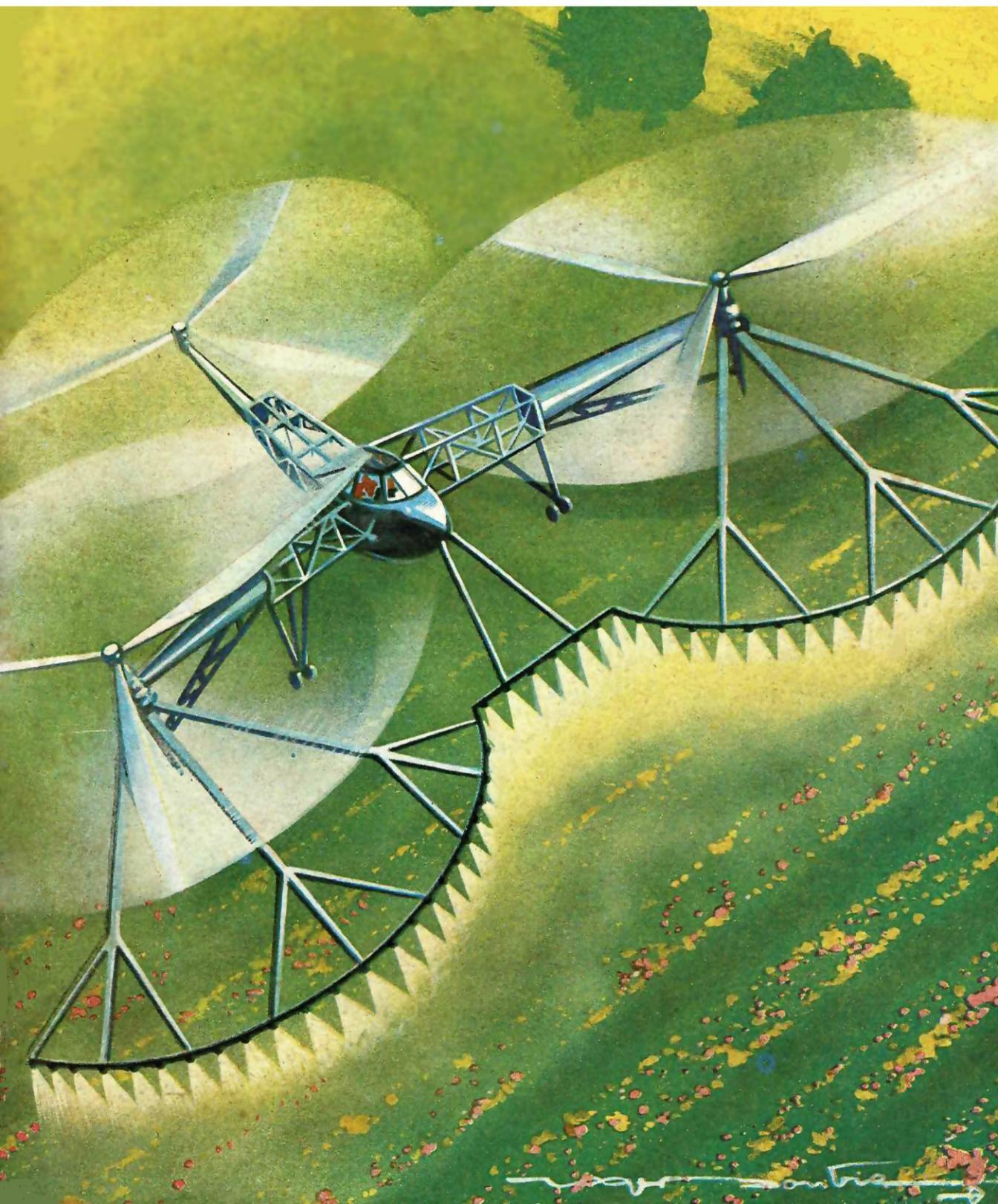


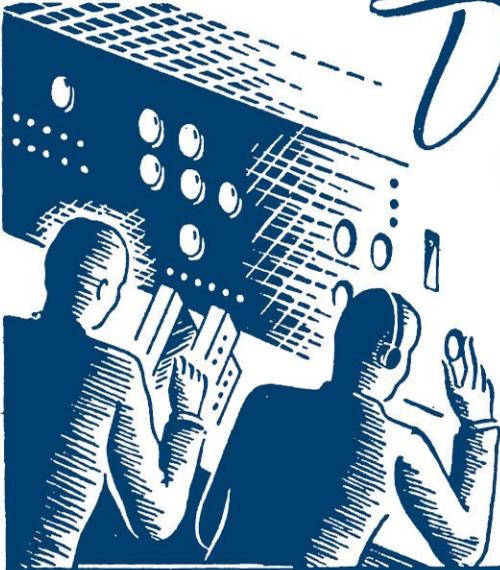
SCIENCE ET VIE

DÉCEMBRE 1946

N° 351

30 FRANCS





Devenez un spécialiste

compétent en quelques mois grâce à nos méthodes personnelles d'Enseignement.
Jeunes gens, jeunes filles, même à temps perdu, vous pouvez vous créer une situation enviée.

Préparez votre avenir
Ecrivez-nous dès aujourd'hui



Demandez le Guide des Carrières *gratuit*

ECOLE CENTRALE DE TSF

12, RUE DE LA LUNE - PARIS

COURS DU JOUR, DU SOIR OU PAR CORRESPONDANCE

POUR LA 5^È FOIS...

L'École du
"DESSIN FACILE"

présente au public
LES ŒUVRES DE SES MEILLEURS ÉLÈVES

à la Galerie Royale
11, Rue Royale - Paris



Vous qui avez si souvent entendu parler de cette célèbre École de dessin par correspondance, allez constater de vos yeux les surprenants résultats obtenus par Marc SAUREL, créateur de ce genre d'enseignement.

Sinon, demandez-lui sa jolie brochure illustrée, véritable initiation à l'art passionnant du dessin en indiquant le genre qui vous intéresse. Joignez le bon ci-dessous et 12 Frs en timbres.

Outre son fameux cours de dessin le "DESSIN FACILE", l'École Marc SAUREL possède également des cours par correspondance sur :

LA PEINTURE FACILE.
LE DESSIN INDUSTRIEL
LE DESSIN DE MODE
LE DESSIN D'ILLUSTRATION
LE DESSIN DE PUBLICITÉ

LE DESSIN ANIMÉ.
LE DESSIN DE LETTRES.
et pour les enfants de 6 à 12 ans, un charmant petit cours "JE DESSINE"



BON
S.V. 91

"LE DESSIN FACILE"

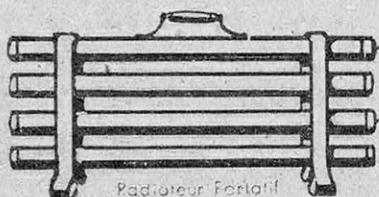
11, RUE KÖPPLER - PARIS 16^e

Mécano

LE TECHNICIEN DU CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE étudiera pour vous l'utilisation efficace des plus faibles attributions de courant.

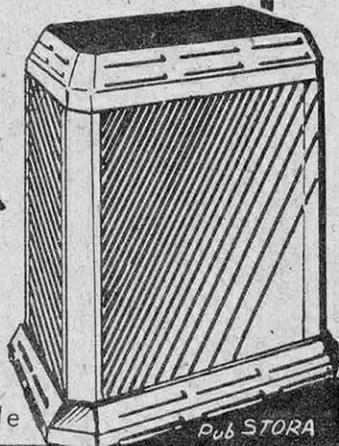
IL FOURNIT RAPIDEMENT SON MATÉRIEL DE

Poêle à accumulation



Radiateur Forlatif

Qualité



Pub STORA

SOCIÉTÉ MÉCANO FRANÇAISE
104, AV. DES CHAMPS-ÉLYSÉES, PARIS (TÉL. ÉLY. 01-80)

Notice illustrée et renseignements sur demande

Une Situation d'avenir en étudiant chez soi



DESSIN INDUSTRIEL RADIO

Méthode d'enseignement **IMMÉDIATE, EFFICACE et RAPIDE** sous la direction de professeurs de valeur.

Préparation aux diplômes de :
DESSINATEUR CALQUEUR
DESSINATEUR DÉTAILLANT
DESSINATEUR PROJETEUR
C. A. P.

BACCALAURÉATS TECHNIQUES des carrières séduisantes et bien rémunérées

Nos services d'Orientation Professionnelle et de placement sont à la disposition de nos élèves

DOCUMENTATION GRATUITE
ESPECIÈMENT LA BRANCHE CHOISIE

Méthode d'enseignement technique et pratique comportant des travaux à domicile et à l'école.

Préparation aux diplômes de :
MONTEUR
CHEF MONTEUR
SOUS-INGÉNIEUR, etc.

PRÉPARATION AUX EXAMENS OFFICIELS - un métier nouveau aux perspectives illimitées.



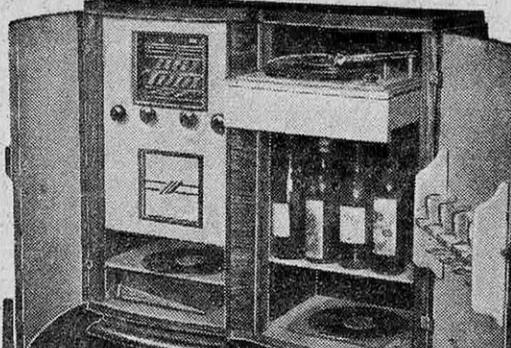
PUBL. BONNANGE

INSTITUT PROFESSIONNEL POLYTECHNIQUE 11, RUE CHALGRIN - PARIS (16^e)

POUR LA BELGIQUE, s'adresser I. P. P., 33, rue Vandermaelen, à BRUXELLES-MOLENBECK

**MEUBLE
RADIO-PHONO-BAR**

NOYER, PALISSANDRE ou ACAJOU
Intérieur Sycomore



**THE NEW
PACIFIC RADIO**
26 bis RUE PLANCHAT PARIS 20^e

Reprend sa belle qualité d'avant guerre
5 gammes étalées - Technique nouvelle
Tout cuivre - Garantie intégrale
Demandez documentation ou venez à l'usine

CRITERIUM

LE CRAYON MÉCANIQUE

*Pour le bureau.
le dessin*

Une simple pression libère la mine



Gilbert & Blanzzy-Poure

FABRICANTS EXCLUSIFS DE LA PLUME
SERGENT-MAJOR



**LES INVENTIONS
mathématiques LAFAY
rendent tout calcul
facile**

Elles s'adressent à tous :
Écoliers, Commerçants,
Ingénieurs, etc.

Envoi contre 30 fr. des
intéressantes notices S.
V. avec tables, graphiques
et abaque, facilitant déjà
bien des calculs.

Parmi ces inventions :
LES HÉLICES A CALCUL
N° 1, prix : 270 fr.

N° 2, très précise, échelles
log. de 2^m50, prix : 410 fr.

Les com^{tes} accompagnées
de leur montant, plus 15 fr.
pour frais d'envoi des
hélices, sont à adresser à :

A. LAFAY, mathématicien, à
NEUVILLE-sur-SAONE (Rhône)

C. C. Postal : Lyon 73.10

Pour dessiner

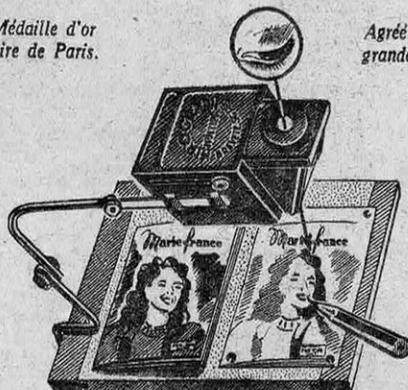
sans avoir appris

UN APPAREIL SCIENTIFIQUE

Le « MIROGRAPH »

Médaille d'or
Foire de Paris.

Agréé dans les
grandes Ecoles



Tout ce que l'œil voit : dessin, photo, croquis,
plan, gravure, paysage, etc..., peut être repro-
duit de façon parfaite au moyen de l'appareil.

PRIX DE VENTE : 250 frs

Le « MIROGRAPH » peut être aussi bien utilisé
par un enfant que par un professionnel.

DIFFUSION ARTISANALE :

7^{ter}, cour des Petites-Écuries, PARIS (10^e).

Envoi par retour contre 265 frs
Contre remboursement. 275 frs

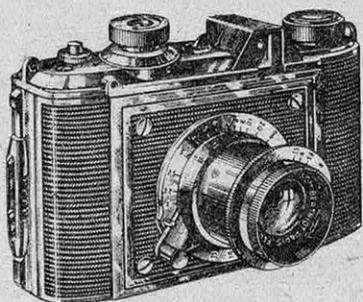


PHOTO
CINÉ
RADIO

PHOTO-HALL

5, RUE SCRIBE, PARIS 9^e

Catalogue T — 10 frs Fco



...branché sur votre robinet à gaz ou sur une source d'acétylène, et

LE CHALUMEAU BRANDT

breveté S. G. D. G. — Licence Schäfer

Suffisent pour braser et souder
à basse température

**SANS AIR COMPRIMÉ
SANS OXYGÈNE**

TOUS MODÈLES DISPONIBLES

En vente chez les quincailliers et
spécialistes en fournitures industrielles

Pour documentation et vente en gros, s'adresser :

Établissements EDGAR BRANDT

52, Champs-Élysées — PARIS (8^e)

Téléphone : ELYsées 18-87 - BALzac 36-26

VENTE PAR CORRESPONDANCE PUBLICIS

ENCORE UNE FAMILLE "VALENTIN"

VÊTEMENTS IMPERMÉABLES
DE
Valentin
LE ROI DES CAOUTCHOUCS

6 Avenue de CLICHY, Métro Pl. Clichy
158 Rue LAFAYETTE, Près G. du Nord

Demandez le Catalogue illustré N° 4

LYON. ROUEN. LILLE. STRASBOURG 8.V



STYLO « SUPERBLOC 2000 »

CAPOTÉ Grand Luxe, conçu selon les derniers principes de la technique américaine. Bakélite supérieure. **PLUME CAPOTÉE**, toujours prête à servir. Remplissage système Parker. Grande capacité d'encre. Plume à pointe inaltérable.

Livré en écrin. **AU PRIX**

VRAIMENT SENSATIONNEL DE 175 fr.

contre remboursement ou mandat joint. Toutes taxes et frais compris.

FORMULE NOUVELLE : Si ce stylo ne vous donne pas satisfaction, retournez-le-nous sous 8 jours, il vous sera échangé ou **REMBOURSÉ**.

LES DIFFUSIONS CIERPA

Département Stylo A

67, rue Rochechouart, Paris (9^e)

(Se recommander de « Science et Vie »)

Les cours par correspondance

DE L'ÉCOLE UNIVERSELLE

permettent à ses élèves d'effectuer le maximum de progrès dans le minimum de temps. Ceux de ces cours qui préparent aux examens et aux concours publics conduisent chaque année au succès plusieurs milliers d'élèves.

Vous pouvez faire CHEZ VOUS, QUELLE QUE SOIT VOTRE RÉSIDENCE, sans déplacement, sans abandonner l'emploi qui vous fait vivre, en utilisant simplement vos heures de loisirs, avec le MINIMUM DE DÉPENSES, quel que soit votre âge, en toute discrétion si vous le désirez, 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.

L'École Universelle vous adressera gratuitement, par retour du courrier, celle de ses brochures qui vous intéresse et tous renseignements qu'il vous plaira de lui demander.

BROCHURE L. 15.140. — ENSEIGNEMENT PRIMAIRE : Classes complètes depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet supérieur, Bourses, