort. Et comme les avions se vendent au kilogramme et les moteurs au cheval, on ne voyait guère l'intérêt de porter une dizaine de tonnes de bombes sur un *Do.-X* de 40 t, si l'on pouvait en porter quinze, avec le même tonnage et la même puissance, répartis entre des avions plus petits et moins onéreux.

Quant aux autres performances, vitesse, plafond, rayon d'action, le très gros appareil n'y faisait montre d'aucune supériorité. La liste des records en fait la preuve.

De deux avions semblables, et tirés par le même nombre de chevaux au kilogramme, le grand ira sans doute plus vite que le petit, car la résistance, liée aux surfaces, augmente moins vite que le poids, lié au volume.

Mais on ne doit pas faire porter la comparaison sur des avions semblables. Si l'on conserve la charge au mètre carré de voilure qui commande la vitesse d'atterrissage, tout gain de résistance disparaît en ce qui concerne la voilure. Seul subsiste le gain sur les résistances passives, le fuselage par exemple. C'est le seul *gain sur les résistances passives* qui explique le progrès en vitesse à mesure que croissent les tonnages sur certains types d'appareils, tels que les avions de chasse, où le fuselage croît beaucoup moins vite que la surface de voilure, si même il ne conserve pas une section constante, établie autour d'un gabarit de pilote.

D'autre part, sur deux charpentes semblables, sollicitées par leurs poids propres ou par celui de charges semblables, le taux de fatigue en des points homologues croît dans le rapport de similitude. Au gain de résistance aérodynamique qu'on réalise par l'accroissement des dimensions s'oppose donc une augmentation du poids de la cellule.

Il existe donc un *tonnage optimum* au delà duquel l'alourdissement de la charpente enlève tout intérêt au gain sur la résistance aérodynamique.

De quoi dépend ce tonnage optimum?

Il dépend évidemment, à un instant donné, du programme qu'on se propose. Il est tout différent, en particulier, suivant que l'avion sera lent ou rapide.

D'une époque à l'autre, il varie non moins avec l'évolution des facteurs qui affectent

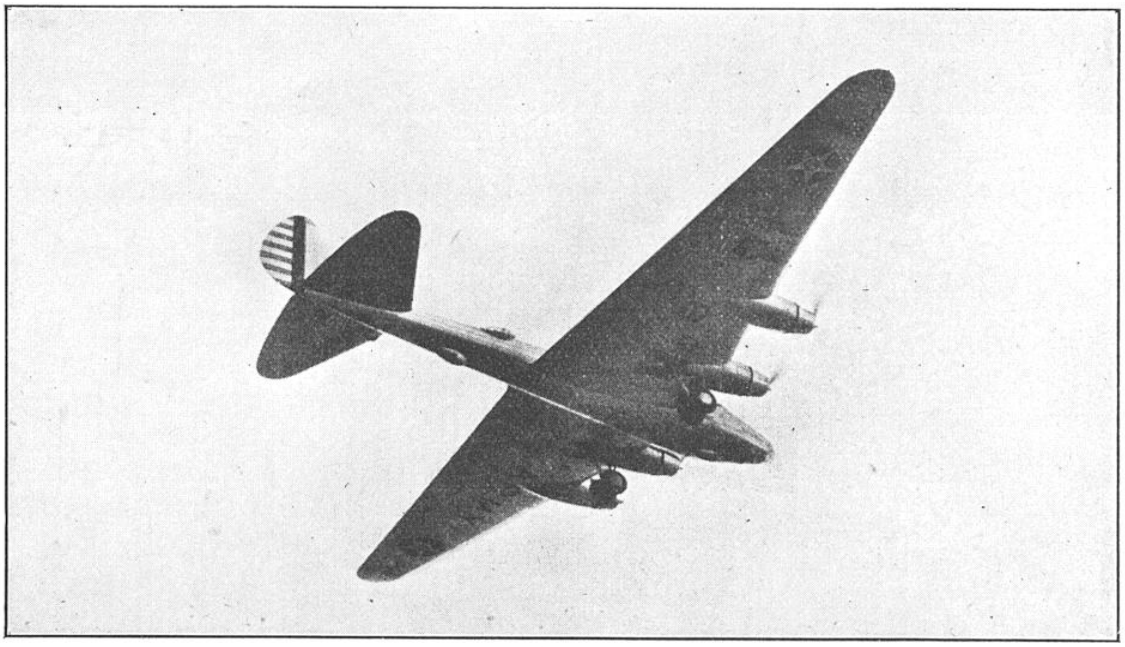
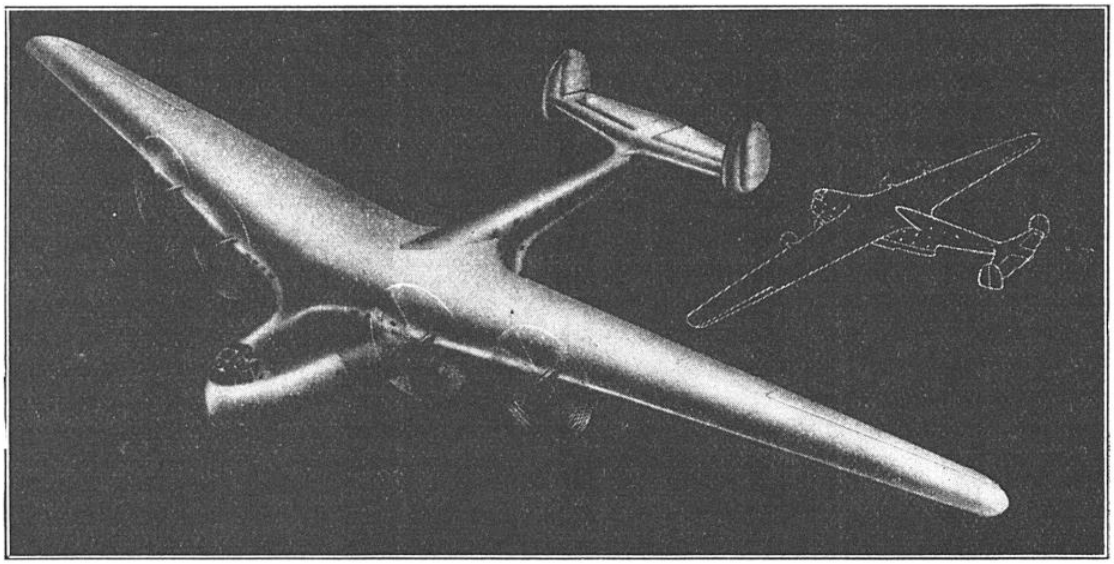


FIG. 2. — LE BOMBARDIER GÉANT AMÉRICAIN « BOEING XB-15 »

Le Boeing XB-15 *est un appareil de 1937. Son poids total est d'une trentaine de tonnes, son envergure de 47 m. Il est mû par quatre moteurs « Pratt et Whitney » de 1 000 ch.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



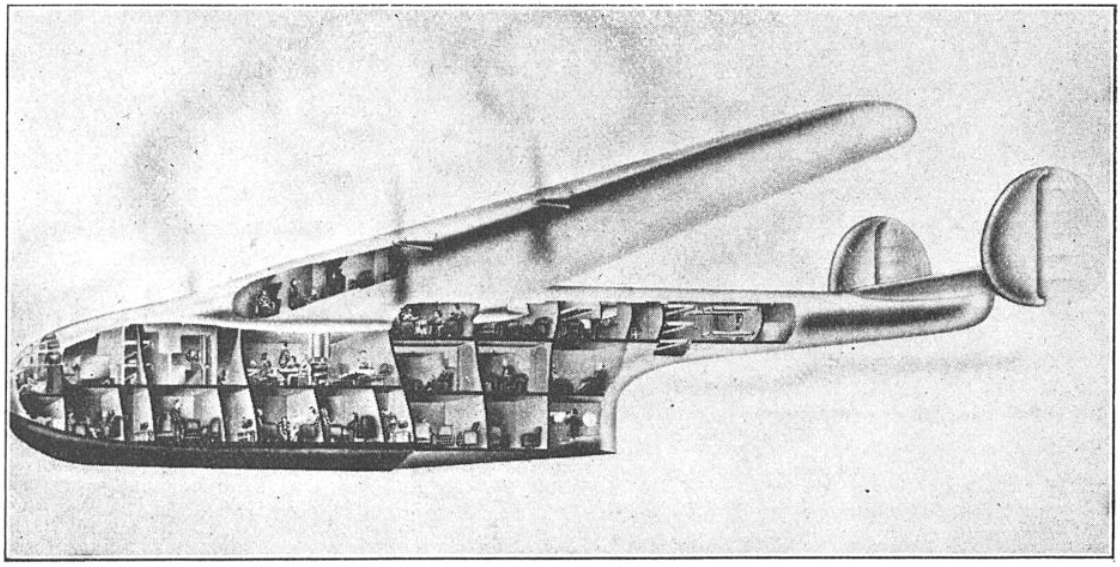


FIG. 3 ET 4. — PROJET D'HYDRAVION AMÉRICAIN « CONSOLIDATED » POUR CENT PASSAGERS

La photographie de maquette et le dessin d'aménagements se rapportent au projet d'appareil pour cent passagers demandé par les Pan American Airways. *Ce projet a cherché l'utilisation maximum de l'aile pour la réduction des dimensions de la coque. Sur les 100 passagers, installés en cabines pour deux ou quatre personnes, 36 sont logés dans l'aile, et 64 dans la coque. Pour la même raison, la coque est aménagée sur trois étages. La salle à manger, disposée à l'étage intermédiaire, peut recevoir simultanément 18 personnes. Chaque cabine est pourvue d'un conditionnement d'air. Toutes les cabines à deux places ont un lavabo : les autres disposent de douze lavabos répartis dans l'appareil. Comme pour les autres appareils du même programme, celui-ci est prévu pour le vol substratosphérique avec surpression dans les locaux habités. Le revêtement travaillant de l'aile a été mis à profit pour donner la résistance à la pression. L'altitude choisie par le constructeur est de 9 150 m. L'appareil est mû par quatre moteurs à refroidissement par liquide de 2 150 ch chacun. Les moteurs sont installés dans l'aile, en des postes parfaitement accessibles, et commandent les hélices par l'intermédiaire d'un arbre de grande longueur très visible sur les dessins.* Consolidated *est le seul qui ait publié jusqu'ici les caractéristiques de son projet d'hydravion géant transatlantique dont on connaît les avantages (voir* La Science et la Vie, *n° 245, p. 333). Ces caractéristiques sont les suivantes : poids en charge, 76 000 kg ; charge payante, 11 300 kg ; vitesse maximum à 6 000 m, 445 km/h ; distance franchissable, 8 000 km ; envergure, 59 m ; longueur, 32 m.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

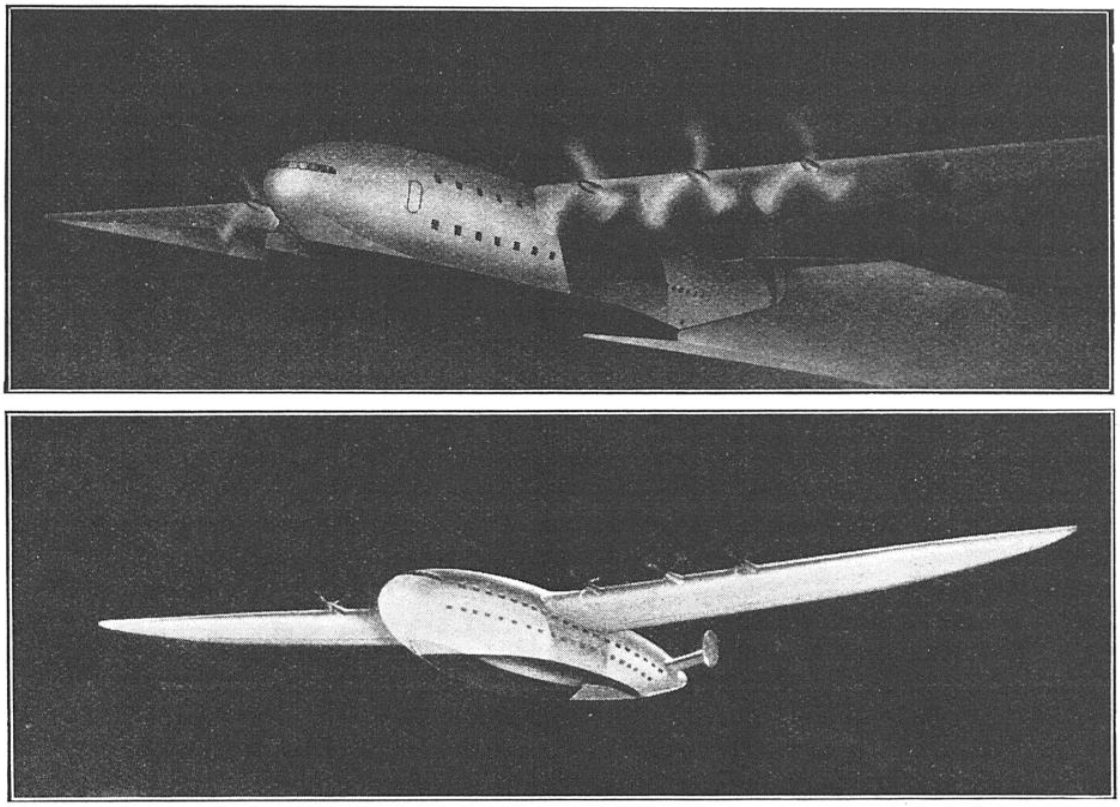


FIG. 5 ET 6. — LES PROJETS AMÉRICAINS « BOEING » ET « SIKORSKY ».

En haut, photographie de la maquette de l'hydravion transatlantique Boeing *pour cent passagers du programme des* Pan American Airways. — *En bas, projet* Sikorsky *pour le même programme. — Les caractéristiques des appareils n'ont pas été publiées. La présence de six moteurs, vraisemblablement de 2 150 ch chacun, indique des appareils d'une centaine de tonnes aux performances assez voisines. Noter, sur l'un et sur l'autre de ces projets, les longues transmissions entre les moteurs, installés dans l'aile, et les hélices. Il faut remarquer aussi, sur le* Sikorsky, *la forme particulière de la coque, quasi ovoïde, et la disposition des empennages sur cette coque aménagée jusqu'à l'extrême arrière.*

soit le poids de charpente, soit la résistance aérodynamique, soit les caractéristiques du moteur, encombrement, poids au cheval, consommation.

C'est l'action de quelques-uns de ces facteurs que nous allons examiner.

La vitesse

Il est peu d'erreurs aussi générales, et cependant aussi évidentes, que celles de l'opposition prétendue entre le petit avion rapide et le gros avion lent.

C'est à une telle erreur que nous devons les millions gaspillés et les années perdues autour d'une Coupe Deutsch. Une formule qui, par la limitation de la cylindrée à un chiffre ridiculement bas, limitait puissance et poids à des valeurs dix ou vingt fois plus faibles que l'optimum frappait de stérilité tous les efforts qu'elle suscitait.

La condamnation de la formule n'est pas celle des concurrents ; ils n'en eurent que plus de mérite d'approcher ou de dépasser les performances d'avions qui ne subissaient pas un pareil handicap. Elle n'est pas davantage la condamnation d'une donatrice généreuse, mais celle des techniciens officieux et officiels qui la conseillèrent et apportèrent à la compétition, au cours de ces dernières années, l'appui de l'Etat. Que n'auraient donné de pareils efforts appliqués à une formule libre, ou comportant une limitation de cylindrée à une valeur correspondant à des appareils militairement ou commercialement utilisables ?

La même erreur a été commise en sens inverse par les militaires qui, à la suite de Douhet, ont cru trouver l'emploi du gros avion lent. En même temps qu'il dépensait à la défense des avantages militaires de sa

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

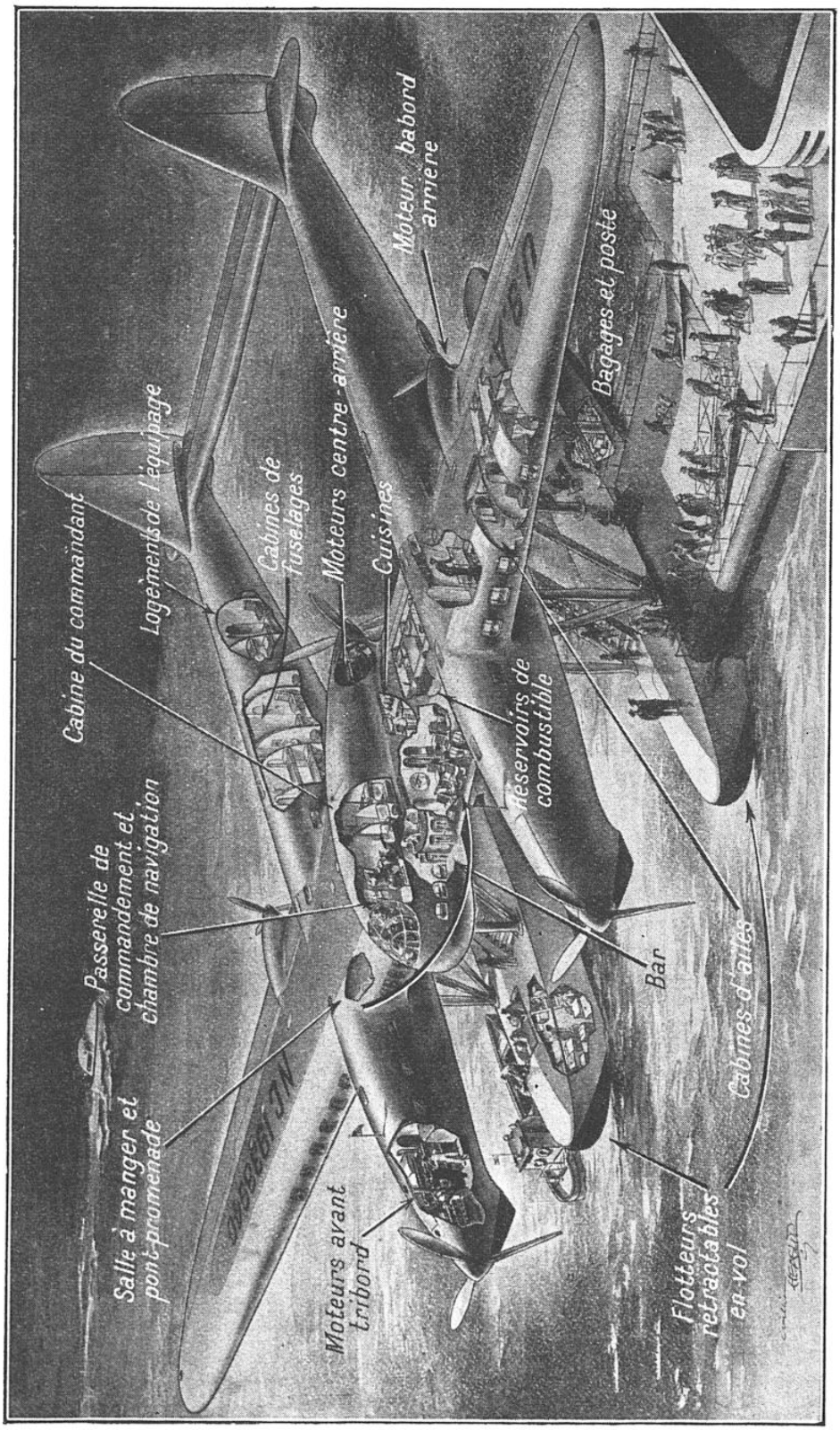


FIG. 7. — HYDRAVION TRANSATLANTIQUE AMÉRICAIN « SEVERSKY » POUR CENT VINGT PASSAGERS

Le Seversky « Super-Clipper », présenté aux Pan American Airways à l'occasion de leur programme transatlantique, est nettement plus puissant que ne l'exigeait ce programme. Ceci a permis d'aménager pour les passagers une grande partie de l'aile. Comme appareil commercial, la charge utile est de 19 500 kg (au lieu de 11 300 kg demandés), la capacité de transport de 120 passagers, la vitesse maximum de plus de 485 km/h, le rayon d'action de 8 000 km à 400 km/h. Comme appareil militaire, le constructeur indique une charge utile de 9 000 kg de bombes, avec même vitesse maximum et un rayon d'action de 19 300 km. Il est prévu le logement à bord d'une vedette porte-torpilles qui servirait soit aux communications avec la côte, soit à l'action indépendante contre les navires. L'aile a 76 m d'envergure. L'altitude normale de navigation est de 6 000 m, avec rétablissement de la pression dans les compartiments habités. Noter la disposition des flotteurs rétractables, calés sous les fuselages après décollage au moyen de vérins hydrauliques servant également d'amortisseurs de chocs. La puissance motrice est de 18 400 ch, en huit moteurs de 2 000-2 300 ch.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

formule une dialectique dont la suite montra la fragilité, Douhet fit établir par un technicien une série d'avant-projets des avions de 2 000, 3 000 et 6 000 ch dont il supposait l'emploi dans sa *Guerre de 19...* Il ne s'aperçut même pas que ce travail ne laissait aucun doute sur l'absence d'intérêt des tonnages élevés à la vitesse choisie.

Dans cette concurrence que se firent techniciens et militaires, aucun épisode ne révélait mieux l'incompréhension générale que l'accueil fait aux résultats de la Coupe Schneider et aux records de vitesse toutes catégories successivement enlevés à cette

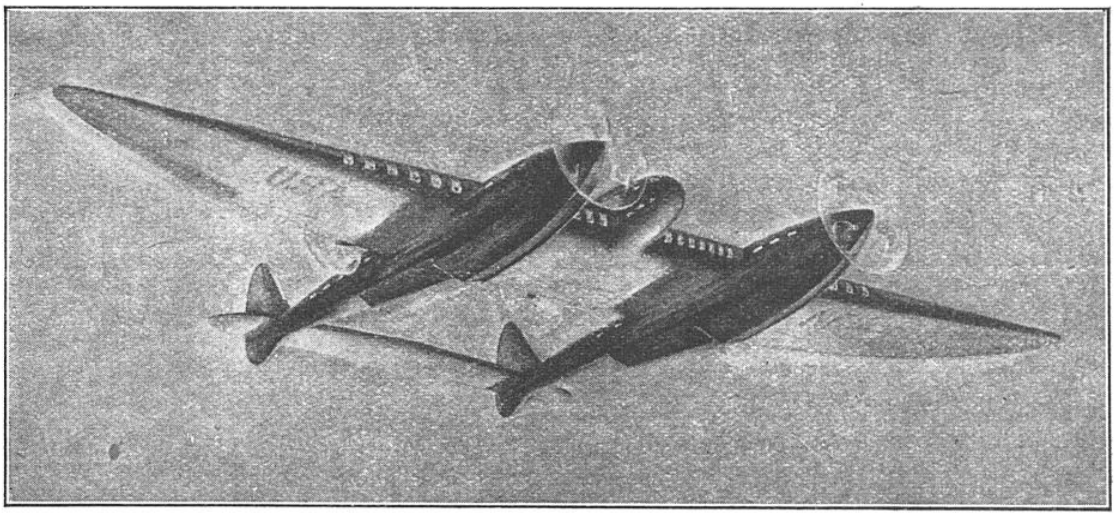


FIG. 8. — VOICI LE « SEVERSKY » DESSINÉ EN VOL, LES FLOTTEURS RELEVÉS

occasion. La formule était libre. Si lent qu'on fût à découvrir le tonnage optimum, et si loin qu'on en fût resté au moment où la Coupe resta définitivement acquise à l'Angleterre, il fallait bien qu'en moyenne le succès récompensât ceux qui s'en rapprocheraient. Mais, en même temps que les éloges rituels sur la valeur technique de l'appareil, ce ne fut qu'un cri unanime sur l'absence d'intérêt d'un tel monstre. Pensez donc ! Un hydravion de plus de 3 000 kg avec un moteur double de près de 3 000 ch ! A quoi pouvait-il bien servir? Le monstre représentait simplement, avec les flotteurs en trop, et quelques dispositifs manquants tels que l'hypersustentation ou la suralimentation en altitude, la formule la plus vraisemblablement heureuse de l'avion de chasse des deux prochaines années, tant qu'on se limitera à 24 cylindres.

Il n'est cependant guère difficile de comprendre que l'accroissement des dimensions qui réduit la résistance aérodynamique relative, favorise les appareils de vitesse plus que ceux où l'on recherche d'autres performances, telles que le rayon d'action, par exemple.

Le tonnage optimum croît avec la vitesse. A l'époque où volaient simultanément le *Dornier* « *Do.-X* » et le *Macchi* d'Agello, les tonnages optima pour record de vitesse et de distance n'étaient certainement ni 3 t, ni 40 t.

Ce qu'on peut dire, c'est qu'il aurait mieux valu chercher le record de distance vers 3 t et le record de vitesse vers 40 t.

L'allégement des charpentes

Tout allégement des charpentes relève la limite au-dessus de laquelle l'alourdissement qui tient à l'accroissement des dimensions, l'emporte sur le gain de résistance aérodynamique. Il relève donc le tonnage optimum.

Lorsque Scott Russell entreprit, voici trois quarts de siècle, de construire le *Great Eastern*, les paquebots en service avaient le tonnage modéré qui convenait à leur vitesse et aux procédés de construction assez sommaires employés à l'époque. En introduisant le système de construction « longitudinal », c'est-à-dire un système où des éléments jusque là consacrés à la seule résistance transversale participaient désormais à l'effort principal, celui de la flexion longitudinale, Scott Russell permit, directement par la réduction du poids de charpente, et indirectement par l'augmentation de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vitesse liée, en marine, à la longueur, la construction de navires beaucoup plus gros que ceux déjà construits. Le *Great Eastern*, trois à quatre fois plus gros que les paquebots qu'il concurrençait, était plus économique. C'est l'allégement ultérieur des charpentes, par l'emploi de matériaux plus résistants, et l'exigence continue de vitesses plus élevées, qui ont constamment relevé depuis le tonnage optimum des paquebots. Et, si la menace de la concurrence aérienne ne rendait les armateurs prudents, il y a longtemps que l'emploi des aciers spéciaux et les vitesses de plus de 30 nœuds auraient

l'envergure qui réduit les efforts appliqués.

Il peut tenir enfin à des perfectionnements qui n'ont sur le poids de la charpente qu'une répercussion indirecte. Tel est l'accroissement considérable des charges au mètre carré, permis à la fois par l'adoption de dispositifs hypersustentateurs et l'acceptation de vitesses d'atterrissage plus élevées. L'augmentation des charges au mètre carré agit directement par réduction du bras de levier des efforts appliqués, et indirectement en facilitant l'emploi des revêtements travaillants. C'est un des facteurs qui ont le plus contribué, au cours de ces dernières

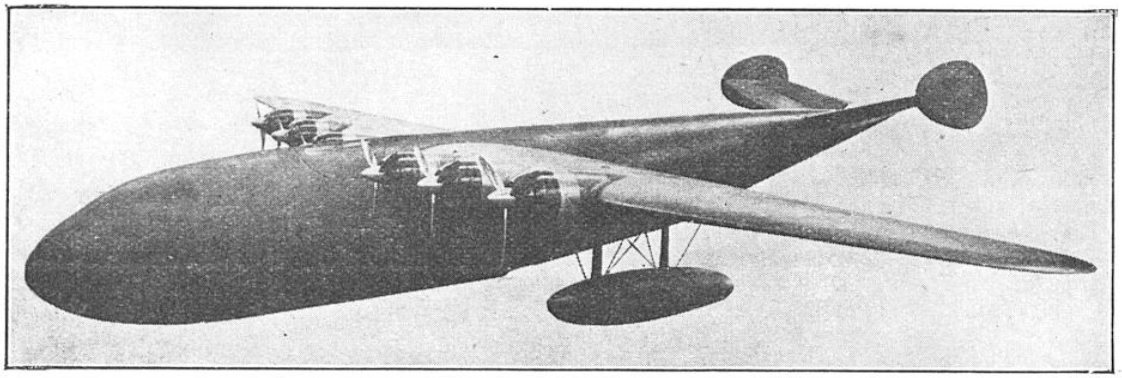


FIG. 9. — L'HYDRAVION FRANÇAIS TRANSATLANTIQUE « SE-200 »

L'hydravion transatlantique SE-200 *est en cours de construction à la* S. N. C. A. du Sud-Ouest *pour le compte du Ministère de l'Air. Cet appareil a les caractéristiques et performances suivantes : poids total, 66 000 kg ; envergure, 52,20 m ; longueur, 40,15 m ; puissance, six moteurs de 1 500 ch ; vitesse maximum, 420 km/h à 4 500 m ; rayon d'action avec un vent contraire de 60 km/h, 6 000 km ; plafond théorique, 5 000 m. Avec 8 hommes d'équipage et 6 000 kg de fret, le* SE-200 *peut transporter 42 passagers sur l'Atlantique-Sud. Sur l'Atlantique-Nord, le nombre des passagers est réduit à 20.*

obligé à dépasser les 80 000 t des paquebots *Normandie* ou *Queen-Mary*.

C'est l'allégement auquel aboutissent les progrès de toutes sortes dans la construction des cellules, et quel que soit le programme de l'appareil, lent ou rapide, qui pousse d'une manière continue vers les tonnages toujours plus importants.

L'allégement des charpentes peut tenir à une simple amélioration des matériaux. Lorsqu'on remplacera le duralumin par les alliages d'aluminium à 8 % de magnésium qui commencent à faire leur apparition, le double gain sur la densité et la limite de résistance favoriseront le rendement d'avions de tonnage accru.

Il peut tenir au perfectionnement des procédés constructifs. Tel est l'emploi de revêtements travaillants, en place de charpentes où la résistance est demandée aux seuls éléments d'ossature. Telle est la répartition des charges le long de

années, à l'allégement des charpentes. Les appareils d'une centaine de tonnes qu'on commande aujourd'hui seraient inconcevables avec les charges de 50 à 75 kg au m² qui étaient courantes il y a une douzaine d'années.

Cet allégement relatif des charpentes, sous l'influence de facteurs multiples, est l'explication de l'assertion, mal fondée, d'après laquelle l'augmentation des tonnages n'a pas, dans de très grandes limites, l'effet nuisible qui lui fut longtemps attribué. L'augmentation des tonnages permettrait, soutient-on, précisément cette amélioration des procédés constructifs dont l'effet heureux contre-balancerait l'alourdissement inévitable des charpentes de grande dimension.

On peut, en effet, concevoir en théorie une compensation de cet ordre. Mais, en l'espèce, elle provient surtout de ce que l'on compare des cellules construites à des époques différentes. L'emploi de revête-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ments travaillants est possible avec avantage même sur des avions de faible tonnage ; certains avions de chasse en fournissent l'exemple. La répartition des charges le long de l'envergure ne suppose pas nécessairement le gros multimoteur à aile habitable. Le *Trait-d'Union* de Dewoitine, qui fut un précurseur en cette matière, appliquait très correctement le principe de la répartition des charges à un avion de 3 t à vide, dont la voilure, malgré une trentaine de mètres d'envergure, ne pesait pas plus d'une dizaine de kilogrammes au m². Les appareils de 100 t n'en sont pas là. C'est que le raisonnement sur la croissance du taux de fatigue dans le rapport de similitude s'applique aussi bien aux structures à charges réparties qu'à celles où les charges sont concentrées.

Il est souvent difficile de faire comprendre, même à des spécialistes, qu'un allégement aboutisse, en définitive, à la construction d'engins de plus en plus lourds. La notion de tonnage optimum et de ses variations avec les procédés constructifs est rarement admise et appliquée dès qu'un progrès marqué apparaît. Que, par impossible, on convainque un constructeur naval de faire un grand navire en alliage léger, et sa première réaction sera aussitôt de faire, en 25 000 t, une réduction de la *Normandie*. Vingt ans peut-être lui seront nécessaires pour comprendre que la réaction logique eût été le paquebot de 250 000 t, qui aura eu besoin de ce délai pour apparaître, après une dizaine d'étapes successives.

L'affinement aérodynamique

La même évolution constructive qui, en tant qu'elle allège les charpentes, pousse à l'appareil lourd, agit en sens inverse en tant qu'elle améliore les formes. Et il n'est pas difficile de trouver ici la source d'une première limitation aux tonnages dont l'effet va se faire sentir assez vite.

Plus l'avion est fin, et plus est faible l'effet favorable de l'accroissement des tonnages qui ne joue pas sur la résistance de voilure, mais sur les seules résistances passives. L'effet défavorable sur le poids de charpente se maintient au contraire intégralement. A la limite, lorsque l'avion se réduira à l'aile volante de Junkers, on ne gagnera rien à accroître son tonnage ; les résistances passives auront disparu, Or, nous ne sommes pas très loin des tonnages qui permettent l'aile volante, qu'applique notamment un des récents projets américains d'appareils transatlantiques.

Dans le cas d'avions commerciaux, l'aile volante est utilisable dès qu'elle est susceptible d'être aménagée pour des passagers, c'est-à-dire dès que l'épaisseur d'aile au centre atteint un peu plus de 2 mètres. C'est ce qu'on obtient avec des avions de 150 à 200 t.

Dans le cas d'avions militaires, l'aile volante est réalisable avec une épaisseur, donc un tonnage nettement inférieur, surtout dans les formules chasse, assaut, bombardement léger, où l'on trouverait un intérêt notable à réduire le tonnage.

C'est dire que, aussi bien pour les applications commerciales que militaires, les appareils de 500 à 1 000 t, dont il a quelquefois été question, ne sont nullement justifiés par un accroissement de performances, même s'ils sont techniquement réalisables.

Le raisonnement qui vient d'être présenté à propos de l'aile volante conserve d'ailleurs sa valeur de démonstration en tant qu'il marque la limite des tonnages économiques, même et surtout si l'aile volante n'est pas considérée comme pouvant concurrencer la formule d'avion avec fuselage. Le tonnage optimum, soit dans cette formule, soit dans la formule intermédiaire comportant un léger renflement médian de l'aile, est alors inférieur.

Il ne faut d'ailleurs pas oublier que, dans des limites assez larges autour de sa valeur optimum, le tonnage peut varier sans que les performances varient sensiblement, ce qui dispensera en général d'avoir à l'atteindre.

S'il est permis de formuler un pronostic à la suite de cette discussion, disons simplement que, dans le domaine commercial, les appareils d'une centaine de tonnes tels que ceux du programme transatlantique des *Pan American Airways*, ne seront pas sensiblement dépassés d'ici longtemps, et que, dans le domaine militaire, il ne sera pas davantage nécessaire de dépasser les 75 t attribuées au dernier avion de bombardement stratosphérique en construction aux Etats-Unis.

Nous croyons même que des performances équivalentes pourront être obtenues avec des appareils militaires de tonnage assez inférieur. C'est très certainement pour l'appareil de chasse que la nécessité d'un accroissement de tonnage très substantiel se fera d'abord sentir.

Seule, une très forte augmentation des charges admissibles au mètre carré, celle qui résulterait, par exemple, d'un bouleversement des procédés d'atterrissage, autoriserait à modifier ces conclusions dans le sens des gros tonnages.

CAMILLE ROUGERON.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

COMMENT LA SCIENCE MÉDICALE PRÉVIENT, GRACE AUX VACCINS, ET GUÉRIT, GRACE AUX SÉRUMS, LES MALADIES INFECTIEUSES

Par Jean LABADIÉ

Toute la médecine moderne, peut-on dire, date des recherches de Pasteur et de Claude Bernard. La méthode expérimentale, adoptée comme seul instrument de recherche dans les sciences médicales, a permis à Claude Bernard de poser, avec ses immortels travaux sur la fonction glycogénique du foie, les fondements de l'endocrinologie moderne (science des hormones) et à Pasteur d'imposer à la médecine, avec la création de la microbiologie, une rénovation telle qu'aucune science n'en connut jamais de semblable. En même temps qu'il élucidait l'origine des maladies contagieuses, celui-ci indiquait la voie qui devait conduire ses disciples et ses successeurs à la découverte de moyens de préservation et de traitement d'une extraordinaire efficacité. La vaccination préventive et la sérothérapie curative, conférant à l'organisme humain une immunité de plus ou moins longue durée contre les infections microbiennes, ont pris, au cours de ces dernières années, un développement extraordinaire. Aux méthodes pastoriennes d'utilisation des virus vivants de virulence atténuée, sont venus s'ajouter aujourd'hui l'emploi des virus morts et même des toxines microbiennes ou des dérivés de ces toxines. Les ressources de la science médicale ont pris ainsi une extension que Pasteur lui-même n'aurait pu prévoir, et le jour n'est sans doute pas éloigné où, comme il l'espérait, nous saurons lutter efficacement contre toutes les maladies infectieuses dont le virus aura été mis en évidence.

L'œuvre de Louis Pasteur est l'une des plus grandioses, des plus homogènes et des plus fécondes dont l'homme puisse s'enorgueillir. Pasteur a fondé, de toutes pièces, une science extrêmement nouvelle : la *microbiologie*.

La qualité d'une découverte se reconnaît à un critérium des plus certains : à savoir qu'elle fournit immédiatement des résultats *pratiques* considérables.

Le « principe » de Carnot se traduit par l'essor total et définitif de la technique des moteurs ; le radium de Curie rénove la physique. Sa découverte des êtres vivants microscopiques, les « bactéries », Pasteur la prolonge, séance tenante, par la création des *vaccins* qui, depuis un demi-siècle, ont sauvé des millions de vies humaines.

Mais, à cause précisément de l'immensité de l'univers qu'il avait mis au jour, Pasteur ne pouvait prévoir les développements ultérieurs de la thérapeutique qu'il a fondée — pas plus que Curie ne pouvait deviner, par exemple, la création ultérieure d'une « radioactivité artificielle » pour tous les éléments simples connus de son temps, sans parler des nouveaux, *fabriqués* à cette occasion.

Aussi bien, le problème de l'« immunité » conférée à l'organisme par les vaccins, vis-à-vis des maladies infectieuses, donne lieu aujourd'hui à des recherches qui s'amplifient à mesure qu'elles avancent.

On eût bien étonné Pasteur si on lui avait prédit que ses *virus filtrants*, dont le « microbe » demeure toujours insaisissable au microscope le plus puissant comme aux « filtres » les plus ténus, trouveraient leurs analogues dans le « bactériophage » de d'Hérelle (1), « microbe » hypothétique dont la grosseur, déduite d'expériences très serrées, s'apparente à celle des « micelles » colloïdales les plus infimes ; ou, encore, dans ces « virus chimiques » qui, agissant à l'état *cristallisé* et à doses infinitésimales, transportent par conséquent le problème des maladies infectieuses à l'échelle la plus fine qui soit : celle des *molécules*.

Nous allons tâcher de « faire le point » d'un voyage aussi passionnant et de répondre à cette question :

Les « vaccins » ont-ils fourni leur dernier mot ? Que peut-on encore attendre de leur merveilleuse thérapeutique?

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 253, page 36.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Des vaccins de Pasteur...

Et, d'abord, qu'est-ce qu'un *vaccin?*

Le mot n'est pas de Pasteur. Il existait de son temps. La « vaccine » est une *maladie*, non mortelle, des génisses. Inoculée à l'homme, elle *immunise* celui-ci contre une terrible maladie : la « variole ». La vaccination, découverte et appliquée par Jenner en 1798, en Angleterre, demeurait une énigme; pourquoi et comment se fait-il qu'une maladie infectieuse animale devienne un moyen de défense contre une maladie humaine, non moins infectieuse ?

Pasteur avait découvert que le *choléra des poules* était causé par l'un des germes microscopiques qui lui étaient désormais familiers. Il avait constaté que les « cultures » de ce germe, de ce « microbe », mortelles pour les poules, sont inoffensives pour les cobayes. Voilà un premier renouvellement de l'énigme de la « vaccine » agissant de manière différente, sur deux organismes différents. Mais, le démon de l'expérimentation aidant, Pasteur découvre qu'une culture *vieillie* du microbe du choléra des poules, inoculée à des poules, rend celles-ci rebelles à l'infection par cultures *virulentes*. Encore un pas : si l'on maintient à l'étuve à 37°, durant plusieurs semaines, les cultures virulentes, leur « vieillissement » s'accélère. Plus exactement, l'« atténuation » de leur virulence s'accentue. Et les cultures atténuées par chauffage confèrent, encore, l'*immunité* aux poules. Telle fut l'invention du premier vaccin expérimental et non plus *empirique* comme celui de Jenner.

La méthode est-elle « générale » ? Pasteur se posa la question. L'appliquant à la maladie du *charbon*, on sait quelle splendide réussite fut la sienne. Mais les cultures charbonneuses exigent un chauffage plus intense, parce que les microbes du charbon résistent mieux, étant « sporulés ». Chauffées à 42°-43°, la sporulation disparaît et l'« atténuation » de leur virulence apparaît. Dans la ferme, désormais illustre, de Pouilly-le-Fort, un troupeau est divisé en deux lots : on inocule toutes les bêtes au charbon virulent ; puis on « vaccine » la moitié d'entre elles par les cultures atténuées. Tous les moutons vaccinés survivent, tous les autres meurent.

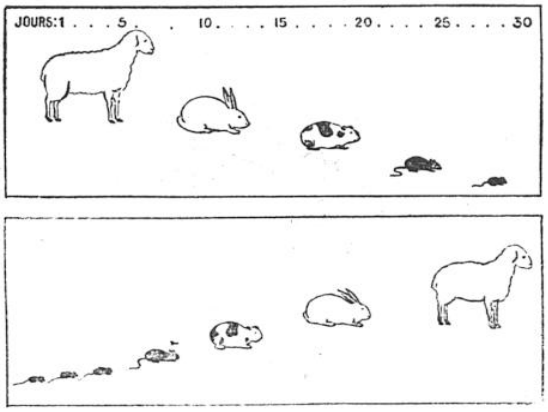


FIG. 1. — REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DES EXPÉRIENCES DE PASTEUR SUR L'ATTÉNUATION PROGRESSIVE DE LA VIRULENCE D'UNE CULTURE MICROBIENNE ET LE RETOUR DU BACILLE A SA VIRULENCE D'ORIGINE

En haut, une culture du bacille du charbon, virulente pour le mouton, perd progressivement sa virulence par un séjour prolongé au contact de l'air. Après trente jours d'étuve à 42° 5, elle n'est plus pathogène, même pour les plus petits animaux. Ces microbes vivants de virulence atténuée sont utilisés pour les vaccinations pastoriennes. En bas, l'inoculation, à une souris nouveau-née, d'une culture très atténuée de bacille du charbon peut la tuer ; l'inoculation du sang de cette souris à une seconde, puis à des animaux de plus en plus vigoureux, rend au bacille sa virulence d'origine en le rendant capable de tuer un mouton.

Une « contre-expérience » de Pasteur n'est pas moins instructive : prenant des cultures atténuées, inoffensives pour des cobayes de *quelques mois*, il les inocule à des cobayes nouveaunés. Ceux-ci meurent. Mais le sang de ces derniers, inoculé à un cobaye d'un mois, le tue. Le sang du cobaye d'un mois se révèle à son tour virulent pour un cobaye plus âgé. Ainsi de suite. Bref, après l'atténuation de virulence des cultures microbiennes par vieillissement, Pasteur a mis en lumière leur *exaltation* de virulence par rajeunissement.

Voici maintenant d'autres variantes.

Le microbe du *rouget du porc* tue le pigeon. Repassé du pigeon au porc, le microbe se montre d'une virulence exaltée vis-à-vis de lui. Par contre, si le « passage » s'effectue *par un lapin*, la virulence s'atténue; le virus du rouget devient un « vaccin » pour le porc; il l'immunise. Ayant acquis cette nouvelle méthode d'atténuation, Pasteur va la transposer au « virus filtrant » de la rage, qu'il considère comme la culture d'un microbe invisible. Il opère donc des « passages » de lapin à lapin et constate qu'à la suite de nombreux « passages », l'incubation (temps qui sépare l'inoculation des premiers symptômes morbides) finit par être toujours de *six jours*. Pasteur a donc obtenu, par le procédé des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« passages », un virus rabique fixe, « stabilisé ».

C'est ce virus *fixe* qu'il va « atténuer ». Mais ici le « chauffage » échoue. Il lui faut revenir à l'idée de vieillissement pur et simple. Il laisse dessécher à l'air libre des moelles de lapins rabiques. Les cultures ainsi vieillies se révèlent constituer un vaccin immunisant pour le chien. On connaît la suite, l'application à l'homme *en cours d'« incubation »*, et le premier miracle : la préservation du berger Jupille, cruellement mordu par un chien enragé.

La méthode pastorienne d'obtention des vaccins par atténuation est-elle la seule ?

La technique du chauffage n'est pas générale, nous l'avons vu. Mais si on *tue* le microbe, il peut arriver que le *corps microbien* mort se comporte également comme un vaccin. C'est ce que Chamberland et Roux constatèrent en 1887 pour le microbe du charbon inoculé à des bœufs après qu'ils l'eurent tué à la chaleur. En 1888, Chantemesse et Widal vaccinent le lapin, par le même procédé, contre le bacille typhique. Plus tard, Vincent *tue* le microbe typhique avec un antiseptique, l'*éther*, et c'est encore un vaccin « antityphoïdique » qu'il obtient ainsi.

Le vaccin *anticholérique* s'obtient également en tuant le vibrion par chauffage.

Mais pas plus que la méthode du « virus atténué », celle du « virus tué » n'est générale. Jamais, en biologie, aucune méthode n'est « générale » — soit dit au grand scandale des physiciens.

... aux « anatoxines » de Ramon

Or, voici une troisième *technique*.

Ce n'est pas le « microbe » qui agit dans la maladie infectieuse. C'est le poison qu'il secrète : sa toxine, poison qui lui est spécifique.

Puisque le *microbe tué* peut « vacciner », sans doute sa « toxine » doit également pouvoir se muer en vaccin. C'est ce que Pasteur a effectivement entrevu.

Déjà Behring, en Allemagne, et Roux, en France, ont décelé le *mécanisme* par lequel l'organisme *se défend* contre l'infection microbienne. Aux *toxines* du microbe, l'organisme oppose *toujours*, qu'il succombe ou qu'il résiste, une « antitoxine », c'est-à-dire l'antidote exact de l'infection considérée. Toute la « sérothérapie » — que nous laisserons de côté — découle de ce fait. Si l'on inocule la *diphtérie* au cheval, celui-ci ne meurt pas, mais son sang devient riche en *antitoxine* administrable (par injection du « sérum » emprunté au cheval) comme un remède souverain aux malades *déjà atteints* par la diphtérie. La réaction organique du malade trouve un adjuvant décisif dans les antitoxines du cheval qui viennent se coaliser avec celles de l'homme.

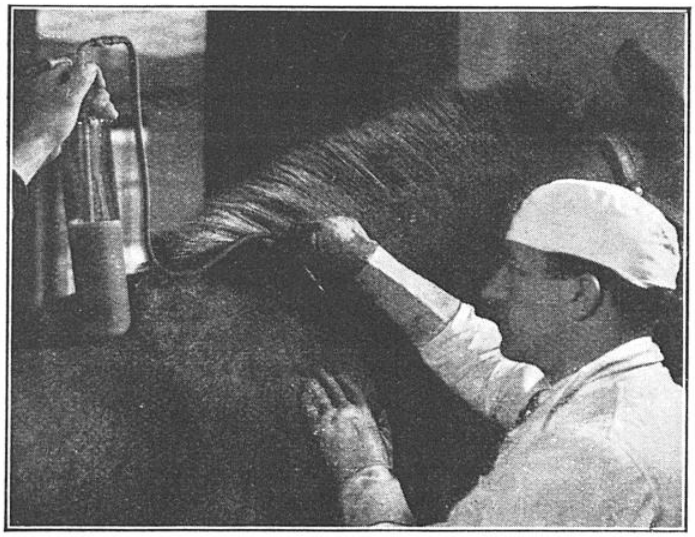


FIG. 2. — COMMENT ON PRÉLÈVE UN SÉRUM SUR UN CHEVAL A L'ANNEXE DE L'INSTITUT PASTEUR

Cependant un vaccin *préventif* va naître encore de ces observations. Le docteur Ramon savait ce qu'il advient de la toxine diphtérique quand on la met en présence, *in vitro*, du sérum antidiptérique. Une floculation se produit qui permet d'établir une méthode de titrage du sérum antidiphtérique. Ajoutant à la toxine un antiseptique, du formol, et chauffant le tout, durant un mois, à l'étuve à 38°-40°, Ramon constate que la floculation se produit toujours en présence de sérum antidiphtérique, malgré le formol, ce qui montre que la toxine est bien demeurée identique à elle-même. Puis, inoculant cette toxine formolée à des cobayes, il découvre qu'elle n'est plus nocive pour eux et qu'à la suite de cette inoculation, des doses *plusieurs fois mortelles* de toxine diphtérique brute laissent les animaux indifférents. Ils sont vaccinés. Au bout d'un mois, ils supportent 50 *doses mortelles*.

Si, entre temps, trois semaines après

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

première injection de toxine formolée, on a renouvelé cette injection, ce sont alors des doses *plusieurs milliers de fois mortelles* que supportent les cobayes. Telle est la troisième méthode de vaccination, dite par « anatoxine ».

Outre l'anatoxine diphtérique, signalons encore la mise au point d'une anatoxine *tétanique* et d'une anatoxine *staphylococcique*.

Les vaccins polyvalents et sensibilisés

Il ressort de notre exposé, rapide et forcément succinct, que le mécanisme d'immunisation d'un organisme contre toute maladie infectieuse comporte une *action du microbe* secrétant sa toxine, et *une réaction de l'organisme* qui lui oppose son antitoxine. La vaccination a pour effet de provoquer artificiellement la « réaction » de l'organisme, antérieurement à l'action éventuelle du microbe virulent. Quand celui-ci se présente dans un organisme vacciné, il le trouve « prévenu », en état de défense — bref, muni d'un pouvoir *antigène* renforcé, c'est-à-dire du pouvoir de fabriquer « à haut rendement » l'antitoxine nécessaire. Dans le style militaire moderne, un tel pouvoir s'appellerait « potentiel de guerre », l'ennemi étant le microbe.

Il était naturel de songer à multiplier les vaccinations ; à les mener de front, si possible. C'est à quoi pourvoient les mélanges de vaccins dits « vaccins » polyvalents. La méthode des vaccinations « associées » fut inaugurée par Ramon et Zoeller ; ils administrent ensemble le vaccin *antityphoïdique*, l'anatoxine *diphtérique* et l'anatoxine *tétanique*.



FIG. 3. — LE TRANSVASEMENT ET LA MISE EN RÉSERVE DU SÉRUM A L'INSTITUT PASTEUR DE PARIS

Mais l'« association » des vaccins pose un nouveau problème : celui de leur compatibilité. En exigeant de l'organisme une « triple réaction », on lui demande un effort peut-être contradictoire. Le synchronisme de trois réactions « antigènes » simultanées n'est peut-être pas prévu par la nature. Il faut, si possible, venir à son aide. Cette nouvelle intervention peut alors prendre la forme suivante.

Tout le monde sait que, dans la vaccination vulgaire contre la variole, certains sujets réagissent en offrant, quelques jours après l'inoculation, des *pustules éruptives* plus ou moins prononcées, souvent avec fièvre. « Il avait *besoin* d'être vacciné », constate le profane à propos d'un sujet particulièrement touché par la vaccination.

Pour être assuré que la réaction est bien *totale*, surtout dans le cas des vaccinations associées, on va donc l'exalter. Ramon y parvient en injectant, par-dessus les vaccins, du *tapioca*. Les huiles contenues dans ce produit végétal ont pour effet de provoquer un véritable *abcès local*, au point d'inoculation. Et c'est là le coup de fouet qui assure la réaction totale désirée.

De la même idée générale procèdent diverses techniques, notamment celle qui consiste à présenter le vaccin en suspension huileuse (lipovaccin). On peut encore *broyer* le corps microbien, dans le cas des vaccins *tués :* le « lysat » ainsi réalisé possède plus de chances d'exciter la réaction par une attaque plus intime des protéines de l'organisme. On peut encore « sensibiliser » le vaccin en le mettant préalablement au contact de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sérums spécifiques, particulièrement aptes à la réaction antigène : c'est la méthode créée par le docteur Besredka, de l'Institut Pasteur de Paris.

Enfin, une infection microbienne n'intéresse pas toujours — du moins à ses débuts — l'organisme tout entier. C'est le cas, par exemple, d'une plaie, d'une infection localisée dans l'intestin, etc. Il est logique, dans ce cas, de provoquer une réaction localisée comme l'infection, afin *d'empêcher celle-ci de s'étendre*. Le vaccin prend alors un aspect « curatif », mais seulement l'aspect, car il s'agit ici encore de barrer la voie au microbe qui tend à envahir les tissus encore sains.

Dans ce but, l'on a créé, avec plus ou moins de bonheur, des mélanges polyvalents qui peuvent s'administrer tantôt par injection, tantôt par ingestion et même sous forme de pansements. Les vaccins ainsi établis visent une foule de microbes dont la faune et la flore pullulent d'ordinaire *simultanément* dans les « foyers » d'infection : les staphylocoques, les streptocoques, les pneumocoques, les colibacilles, les entérocoques, les bacilles pyocyaniques, les proteus, les bacilles de Pfeiffer se groupent en coalitions redoutables pour déclencher des pneumonies, des septicémies, des anthrax, la grippe, ou, tout simplement, le bénin coryza, beaucoup plus complexe qu'on ne le pense d'ordinaire.

Nous laissons aux catalogues pharmaceutiques le soin d'informer le lecteur touchant les innombrables « polyvalences » affirmées par les laboratoires qui fabriquent ces vaccins ; et aux praticiens la responsabilité de leur ordonnance. Du reste, leur innocuité est toujours certaine, quand leur efficacité se trouve en défaut.

Le triomphe de la méthode pastorienne contre les maladies exotiques

Evidemment, Pasteur n'avait pas prévu une telle « généralisation » du vaccin. Et peut-être n'aurait-il pas « voulu cela ».

Par contre, c'est avec satisfaction que son ombre doit hanter les *Instituts Pasteur* de Tunis, de Brazzaville, de Dakar, de Tananarive, où ses disciples ont obéi, avec succès, à l'injonction qu'il prodiguait, de son vivant, à ses collaborateurs : « Il faut immuniser contre les maladies infectieuses dont nous connaissons le virus. »

A Tunis, c'est Charles Nicolle qui dépiste le typhus exanthématique et inaugure sa prophylaxie par l'épouillage méthodique des populations, tandis que ses collaborateurs viennent de mettre au point tout récemment le vaccin correspondant en étudiant *comparativement* le typhus de l'Afrique du Nord et le typhus d'Europe (typhus historique). Les deux virus sont les mêmes, mais différemment « évolués », comme le veut la thèse hardie de Nicolle.

Le virus typhique européen, *atténué suivant la pure méthode pastorienne*, a fourni le vaccin tant désiré.

La théorie de Nicolle apparaît alors immense de conséquences : que l'on dépiste toutes les « évolutions des maladies infectieuses » et l'on trouvera certainement, dans les formes évoluées des virus « fixés » par leurs innombrables « passages » séculaires à travers les générations humaines, un matériel tout préparé par la nature pour obtenir un vaccin contre les formes *actuellement virulentes* de la maladie. On est, en effet, en présence, dans ces cas, de formes multiples d'une même maladie infectieuse : il y a plusieurs typhus, plusieurs fièvres récurrentes... mais dont les ancêtres sont aussi certainement les mêmes que dans les mutations obtenues par Pasteur au laboratoire.

La fièvre ondulante (fièvre de Malte) dont le microbe africain *(melitensis)* possède son « sosie » *(abortus)* en Europe, où il est bien moins pathogène pour l'homme (tandis que les *bovidés* le cultivent innocemment), la fièvre ondulante, c'est démontré, peut et doit bientôt trouver son vaccin dans le microbe européen atténué. Encore une vaccination pastorienne qui se prépare à Tunis.

Et puis, il y a les convalescents dont le sérum peut être utilisé dans certaines maladies infectieuses à titre préventif ou curatif.

On l'a prouvé à Tunis.

A Dakar, les observations sur la *fièvre jaune* ont confirmé une autre grande thèse de Nicolle, touchant les « maladies inapparentes », c'est-à-dire les maladies infectieuses de sujets dont l'autodéfense est telle qu'ils hébergent le microbe pathogène sans en souffrir — bien qu'ils puissent transmettre l'infection à des voisins moins favorisés. Le virus *amaril* (de la fièvre jaune), prélevé sur la souris dans sa forme *neurotrope*, a fourni un vaccin strictement pastorien (mis au point par Laigret) qui, d'ores et déjà, s'applique à vaste échelle. A Brazzaville, le même travail est effectué parallèlement. Et c'est l'aboutissement de travaux depuis longtemps commencés à l'Institut Rockfeller de New York.

La *maladie du sommeil*, si elle n'a pas encore trouvé son vaccin, est combattue

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec succès par de nouveaux médicaments chimiques, tels que la *trypar-samide*.

A Madagascar, la méthode pastorienne du *virus vivant atténué* a fourni un vaccin « antipesteux » beaucoup plus efficace que le vaccin précédemment en service, provenant de microbes *tués*. Encore un triomphe de la pensée initiale de Pasteur.

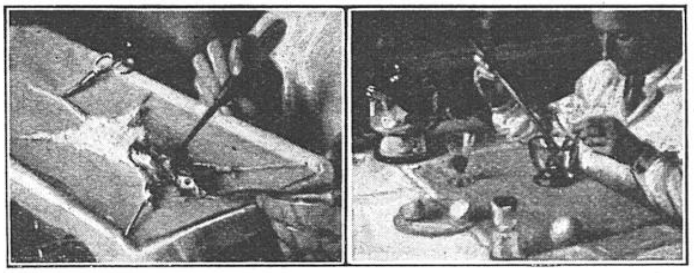


FIG. 4. — PRÉPARATION DU VACCIN ANTITYPHOIDIQUE
A gauche, après avoir infecté une souris, on prélève son cerveau. A droite, le cerveau broyé et desséché est enrobé de jaune d'œuf.

L'avenir de la méthode pastorienne

Devant ces succès ininterrompus, faut-il espérer que le vœu de Pasteur, vacciner toutes les maladies infectieuses dont on connaît le virus, sera quelque jour exaucé?

L'expérience du dernier demi-siècle a permis d'approfondir cette question. Elle est sans doute « mal posée ».

Il faudra probablement renoncer à « vacciner » soit par *virus*, soit par *anatoxine* certaines maladies qui, bien qu'infectieuses et provenant de microbes connus, n'envahissent pas l'ensemble de l'organisme.

C'est ainsi que le bacille de Koch souille à peu près certainement l'immense majorité des hommes. La plupart supportent cet hôte indésirable sans accuser de symptômes morbides. Chez certains, pourtant, il provoque la tuberculose pulmonaire ; chez d'autres, la tuberculose osseuse ; chez d'autres, des affections locales multiples. Cet aspect multiforme des « tuberculoses » semble indiquer que les réactions de l'organisme aux toxines du bacille de Koch sont trop variables pour qu'on puisse espérer la création d'un vaccin général. La prophylaxie du mal par l'hygiène comme par la surveillance médicale générale des individus apparaît singulièrement plus certaine.

Sans doute, il y a le vaccin B. C. G. très discuté dans son efficacité, bien que son innocuité soit universellement reconnue. Les statistiques d'efficacité sont incertaines. Celles qui nous viennent de Roumanie, par exemple, sont affirmatives. Mais celles qui proviennent d'Algérie montreraient que beaucoup d'enfants ayant reçu le B. C. G. dans les délais voulus (sitôt après la naissance) sont devenus tuberculeux avec la *même probabilité* que s'ils n'avaient pas été vaccinés.

Une autre maladie redoutable, la syphilis, ne paraît pas devoir espérer davantage un « vaccin ». Les variantes de ses accidents sont également d'une richesse déconcertante. Par contre, certains traitements chimiques lui sont appliqués, dès aujourd'hui, *avec une précision et un succès croissants.*

Il en est de même de nombreuses « spi-

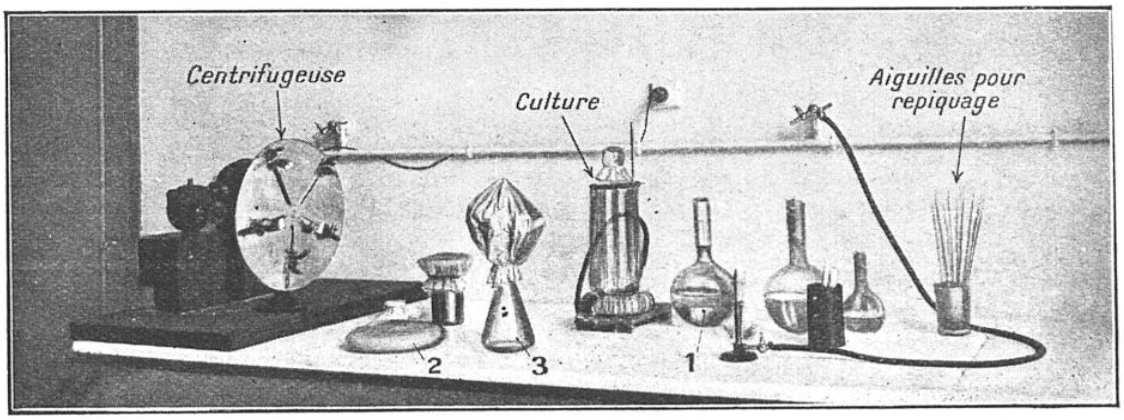


FIG. 5. — LE JEU DES APPAREILS UTILISÉS POUR LA PRÉPARATION DU B. C. G.
La culture est tout d'abord repiquée dans le ballon 1, puis centrifugée dans le ballon de forme spéciale 2. Elle est alors transvasée en 3, en attendant de passer enfin dans les bouillons de culture définitifs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

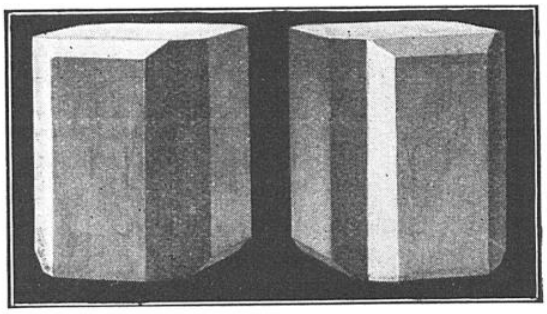


FIG. 6. — MODÈLES DE CRISTAUX D'ACIDE TARTRIQUE « DROIT » ET « GAUCHE »

Ces cristaux ne sont pas plus superposables que la main droite ne l'est à la main gauche. C'est un exemple de corps possédant la même composition chimique, le même arrangement moléculaire, la même forme cristalline. Ils diffèrent par leur action sur la lumière polarisée et aussi par leurs propriétés biologiques. Présentés en dissolution à des végétaux (asparagilles), *ceux-ci absorbent l'acide tartrique gauche et délaissent le droit.*

rochétoses » coloniales, dont le bacille s'apparente à celui du terrible mal vénérien. Le « debab » — maladie due à un « trypanosome » — se traite par l'émétique. Et le paludisme par la quinine.

Que les vaccins de tant de maladies se fassent attendre tandis que leur traitement chimique progresse, cela donne bien à réfléchir. D'autant que des maladies dont le développement individuel présente tous les aspects d'une « infection », sans qu'on puisse les affirmer « contagieuses », n'ont pas révélé de virus microbien proprement dit.

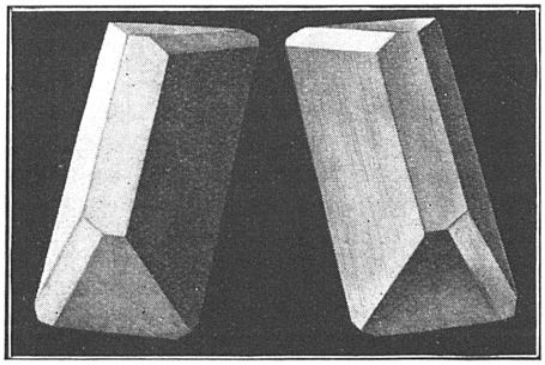


FIG. 7. — MODÈLES DE CRISTAUX, « DROIT » ET « GAUCHE », DE BIMALATE DE CHAUX

Ces modèles ont été confectionnés par Pasteur. L'un des cristaux est, comme pour les cristaux d'acide tartrique de la figure 6, l'image de l'autre vu dans un miroir. Ils ne sont donc pas superposables et sont également doués de certaines propriétés chimiques et biologiques différentes.

Dans le cas du cancer (1), par exemple, non seulement l'hypothèse du microbe recule, mais encore il apparaît que le « germe » du mal doit être recherché dans un corps « chimique » de formule parfaitement déterminée. Ici, l'énigme s'approfondit.

Il suffit de l'inoculation de 1 milligramme de « méthylcholantrène » dans un tissu formé de cellules « embryonnaires », l'épiderme par exemple, pour déclencher le cancer. Considéré comme une « infection », le cancer se propage de proche en proche, de cellule à cellule, puis de tissu à tissu. Plus nocif qu'une toxine, l'hydrocarbure

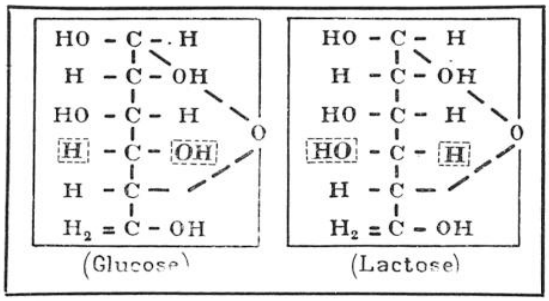


FIG. 8. — FORMULES DÉVELOPPÉES DE DEUX SUCRES SIMPLES (GLUCOSE ET LACTOSE) METTANT EN ÉVIDENCE LA DISSYMÉTRIE DE LEUR ARCHITECTURE MOLÉCULAIRE

Les atomes de carbone C, *d'oxygène* O *et d'hydrogène* H *sont agencés de manière identique dans les deux sucres, à la seule exception des atomes correspondant aux lettres encadrées. Ces derniers (hydrogène* H, *d'une part, et radical oxhydrile* OH, *d'autre part) sont disposés d'une manière dissymétrique autour du quatrième atome de carbone de la chaîne des* C, *dans l'une et l'autre formule. Or, d'expériences effectuées à l'Institut Rockfeller, il résulte que le pneumocoque virulent est celui qui s'entoure d'une gaine de sucre levogyre, tandis que les trois autres pneumocoques, enrobés de sucre dextrogyre, ne sont pas toxiques.*

malfaisant semble prendre les cellules elles-mêmes comme « microbes » vouées à la propagation de leur propre mal.

Stanley, de Princeton (Etats-Unis), aurait isolé de la « mosaïque » — maladie infectieuse de la vigne et du tabac — un virus strictement chimique, puisqu'il agit *même à l'état cristallisé.*

Nous voici très loin, semble-t-il, de tout ce qu'aurait pu prévoir Pasteur?

Non pas ! C'est, tout au contraire, plus que jamais, la pensée première de Pasteur, prise dans toute sa pureté, qui doit, à notre avis, guider les chercheurs pour la compréhension des maladies infectieuses à

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 256, page 303.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« virus chimiques ». C'est ce que nous allons tâcher de montrer pour terminer.

Le « testament scientifique » de Pasteur touche à son exécution définitive

On sait que l'origine de la géniale carrière de Pasteur se trouve dans la lecture du mémoire d'un chimiste allemand, Mitscherlich, concernant la dualité des cristaux d'acide tartrique, dont les uns *polarisent* la lumière « à droite » et les autres « à gauche ». Il s'agit du *même* acide tartrique quant à la formule chimique. Mais, recherchant la cause de cette dissymétrie « optique », Pasteur montra qu'il existait deux espèces de cristaux tartriques, *exactement semblables, mais non superposables*, comme sont les deux gants d'une même « paire » (fig. 6).

Etudiant aussitôt le comportement des organismes vivants, en présence de ces sels dissymétriques, Pasteur constata que certains végétaux absorbent le sel cristallisé à *gauche* et délaissent le sel cristallisé à droite. De même, les « ferments » choisissent les sucres qu'ils décomposent, suivant que, de même formule chimique cependant, ce sont des « lévuloses » (cristallisant à gauche) ou des « dextroses » (cristallisant à droite). Cette découverte eût suffi à la gloire du *chimiste* qu'était déjà, professionnellement, Pasteur. Elle fit de Pasteur le biologiste et le médecin génial que l'on sait. Mais ce qu'on sait moins généralement, c'est que cette relation entre les *dissymétries* de la matière et les phénomènes de la vie hanta Pasteur jusqu'à son dernier jour. Vous trouverez au Palais de la Découverte le texte de l'une de ses dernières conférences, dans laquelle il adjure ses disciples de poursuivre *sans relâche* l'étude de cette énigme. Notons, en passant, que la loi de « dissymétrie » des phénomènes physiques a, tout de même, hanté Pierre Curie sa vie durant.

Aujourd'hui, ce ne sont plus seulement les cristaux qui révèlent des « dissymétries », ce sont les *molécules*. Même si l'« effet Raman » ne révélait pas directement, par effets optiques, la dissymétrie moléculaire, il suffirait de considérer la formule chimique — « développée dans le plan » — d'une molécule complexe pour reconnaître si elle est symétrique ou dissymétrique.

Or, qu'avons-nous appris de plus récent en matière biochimique? Que les formules, autant qu'elles sont connues, des diastases, des vitamines, des hormones sont *dissymétriques*. Que les hydrocarbures *cancérisants* (tels que le méthylcholantrène) offrent des dispositions dissymétriques de leurs « noyaux ». Il serait peut-être bon d'examiner soigneusement toutes les « toxines » de ce point de vue.

Mais voici l'expérience la plus curieuse, que j'ai déjà signalée en son temps dans *La Science et la Vie* (1). Deux chercheurs de l'Institut Rockfeller ont étudié les *quatre* microbes « pneumocoques » connus. Un seul d'entre eux est nocif. Pourtant ils sont indiscernables, au microscope, comme à l'analyse.

Ils ne le sont pas, toutefois, au « polarimètre ».

En effet, ces microbes s'enrobent d'une gaine de sucre. Il s'agit de « polysaccharoses » très complexes dont la formule chimique reste exactement la même dans les quatre cas. Seulement, tandis que le sucre entourant le pneumocoque *infectieux* polarise la lumière « à gauche », ses frères *non infectieux* la polarisent « à droite ». N'est-ce pas le triomphe intégral de la pensée de Pasteur, dans toute son originalité?

Mieux encore. Les mêmes expérimenteurs ont reconstitué des « microbes artificiels » en enrobant des micelles colloïdales organiques avec des sucres dissymétriques. Injectés à des lapins, les pseudomicrobes provoquaient une réaction d'aspect « antitoxique », quand il s'agissait d'une préparation *lévogyre*, tandis que l'organisme vivant restait indifférent aux préparations *dextrogyres*.

Sans quitter le laboratoire, la pensée géniale de Pasteur conduit, par ces expériences, au seuil même du mystère de la vie. Elles ramènent celui-ci à une question de « morphologie » et non pas de dosage, n'en déplaise à certains biologistes modernes oublieux de la philosophie de Claude Bernard.

Ainsi développée suivant le conseil explicite, « testamentaire », de son auteur, la pensée pastorienne nous fait espérer, de surcroît, une réussite cette fois intégrale. Tous les virus infectieux, quelles que soient leur forme évolutive ou leur nature spécifique, auront probablement tôt ou tard leur vaccin.

JEAN LABADIÉ.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 200, page 102.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LE PROGRÈS SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DANS L'AGRICULTURE MODERNE

Par Tony BALLU

PROFESSEUR A L'INSTITUT AGRONOMIQUE
DIRECTEUR DE LA STATION D'ESSAIS DE MACHINES DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

L'agriculture est sans doute la plus ancienne parmi toutes les industries humaines, et c'est aussi celle dont l'évolution a toujours été la moins rapide. Depuis quelque vingt-cinq années cependant, d'importants perfectionnements ont été introduits dans la technique agronomique. La science du sol, *de création récente (1), apporte à la pratique agricole les bases scientifiques qui lui faisaient jusqu'ici défaut en précisant le mécanisme de formation de la terre arable, en analysant sa fertilité et le rôle des engrais naturels et artificiels. Le* génie rural, *application de l'art de l'ingénieur à l'agriculture, a développé l'équipement électrique et hydraulique des campagnes, mis au point d'innombrables machines pour effectuer les travaux des champs et de la ferme, lutter contre les intempéries et les ennemis des cultures, assurer la conservation des récoltes (silos). Enfin,* l'administration rationnelle *des entreprises agricoles exige aujourd'hui, des chefs d'exploitations, des connaissances approfondies d'économie rurale sans lesquelles ils ne pourraient mettre entièrement à profit leur savoir théorique et pratique. C'est dans ces trois domaines que l'évolution des idées et les réalisations ont été les plus marquantes au cours de ces dernières années.*

PARMI les nombreuses sciences auxquelles la technique agricole fait appel pour expliquer le « pourquoi » des résultats acquis et confirmés par des pratiques séculaires, il en est une, d'origine récente, qui s'est imposée dès sa naissance dans les milieux agronomiques. C'est la « Science du sol ». Il peut paraître bizarre que le sol, qui est en somme l'usine dans laquelle se fabriquent les produits agricoles, ait été un des derniers éléments à attirer l'attention des savants. La géologie, science déjà ancienne, ne s'intéresse qu'au sous-sol. Quant au sol arable, il n'était considéré, jusqu'au milieu du XIXe siècle, que comme un support inerte, jugé plus ou moins fertile, suivant sa productivité apparente. Vers 1840, Liebig mit en lumière l'existence des éléments chimiques fondamentaux (azote, phosphore, potassium) qui contribuaient à la richesse des sols. La terre arable fut alors considérée comme un milieu *chimique* et le règne des engrais complémentaires commença, basé sur *la loi de restitution*, d'après laquelle chaque kilogramme de principe fertilisant contenu dans les récoltes sortant d'un champ, devait être restitué à la terre sous peine de l'appauvrir.

Le sol, milieu vivant, et la « pédologie »

Les découvertes de Pasteur apprirent que le sol était un « milieu vivant ». On dénombra par gramme de terre des millions de bactéries et de protozoaires. On s'aperçut ensuite que cette microflore du sol, agissant d'ailleurs fort différemment suivant les cas, intervenait activement, tantôt en bien, tantôt en mal, dans les phénomènes de nutrition des plantes.

Et voici que, depuis quelques années, une autre vie du sol est dévoilée, vie aussi lente et progressive que celle due aux microorganismes est active et rapide. Cette vie nouvelle est mise en lumière par la *Pédologie* (1), qui nous enseigne comment un sol, au sens agricole et fécond du mot, prend naissance des « roches mères », domaine de la géologie, comment ce sol se transforme en « horizons » successifs par « migration » de certaines substances attaquées par la lente mais incessante action des éléments atmosphériques, des racines des végétaux et de la microflore, quel « âge » a ce sol à l'époque considérée, et comment enfin ce sol peut « mourir » par disparition des colloïdes qui lui assuraient sa vie agricole, c'est-à-dire sa fécondité. En particulier, le rôle de l'eau, agissant comme électrolyte, a été mis en évidence pour expliquer la décomposition des silicates. On conçoit que, dans les régions où les pluies sont supérieures à l'évaporation, il en résulte une lixiviation, c'est-à-dire un entraînement de haut en bas, et qu'au contraire, en climat sec où l'ascension de

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 227, page 363.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 227, page 363.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'eau est prédominante, le phénomène inverse se produira, c'est-à-dire l'accumulation des matières solubles dans les couches supérieures. Ces constatations soulignent le rôle et justifient le choix des différentes méthodes de travail des sols suivant qu'on se trouve en régions arides ou en régions humides. La pratique agricole bénéficie, d'autre part, de la notion de *structure* dont l'étude constitue un des chapitres les plus importants de la Pédologie ; les colloïdes y jouent un rôle de premier plan, tant par leur action chimique que par leur influence dans la formation des *agrégats*, intervenant dans la porosité, et par suite dans le mouvement de l'eau dans les capillaires. L'examen microscopique du sol nous révèle les secrets de sa macrostructure et de sa microstructure, suivant les influences du climat et des façons aratoires. On peut en déduire aujourd'hui que l'art de cultiver correctement un sol — art que possède par intuition le paysan « qui connaît bien sa terre » — consiste à savoir quelles sont les influences naturelles du climat local sur l'état de transformation pédologique de ce sol, et quelles sont, par incidence, les façons aratoires à lui faire subir suivant les saisons pour lui donner une *structure* optimum et *stable*, lui conférant son maximum de fécondité.

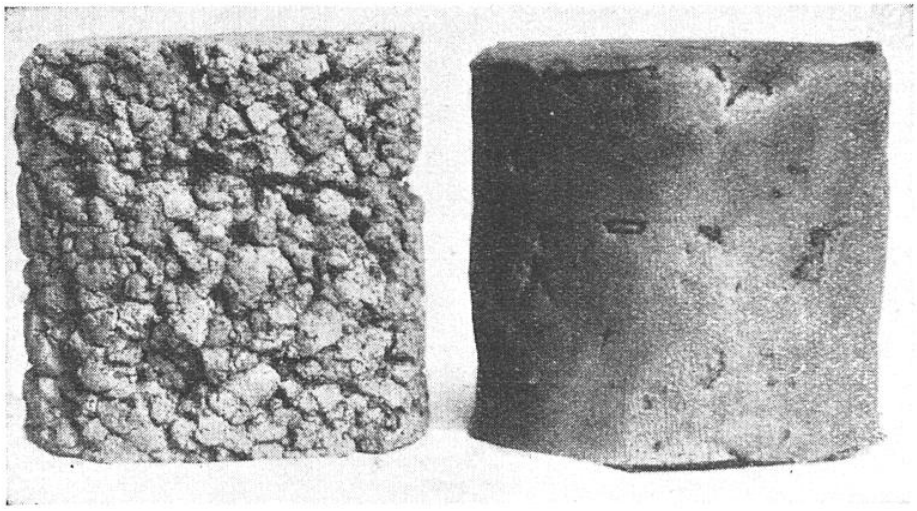


FIG. 1. — DEUX EXEMPLES CARACTÉRISTIQUES DE STRUCTURE DU SOL

La structure *est l'état dans lequel se trouvent assemblés les éléments sableux formant le « squelette » du sol avec les colloïdes argileux et humiques. Ces assemblages, ou « agglomérats », varient de grosseur suivant la proportion de colloïdes et l'état de « floculation » (ou coagulation) ou de « dispersion » de ceux-ci. La culture des sols a précisément pour but d'en ramener la structure à un état conforme aux besoins des plantes cultivées en corrigeant les effets des agents atmosphériques. Or, la structure conférée par les machines aratoires est d'autant plus durable que le travail a été exécuté dans les meilleures conditions. La figure ci-dessus montre, à gauche, un sol argileux qui a été travaillé à un taux d'humidité convenable : après dessèchement à l'air, sa structure s'est maintenue correcte, tandis que l'échantillon de terre de droite, travaillé à un taux d'humidité excessif, représente, après dessiccation, un bloc compact, sans structure, c'est-à-dire dans un état opposé à l'état d'ameublissement.*

La mécanique du sol

Nous touchons là au domaine du machinisme aratoire, et l'on entrevoit tout de suite les rapports qui doivent être envisagés entre le matériau inerte « machine » et le matériau vivant « terre ». Une nouvelle ramification de la science du sol apparaît alors pour prendre le nom de « Mécanique des sols ». Son rôle est d'étudier les rapports entre le sol et la machine pour définir les réactions de la terre arable sur les machines et réciproquement des machines sur les différents types de sols. On en tire des déductions d'ordre pratique sur le conditionnement de la structure, d'une part, et sur le rendement mécanique et économique de l'emploi des instruments agricoles, d'autre part. Ces connaissances sont surtout nécessaires pour les essais de machines. La Station d'Essais du Ministère de l'Agriculture vient de mettre au point, dans ce but, un *adhéromètre* (fig. 2), un *compressomètre* et un *tenacimètre*.

La connaissance des réactions mutuelles des sols et des machines devient une nécessité d'ordre pratique, pour chercher à diminuer le nombre de kilogrammètres dépensés pour un travail, à une époque où le carburant est si cher.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fertilité des sols et microbiologie

L'étude de la Science du Sol conduit à la conception de *fertilité* qui apparaît comme l'aboutissement de toutes les sciences élémentaires de l'agriculture.

La fertilité envisagée du point de vue scientifique, est une notion fort complexe, parce que dépendant d'une quantité de facteurs variables ; à la fertilité *naturelle* d'un sol provenant de son origine géologique, de son état de transformation pédologique et du climat, il faut ajouter la fertilité « acquise », provenant de la richesse mobilisée dans le sol, par suite des heureux effets de la culture sur le développement des microorganismes utiles et sur les réserves en principes assimilables accumulées grâce à une « structure stable ». La seule richesse de sa composition chimique ne suffit pas : certains sols pauvres sont reconnus plus fertiles que des sols riches. Par contre, l'« atmosphère du sol » joue un rôle prépondérant : quantité d'eau optimum, production suffisante de gaz carbonique par les racines et par la microflore, chaleur et radiation, activité des vers établissant des échanges entre le sol et le sous-sol, etc., constituent autant d'éléments de fécondité sur l'importance desquels d'ailleurs les biologistes ne sont pas entièrement d'accord avec les chimistes. La « biochimie » a pour but de rapprocher les points de vue. L'ancienne théorie de la restitution intégrale, avec la « loi du minimum », est battue en brèche. Les biologistes estiment que les engrais n'agissent pas tant comme aliments absorbés directement par les plantes que comme stimulants pour les microorganismes dans leur action de déminéralisation du sol au profit des plantes. Les matières organiques, en particulier, sont considérées comme « aliments énergétiques » pour les microorganismes. Ainsi s'expliquerait l'efficacité de certains engrais utilisés à doses infinitésimales (magnésium, bore, soufre, etc...). On parle même d'action « à distance » de certains éléments chimiques.

Quant à la microbiologie du sol, dans ses rapports avec la fertilité, et à l'influence que peuvent avoir, sur les microbes, les différentes méthodes de culture, on ne sait rien ou presque rien. C'est une science à peine ébauchée, pleine de promesses, et qu'il serait fort désirable de voir développer, pour jeter un peu de lumière sur les hypothèses contradictoires émises à son sujet. C'est ainsi qu'on discute sur la valeur du procédé qui consiste à *stériliser* le sol. De nombreuses expériences ont établi que les sols ayant subi une « stérilisation partielle », grâce à l'emploi d'antiseptique (formol, soufre, etc.), ont bénéficié d'un accroissement de fertilité. Ceux qui contestent l'influence prépondérante des microorganismes sur la fertilité, y voient une preuve à l'appui de leur thèse. Les biologistes pensent, au contraire, que la stérilisation passagère favorise le développement des espèces utiles au détriment des espèces

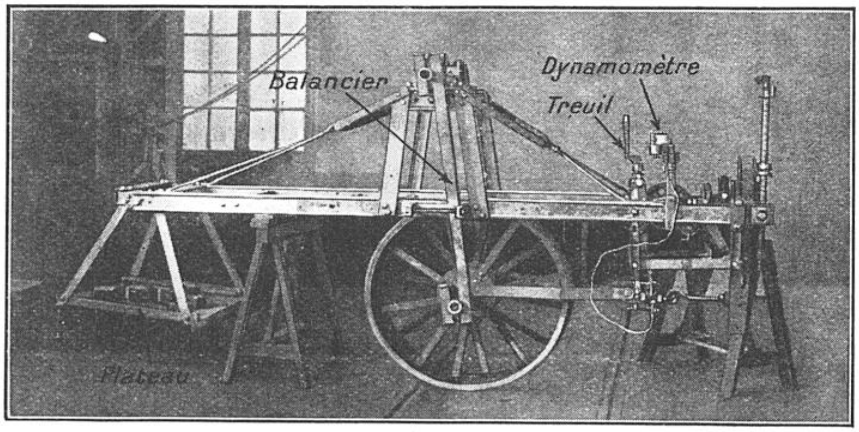


FIG. 2. — VUE D'ENSEMBLE D'UN ADHÉROMÈTRE

Cet instrument de mesure sert à évaluer : a) *D'une part, l'état d'adhérence d'un sol, au moyen de la roue étalon représentée sur la figure, et, d'autre part, les capacités d'adhérence des différents organes de propulsion des tracteurs (roues ou chenilles) en substituant la roue étudiée à la roue étalon (un dynamomètre, placé sur un câble reliant la jante de la roue à un treuil, indique pour quel effort la roue se met à patiner sous différentes pressions) ;* b) *Le même appareil sert à mesurer, d'une part, l'état de résistance au roulement d'un sol au moyen de la roue étalon, et, d'autre part, la plus ou moins grande facilité de roulement sur le sol d'une roue à l'étude, qu'on substitue à la roue étalon (un dynamomètre, placé sur un câble reliant le crochet de traction du tracteur au bas du balancier vertical sur lequel est supporté l'essieu, indique la valeur de la résistance imputable au roulement de la roue à l'étude, pour une pression donnée).*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nuisibles plus sensibles à ces traitements.

Par contre, les essais d'inoculation des terres par des microorganismes choisis n'ont donné aucun résultat, ce qui n'a rien de surprenant, le milieu conditionnant le choix et le développement de l'espèce.

Autant de problèmes qui constituent pour l'avenir un champ de recherches considérables et qui soulignent de ce fait l'importance de la Science du Sol.

Le problème des engrais

En attendant, on continue à utiliser un peu « au petit bonheur » fumures, amendements et engrais, en se basant sur des résultats expérimentaux souvent variables d'une année à l'autre et parfois contradictoires. Certains auteurs jettent l'alarme en prétendant que l'abus des engrais conduit à une acidification systématique du sol. D'où apparaît la nécessité de procéder de temps à autre à la détermination de son *pH* (1). Seuls les engrais organiques ne semblent pas discutés (bien que certaines méthodes de culture superficielle en dénient l'utilité).

Aujourd'hui, le « fumier artificiel » tend à remplacer le fumier naturel : on estime plus économique, dans certains cas, de soumettre la paille à des fermentations méthodiques directes, plutôt que d'obtenir sa transformation en fumier par l'intermédiaire du bétail.

La *sidération*, ou culture de végétaux destinés à être enfouis comme « engrais verts », peut également apporter dans les fermes sans bétail sa contribution aux fumures, mais les risques de sécheresse possible à l'automne en font un procédé trop aléatoire pour qu'il soit sage de tabler sur cette seule ressource comme fumure organique d'une exploitation.

Certains auteurs préconisent des cultures sans fumures (méthode Jean de Bru) (2), et voici qu'on parle maintenant de cultures sans sol. Il existe en effet un procédé « Spaugenberg » qui a pour but de cultiver du maïs et d'autres plantes fourragères dans des armoires ! Il ne s'agit pas là d'une mystification, mais bien d'une pratique basée sur la faculté germinative des graines de maïs, qui, soumises à une température convenable, et arrosées par de l'eau additionnée de substances spéciales, arrivent à pousser d'une quarantaine de centimètres en dix jours ; dix vastes tiroirs de 4 mètres carrés chacun, garnis à tour de rôle de graines de maïs, assureraient ainsi quotidiennement une ration suffisante pour 20 vaches laitières !

Si le cultivateur moderne arrive ainsi à se passer d'engrais et même de sol, il s'efforce également de se passer des climats. Par la jarovisation (1) ou printanisation, le professeur Lyssenko a pu mettre ce procédé en pratique sur des millions d'hectares en Russie : l'hiver artificiel pour les blés d'hiver, l'obscurité pour le maïs, la chaleur pour le coton lui ont permis de provoquer, indépendamment des saisons, les mêmes effets que ceux produits en de longs mois par la nature, et d'obtenir en moins de temps, et avec une précocité accrue, des produits en plus grande quantité, et jouissant en outre de qualités supérieures !

Les progrès du machinisme agricole

Le *génie rural* est sans conteste la branche de l'agronomie qui s'est le plus développée depuis un siècle. Ce terme de « génie rural » est, à vrai dire, un peu vague ; à défaut de synonyme plus précis, il vaut mieux lui préférer les mots « machinisme agricole et équipement rural » qui évoquent deux spécialités différentes de l'art de l'ingénieur appliqué à l'agriculture : *la machine agricole* et *les travaux d'art ruraux*.

Nous ne rappellerons pas ici les raisons impérieuses qui militent en faveur du développement de la machine et de la motorisation en agriculture. Le tableau suivant rassemble quelques chiffres tirés de la dernière statistique terminée en 1929, et concernant quelques machines types.

Années	Semoirs	Faucheuses	Moissonneuses	Faucheuses et râteaux
1862	10 853	9 442	8 907	5 649
1892	52 375	38 753	23 432	51 451
1929	322 119	1 388 695	480 268	738 575

Leur éloquence se passe de commentaires ! Mais, depuis cette dernière enquête, cependant récente, de nouveaux besoins se sont imposés aux cultivateurs. En ce qui concerne notamment la nécessité de protéger les récoltes — dont la rusticité semble diminuer avec la productivité — on assiste depuis quelques années à la création d'un véritable arsenal : houes, pulvérisateurs, poudreuses, décavaillonneuses, essaveuses, échardonneuses, trieurs, décuscuteurs, déplantineuses,

(1) Le *pH* d'une solution chiffre la concentration de cette solution en ions hydrogène libres et mesure en quelque sorte son acidité. (Voir *La Science et la Vie*, n° 248, page 95.)

(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 225, page 234.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 254, page 133.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

séparateurs d'ail sauvage, sont mobilisés pour la destruction des mauvaises herbes dont la rusticité n'a pas été altérée, et dont la productivité bénéficie des soins intensifs et des engrais à haute dose destinés aux plantes cultivées. Ecimeuses, démarieuses, rogneuses, etc., ont été imaginées pour modérer l'essor d'une végétation parfois excessive des récoltes. Bineuses, rigoleuses et « canons d'arrosage » sont utilisés pour lutter contre la sécheresse, alors que les charrues-draineuses et les excavatrices entrent en action pour remédier à l'excès d'eau. Ecrans, foyers et appareils fumigènes sont installés pour préserver des gelées les récoltes trop sensibles au froid. Fusées et canons paragrêles, ballons explosifs et même les avions sont employés pour attaquer les nuages à grêle (1). Pulvérisations et poudrages se succèdent sans arrêt pour limiter les dégâts des maladies cryptogamiques. Cultures de « bons » microbes sont essayées pour entamer la lutte contre les « mauvais microbes ». Pulvérisateurs, poudreuses, ébouillanteuses, pals injecteurs, et même — suivant en cela les progrès de la science de la guerre — lance-flammes et gaz toxiques sont mis en service pour la destruction d'insectes dont on pourrait croire que la nature, pour satisfaire son immuable loi d'équilibre, se plaît à augmenter le nombre et la virulence. Devançant même le perfectionnement du matériel de guerre, la lutte par rayons (ultraviolets) est entrée en action contre certains papillons dangereux.

La statistique de 1929 ne met pas non plus en lumière le développement récent de certaines machines comme les arracheuses, les moissonneuses-batteuses et les machines de motoculture. Les arracheuses de lin, de pommes de terre, mais surtout les arracheuses - décolleteuses - nettoyeuses-chargeuses de betteraves apparaissent — en partie en raison de l'extension des grèves à l'agriculture — d'une nécessité impérieuse.

Les moissonneuses-batteuses ont fait une apparition assez sensationnelle en France il y a quelques années. Très répandues dans les vastes plaines des pays à culture extensive (Amérique, Russie, Afrique du Nord, etc.), ces machines ont été l'objet d'adaptations spéciales pour nos plaines morcelées à culture intensive. Mais il ne semble pas qu'une extension considérable y soit à envisager avant un certain temps, en raison de certaines difficultés particulières, telles que la médiocrité des procédés actuellement en usage pour obtenir la récupération de la paille (dont la valeur n'est pas négligeable chez nous) et l'insuffisance notoire des dispositifs de stockage spéciaux (silos, magasins, etc.) indispensables à la bonne conservation des grains insuffisamment secs à la récolte.

Quant aux tracteurs, après des fluctuations diverses provenant de mauvaises adaptations à nos cultures, ils ont désormait droit de cité dans nos exploitations. On peut évaluer à 40 000 environ le nombre de

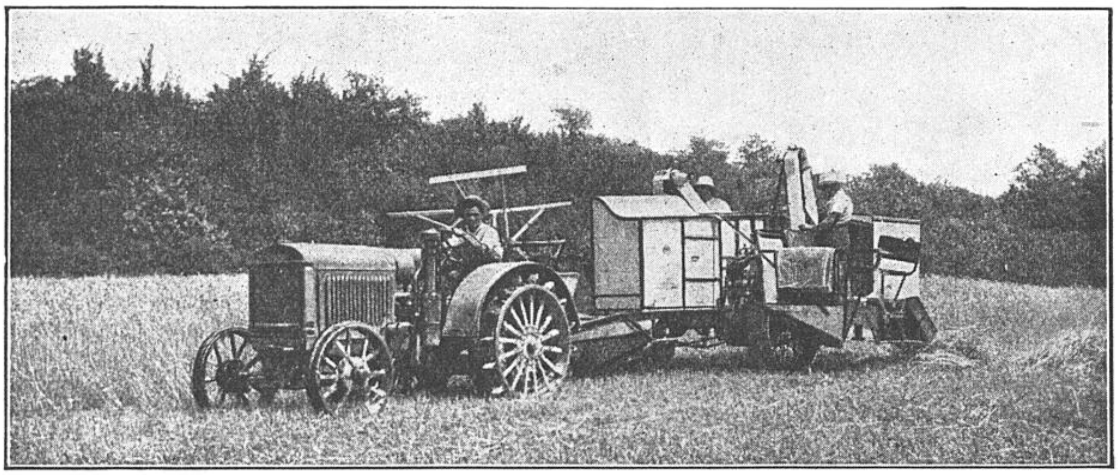


FIG. 3. — MOISSONNEUSE-BATTEUSE AU TRAVAIL

Cette « combine » — tirée par un tracteur, dont le moteur en actionne directement les organes actifs — coupe, bat, expulse la paille et ensache le grain. Deux hommes suffisent à la surveiller et à la régler.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 243, page 101.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

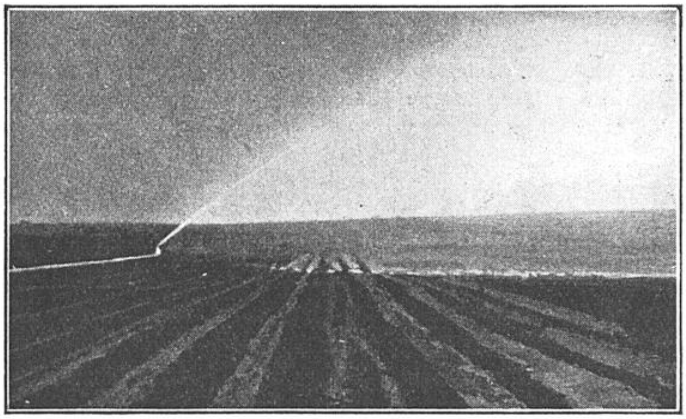


FIG. 4. — CANON D'ARROSAGE EN ACTION

Un groupe motopompe prend l'eau dans une rivière ou un étang placé à un niveau inférieur à celui du champ à arroser, et envoie cette eau, sous forte pression, dans des canalisations volantes se terminant par une puissante « lance » tournant automatiquement — par pression de l'eau — autour d'un axe vertical.

machines actuellement en service. En réalité, ce nombre est très inférieur aux besoins qui se font sentir, mais le tracteur moyen, bien adapté aux cultures métropolitaines et à nos champs morcelés, n'est pas encore au point. D'autre part, les droits fiscaux sur les carburants liquides limitent l'extension que les circonstances économiques actuelles devraient donner à la motoculture ; l'utilisation du gaz de bois, carburant plus rural encore que national, peut et doit résoudre le problème.

Par contre, une nouveauté vient d'apporter sa contribution à l'essor de la motoculture : c'est l'équipement des roues motrices et directrices sur pneus, qui permet au tracteur agricole de circuler à allure accélérée sur route, comme dans les champs, sans avoir à procéder comme autrefois au pénible montage des cornières d'adhérence pour entrer dans les champs et à leur enlèvement pour aller sur route.

La mécanique rurale a bénéficié également des progrès apportés par la métallurgie à la mécanique industrielle. L'introduction des aciers spéciaux dans la construction des machines agricoles s'impose surtout depuis l'avènement de la motoculture. Quand une charrue, par exemple, tirée par des chevaux ou des bœufs rencontre une roche, ceux-ci sentant une résistance anormale s'arrêtent d'eux-mêmes, alors que le régulateur monté sur le moteur du tracteur joue automatiquement en sollicitant du moteur sa puissance maximum.

Dans certains cas, les améliorations réalisées dans la fabrication et l'utilisation des matériaux de machines agricoles devancent même celles réalisées dans le domaine de la mécanique industrielle : ainsi pour conférer aux versoirs de charrue une résistance maximum à l'usure, en même temps qu'une robustesse suffisante, on emploie des aciers *triplex*, composés d'une couche d'acier doux interposée entre deux couches d'acier à haute résistance ; d'autre part, dans le but de diminuer l'*adhésion* ou « collage » de la terre sur les versoirs, on tente actuellement de faire passer un courant électrique qui aurait pour effet de modifier l'état hygroscopique de la terre, et de provoquer ainsi une sorte de lubrification de la surface du métal, empêchant la terre d'adhérer à la roue.

Electricité et eau dans les campagnes

Dans la seconde branche du génie rural, qui comporte l'*équipement rural*, de nombreux progrès ont été également réalisés ces dernières années, notamment dans les domaines de l'*électrification*, de l'*adduction*



FIG. 5. — HACHEUR-ENSILEUR DE FOURRAGE

Cette machine est indispensable pour débiter en petits fragments certains fourrages à longues tiges comme le maïs. Un tapis roulant conduit le fourrage à un disque muni, d'une part, de couteaux sectionnant les tiges, et, d'autre part, de palettes radiales provoquant un courant d'air suffisant pour entraîner le fourrage coupé au sommet d'un silo. Un ouvrier étale ce fourrage à l'intérieur de la tour en couches homogènes pour que la fermentation s'effectue normalement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'eau, des *silos* à grains et à fourrages, et également des *explosifs agricoles*.

Nous ne nous étendrons pas sur l'électrification des campagnes dont tout le monde a suivi l'extension récente.

Les avantages de l'électricité aux champs sont plus discutables : théoriquement parfait, le « labourage électrique » présente certains aléas d'ordre technique et économique — sur lesquels il ne nous est pas possible de nous étendre dans cet exposé d'ordre général — et qui en limitent l'intérêt à quelques cas assez particuliers.

Si l'électrification des campagnes a fait de très gros progrès ces dernières années, il n'en est pas de même des *adductions d'eau*.

Il reste dans ce domaine de très gros efforts à accomplir. Les difficultés sévères auxquelles ont été en butte les cultivateurs pendant les mois de sécheresse qui viennent de s'écouler, soulignent la nécessité de ces améliorations. Le temps n'est plus où l'agriculteur pouvait, sans surcharger exagérément ses frais généraux, gaspiller des heures d'ouvriers et d'attelages en allant, pendant les périodes de sécheresse (coïncidant précisément avec les importants travaux des champs), chercher à la rivière la plus proche l'eau indispensable aux besoins du personnel et des animaux. Aujourd'hui, il lui faut « compter » sur tout, et l'ère de l'économie obligatoire a sonné. Quant à l'utilisation de l'eau noire et croupie des mares, seule ressource de quantité de fermes, il n'est pas besoin d'insister sur ses dangereuses conséquences au point de vue hygiénique : seule, l'adduction d'eau sous pression « comme à la ville » est susceptible de résoudre cet important problème d'ordre à la fois économique et sanitaire.

Le souci d'intensifier la production a conduit également à l'étude des moyens propres à amener de l'eau dans les champs. Indépendamment des procédés classiques d'irrigation, on utilise depuis peu — en Allemagne surtout — des « canons d'arrosage » : des canalisations volantes amènent l'eau sous pression, au moyen de groupes motopompes, à de grosses lances inclinées, appelées « canons d'arrosage », tournant automatiquement autour d'un axe vertical. Un jet d'une cinquantaine de mètres assure ainsi l'arrosage de près d'un hectare pour un même emplacement du « canon ». Ce procédé, appliqué notamment aux prairies situées au voisinage d'étangs, de canaux ou de rivières, permet d'en doubler et même d'en tripler le rendement.

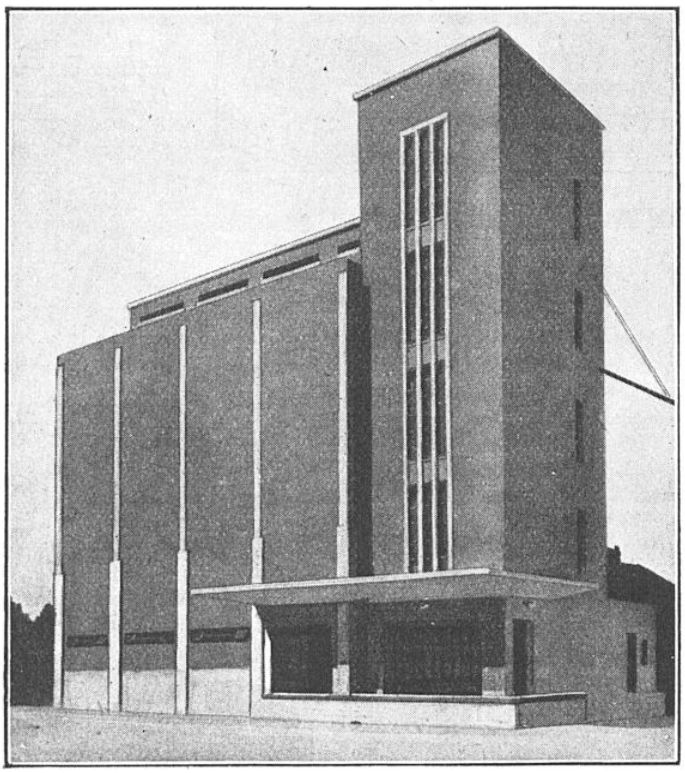


FIG. 6. — SILO POUR LA CONSERVATION DU BLÉ

Les silos à grains sont des magasins présentant des capacités hermétiques dans lesquels sont enfermés les produits à conserver. Il faut surveiller constamment l'état d'humidité et d'échauffement de la masse pour pouvoir éviter les fermentations et les moisissures. En période de mévente, les silos sont précieux, en permettant de stocker le grain dans l'attente de cours meilleurs.

La conservation des récoltes : silos à fourrages, silos à grains

Les *silos à fourrage* jouissent en France, depuis une quinzaine d'années, d'un succès mérité, avec l'apparition des *silos verticaux*, ou « silos-tours ». La pratique de l'ensilage des fourrages verts, déjà ancienne, ne s'était guère développée, car l'emploi des silos-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

meules à air libre, ou des silos horizontaux se traduisait par un important déchet du fait des grandes surfaces exposées à la pluie et à l'air. En outre, le tassement nécessaire du silage — à raison de 200 à 300 kg par mètre carré superficiel — était incommode et coûteux. La conception des silos verticaux changea la face du problème : l'accumulation du fourrage en hauteur diminua l'étendue de la surface exposée à l'air, et, du même coup, l'importance de la couverture et des opérations de tassement. Cette réalisation ne fut possible que grâce à l'emploi de machines élévatrices susceptibles de déverser le contenu des véhicules à la partie supérieure de la tour. On utilisa successivement des élévateurs à tablier sans fin et les appareils à griffes habituellement employés pour l'engrangement des fourrages secs. Mais ces machines ont actuellement cédé la place aux « machines à ensiler », composées en principe d'un hache-fourrage accouplé à une soufflerie envoyant par tuyauteries le fourrage débité en petits morceaux en haut du silo. Ces silos-tours, dont la hauteur peut atteindre 7 à 12 m, se construisent soit en bois, comme de vastes tonneaux, soit en métal, soit en béton armé.

L'ensilage des fourrages verts rend les plus précieux services dans les exploitations à bétail de rente, où la culture de fourrages aqueux, comme la betterave fourragère ou le maïs, ne peut être entreprise pour assurer l'approvisionnement de fourrage frais en hiver.

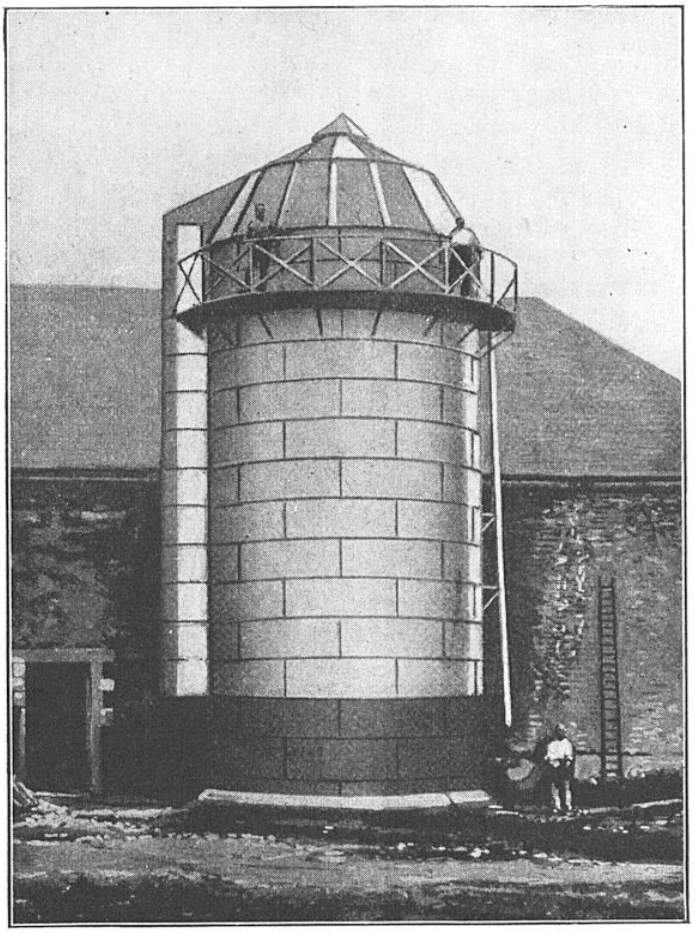


FIG. 7. — SILO POUR LA CONSERVATION DU FOURRAGE

Le fourrage, entassé à l'état « vert » dans ces silos, se transforme en une sorte de choucroute très appréciée du bétail en hiver. La figure ci-dessus représente un silo métallique. On aperçoit à droite un petit tuyau déversant à la partie supérieure de la tour le fourrage haché et « soufflé » par le hacheur-ensileur, comme celui de la figure 5. A gauche, un couloir vertical rassemble à la partie inférieure le fourrage jeté, au moment de son utilisation, par l'une des fenêtres pouvant s'ouvrir sur le couloir.

Les silos à grains, en usage depuis fort longtemps en Amérique, se répandent en France depuis quelques années, à une cadence accélérée, devant les nécessités de stockage et d'organisation des coopératives de vente dues à la surproduction et à la mévente du blé. L'extension éventuelle des moissonneuses-batteuses devra également conduire au développement des silos. Mais un silo à grains n'est pas, comme le silo à fourrage, un simple magasin, où la marchandise entassée n'a plus qu'à attendre le moment de son utilisation : le blé doit y être soumis à une surveillance rigoureuse, pour subir, suivant les circonstances atmosphériques ambiantes, et suivant son état de siccité, des manipulations destinées à l'aérer, le refroidir, puis le sécher. On recherche actuellement les procédés de conservation les plus pratiques, les plus efficaces, en même temps que les plus économiques. Les uns sont fondés sur l'assainissement de l'atmosphère intérieure du silo au moyen de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

souffleries, ou de cheminées d'aération, d'autres sur la conservation dans le vide, d'autres enfin sur la création d'une atmosphère confinée, par production de gaz carbonique résultant de la respiration intracellulaire des grains.

L'extension de cette pratique de l'ensilage, fort souhaitable au point de vue régularisation du cours des marchés, ne se heurte plus aujourd'hui qu'à l'importance des capitaux à immobiliser.

Les explosifs et l'agriculture

Et voici *les explosifs agricoles!* A base de produits nitrés favorables à la végétation, les explosifs agricoles tendent à se répandre pour remplacer avantageusement certains travaux uniquement pratiqués jusqu'ici à la main ou à la machine. L'emploi des explosifs pour l'abatage des arbres, l'extirpage des souches, le dérochage et l'exécution de différents travaux d'art est déjà depuis quelque temps de pratique courante. Mais leur utilisation est nouvelle pour certains travaux plus spécifiquement agricoles tels que la préparation des trous destinés à la plantation d'arbres fruitiers, le « drainage vertical » et même l'exécution de certains travaux aratoires, comme le sous-solage.

A l'économie de main-d'œuvre qui caractérise ce procédé, par rapport aux pratiques ordinaires, vient s'ajouter une augmentation d'efficacité : l'explosif fendille, en effet, le sous-sol, en permettant ainsi aux racines de « piquer » plus profondément et à l'eau de s'écouler à travers la couche imperméable fissurée.

Pour administrer sainement une exploitation agricole

A l'instinct atavique et à l'empirisme ancestral qui servaient de guides au cultivateur d'autrefois, et qu'on retrouve encore chez le paysan d'aujourd'hui, est venue se substituer, chez le chef d'une exploitation intensive moderne, la nécessité de la compréhension et de l'interprétation logique des faits.

Sans s'être plongé dans la connaissance approfondie de toutes les branches de la science agronomique, un chef d'exploitation moderne doit tout au moins posséder des notions générales de géologie, de pédologie, d'agrologie, de météorologie, de génie rural, de chimie agricole, de physiologie végétale et animale, de génétique, de biologie, de parasitologie, etc.

Mais il lui faut, en outre, posséder des qualités spéciales d'*administrateur*, lui permettant de mettre à profit et de « valoriser » ses connaissances techniques.

Administrer sainement une exploitation moderne, c'est savoir choisir, entre les différentes spéculations végétales et animales possibles, celles à qui il faut donner la préférence, en fonction des conditions locales et des circonstances économiques du moment. C'est se pénétrer des obligations de *rationaliser* pour éviter le gaspillage, devenu ruineux, de la main-d'œuvre et des moteurs. C'est connaître la législation, chaque jour plus compliquée (surtout actuellement par les décrets-lois d'économie dirigée, relatifs aux contingentements, déclarations et limitations d'assolements, police sanitaire, appellations d'origine, etc.). C'est s'initier au fonctionnement des syndicats et coopératives d'achat, de stockage et de vente. C'est ne rien ignorer des exigences fiscales (impôts, taxes, congés, dégrèvements de carburants). C'est savoir contracter à bon escient les différentes assurances obligatoires et facultatives (assurance-bétail) et en surveiller les modalités parfois délicates en cas de sinistre. C'est savoir distinguer entre rendement (ou bénéfice apparent) et profit (ou bénéfice brut) en évitant de se laisser séduire par la mystique des récoltes abondantes obtenues à coup d'engrais et souvent génératrices de surproduction et d'avilissement des prix. C'est enfin savoir manier avec prudence et clairvoyance son « capital circulant », pierre d'achoppement de la grande majorité des débutants.

Le manque de clairvoyance au point de vue « trésorerie » condamne l'agriculteur imprévoyant à recourir aux « facilités » offertes par les banques ou le crédit agricole.

Quant à la comptabilité agricole, nous n'en parlerons pas ici : sa complexité et les erreurs qu'entraîne la recherche fantaisiste des prix de revient mériterait de trop longs commentaires et de sévères critiques.

En réfléchissant aux complications de la pratique agricole moderne par rapport à la simplicité des pratiques d'autrefois, à toutes les connaissances que doit posséder un chef d'exploitation intensive, on ne peut s'empêcher de voir là la conséquence de ce que l'on a convenu d'appeler le progrès. S'il est vrai que le bonheur est l'absence de soucis, on en arrive à déduire que la vie semi-contemplative du paysan d'autrefois était plus enviable que celle de l'agriculteur de nos jours, victime, comme bien d'autres, des « bienfaits » de la civilisation.

TONY BALLU.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LA TÉLÉVISION TROUVERA-T-ELLE BIENTOT SA FORME DÉFINITIVE ?

Par Pierre DELAUNAY

Tous les procédés de télévision actuellement en service, à l'essai ou à l'étude dans le monde, reposent sur la décomposition des images en points juxtaposés dont les valeurs lumineuses sont traduites (par des cellules photoélectriques) en grandeurs électriques, elles-mêmes transmises, par câbles spéciaux ou par ondes radioélectriques, jusqu'aux appareils récepteurs. Cette analyse — à l'émission — et cette synthèse — à la réception — qui doivent s'effectuer en étroite concordance à la fois dans l'espace et dans temps (synchronisation rigoureuse), constituent les deux opérations fondamentales de la télévision. De nombreux dispositifs ont été imaginés pour les réaliser. Parmi eux, les appareils électroniques dérivés de l'oscillographe cathodique, apparus il y a quelques années seulement, ont résolu le problème d'une manière particulièrement élégante, sans que cependant les dispositifs mécaniques, aujourd'hui perfectionnés grâce aux progrès de la technique des ultrasons, aient été complètement éliminés. La télévision est aujourd'hui capable de donner des images stables, fines et parfois assez lumineuses pour qu'il soit possible de les projeter sur des écrans de moyennes dimensions ; sans doute, sa technique est-elle appelée à se perfectionner beaucoup au cours des prochaines années ; cependant la qualité des résultats obtenus (notamment en Angleterre) permet d'affirmer qu'elle a maintenant définitivement franchi le stade du laboratoire pour pénétrer dans le domaine des applications pratiques immédiates.

Les cellules photoélectriques

Si l'on étudie, d'une manière tout à fait générale, les procédés actuels de transmission des images, on distingue dès l'abord deux méthodes parallèles : l'une purement électrique, l'autre mécanique ; il existe même des systèmes mixtes qui empruntent un peu à chacune des deux méthodes. Tous les systèmes de télévision actuellement en exploitation ou en expérimentation ont un point commun : la *cellule photoélectrique*, qui constitue l'élément fondamental assurant la conversion de l'énergie lumineuse de l'image à transmettre en énergie électrique.

La cellule photoélectrique est, en somme, à la télévision ce que le microphone est à la radiophonie. De même que la reproduction à distance des sons n'a pu être améliorée qu'à la suite des perfectionnements apportés à la construction des microphones, de même le résultat final de la télévision dépend directement des qualités des cellules.

En premier lieu viennent évidemment la sensibilité et la fidélité, tant en amplitude qu'en fréquence. Actuellement, dans la fabrication des cellules, le sélénium a été abandonné en raison de son inertie trop grande qui l'empêchait de suivre les variations d'intensité lumineuse à la fréquence très élevée (jusqu'à 3 millions de périodes par seconde) qu'exige la haute définition adoptée en télévision. Aussi fait-on appel aujourd'hui aux cellules photoémettrices. On sait qu'entre les cellules du type au sélénium et ces dernières, la différence de principe réside dans le fait qu'au lieu d'utiliser la variation de la résistance électrique d'un corps photosensible (sélénium) sous l'action de la lumière, on récolte sur une anode les électrons émis par une cathode constituée par un dépôt de métal alcalin et sur laquelle tombe la lumière. La cellule photoémettrice comporte donc deux électrodes et peut être, soit vide de gaz, soit remplie d'un gaz rare sous faible pression. Dans le premier cas, son inertie est très réduite, mais sa sensibilité est relativement faible. Dans le deuxième cas, la cellule gagne en sensibilité. Ce gain, cependant, trouve sa contre-partie dans le fait que la cellule entre en quelque sorte en résonance pour certaines longueurs d'onde de la lumière qui la frappe. Ceci constitue un inconvénient sérieux toutes les fois que le sujet n'est pas éclairé en lumière monochromatique. Il disparaît si l'on emploie, au studio par exemple, une lumière monochromatique infrarouge, en même temps qu'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

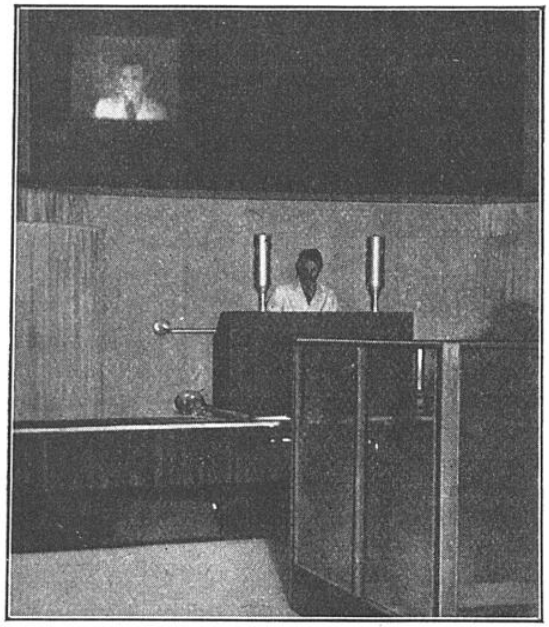


FIG. 1. — EXPLORATION D'UN SUJET PAR DÉPLACEMENT D'UN « SPOT » LUMINEUX ET CELLULES PHOTOÉLECTRIQUES

Il s'agit ici d'un conférencier dont on projette sur un écran l'image amplifiée par les procédés de la télévision (voir aussi figure 12). Le sujet est parcouru par un « spot » lumineux et les cellules, à droite et à gauche, captent la lumière réfléchie.

cellule sensible à ces seules radiations. Cette particularité permet de même, au studio toujours, d'éclairer la scène à téléviser en lumière jaune, si la fréquence favorisée par la cellule est très éloignée de celle correspondant au jaune. Seul, le « spot » d'exploration en lumière convenable pourra donner naissance à un courant dans l'anode. On évitera ainsi de travailler dans l'obscurité ou dans la pénombre.

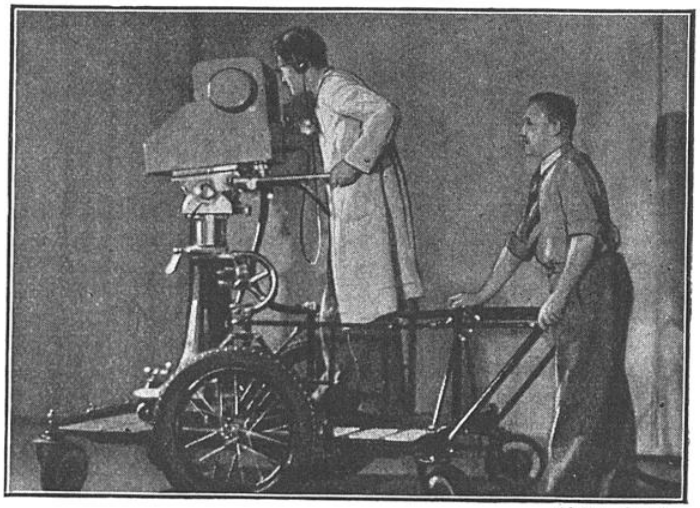
Ces cellules sont employées quand on peut choisir la longueur d'onde de la source d'éclairement et que l'analyse est mécanique. Dans ce cas, le sujet peut être alors éclairé uniformément par la lumière monochromatique, et la lumière réfléchie est transmise à la cellule au travers du système d'analyse. Mais on verra plus loin que la technique actuelle préfère balayer la scène à téléviser par un « spot » lumineux qui en éclaire successivement tous les points. La lumière réfléchie est alors recueillie par une ou plusieurs cellules (fig. 1 et 3).

Les cameras électroniques

Cependant les progrès les plus considérables apportés aux cellules photoélectriques ont été réalisés le jour où la cellule unique a été remplacée par un ensemble de cellules disposées dans un même tube. Toutes ces cellules ont une anode commune, et cette anode ne reçoit que successivement les électrons émis par chaque cellule, l'une après l'autre. C'est le type de camera électronique le plus employé. Presque tous les modèles utilisés, tant en Europe qu'aux Etats-Unis, dérivent soit de l'*iconoscope* de Zworykine, soit du *dissector* de Farnsworth, soit enfin du *télépantoscope* de Castellani.

Dans l'*iconoscope* (fig. 5), l'image se forme sur un écran photosensible portant environ trois millions de globules d'argent, chaque globule étant isolé de ses voisins. Leur support est une plaquette de mica métallisée sur la face opposée. On a donc réalisé ainsi trois millions de petits condensateurs ayant tous une armature commune. La lumière reçue par chaque globule en arrache des électrons et charge ainsi le condensateur élémentaire correspondant. Un faisceau électronique balaye successivement chaque élément, déchargeant l'un après l'autre les condensateurs. Le courant, qui prend naissance dans le circuit auquel est reliée l'armature commune, est proportionnel en amplitude à la charge de chaque élément, donc à l'éclairement qu'il a reçu.

Dans le *dissector* (fig. 6), l'image se forme par des procédés optiques sur une plaque



(Telefunken.)

FIG. 2. — CAMERA ÉLECTRONIQUE MONTÉE SUR CHARIOT

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

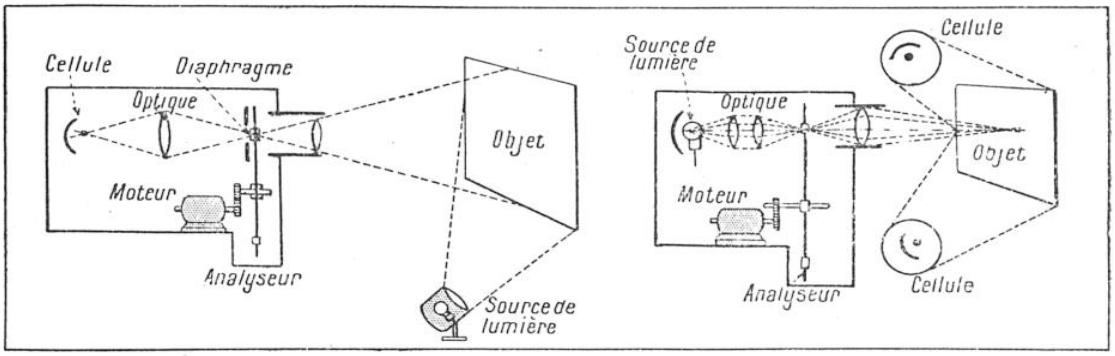


FIG. 3. — SCHÉMAS DE PRINCIPE DE L'ANALYSE DES OBJETS PAR LES SYSTÈMES MÉCANIQUES A GAUCHE, EN LUMIÈRE DIFFUSE ; A DROITE, PAR « SPOT » LUMINEUX MOBILE

transparente photosensible d'argent électrolytique, polie, striée, recouverte d'oxyde de césium et placée devant une anode. Entre les deux électrodes est disposé un écran percé d'un diaphragme. La lumière qui tombe en un point de la plaque provoque l'émission d'électrons libres en quantité d'autant plus grande que l'éclairement en ce point est plus intense. Un champ magnétique variable est créé extérieurement au tube ; il communique aux électrons un mouvement qui n'est plus dirigé constamment suivant une direction parallèle à la génératrice du tube. Ils sont déviés de telle manière que les trajectoires correspondant aux différents points de la plaque photosensible passent successivement par le diaphragme. Il en résulte un courant anodique variable suivant les éclairements.

Le *télépantoscope* se rapproche de l'iconoscope en ce qu'il utilise une mosaïque photosensible disposée sur une plaque de verre de très faible épaisseur. L'image à transmettre tombe sur la mosaïque qui se charge, et un faisceau cathodique balaie sa surface. Un tambour à miroirs tournant à faible vitesse décompose l'image en une série de lignes qui passent successivement sur la mosaïque.

Les cameras employées en 1938 dans les différentes stations émettrices de télévision comportent des améliorations notables sur ces types initiaux. Ces améliorations amenuisent peu à peu les différences entre un type et l'autre. On tend ainsi vers un type unique, avec cependant de légères variantes. Par exemple, les cameras des trois types comportent actuellement des lentilles électroniques qui permettent de dimensionner exactement le faisceau sur la surface d'un élément photosensible. Cette « mise au foyer » de l'image donne à celle-ci une finesse bien supérieure.

L'iconoscope présentait également à l'origine un défaut dû à l'inclinaison de la mosaïque sur l'axe du faisceau cathodique. L'iconoscope actuel comporte une cathode photoélectrique semi-transparente. Les électrons qu'elle émet sont « mis au foyer » sur une seconde mosaïque parallèle qui émet à son tour des électrons secondaires. C'est cette mosaïque qui est explorée par l'arrière. L'emploi d'une deuxième mosaïque donne un gain notable de sensibilité, augmenté encore grâce à l'emploi d'amplificateurs électroniques (multiplicateurs d'électrons).

Les amplificateurs électroniques

L'amplification électronique utilise le phénomène de l'émission secondaire répété autant de fois que possible (1). On arrive ainsi à des coefficients d'amplification voisins du million (fig. 7).

Les électrons émis par la cathode sont captés par l'anode ; à chaque point d'impact d'un électron de nouveaux électrons sont libérés et dirigés sur un deuxième élément, et ainsi de suite jusqu'à l'électrode finale.

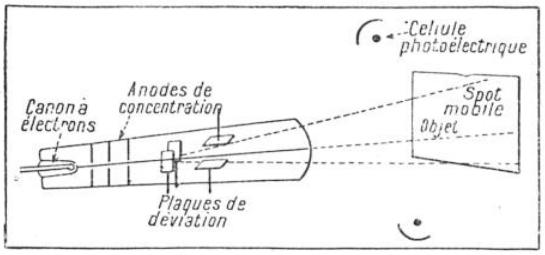


FIG. 4. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE L'ANALYSE DES OBJETS PAR « SPOT « CATHODIQUE

Le faisceau cathodique balaie l'écran à l'extrémité du tube. Le « spot » luminescent est suffisamment intense pour pouvoir être projeté sur l'objet à téléviser dont il explore les diverses lignes.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 240, page 431.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

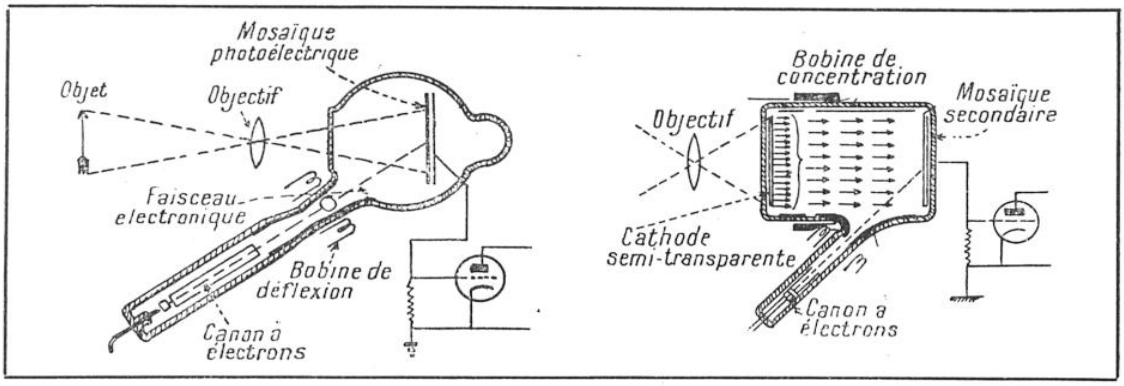


FIG. 5. — L'« ÉMITRON » (UTILISÉ EN ANGLETERRE) ET SA FORME PERFECTIONNÉE

A gauche, l' « émitron » est construit sur le modèle de l'iconoscope original. A droite, l'image se forme sur une cathode semi-transparente qui donne naissance à une émission d'électrons secondaires. Ces derniers sont concentrés sur la mosaïque qu'explore le faisceau électronique.

Les électrodes sont recouvertes de matières capables de libérer le plus grand nombre possible d'électrons secondaires. On emploie maintenant le calcium, le rubidium, ou le césium, sur des électrodes d'argent oxydé.

Les tensions positives croissantes à chaque étage donnent aux électrons libérés l'accélération nécessaire, et c'est la tension terminale qui limite actuellement le nombre de cellules en cascade.

Les caméras ainsi équipées présentent un rendement quinze fois supérieur aux modèles initiaux ; grâce à elles on peut procéder à des prises de vues extérieures avec des systèmes optiques analogues à ceux employés en cinéma, et obtenir une image d'une finesse et d'un « fouillé » tout à fait satisfaisants.

Les procédés modernes d'exploration mécanique

Les procédés d'analyse par les rayons cathodiques n'ont pas amené, malgré leur généralisation, la disparition des systèmes mécaniques d'exploration. La Reichspost a présenté à l'Exposition de Paris 1937 une réalisation de son « visiotéléphone » dont la description a été faite ici même (1) et dont le dispositif est entièrement mécanique. D'autre part, les miroirs tournants sont utilisés en Angleterre, et les résultats sont comparables en qualité à ceux des meilleurs systèmes cathodiques.

L'exploration est faite, dans ce cas, par déplacement du « spot » sur le sujet (fig. 3). Les miroirs ont pour fonction de parcourir le sujet, l'un verticalement, l'autre horizontalement, décomposant ainsi l'image dans ses deux dimensions.

Un autre système d'analyse est utilisé par la *British Broadcasting Company* (Angleterre). Le déplacement du « spot » est obtenu au moyen des ultrasons.

Pour cela, le faisceau explorateur est

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 246, page 474.

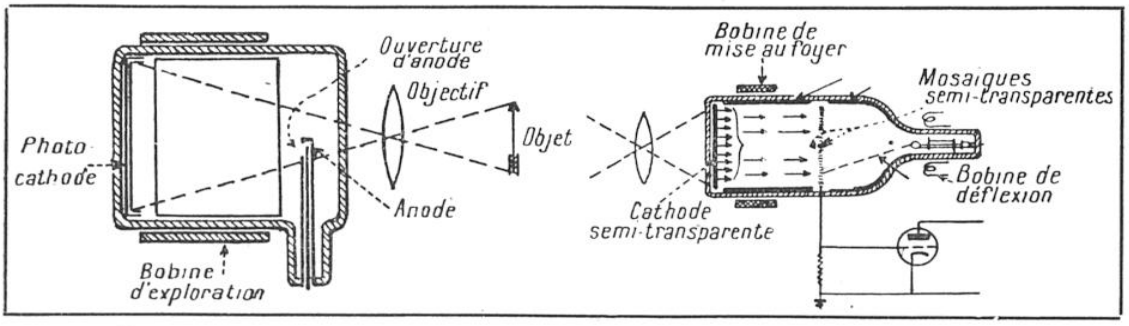


FIG. 6. — DISSECTOR DE FARNSWORTH ET CAMERA ÉLECTRONIQUE PERFECTIONNÉE

A gauche, chaque point de l'image électronique défile successivement devant l'anode. A droite, l'image est formée sur une cathode semi-transparente ; les électrons émis sont concentrés sur une première mosaïque qui forme armature de condensateur, l'autre armature étant constituée par une autre mosaïque qu'explore le faisceau électronique issu de l'autre extrémité de la camera électronique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

conduit au travers d'un corps mis en vibrations au moyen d'un quartz piézo-électrique auquel on applique des oscillations électriques de fréquence correspondant, pour la cellule (1) de lignes, à la fréquence des points le long de la ligne et, pour la cellule d'images, au nombre de lignes par image.

La vibration fait naître dans la cellule des ondes de compression et de dilatation qui réfractent le faisceau lumineux. Plus la compression est intense et plus la déviation du faisceau lumineux est forte. L'emploi d'un diaphragme est nécessaire pour n'utiliser que l'action d'une seule onde à la fois. Mais rien n'empêche de disposer les diaphragmes devant plusieurs points de la course de l'onde ultrasonore. De cette façon, il y aura plusieurs points de l'objet analysés simultanément, ce qui se traduit, en définitive, par une augmentation de lumière.

Ce procédé d'exploration présente sur le système cathodique des avantages certains. Le rendement lumineux est sensiblement plus élevé, les tensions mises en jeu sont plus faibles, et enfin le déplacement du « spot » est beaucoup plus régulier.

Les deux procédés ont leurs partisans et il serait aventureux de prédire actuellement lequel des deux l'emportera.

Comment est réalisée la synchronisation entre l'émetteur et les récepteurs

Le déplacement du « spot » sur l'objet se fait à vitesse constante, et la quantité de lumière reçue sur la cellule photoélectrique est fonction de celle que réfléchit le sujet.

(1) Il s'agit ici de la cellule où sont engendrés les ultrasons, qu'il ne faut pas confondre avec la cellule photoélectrique dont il est question plus loin.

La nécessité de reproduire ce « spot » à la réception, en lui conservant sa place sur l'image et sa valeur lumineuse, implique la marche en synchronisme rigoureux des récepteurs et de l'émetteur. La synchronisation des déplacements est obtenue, d'une manière générale, par l'envoi d'un signal supplémentaire en fin de ligne et d'un deuxième signal de même caractère en fin d'image. Quant à l'intensité lumineuse, puisque le déplacement du « spot » le long d'une ligne s'effectue à vitesse constante, on l'obtiendra en pratique en faisant varier l'intensité de la source (optique ou électronique). On la modulera dans ce but par les variations d'intensité du signal reçu.

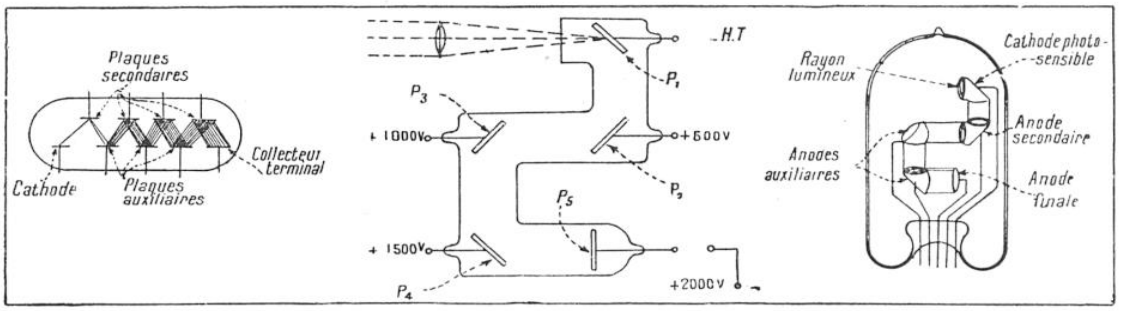


FIG. 7. — MODÈLES DIVERS DE MULTIPLICATEURS D'ÉLECTRONS

A gauche, premier modèle de multiplicateur ; chaque électron libère, lorsqu'il tombe sur une anode auxiliaire, un certain nombre d'électrons secondaires. Le flux électronique va en s'amplifiant et est collecté par l'anode de sortie. Au centre, coupe et, à droite, réalisation d'un multiplicateur à haut rendement.

Il existe cependant un procédé qui, s'il a été mis au point au laboratoire, n'a pas fait encore ses preuves en service régulier ; c'est celui dans lequel le « spot » se déplace à *vitesse variable* (1). De ce fait, la synchronisation et la modulation sont obtenues par le même signal qui règle seulement la vitesse de déplacement d'un « spot » d'intensité invariable.

Dans les systèmes de télévision actuellement en service, chaque fois que c'est le même secteur électrique de distribution (ou deux secteurs interconnectés) qui alimente l'installation d'émission et celle de réception, sa fréquence (s'il est alternatif) est utilisée, soit pour commander les circuits d'analyse, dans le cas de réception cathodique, soit pour entraîner des moteurs synchrones dans le cas d'analyseurs mécaniques.

Pour réaliser le « balayage » d'une ligne, c'est-à-dire le déplacement du « spot » le long de cette ligne, la tension appliquée à la

(1) Ce procédé mécanique étudié en Angleterre est d'origine française (brevet Loiseau).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

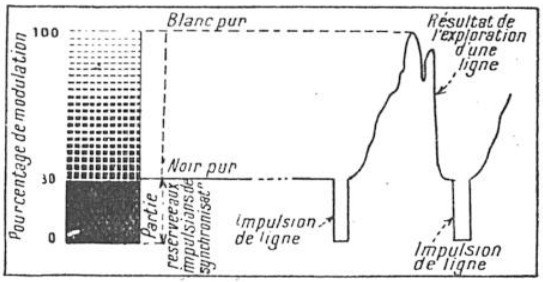


FIG. 8. — SCHÉMA MONTRANT LA FORME DES SIGNAUX DE TÉLÉVISION QUI MODULENT L'ONDE PORTEUSE DES RADIOÉMETTEURS, EN LIAISON AVEC L'INTENSITÉ LUMINEUSE DES DIVERS POINTS DE L'OBJET

Toute la partie inférieure du « signal » marquée en noir (jusqu'à 30 % de la modulation) est réservée aux signaux nécessaires à la synchronisation.

camera (si on prend le cas particulier d'une exploration électronique), croît régulièrement jusqu'au moment où, à la fin de la ligne, elle retombe à zéro.

C'est à ce « temps zéro » que le signal de synchronisation déplace le champ de commande du « spot » d'une ligne (dans le cas de lignes jointives). Quand toutes les lignes ont été explorées, le signal de fin de la dernière ligne aura pour rôle de remonter le « spot » de l'extrémité droite de la dernière ligne inférieure à l'extrémité gauche de la première ligne supérieure.

On sait que l'exploration par lignes juxtaposées a fait place aujourd'hui à l'exploration par lignes « entrelacées » ; c'est donc un espacement de deux lignes que franchira le « spot » à chaque fin de ligne, et c'est deux fois par image que le « spot » reviendra de bas en haut, pour explorer les lignes laissées de côté lors de l'exploration précédente.

Ce procédé a pour but de doubler, en quelque sorte, le nombre des images explorées dans le même temps, sans cependant augmenter la fréquence de modulation.

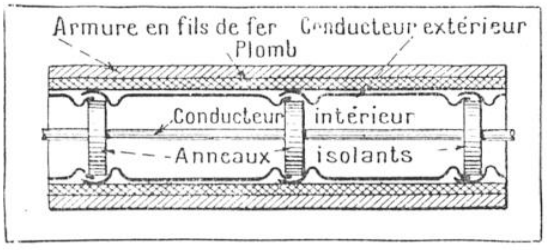


FIG. 9. — COUPE SCHÉMATIQUE D'UN CABLE COAXIAL POUR LA TRANSMISSION DES COURANTS DE TRÈS HAUTE FRÉQUENCE, TELS QUE LES COURANTS UTILISÉS EN TÉLÉVISION

Le scintillement, que l'on peut encore observer avec 25 images par seconde, disparaît avec 50 demi-images. Le « spot » n'étant jamais rigoureusement ponctuel, et sa dimension débordant sur l'épaisseur théorique d'une ligne, la sensation optique est comparable, pour chaque demi-image, à celle que laisse une image entière et, de ce fait, l'impression de stabilité des images est bien



FIG. 10. — UN RÉCEPTEUR MODERNE

L'ensemble de ses commandes n'est pas plus complexe que celles d'un récepteur de radiophonie, avec lequel il est fréquemment combiné. On peut se rendre compte, sur ce cliché non retouché, de la finesse de la trame de l'image reçue.

plus grande avec 50 demi-images par seconde qu'avec 25 images dans le même temps.

Les « standards »

La détermination du nombre de lignes par image, d'images par seconde, le rapport des dimensions de l'image, le pourcentage de la modulation, la durée et la position du signal de synchronisation, la polarité de la modulation ont été standardisés dans chaque pays.

La France a adopté 455 lignes alors que l'Amérique, l'Angleterre et l'Allemagne ont fixé ce chiffre à 441.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les Américains disposent de secteurs d'alimentation en courant alternatif d'une fréquence de 60 périodes/seconde, ce qui les a amenés à adopter 60 demi-images entrelacées par seconde pour obtenir 30 images complètes. En Europe, on s'est limité à 25 images complètes, soit 50 demi-images parce que la fréquence du courant industriel y est de 50 périodes par seconde. Le rapport de la hauteur d'image sur la longueur est 4/3 en Amérique, Angleterre et Allemagne, alors qu'en France, il est de 5/4.

La largeur de la bande transmise n'est que de 4 mégacycles en Angleterre, 5 en France, 6 aux Etats-Unis et en Allemagne. L'Italie a généralement adopté la standardisation allemande. Dans le cas de la radiotélévision, l'onde porteuse des images est séparée de celle du son par une bande assez large pour éviter le mélange (3,25 mégacycles aux Etats-Unis et 4 mégacycles en Europe).

C'est la fréquence porteuse la plus élevée qui est assignée à la vision, sa bande étant la plus large.

En France, nous avons adopté la fréquence porteuse de 46 mégacycles ; aux Etats-Unis, 42 ; en Grande-Bretagne, 41.

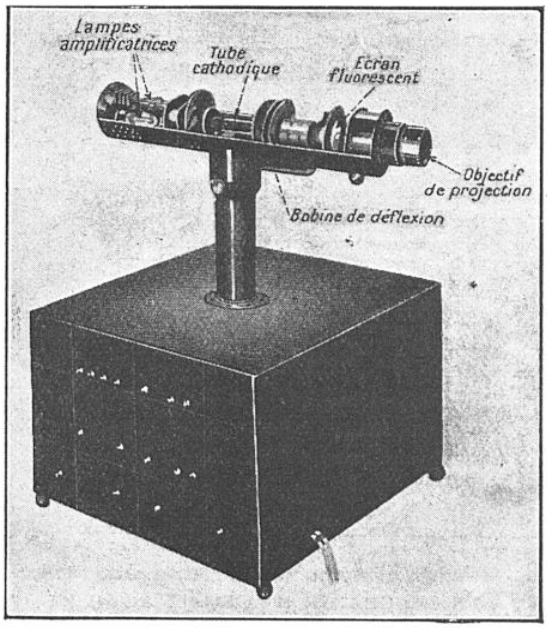


FIG. 11. — RÉCEPTEUR-PROJECTEUR D'IMAGES TÉLÉVISÉES « KINESCOPE »

Ce récepteur est du type cathodique et utilise des tensions de l'ordre de 20 000 volts. L'intensité lumineuse de l'image formée sur l'écran fluorescent est suffisante pour permettre de la projeter sur un écran de 2 m sur 3 m.

Câbles coaxiaux et émetteurs de radiotélévision

La fréquence très élevée de l'onde porteuse et la largeur de la bande de modulation (jusqu'à 6 millions de cycles) soulèvent des problèmes ardus pour l'amplification et la transmission par câble ou par radio.

Les lignes téléphoniques utilisées en télévision ne peuvent être du type ordinaire, aérien ou souterrain multipaire. En effet, les constantes de ces câbles s'opposent au passage de telles fréquences. On a donc créé des câbles spéciaux dits coaxiaux, constitués par un conducteur cylindrique à l'intérieur duquel passe un second conducteur isolé du premier et maintenu en place par des pièces isolantes spéciales. Entre les deux conducteurs, on maintient constant le degré hygrométrique, en assurant une circulation de gaz sec, azote en particulier. Le tout est enfermé dans une gaine de métal bon conducteur, afin d'éviter l'action des champs électriques externes, et aussi l'action des courants, circulant dans le câble proprement dit, sur d'autres circuits voisins (fig. 9).

Dans le cas d'une transmission par ondes radioélectriques, l'appareil de prise de vue n'étant jamais proche de l'émetteur, on a recours au même procédé au départ, mais, à l'arrivée, le courant est appliqué à la modulation de l'onde porteuse choisie.

Quant aux tubes d'émission employés dans les stations de télévision, ils diffèrent sensiblement de ceux utilisés pour la radiotéléphonie, ceci toujours pour la même raison : largeur de la bande passante (1).

Les systèmes rayonnants diffèrent également des antennes ordinaires, non seulement parce que la fréquence de l'onde porteuse est très élevée, mais aussi parce que l'on s'efforce d'obtenir une distribution particulière de l'énergie rayonnée dans l'espace.

Le télécinéma

Le problème du télécinéma est moins complexe que celui de la prise de vue directe, et on avait cru voir, à l'origine, dans cette simplification, un moyen aisé de réaliser la télévision. La scène à téléviser était d'abord filmée ; la pellicule était révélée, lavée et fixée, au fur et à mesure qu'elle était impressionnée, puis elle passait à l'analyseur qui l'explorait ligne par ligne. La durée de ces opérations avait pu être

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 255, page 177.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

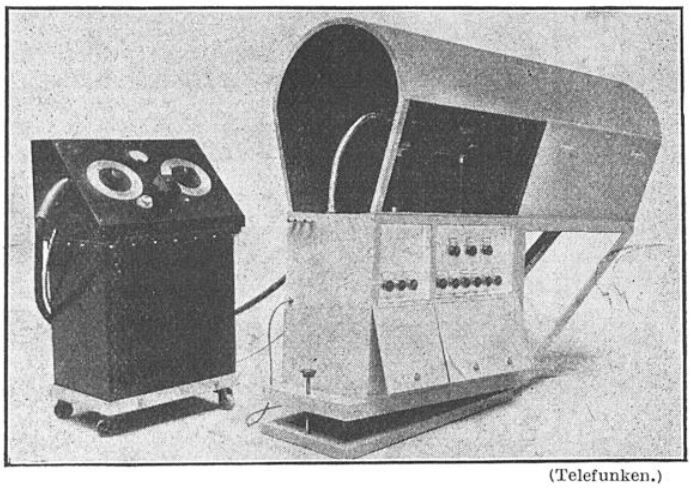
abaissée jusqu'à 3 secondes seulement.

Cependant, malgré son apparente simplicité, ce procédé, qui a connu une grande vogue il y a deux ans, est abandonné.

Si l'analyse d'un film est aisée, c'est qu'elle se réduit à l'exploration d'une ligne, la pellicule se déplaçant verticalement et présentant successivement une série de lignes horizontales au « spot » d'analyse.

L'image est éclairée en transparence, lue par une cellule photoélectrique qui peut n'être pas très sensible, en raison de la puissance de la source lumineuse dont on dispose et des contrastes très prononcés du film.

Le système d'analyse, réduit au balayage horizontal, est aujourd'hui souvent mécanique (le disque de Nipkow est encore employé pour cet usage), ou électronique, tel le télépantoscope de Castellani. La transmission gagne en définition, en oppositions et fouillé de l'image ; mais chez les usagers, pourtant en nombre restreint, de la télévision, on considère le télécinéma au même titre que le disque en radiodiffusion.



(Telefunken.)

FIG. 12. — RÉCEPTEUR-PROJECTEUR DE TÉLÉVISION DONNANT DES IMAGES DE 2 M SUR 1 M 50 ET UTILISÉ EN ALLEMAGNE DANS LES CONFÉRENCES PUBLIQUES

Les récepteurs

Un récepteur de télévision comprend essentiellement : un amplificateur haute fréquence qui comporte généralement un dispositif superhétérodyne, un circuit séparateur des signaux de synchronisation, un circuit dit de base de temps qui commande le déplacement horizontal électronique ou mécanique du « spot »; un deuxième circuit de base de temps qui commande le déplacement vertical électronique ou mécanique du « spot »; enfin, un élément, tube cathodique ou modulateur de lumière, qui donne au « spot » l'intensité variable.

Nous nous retrouvons en présence des deux procédés d'analyse qui deviennent deux procédés de synthèse des images : mécanique ou électronique.

Les deux systèmes ont leurs avantages respectifs et nul ne peut prévoir aujourd'hui lequel des deux l'emportera sur l'autre.

Actuellement le tube cathodique est le plus employé ; il offre l'avantage d'assurer la modulation du « spot » et son déplacement, de n'opposer qu'une inertie minimum à la fréquence de synthèse. Il présente l'inconvénient d'être onéreux et fragile, de nécessiter des sources d'alimentation de tensions d'autant plus élevées que l'image à obtenir est de dimensions plus grandes.

Quant aux systèmes mécaniques actuels, ils ont l'inconvénient inhérent à toute mécanique : complexité et déréglage. De plus, les combinaisons optiques auxquelles il est fait appel sont d'une mise au point qu'un spécialiste seul peut assurer à la fabrication (non à l'emploi). Par contre, les sources d'énergie sont moins importantes et l'image obtenue est de dimensions beaucoup plus grandes que celles obtenues avec les images cathodiques.

La synthèse d'image dans un récepteur cathodique n'a guère varié pendant ces dernières années. La figure 4, qui se rapporte à l'exploration, en indique assez bien le principe général. Le faisceau cathodique, modulé *en intensité* suivant les fluctuations du signal reçu, frappe à l'extrémité du tube un écran fluorescent. Ces écrans ont gagné beaucoup en sensibilité ces derniers temps ; des tons sépias ou noirs ont été obtenus, évitant ainsi la teinte verte ou bleue qui, pour être plus actinique, est plutôt désagréable à l'œil. Une meilleure concentration du « spot » permet un gain sensible dans les contrastes, le « fouillé » de l'image, et l'apparition de demi-teintes.

Dans les récepteurs commerciaux, on agrandit l'image à l'aide de loupes et de miroirs. De plus, on produit industriellement des tubes dont l'écran fluorescent mesure 60 cm de diamètre. En dehors de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leur prix très élevé, ces tubes présentent l'inconvénient d'exiger des tensions continues très élevées (12 000 à 20 000 volts).

Les procédés mécaniques de synthèse sont réduits à deux : le « Mihaly » et le « Scophony ».

Le premier utilise des oscillographes à fil de quartz, susceptibles de répondre aux fréquences élevées de la télévision. La modulation de la lumière est obtenue comme dans le procédé suivant par l'emploi d'une cellule ultrasonore.

Le deuxième procédé utilise, comme pour la prise de vue, des tambours à miroirs tournant à des vitesses correspondant, pour l'un, à la fréquence de ligne et, pour l'autre, à la fréquence d'image ; la modulation est obtenue par une cellule ultrasonore.

On voit, d'après ce qui précède, que cette cellule peut être utilisée soit comme déflectrice du « spot », soit comme modulatrice de l'intensité du rayon lumineux.

La télévision sur grand écran

L'un des inconvénients majeurs des récepteurs de télévision actuels est la petitesse des images reçues. Cependant, dans le procédé cathodique, si l'on accélère les électrons au moyen d'une tension très élevée (en faisant appel également à des tensions de déflexion proportionnées), on obtient des « spots » luminescents très brillants qui peuvent être projetés sur un écran et y reconstituer des images.

Il existe plusieurs modèles de ces tubes, dus à Zworykine, en Amérique, à la Telefunken, en Allemagne, et à Baird, en Angleterre. L'image obtenue avec ces derniers peut atteindre 2 m sur 3 m. Cependant l'éclairement sur l'écran est assez faible.

La définition de l'image est elle-même inférieure à celle du cinéma actuel, quoique, à la distance qui sépare l'écran des assistants, la trame de la projection de télévision soit largement satisfaisante. Des essais poursuivis dans les laboratoires de la *Bell Telephone Cy* ont montré que l'image gagnerait plus par l'augmentation de la lumière que par l'augmentation de la finesse de trame.

Quant au projecteur mécanique d'images dû à la Scophony (anglaise), il repose exactement sur le même principe que le récepteur courant ; seuls les différents organes et la source d'alimentation sont dimensionnés en proportion. Il semble plus avantageux que le projecteur électronique, du fait que la cellule ultrasonore permet l'analyse simultanée de 84 points, d'où un rendement lumineux sensiblement amélioré.

L'avenir de la télévision

La télévision, sous sa forme actuelle, et avec les moyens dont la technique moderne l'a dotée, est susceptible de devenir une véritable industrie subsistant par ses propres moyens.

Mais elle devra toujours compter, d'une part, avec la radio, d'autre part, avec le cinéma.

Sa collaboration avec ce dernier apparaît nécessaire, non seulement pour la composition des programmes, mais pour assurer un rendement rémunérateur à l'exploitation de la télévision. Déjà en Angleterre, en Allemagne, des salles de projection sont ouvertes au public. Des actualités y sont données minute par minute, ce que le film ordinaire ne peut permettre. C'est dans cette voie que la télévision trouvera peut-être son utilisation future, plutôt que dans les émissions à l'intention des particuliers.

Pour être complet, signalons que le problème de la projection en couleurs, et en relief, est aisé à résoudre. Il a reçu des solutions sur lesquelles nous aurons l'occasion de revenir.

Mais la télévision se prête à bien d'autres applications : la défense nationale, la médecine, la police, la recherche scientifique ont déjà trouvé en elle un auxiliaire précieux. La nuit, des cibles éclairées par de puissants projecteurs, en « lumière noire », sont détectables et rendues visibles grâce à la télévision. Tous les dispositifs d'« éclairage » des flottes de combat, les observatoires terrestres, et les avions d'observation pourront transmettre soit au vaisseau-amiral, soit aux postes centraux des Etats-Majors, les photographies de leurs secteurs d'observation. En médecine, pour les examens aux rayons X, des cellules photoélectriques spécialement étudiées pourront soustraire le praticien à l'action nocive de ces rayons, l'étude pouvant être poursuivie à telle profondeur que l'exploration nécessite, ce qui permettra de déceler des particularités que les écrans ordinaires ne peuvent révéler.

Ainsi, la télévision peut être considérée, d'ores et déjà, comme sortie du laboratoire. L'industrie l'a adoptée ou l'adoptera bientôt, et ses applications multiples dans ce domaine pourront, peut-être du jour au lendemain, lui donner les mêmes moyens financiers de perfectionnement grâce auxquels l'aviation, la radio, l'automobile, le cinéma ont atteint le haut degré de perfection technique que nous connaissons aujourd'hui.

PIERRE DELAUNAY.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

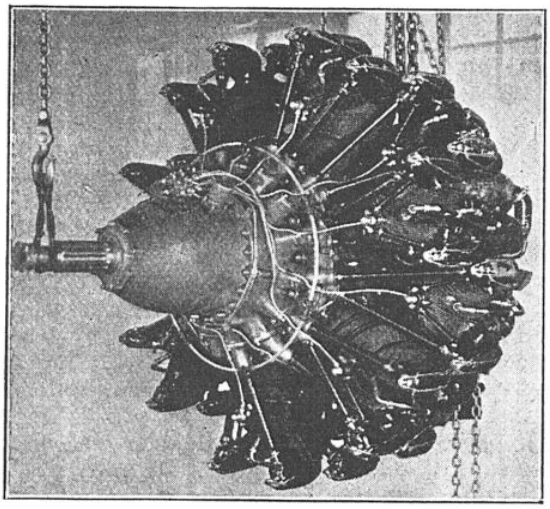
LE MOTEUR D'AVION A REFROIDISSEMENT PAR AIR AU SALON DE L'AVIATION

Le constructeur d'avions a d'abord exigé de son fournisseur de moteurs de lui fournir des engins dont le poids spécifique (nombre de kg au ch) fût de plus en plus réduit, et l'on sait les remarquables progrès dans ce domaine. Le refroidissement direct des cylindres par l'air a notamment apporté à ce problème une heureuse solution, grâce à la suppression du radiateur à liquide. Mais la recherche des grandes vitesses et d'une capacité de transport toujours accrue nécessite aujourd'hui des moteurs de plus en plus puissants. Cette condition apparaissait, naguère encore, quelque peu contradictoire avec les exigences de l'aérodynamisme (1), car elle impliquait un accroissement des dimensions du moteur. En ce qui concerne les moteurs en étoile, on fut évidemment conduit à augmenter le nombre de cylindres, car le problème du refroidissement impose une limite maximum à la puissance par cylindre.

Déjà, au Salon de 1936, ont été présentés par *Gnome et Rhône* les premiers moteurs sur lesquels la recherche du minimum d'encombrement était très poussée. On pouvait y voir, en effet, un moteur de 725 ch et de 0,96 m de diamètre. Cette réduction de surface frontale ne pouvait être conciliée avec un grand nombre de cylindres qu'à la condition de disposer, l'une derrière l'autre, deux étoiles de cylindres, les cylindres de l'étoile postérieure étant situés au droit de l'espace séparant ceux de l'étoile antérieure, afin que l'air de refroidissement conserve sa pleine action sur tous les cylindres. Nous avons signalé, à l'occasion du Salon 1936, les trois moteurs « Gnome et Rhône » de ce genre : le « K-14 » (deux étoiles de 7 cylindres), le « 14-N » (également à 14 cylindres) et le « 18-L » (deux étoiles de 9 cylindres), d'une puissance de 1 400 ch pour un diamètre de 1,40 m seulement.

Voici maintenant les nouveaux moteurs 1938 :

Le *moteur « 14-M »* à 14 cylindres en double étoile à refroidissement par air et à compresseur. (On sait que l'usage du compresseur se généralise en vue de permettre le vol aux hautes altitudes.) Sa cylindrée totale est de 18,98 litres, chaque cylindre mesurant 112 mm d'alésage et 116 mm de course. Le taux de compression est de 6,5 et le régime de rotation normal de 3 030 tours/mn. La puissance de ce moteur atteint 660 ch à 4 000 m d'altitude, 700 ch au décollage. Le moteur pesant 419 kg, le poids par ch ressort à 0,63 kg. Mais ce moteur se caractérise essentiellement par sa cylindrée et son encombrement réduits, puisque *son diamètre n'excède pas 0,960 m.*



VUE DE TROIS QUARTS DU MOTEUR « 14 N 21 » MONTRANT LES DEUX ÉTOILES DE 7 CYLINDRES

Puissance : 1 030 ch ; diamètre : 1,29 m.

Le *moteur « 14-N-21 »*, également à 14 cylindres en double étoile à refroidissement par air et à compresseur. Les caractéristiques sont : alésage, 146 mm ; course, 165 mm ; cylindrée, 38,67 litres ; compression, 6,8 ; régime, 2 400 tours/mn ; puissances, 1 030 ch à 4 000 m d'altitude et 1 100 ch au décollage ; poids du moteur, 633 kg, soit 0,61 kg par ch à 4 000 m. Son *diamètre n'est que de 1,29 m.* Ce moteur, d'une formule évoluée du type « 14-N », complète, avec la puissance 1 030 ch à 4 000 m, la gamme des puissances et altitudes autorisée par cette série « 14-N ».

Toujours chez Gnome et Rhône, nous retrouvons l'*hélice à pas variable à commande mécanique*, actuellement construite en série et équipant la majorité des moteurs livrés par Gnome et Rhône. Le changement de pas est assuré par le moteur lui-même. La rotation peut être positive ou négative jusqu'à la mise en drapeau des pales, si nécessaire. Les variations de pas — toutes positions — sont commandées par le pilote.

Enfin, signalons le *démarreur positif Gnome et Rhône* électrique, construit en série, placé à l'arrière du moteur et permettant le brassage et le démarrage par l'entraînement *direct* du vilebrequin à l'aide d'un moteur électrique. De judicieux dispositifs de sécurité, dont un limiteur de couple, éliminent toute possibilité d'effort anormal au démarrage. Avec démarreur, la mise en marche du plus gros moteur d'aviation s'effectue, *comme pour l'automobile*, par simple pression du pilote sur un bouton placé sur la planche de bord. Fonctionnant sur la seule batterie d'accumulateurs normale de T. S. F. et d'éclairage, le démarreur Gnome et Rhône n'apporte aucune servitude nouvelle dans l'équipement de l'avion. Si, pour une raison fortuite, le démarrage électrique est impossible, le même démarreur peut être actionné à la main par une manivelle amovible d'un poids très réduit.

(1) On sait que, pour diminuer la « traînée », ou résistance à l'avancement dans l'air des moteurs à refroidissement direct, on les munit de capots spéciaux. Ces capots, adoptés il y a une dizaine d'années en Amérique par le N. A. C. A. *(National Advisory Committee for Aeronautics)*, ont permis à ces moteurs de soutenir la concurrence avec les moteurs à refroidissement par liquide. En outre, les capotages spéciaux assurent, en même temps que l'aérodynamisme, la circulation de l'air frais autour de tous les cylindres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LES A COTÉ DE LA SCIENCE

INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

Par V. RUBOR

Production et applications de la « lumière noire »

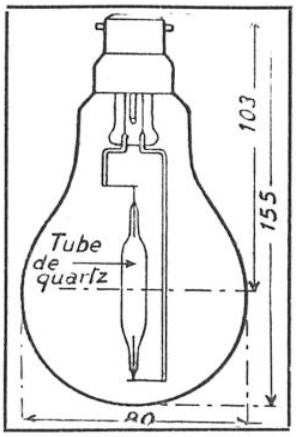
Les radiations électromagnétiques, dont la conception est due aux travaux de physique mathématique de l'Anglais Maxwell et qui ont été mises en évidence par l'Allemand Hertz, couvrent une gamme de longueurs d'onde qui s'étend de plusieurs kilomètres (T. S. F.) jusqu'à 1/10 angström pour les rayons gamma. (L'angström vaut 1 dix-millionième de mm). Dans cette gamme, la lumière visible n'occupe qu'une toute petite place (1 octave sur 62). Tout le reste est invisible, mais on donne plus particulièrement (improprement d'ailleurs) le nom de « lumière noire » aux radiations ultraviolettes voisines de 3 660 angströms. On sait que c'est le physicien américain Wood qui a étudié spécialement l'écran filtrant, ne laissant passer que ces radiations. C'est donc le nom de « lumière de Wood » qu'il y a lieu d'adopter.

La Science et la Vie a déjà exposé (1) les innombrables applications de ce rayonnement, fondées sur les phénomènes de fluorescence et de phosphorescence présentés par un très grand nombre de corps qui deviennent lumineux lorsqu'ils sont soumis à ces radiations ultraviolettes (2). La couleur de la fluorescence étant caractéristique du corps soumis à la lumière de Wood, les industries chimiques, les services de répression des fraudes, les services d'expertises (tableaux, timbres, etc.), utilisent aujourd'hui, avec succès, la lumière de Wood pour leurs analyses. Rappelons encore les effets décoratifs remarquables réalisés au théâtre (ballets fluorescents), dans l'art de l'étalagisme (récent concours de vitrines ainsi illuminées), dans la publicité lumineuse, etc.

La « lumière noire » est-elle difficile à produire? Non, grâce au filtre de Wood, obtenu en chargeant d'oxyde de nickel un verre spécial et aux lampes qui ont été récemment mises au point pour l'utiliser. Le dernier mot du progrès, dans ce domaine, est certainement représenté par les lampes du type *Mazda* « MA-300 » (ou « MA-500 ») à vapeur de mercure à très haute pression, composées d'un tube de quartz très épais et de faible diamètre intérieur relié à la source de courant alternatif et situé dans une ampoule extérieure en verre de Wood.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 257, page 404.

(2) La phosphorescence est une fluorescence qui se prolonge quelque temps après extinction de la source ultraviolette qui l'a excitée.



LAMPE A VAPEUR DE MERCURE A TRÈS HAUTE PRESSION (M. A.-300)

La lampe présente la forme et les dimensions d'une 150 W ordinaire. Avec une ampoule claire, elle donne 3 000 lumens. Sa consommation, soit pour l'éclairage (lumière à peine bleutée), soit pour la production de lumière noire, est de 75 W.

Dans certaines applications, cette source est trop puissante. On peut alors avoir recours à la lampe *Mazda Argon*, ne consommant, suivant les modèles, que 4 W, 2 W ou 0,5 W. Son ampoule est en verre clair. Les électrodes sont constituées par deux moitiés d'un disque perpendiculaire à l'axe de l'ampoule. La lampe émet de l'ultraviolet et une faible lumière mauve que l'on peut éliminer avec un écran de Wood. Elle se branche directement sur le secteur.

Enfin, quelle que soit la lampe, il faut souvent diriger le faisceau ultraviolet : ce que l'on obtient aisément avec un réflecteur spécial en aluminium traité pour ne pas absorber ce rayonnement.

Cette facilité de disposer de sources pratiques de lumière de Wood doit permettre un rapide développement des applications scientifiques et pratiques déjà si nombreuses de la lumière noire.

(Voir page XLVII de ce numéro.)

Les ondes ultra-courtes et l'atterrissage des avions sans visibilité

L'exploitation régulière des lignes aériennes exige que la circulation des avions, leur décollage et leur atterrissage se poursuivent en toute sécurité, quelles que soient les conditions météorologiques. Aujourd'hui, le vol dans les nuages est de pratique courante, mais l'atterrissage sans visibilité pose des problèmes beaucoup plus délicats, pour lesquels de nombreuses solutions ont été proposées, parmi lesquelles bien peu donnent jusqu'à présent des garanties suffisantes. Voici l'un des plus récents procédés, mis au point par *Le Matériel Téléphonique* et expérimenté officiellement sur l'aérodrome de Troyes.

Avec ce système, dont la figure suivante illustre le principe, le guidage *en direction* est assuré tout d'abord par un émetteur fonctionnant sur 9 mètres de longueur d'onde, d'une puissance de 220 W, modulés par une note musicale. Les antennes utilisées permettent, grâce à leur forme spéciale, de diriger le faisceau hertzien et, en interrompant convenablement l'émission, de diviser l'espace en deux zones à peu près tangentes, de sorte que le pilote de l'avion entende des traits ou des points selon qu'il se trouve dans une zone ou dans l'autre, c'est-à-dire à droite ou à gauche de la direction cherchée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

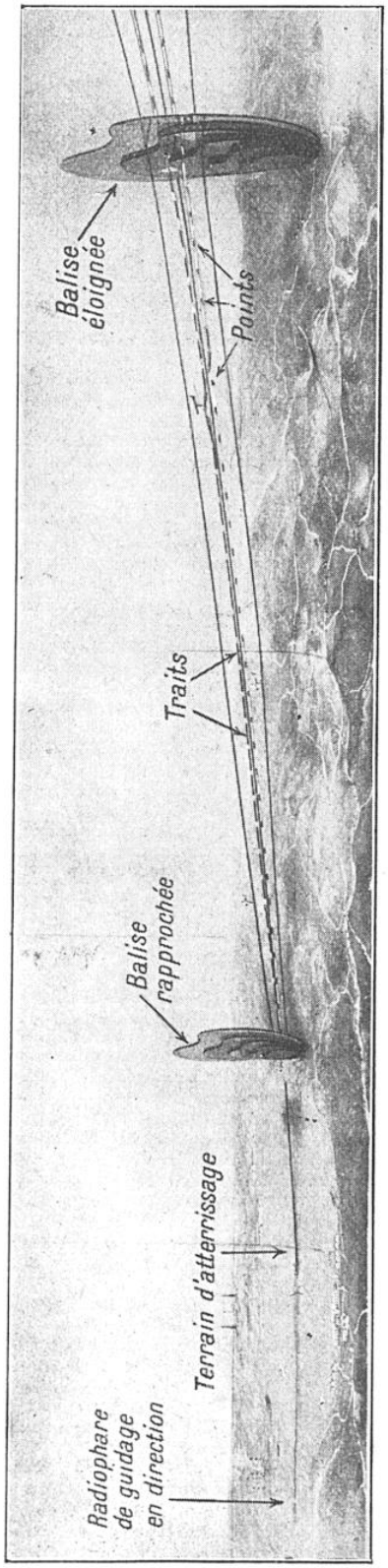


SCHÉMA DE PRINCIPE DU SYSTÈME « LMT » D'ATTERRISSAGE SANS VISIBILITÉ UTILISANT LES ONDES ULTRA-COURTES

Celle-ci est donc repérée par l'étroit chenal (d'ouverture ± 0°45') correspondant au chevauchement des deux zones. Lorsque l'avion se trouve dans ce chenal, le pilote perçoit un trait continu. L'appareil, suivant alors en aveugle la direction de l'aéroport, commence à descendre jusqu'à une hauteur de 300 m environ au-dessus de l'altitude du terrain d'atterrissage. La portée de l'émetteur étant de 45 à 50 km, le pilote qui reçoit d'abord des traits ou des points a évidemment tout le temps nécessaire pour rechercher le chenal où points et traits se confondent en un son continu.

A un moment donné, il entend alors de nouveaux traits (émis sur une note différente de celle du guidage en direction) qui lui indiquent qu'il passe au-dessus d'une première balise radioémettrice (longueur d'onde, 9 m) située à 4 km de l'aérodrome. A ce moment commence la descente vers le sol, guidée par un second émetteur dont l'onde (7,90 m) est modulée par une troisième note musicale. En suivant, toujours en aveugle, une courbe d'égalité du champ électromagnétique de cet émetteur, tout en restant dans le chenal du guidage en direction, le pilote est certain de s'approcher du sol dans les conditions d'atterrissage normales. D'ailleurs, une deuxième balise à 300 m de la limite de l'aérodrome, identique à la première mais émettant des points au lieu de traits, lui indique qu'il va pénétrer au-dessus du terrain.

Grâce à l'emploi des ondes très courtes et d'antennes spéciales, on a pu donner, aux courbes d'égalité du champ de l'émetteur de guidage en altitude, une pente régulière et faible même loin de l'émetteur, alors que les courbes de ce genre réalisées jusqu'à présent se relevaient brusquement à partir d'une certaine distance. Ainsi le pilote peut suivre la courbe sans être obligé de piquer au début de sa descente, nécessité à laquelle on conçoit aisément qu'il ne se plie pas sans appréhension lorsqu'il vole en aveugle. Les essais ont montré que la pente moyenne de descente était de 6,70 % (en amorçant la descente à 5 300 m du terrain et à 350 m d'altitude) et que la composante verticale de la vitesse, de 4 m/s au début, n'était plus que de 2 m/s à l'atterrissage. D'ailleurs, la largeur du chenal de direction est remarquablement stable, comme celle du chenal d'altitude, de sorte que la précision du guidage hertzien apparaît supérieure à celle qui est nécessaire en pratique.

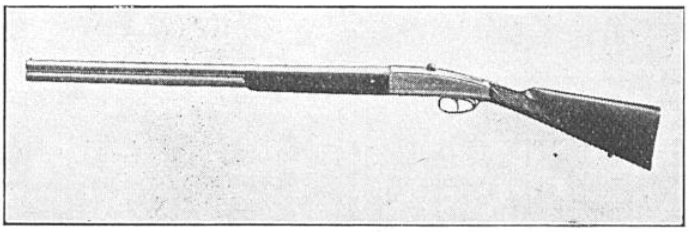
Le fusil en duralumin : légèreté, sécurité, précision

GAGNER plus d'un kilogramme sur le poids d'un fusil, du calibre 12, voilà qui doit remplir d'aise les chasseurs dont la fatigue sera ainsi considérablement diminuée, à la condition, bien entendu, que l'arme conserve toutes ses qualités de sécurité et de précision dans le tir. Or, M. Bretton, de Saint-Etienne — qui, depuis dix ans, a réalisé la première culasse en duralumin (premier brevet en 1930), — après avoir étudié le comportement de canons fabriqués avec cet alliage léger et résistant, a mis au point et longuement essayé son nouveau fusil, le « superposé G. B. » tout duralumin. Il y a respecté les principes de balistique bien connus : indépendance absolue des canons ; hermétiticité de la chambre au départ du coup.

En effet, les deux canons superposés restent libres sur toute leur longueur et sont fixés dans la boîte de culasse dans un mandrin double semblable à celui des armes de guerre. D'autre part, le bloc de la culasse pivotant dans la verticale pour démasquer l'ouverture des chambres lors du chargement, le chasseur ne risque aucunement de recevoir ce bloc... dans la figure en cas de rupture du verrouillage lors du départ du coup. D'ailleurs, les canons, soumis à la triple épreuve française, ont résisté aisément à la pression de 1 500 kg/cm².

Quant à l'herméticité, elle est automatiquement assurée par l'action du recul lui-même, qui provoque, par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



VUE D'ENSEMBLE DU FUSIL EN DURALUMIN

inertie, la poussée en avant du bloc de fermeture.

Ainsi M. Bretton a pu réaliser un fusil pesant de 1 kg 900 à 2 kg suivant la longueur des canons (70 à 75 cm), au lieu de 3 kg 200 pour le fusil en acier. Il faut remarquer que l'allégement n'étant pas obtenu au détriment de la longueur des canons, la précision du tir est remarquable, d'autant plus que les canons étant indépendants, les vibrations de chacun d'eux peuvent se propager librement. Ainsi, avec une charge de 28 g de plomb, le tir est incomparablement meilleur que celui que l'on peut obtenir avec des canons de 62,5 cm de long.

Enfin, l'inoxydabilité du duralumin aux poudres et aux agents atmosphériques. Après deux ans de chasse, dont deux mois en mer, le métal n'a subi aucune corrosion.

On pourrait craindre que, par suite de la faible inertie du fusil, le recul provenant d'une charge normale de poudre produisant des pressions de 450 à 500 kg ne soit considérable. C'est pourquoi M. Bretton a réduit la charge de plomb à 28 g au lieu de celle de 32 g ordinairement employée, ce qui ne diminue en rien l'efficacité du tir, des essais ayant démontré que cette charge normale est trop grande, et que les plombs étant trop comprimés et déformés, un grand nombre de grains n'arrivent pas seulement à la cible placée à 30 m. La diminution de charge, jointe au fait que la poussée se produit exactement dans l'axe, fait que le recul est insensible, grâce aussi à une bourre spéciale.

On a aussi émis l'objection que la cristallisation du métal sous l'effet des chocs répétés pouvait influer sur les qualités du duralumin. Si cela est vrai pour certaines formules de duralumin contenant de la silice, celle que l'on utilise pour les canons du fusil n'en contient pas et aucune cristallisation n'est à craindre. Au contraire, le vieillissement bien connu du duralumin accroît sa dureté. Après avoir tiré deux mille cartouches, ces canons ont été reconnus absolument intacts, tant au point de vue de leur corrosion que de leurs dimensions.

Enfin, signalons que les canons peuvent être alumilités dans n'importe quel coloris, opération qui renforce encore la résistance à la corrosion.

M. G. BRETTON, 1, cours Fauriel, Saint-Etienne (Loire).

Sténographe en un mois !

La sténographie constitue, sans conteste, une seconde écriture ultra-rapide et le nombre de personnes qui s'adonnent à son étude est bien une preuve que cette technique offre toujours de nombreux débouchés, aussi variés qu'intéressants.

On sait que la méthode « Prévost-Delaunay », imaginée et mise au point au cours du siècle dernier, est l'une des plus parfaites, des plus rapides et des plus répandues. Cependant tous ceux qui l'ont apprise et la pratiquent se souviennent d'un certain chapitre, celui des *incompatibilités*, d'une complexité qui décourage un certain nombre d'élèves ! On comprend donc aisément l'intérêt de toute simplification apportée à ce chapitre. M. A. de Mulder a résolu ce problème en supprimant complètement ces *incompatibilités* (tout en maintenant les abréviations qu'elles autorisent).

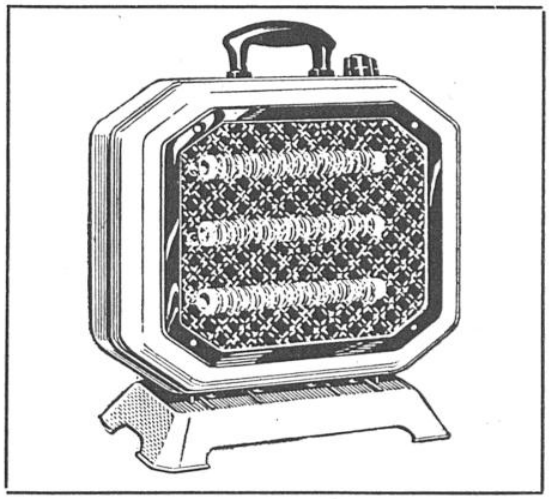
La méthode Prévost-De Mulder permet ainsi d'apprendre la sténographie en douze leçons très courtes, rationnellement échelonnées et ne comportant plus que trois sortes de signes et de règles fondamentales. L'élève peut étudier tout seul, et un petit système d'échelles graduées, s'adaptant dans la marge des textes, rend aisé le chronométrage de la vitesse acquise. C'est une méthode qui ne s'oublie jamais.

M. A. de Mulder, 2, rue Guersant Paris, (17e), enverra *gratuitement* une brochure explicative de 16 pages à toute personne qui en fera la demande de la part de *La Science et la Vie*.

Radiateur électrique et chauffage rationnel

Il suffit d'être monté une fois sur une échelle, dans une pièce chauffée par un appareil chauffant ordinaire, pour avoir constaté l'énorme différence de température existant entre les couches d'air voisines du plafond et celles situées dans la zone où l'on vit normalement. Rien d'étonnant à cela, puisque l'air, chauffé par convection au contact de l'appareil, monte constamment. Ainsi la chaleur ne commence à se faire sentir dans les couches inférieures que lorsqu'une grande quantité de calories a été perdue à surchauffer le haut de la pièce.

La solution d'un tel problème est cependant très simple. Il faut diriger la convection et obliger l'air chaud à céder le maximum de ses calories à l'atmosphère de la pièce avant qu'il



RADIATEUR SOUFFLANT « CALOR »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n'atteigne la zone inhabitée. Pour cela, un simple ventilateur suffit. En effet, si nous considérons, par exemple, un *radiateur électrique soufflant*, c'est-à-dire muni d'un ventilateur judicieusement placé — et, naturellement, silencieux — l'air qui s'échauffe au contact des surfaces chauffantes est envoyé sous forme d'une nappe *horizontale*. Cette nappe tend bien à monter, mais elle ne le fait que lentement, car son excès de température sur l'air ambiant se trouve réduit par l'étalement même de la nappe et, de plus, elle est obligée de traverser sur toute leur surface les couches d'air étagées jusqu'au plafond. Un réglage convenable de la vitesse du ventilateur permet d'obtenir un juste équilibre entre les surfaces chauffantes et l'échauffement optimum de l'air.

Ainsi sont économisées les précieuses calories que l'on envoie généralement... au plafond.

CALOR, place de Montplaisir, Lyon.

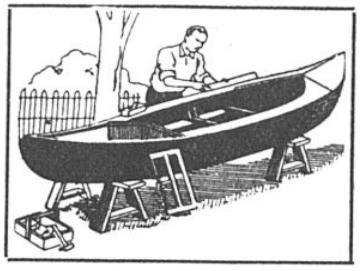
Une mise au point du ministre des Travaux publics

RÉPONDANT à une question posée par l'Union Routière de France, le ministre des Travaux publics, par lettre du 3 août 1938, vient de préciser que, « conformément à l'arrêté du 3 novembre 1936, toutes les automobiles sans exception devront, à partir du 1er janvier 1939, être obligatoirement équipées de lampes sélectives jaunes portant la mention : *Agréé A.B.T.P. n° ...* »

Il est donc certain que des instructions très fermes seront données à la gendarmerie pour assurer le respect de cette disposition.

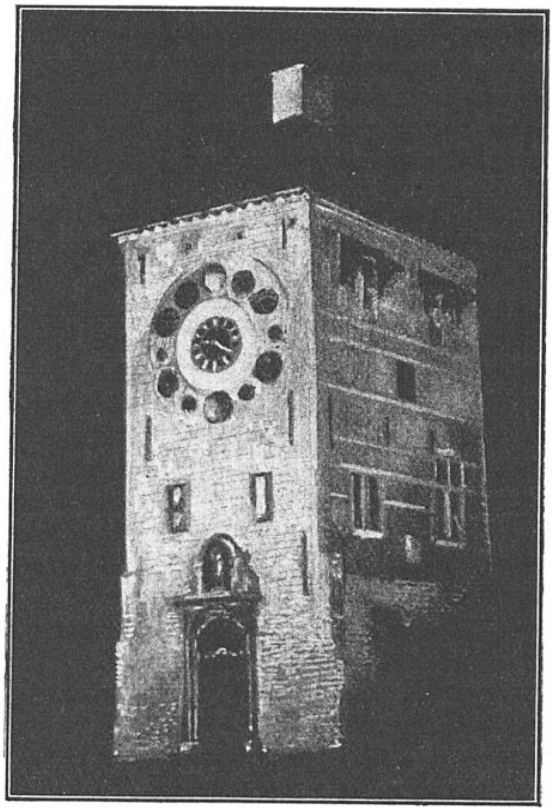
Construire chez soi son canoë

DEVANT l'augmentation des prix des canoës, kayaks, voiliers d'amateur, et pour mettre à la portée de tous les joies et bienfaits du sport nautique, un groupe de techniciens a mis au point des dossiers de constructions concernant les principaux modèles d'embarcations. Ils ont été conçus et étudiés de telle sorte que l'immense majorité des usagers probables puisse les établir facilement et rapidement, sans autres outils qu'un marteau, une scie et un petit rabot. Aucune connaissance spéciale n'est requise. En possession des plans et de la manière de s'en servir, il suffit d'acheter une matière première très simple : bois, clous, vernis, colle, etc. A raison de deux heures par jour, un bricoleur moyen peut construire son canoë en deux semaines, en le faisant lui-même de toutes pièces. Son prix de revient est de 350 à 400 francs, selon les régions. Pour le kayak des Esquimaux, l'édification n'est guère plus difficile ; le prix seul augmente de 100 francs environ. On peut aussi fabriquer dans des conditions analogues un petit voilier de rivière ou de plage, une barque de pêche et de promenade à rames pouvant être équipée d'un petit moteur hors-bord, et enfin une véritable canadienne. Chaque dossier de construction ne coûte que quelques dizaines de francs.



CONSTRUCTION DU CANOË

Signalons qu'en achetant les pièces détachées toutes usinées, la construction s'effectue aussi aisément qu'un montage de jeu de mécano ; on achève alors un canoë en moins d'une semaine. C'est, à notre connaissance, le premier effort important de diffusion en vue de permettre aux jeunes gens de goûter aux plaisirs sains que dispense largement la navigation fluviale et côtière. Il faut féliciter les Etablissements SPORTLEY, 5 *bis*, cité Malesherbes, à Paris (9e), d'avoir eu cette heureuse initiative.



VUE DE LA TOUR DE L'ÉGLISE SAINT-JOSEPH, A MALINES, ÉCLAIRÉE AU GAZ

L'éclairage indirect par le gaz

L'ÉCLAIRAGE par projecteurs des monuments, des façades, voire des frondaisons de parcs est de plus en plus utilisé, et Paris, à l'occasion de l'Exposition 1937, a constitué une remarquable démonstration des possibilités de ce « flood lighting ». C'est à l'électricité que l'on fit appel naturellement, en raison de la facilité de créer des projecteurs puissants et d'installer les câbles destinés à les alimenter.

Voici cependant que le gaz tend à concurrencer l'électricité dans ce domaine qui lui semblait réservé. C'est notamment en Angleterre et en Belgique que des expériences ont été tentées avec succès.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les projecteurs utilisés, du type parabolique et dont la surface réfléchissante est en tôle de cuivre chromé, mesurent 68 cm de diamètre dans le plan de la vitre de protection ; la base est à 41 cm du sommet du paraboloïde,

La source lumineuse, installée au foyer du projecteur, est constituée par un brûleur à plusieurs becs fixé dans le plan vertical. L'orientation du faisceau lumineux est obtenue par la rotation du réflecteur autour d'un axe horizontal qui permet de faire varier l'axe du faisceau lumineux de 10° au-dessous à 60° au-dessus de l'horizontale. Pour l'orientation dans le plan horizontal, c'est le projecteur en entier qui peut tourner de 360° autour d'un axe vertical.

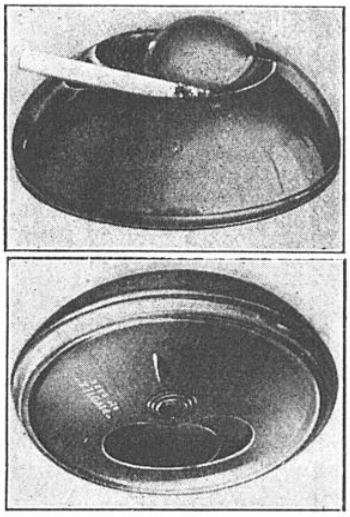
La combustion du gaz dégageant beaucoup de chaleur, il fallait éviter les tensions dangereuses pouvant se produire dans le verre de la vitre de protection. C'est pourquoi celle-ci est formée de trois lamelles jointives dont la température est ainsi plus uniforme. Le verre spécial utilisé leur a permis de résister à une averse subite. Enfin, le dégagement des gaz de combustion est assuré par une cheminée.

Les projecteurs étant placés à 10 ou 12 m de l'objet, l'éclairement obtenu atteint de 10 à 15 lux pour une consommation de 700 litres de gaz à l'heure, soit une dépense horaire de 1 f 50. Chaque projecteur revient à environ 3 000 f.

Ainsi, l'église Saint-Joseph à Malines et sa tour (dont la croix est située à 45 m du sol), la tour Zimmer à Lierre et son horloge astronomique, la façade de l'Hôtel de Ville de Malines, éclairées de cette façon, ont montré la régularité et le fondu du nouveau « flood lighting » au gaz.

Un cendrier pratique

Nombreux sont les modèles de cendriers qui ont été imaginés pour éviter le renversement des cendres et étouffer les bouts de cigarettes mal éteints. En voici un nouveau d'une extrême simplicité. Un socle creux, en cuivre chromé ou en aluminite inaltérable, porte en son centre un petit axe vertical terminé par une rotule sur laquelle est sertie, avec jeu, une petite demi-sphère située à la partie inférieure d'une calotte qui ferme juste l'orifice supérieur du cendrier. La moindre pression avec la cigarette sur cette calotte la fait basculer et les cendres tombent dans le socle. La cigarette finie, inutile de l'écraser pour l'éteindre ; le cendrier fait l'office d'étouffoir. Enfin, son vidage est instantané, car il suffit pour cela de faire pivoter un volet placé sous le socle pour découvrir une large ouverture.



LE CENDRIER VU DE DESSUS ET DE DESSOUS

F. Solère, 29, rue Fontaine-au-Roi, Paris (11e).

Un tissu isothermique

Un très vieux problème, celui du vêtement adapté à toutes les températures, paraît bien près d'être résolu ! Faut-il se couvrir peu ou beaucoup?

Une étonnante invention, l'*Isolex*, répond désormais à cette question.

Ce tissu réussit, en effet, à isoler rigoureu-

TARIF DES ABONNEMENTS A « LA SCIENCE ET LA VIE »

FRANCE ET COLONIES

Envois simplement affranchis	1 an	55 fr.	Envois recommandés	1 an	65 fr.
	6 mois	28 —		6 mois	33 —

BELGIQUE

Envois simplement affranchis	1 an	70 f. (français)	Envois recommandés	1 an	90 f. (français)
	6 mois	36 f. —		6 mois	45 f. —

ÉTRANGER

Pour les pays ci-après : *Afghanistan, Australie, Bolivie, Chine, Danemark, Etats-Unis, Grande-Bretagne et Colonies, Iles Philippines, Indes Néerlandaises, Irlande, Islande, Italie et Colonies, Japon, Norvège, Nouvelle-Zélande, Palestine, Pérou, Rhodésia, Suède.*

Envois simplement affranchis	1 an	90 fr.	Envois recommandés	1 an	110 fr.
	6 mois	46 —		6 mois	55 —

Pour les autres pays :

Envois simplement affranchis	1 an	80 fr.	Envois recommandés	1 an	100 fr.
	6 mois	41 —		6 mois	50 —

Les abonnements partent de l'époque désirée et sont payables d'avance, par mandats, chèques postaux ou chèques tirés sur une banque quelconque de Paris. — Tout changement d'adresse doit être accompagné de la somme de 1 franc en timbres-poste.

« LA SCIENCE ET LA VIE » — Rédaction et Administration : 13, rue d'Enghien, Paris-X^e^

CHÈQUES POSTAUX : 91-07 PARIS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sement le corps aussi bien de la chaleur que du froid, tout en laissant la peau respirer et la sueur s'évaporer. On l'a prouvé non seulement par des expériences de laboratoire, mais aussi par des essais sur diverses personnes soumises, par leur profession, aux brusques changements de température. Ces essais ont été concluants : avec l'*Isolex*, on peut sortir peu couvert, même en plein hiver, et passer sans transition du chaud au froid sans risque pour la santé. Les sous-vêtements, linge de corps et articles de sport confectionnés avec ce tissu, paraissent appelés à un vif succès, si l'on en juge par le nombre incalculable de gens exposés aux intempéries et aux brusques différences de température.

ISOLEX, 11, rue Vorzais, Mont-Saint-Aignan (Seine-Inférieure).

Pour les amateurs de chemins de fer miniatures

LOCO-REVUE : Depuis bientôt deux ans, ce journal très cher aux amateurs de modèles réduits de chemins de fer, les initie aux joies de la construction et de l'exploitation de réseaux miniatures. Tracé de voies, marche des signaux et réalisation de jolis modèles de wagons, locomotives et tracteurs d'après plans détaillés. *Loco-Revue* instruit sur le monde des chemins de fer réels et miniatures, donne des plans, des idées, des moyens de réalisation, des photos, des dessins, des schémas et toute documentation très intéressante. *Loco-Revue*, qui paraît une fois par mois, ne coûte que 3 fr 75, et son abonnement 35 f par an.

En vous recommandant de *La Science et la Vie*, *Loco-Revue*, Montchauvet (Seine-et-Oise), vous adressera franco un spécimen contre la somme de 1 f en timbres-poste.

Si vous possédez déjà un réseau miniature, nous vous conseillons de réclamer en même temps aux Etablissements FOURNEREAU, Montchauvet (Seine-et-Oise), leur catalogue (plus de 100 gravures et 600 pièces détachées pour chemins de fer), adressé franco contre 6 f.

Pour enregistrer sur disques la voix ou les émissions radiophoniques

DE nombreux lecteurs nous demandent s'il est possible, au moyen d'un matériel peu compliqué, d'enregistrer sur disques la voix ou des émissions radiophoniques. Nous leur rappelons que ce matériel existe, qui ne nécessite qu'un phonographe mécanique sur lequel on dispose un diaphragme spécial et un cornet devant lequel on prononce les paroles à enregistrer. Une aiguille à saphir, placée dans le mandrin du diaphragme, est guidée transversalement par une vis sans fin solidaire du plateau porte-disques. Les disques enregistrés permettent plus de 300 auditions. L'enregistrement d'auditions radiophoniques se fait très aisément en utilisant le pick-up de l'appareil radiorécepteur.

SOCIÉTÉ REMO-EGOVOX, 1, rue Lincoln, Paris-8e.

V. RUBOR.

N. D. L. R. — Les dessins des pages 486 et 487, qui illustrent l'article sur les « Ersatz », ont été extraits de l'ouvrage allemand *Zellwolle* sur la fabrication des textiles artificiels en Allemagne.

— Les gravures fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, qui illustrent l'article sur le « Mimétisme », page 495, sont des photographies Le Charles.

NOUVEAUTÉ !
Etrennes utiles

LE DESSIGRAPHE

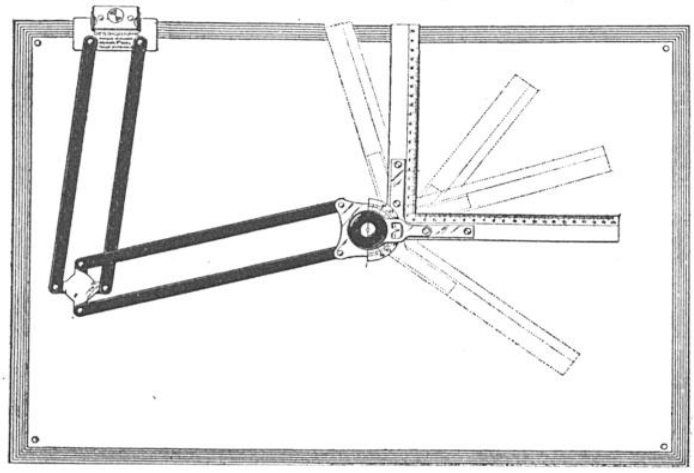
Breveté S. G. D. G. — Marque et modèle déposés. — Fabrication française

DESSINEZ RAPIDEMENT VOTRE PENSÉE TECHNIQUE !...

Simple - Rapide - Pratique - Précis - Robuste - Inoxydable - Bon marché

SUPPRIME L'EMPLOI DU TÉ, DES ÉQUERRES ET DES RÈGLES AUX

Système de fixation mobile pour toutes planches



DESSINATEURS
ARCHITECTES
INGÉNIEURS
ÉTUDIANTS, etc.

Catalogue 12 bis franco sur demande

PRIX DE LANCEMENT :

I. Petit modèle pour planche maximum 75 × 60.. .. .. **95.** »

II. Grand modèle pour planche maximum 120 × 80 .. **135.** »

Franco emballage et port tous pays.

P. BERVILLE
18, rue La Fayette, PARIS-IXe
CHÈQUES POSTAUX 2035.52

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

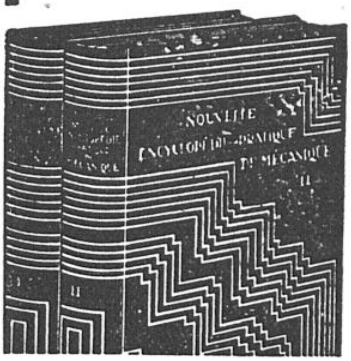
Vient de paraître : ● NOUVELLE

ENCYCLOPÉDIE PRATIQUE DE MÉCANIQUE

Magnifique publication illustrée en DEUX VOLUMES RELIÉS format 21×29, renfermant 6 modèles démontables de mécanique.

Publiée sous la direction de **H. DESARCES**, Ingénieur des Arts et Manufactures, avec la collaboration de nombreux Ingénieurs et Professeurs de Mécanique.

20 francs par mois



ACCROITRE SES CONNAISSANCES TECHNIQUES, C'EST TRIPLER SA VALEUR PROFESSIONNELLE

Toute personne sachant lire peut s'instruire seule, sans professeur, au moyen des volumes de l'**ENCYCLOPÉDIE de MÉCANIQUE**, parce que les cours exposés dans cet ouvrage par des Ingénieurs spécialisés chacun dans la branche étudiée, sont écrits dans une langue claire, illustrée lorsqu'il est nécessaire d'exemples et de problèmes suivis de leurs corrigés.

C'est un **Enseignement** Moderne et substantiel de tout ce qui concerne la Mécanique ; c'est une source inépuisable de leçons, de conseils, de renseignements qui profiteront à tous ceux qui consulteront cet ouvrage.

Les Constructeurs, les Ingénieurs, les Directeurs d'Usine, les Garagistes trouveront dans cette Encyclopédie des réponses utiles à tous les cas pour lesquels une solution rapide est cherchée : Théorique, Technique, Pratique.

L'ouvrage se compose de deux gros volumes reliés solidement, du grand format 21×29 de 600 pages chacun environ, imprimées sur 2 colonnes abondamment illustrées de dessins, bleus, schémas et de nombreux hors-texte en couleurs ; impression sur papier vélin alfa en caractères neufs d'une visibilité parfaite et dans chaque volume sont encartés **3 modèles démontables** en couleurs, de Machines Mécaniques : **La chaudière à vapeur, La turbine à vapeur, La locomotive « Pacific », L'automobile « Panhard », L'avion, Le moteur d'avion.**

Cette ingénieuse combinaison de Planches démontables permet à chacun : Professionnels, Techniciens ou Profanes, de se rendre compte, d'une manière parfaite, du fonctionnement de chaque machine et de la place qu'occupe chaque pièce dans le corps de la machine. La démonstration vivante vient ainsi au secours de la théorie et la mémoire retient toujours mieux ce que **L'ŒIL A ENREGISTRÉ.**

L'extrait de la Table des Matières ci-dessous permet de juger l'étendue et la richesse de documentation de cette Encyclopédie qui sera pour chacun un Guide judicieux et éclairé.

CONNAISSANCES GÉNÉRALES. — 1° *Mesures des grandeurs :* Longueur, Surface, Volume, Mesures de poids : calcul des poids : liquides, solides. Eléments de géométrie plane et de l'espace : Polygones. Triangles. Parallèles. Triangle et Trapèze. Circonférences. Aires. Courbes, etc... Géométrie descriptive. Point, droite, plan, étude, problèmes : Perspective cavalière, conique. Dessins et croquis industriels : tracés graphiques, projection, représentation des objets.

2° *Eléments d'algèbre :* Calcul algébrique, puissance d'un nombre. Calcul des expressions algébriques. Additions et soustractions, multiplications et divisions. Problèmes. Equations 1er et 2e degré avec problèmes et corrigés. Progression. Logarithme. Variations des fonctions, etc... Eléments de trigonométrie. Instruments à calculer. Règles et machines.

3° *La Mécanique et les Phénomènes Physiques :* La matière, le mouvement. Forces, gravité, mouvement composé, vibrations, pendule. Travail, énergie, puissance, résistance, problèmes. — Résistance des matériaux : extension, compression, flexion, tension, voilement : applications à la construction des machines. — Hydraulique et statique des gaz : Eau, air, gaz, chaleur, dilatation, fusion, liquéfaction, énergie. Principe de Carnot.

LES MACHINES. — *Matières employées dans la construction des machines :* Fer, fonte, acier. Haut fourneau. Puddlage. Usine. Bois. Cuir. Caoutchouc. Alliages. Eléments de machines. Assemblage, vis, filetage, écrous, boulons, goupilles, clavettes, rivets, etc. Arbres de transmission, résistance, calculs de flexion, tension. Tourillons porteurs et intermédiaires. Accouplements, paliers, courroies, câbles, chaînes, poulies de transmission. Engrenages, friction, transformation du mouvement : Pistons. Coulisseaux, bielles, manivelles, volants. Tuyauterie, assemblages, joints, obturateurs à levée, à glissement. Lubrifiants et appareils graisseurs.

Les Moteurs modernes. — 1re Partie. — *Moteurs à vent :* L'énergie hydraulique, Roues et Turbines hydrauliques. Pompes. Presses. Accumulateurs hydrauliques.

2e Partie. — *Moteurs thermiques :* Chaudières : dimensions et systèmes, alimentation. Surchauffeurs. Foyer. Cheminée. Garnitures et appareils de sûreté. Contrôle. Réglementation. Machines à piston : distribution, régulation. Turbines à vapeur à action et à réaction. Différents types de Turbines. Condensation de la vapeur. Ejecteurs, réfrigérants, etc.

Moteurs à gaz, à air, à explosion : Description des moteurs. Essai des moteurs. Manomètres, compteurs. Calcul et mesure de la puissance des moteurs.

L'ATELIER. — Fonderie, Forgeage, Outillage. Boulonnerie, Chaudronnerie. Tuyauterie. Ajustage. Traçage. Machines outils : pratique du travail : types divers. Emboutissage. Soudure électrique.

L'USINE. — Appareils de levage simples, composés. Ascenseurs. Monte-charge. Escaliers mécaniques. Manutention mécanique. Compresseurs. Installations frigorifiques.

GRANDES APPLICATIONS DE LA MÉCANIQUE. — Locomotives. Wagons. L'automobile : description de tous ses organes, leur fonctionnement, etc... Ballons libres, dirigeables, Aéroplanes, hélicoptères, moteurs d'avions, etc...

PUBL. C. BLOCH

BULLETIN DE COMMANDE

Veuillez m'expédier en compte ferme la NOUVELLE ENCYCLOPÉDIE PRATIQUE DE MÉCANIQUE en 2 volumes reliés (21×29) au prix de 350 francs payables aux conditions ci-après :

a) 20 francs par mois jusqu'à parfait paiement ;
b) En 3 paiements mensuels de 110 fr. 75 (5 % d'escompte déduit) ;
c) En un seul paiement de 330 francs (10 % d'escompte déduit) à la livraison.

Chaque commande est majorée de 15 francs pour frais de port et d'emballage et chaque quittance de 1 franc pour frais d'encaissement.

Signature :

Nom et prénoms .....
Profession .....
Domicile .....
Ville ..... *Dépt* .....
Le ..... 193 *(Indiquer le paiement adopté)*

BON pour une NOTICE ILLUSTRÉE

Veuillez m'adresser le prospectus spécimen de la NOUVELLE ENCYCLOPÉDIE PRATIQUE DE MÉCANIQUE.

Nom .....
Adresse .....
.....

Copier ou détacher ce BON ou ce BULLETIN et l'envoyer à la

LIBRAIRIE ARISTIDE QUILLET S. A. au Capital de 20.000.000 de fr **278, Bd St-Germain, Paris-7e**

(Service S. V.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEZ LES ÉDITEURS (1)

Précis de criminologie et de police scientifique, *par le docteur Georges Béroud,* directeur du Laboratoire de Police technique de Marseille. Prix franco : France et colonies, 22 f ; étranger, 25 f.

Cet ouvrage, qui ne se lit pas comme un roman, loin de là, doit présenter un intérêt certain, non seulement, en raison même de sa présentation schématique, pour les magistrats, les officiers de police judiciaire, les fonctionnaires ou experts qui participent à la répression pénale, mais encore pour tous les esprits qui s'intéressent, à un titre quelconque, à la lutte contre le crime. Il constitue, en tout cas, une excellente illustration de ce que les progrès de la technique permettent de réaliser à l'heure actuelle, en matière d'investigation criminelle, qu'il s'agisse de relever et de photographier les empreintes digitales que portent les objets découverts sur le lieu d'un crime, de recueillir, sans les altérer, toutes les traces et tous les indices laissés par le criminel, d'analyser les taches suspectes et d'en déterminer avec certitude la nature et l'origine, de révéler par des procédés chimiques ou physiques d'une rigoureuse exactitude la fausseté d'un document ou les transformations qu'il a subies. Ainsi la science rend aujourd'hui presque toujours possible l'administration de la preuve matérielle réclamée de plus en plus par les tribunaux et contre laquelle une opinion publique souvent mal éclairée ne saurait s'élever, comme il arrive parfois qu'elle le fasse lorsqu'une condamnation est prononcée sur de simples indices.

Le Danemark dans le monde, *par Agnès Rothery.* Un volume in-8° de 229 pages. Prix franco : France, 27 f. ; étranger, 31 f.

Cette étude sur le Danemark, qui paraît aujourd'hui dans une collection où ont été étudiés les principaux pays, y avait sa place marquée. Le Danemark est petit, mais « si c'est la qualité et non la quantité qui présente de l'importance pour les affaires humaines », le Danemark est au premier rang des pays d'Europe pour la perfection de son administration et la maturité politique des individus. Partout règne une aisance généralisée, équilibrée, qui n'a d'équivalent nulle part ailleurs. L'ouvrage d'Agnès Rothery n'est donc point uniquement une description du Danemark, mais aussi une « recette de bonheur » à l'usage de tous les peuples modernes. C. R.

Pour le cinéaste : la projection, *par P. Hemardinquer.* Prix franco : France, 17 f ; étranger, 20 f.

Cet ouvrage est un memento pratique dans lequel le « projectionniste », professionnel ou amateur, trouvera des conseils précieux dans tous les cas qui peuvent l'embarrasser, qu'il s'agisse d'entretenir les films et le projecteur, d'installer une salle ou un écran, d'améliorer la qualité acoustique et optique des projections et les conditions de sécurité, de localiser les pannes sonores et optiques et d'y apporter les remèdes appropriés. L'auteur a multiplié les tableaux et les graphiques, pensant avec raison que l'examen d'un dessin bien conçu et clairement exécuté est souvent plus utile que la lecture d'un long exposé.

Manuel du savonnier, par *A. Matogrin,* Prix franco : France, 32 f ; étranger, 35 f 15.

Ce manuel rassemble les principes et les tours de main appliqués pour la fabrication du savon. Après avoir énoncé les principes physiques et chimiques de la saponification, et étudié les matières premières : corps gras, résines, agents émulsifs, charges minérales, alcalins et lessives alcalines, il traite des méthodes générales de fabrication, moulage, façonnage et conditionnement des savons ainsi que de la prévention de ses « maladies ». Il donne également d'utiles indications sur les savons spéciaux au suif, à l'huile d'olive, aux acides gras de synthèse, à l'huile de palme, au coco, sur le savon en paillette, en poudre, sur les savons mous et les savons industriels, enfin sur les savons de toilette et les savons médicinaux.

Le dernier numéro de la revue mensuelle **Recherches et inventions** que publiait l'« Office national de recherches scientifiques et industrielles et des inventions », plus connu sous le nom d'Office de Bellevue, est consacré à l'histoire de cette importante institution et aux circonstances qui viennent de marquer sa disparition. On sait que cet organisme, depuis le 1er octobre dernier, est remplacé par le « Centre national de la recherche scientifique appliquée », auquel est adjoint un conseil supérieur de la recherche scientifique appliquée, lui-même subdivisé en un certain nombre de sous-comités spécialisés, sans compter un haut comité de coordination. Ce dernier, comme tous les autres d'ailleurs, est formé de savants éprouvés, de techniciens éminents et de hautes personnalités sans aucun doute qualifiées, et a pour tâche d'établir la liaison entre tous les organismes de recherche appliquée, des universités, facultés, établissements publics ou privés, ministères, etc., ainsi qu'avec le service central de la recherche scientifique pure. On voit que toute cette organisation est assez complexe. Nous n'avons pas, en son temps, épargné ici nos critiques à l'Office de Bellevue ; nos lecteurs ne s'étonneront cependant pas que nous déplorions la disparition aussi soudaine de cet organisme. Aujourd'hui, la recherche appliquée, comme la science pure, sont étroitement encadrées. Souhaitons que l'orientation — suivant le vocable à la mode — officielle s'effectue dans la bonne voie ; et souhaitons aussi que des ressources suffisantes demeurent au service de la recherche non « orientée », car c'est elle qui, bien souvent, s'est montrée la plus féconde dans le passé.

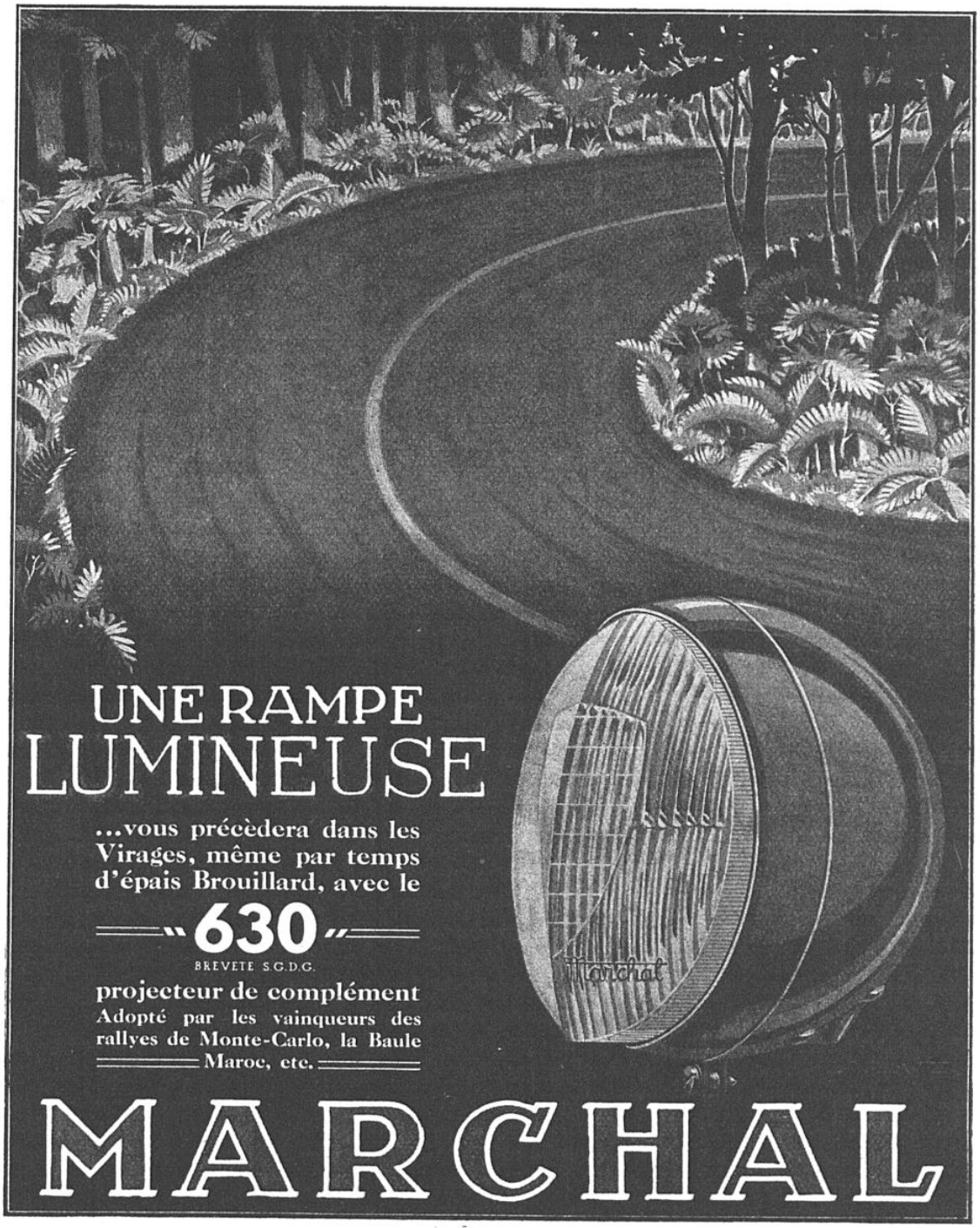
L'urbanisme ou la vie heureuse, *par André Véra.* Prix franco : France, 16 f 60 ; étranger, 19 f 40.

Ce titre, plein de promesses, a pour but de nous démontrer que, dans la cité moderne, le progrès scientifique appliqué à notre existence peut y engendrer l'hygiène et la beauté. L'Exposition de 1937 n'a-t-elle pas été, en quelque sorte, une illustration de cet aphorisme ?

(1) Les ouvrages annoncés peuvent être adressés par LA SCIENCE ET LA VIE au reçu de la somme correspondant aux prix indiqués, sauf majoration.

Gérant : M. LAMY. Paris. — Imp. MAURICE BERNARD, 18, rue d'Enghien.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



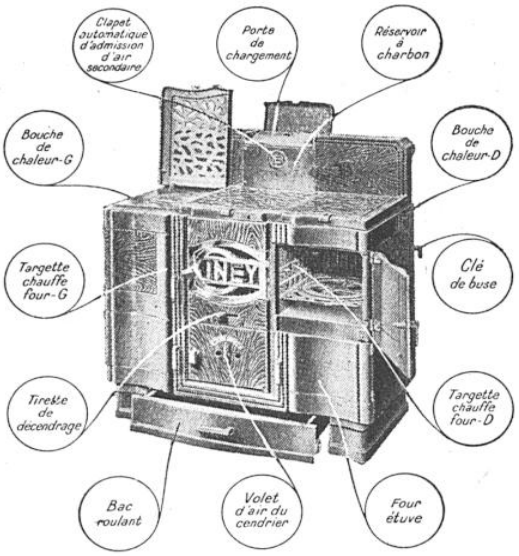
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cuisinière-Buffet CINEY

CRÉATION

à **GIVET**
(Ardennes)

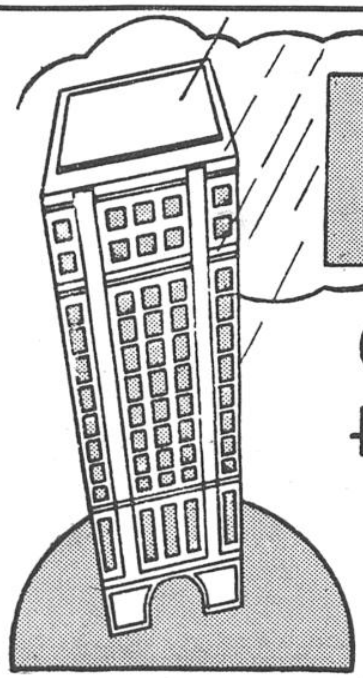
La cuisinière-buffet "Ciney" cuit les aliments d'une façon parfaite, chauffe économiquement un appartement de 200 mètres cubes, brûle de la braisette d'anthracite 10/20 tout en faisant le feu vraiment continu.



DEUX APPAREILS EN UN SEUL

Cet appareil a été réalisé suivant le principe du brevet " Ciney " à récupération des gaz par admission d'air secondaire au moyen d'un clapet automatique.

Album chauffage sur demande à GIVET ou à PARIS, 7, boulevard du Temple



RÉSISTALO

COULEUR A L'EAU
HYGIÉNIQUE & LAVABLE

S'applique sur tous matériaux :
à l'intérieur et à l'extérieur.
Peinture mate en pâte se délayant à l'eau.
Sèche rapidement -- Se conserve parfaitement.

Documentation sur demande.

Téléphone : RUEIL 718

Société anonyme : LE PLOMB MANUFACTURÉ
5, rue du Gazomètre — RUEIL (S.-&-O.)

PUBL. C. BLOCH

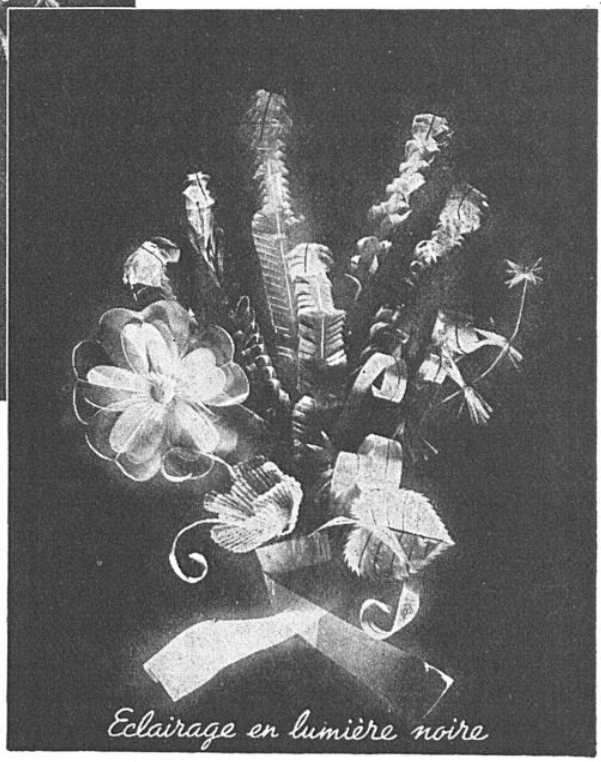
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PUB.

LUMIÈRE NOIRE

UNE NOUVELLE SOURCE LUMINEUSE
et
TOUTE LA GAMME DE SES APPLICATIONS


Eclairage en lumière ordinaire


Eclairage en lumière noire

Éclairage des vitrines
Décoration et étalages
Ballets lumineux
Signalisation de secours
Défense passive
Analyses par fluorescence
Contrôle de fabrication
etc... etc..

Pionnier de la Lumiere Noire Mazda est à votre disposition pour tous renseignements.

COMPAGNIE DES LAMPES
MAZDA
29, RUE DE LISBONNE - PARIS (VIII^e)

Photo : Borremans - Cachan

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



et si vous offriez à Madame

UN ÉQUIPEMENT RAGONOT

pour machine à coudre!

Vous lui éviterez ainsi de la fatigue et lui permettrez de faire **avec plaisir** toute une série de petites économies. Jamais de panne, pas d'entretien.

Pour machine de ménage: 455 frs en 110 volts.

Indiquez-nous l'adresse de votre électricien. Nous le chargerons de faire la pose à nos frais. Et vous recevrez, vous aussi UN CADEAU

RAGONOT

15, R. de Milan, Paris-9e - Tél. Trinité 17-60 et 61

R.L.D.



SOURDS

Un événement dans la plus importante fabrique d'appareils contre la surdité : à l'occasion des **agrandissements des Etablissements Audios** et de leur transfert du 140, rue du Temple, au **18, rue Jean-Mermoz**, les ingénieurs de ces établissements ont créé, à des prix jamais réalisés, une nouvelle série d'appareils adaptés à tous les degrés de surdité.

Rappelons que les **appareils Audios** sont agréés par le ministère des Pensions, partiellement remboursés par les Assurances sociales et recommandés par tout le corps médical. Visitez leur nouvelle installation ou écrivez-leur en leur donnant tous détails utiles sur votre degré de surdité. Ils vous conseilleront sur l'appareil convenant à votre cas particulier et qui vous fera entendre immédiatement. **AUDIOS, 18, rue Jean-Mermoz, PARIS (8e)**
(Rond-Point des Champs-Elysées)

SANS-FILISTES avant d'acquérir un appareil récepteur, n'hésitez pas à consulter le service technique de **La Science et la Vie.** Il vous renseignera impartialement sans tenir compte de considérations commerciales qui, trop souvent, faussent le jugement.

(Joindre un timbre de 0 fr. 65.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL

ÉCOLE DE NAVIGATION

placées sous
le haut patronage
de plusieurs Ministères

152, avenue de Wagram, PARIS-17e
Tél. : Wagram 27-97

COURS PAR CORRESPONDANCE

MÉCANIQUE

Apprenti : Notions d'Arithmétique, Algèbre, Géométrie - Technologie - Dessin - Ajustage.

Contremaître : Arithmétique, Géométrie, Algèbre pratiques - Notions de Physique - Mécanique pratique - Constructions mécaniques - Technologie - Croquis coté et dessin.

Technicien : Arithmétique - Algèbre - Géométrie - Notions de Trigonométrie - Physique Chimie - Mécanique - Règle à calcul - Résistance des matériaux - Technologie - Constructions mécaniques - Croquis coté et dessin.

Ingénieur-adjoint : Algèbre - Géométrie - Trigonométrie - Mécanique théorique - Règle à calcul - Mécanique appliquée - Electricité - Statique graphique - Machines et moteurs - Dessin.

Ingénieur : Mathématiques générales - Géométrie analytique - Géométrie descriptive - Physique industrielle - Mécanique rationnelle - Résistance des matériaux - Thermodynamique - Chimie industrielle - Machines motrices - Electricité - Usinage - Machines-outils - Construction d'usines.

CONSTRUCTIONS AÉRONAUTIQUES

Apprenti : Notions d'Arithmétique, Géométrie, Algèbre - Technologie - Dessin - Notions d'aviation.

Dessinateur : Arithmétique, Géométrie, Algèbre pratiques - Notions de Physique - Mécanique pratique - Technologie - Croquis et dessin - Aviation.

Technicien : Arithmétique - Géométrie - Algèbre - Trigonométrie pratique - Physique - Chimie - Mécanique - Résistance des matériaux - Règle à calcul - Constructions mécaniques - Aviation (moteur et avion) - Croquis coté et dessin.

Ingénieur-adjoint : Algèbre - Géométrie - Trigonométrie - Mécanique - Règle à calcul - Constructions mécaniques - Statique graphique - Mécanique appliquée - Outillage - Electricité - Construction d'avions - Aérodynamique - Dessin.

Ingénieur : Mathématiques générales - Géométrie analytique - Géométrie descriptive - Physique industrielle - Chimie industrielle - Mécanique - Thermodynamique - Résistance des matériaux - Electricité - Const. d'avions.

ÉLECTRICITÉ

Monteur : Notions d'Arithmétique, Algèbre, Géométrie - Electricité pratique - Dessin électrique.

Dessinateur : Arithmétique, Géométrie, Algèbre pratiques - Physique - Mécanique - Electricité industrielle - Dessin - Danger des courants - Eclairage électrique.

Conducteur : Arithmétique - Algèbre - Géométrie - Notions de Trigonométrie - Physique - Mécanique - Chimie - Règle à calcul - Technologie - Moteurs industriels - Electricité industrielle - Dessin électrique.

Ingénieur-adjoint : Algèbre - Géométrie - Trigonométrie - Règle à calcul - Mécanique - Résistance des matériaux - Electricité - Mesures - Eclairage - Bobinage.

Ingénieur : Mathématiques générales - Géométrie analytique - Géométrie descriptive - Physique - Applications mécaniques - Hydraulique - Electrotechnique - Essais - Calculs - Mesures - Production et distribution - Appareillage électrique - Electrochimie.

CHIMIE

Aide-chimiste : Notions d'Arithmétique, Géométrie, Algèbre - Dessin - Chimie : métaux, métalloïdes.

Préparateur : Arithmétique, Géométrie, Algèbre pratiques - Physique - Chimie : métaux, métalloïdes, chimie organique - Manipulations chimiques.

Chef de laboratoire : Arithmétique - Géométrie - Algèbre - Notions de Trigonométrie - Physique - Electricité - Chimie : métaux, métalloïdes, chimie organique - Manipulations chimiques - Analyse chimique.

Ingénieur-adjoint : Algèbre - Géométrie - Trigonométrie - Chimie générale : métaux, métalloïdes, chimie organique - Electricité - Métallurgie - Analyse chimique.

Ingénieur : Mathématiques supérieures - Electricité - Chimie - Physique - Electrométallurgie - Chimie industrielle - Chimie du bâtiment - Chimie agricole - Chimie des parfums - Analyse qualitative et quantitative.

SECTION SPÉCIALE DE RADIOTECHNIQUE
COURS GRADUÉS DE MATHÉMATIQUES

Programme gratuit sur demande
Joindre un timbre pour la réponse.

PUBL. C. BLOCH

E. Paracini

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

202

Aussi robuste qu'une grosse voiture, la 202 tient le 100 à l'heure en toute sécurité. Sa suspension est aussi douce aux places AV. qu'aux places AR. Son extraordinaire maniabilité en fait une voiture de ville délicieuse. Sa consommation n'est que de 6 à 8 litres aux 100 km. selon la vitesse et la charge.

La 202 a remporté un succès prodigieux. Essayez-la et questionnez les usagers.

LA QUALITÉ QU'ON NE DISCUTE PAS

La Berline métallique 4 places, 4 portes



Le Coupe 2 3 places décapotable



Le châssis-cabine C U 500 kg (Conducteur compris)





La Berline découvrable 4 places, 4 portes

Peugeot 202

Peugeot

La voiture de tous les Français

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires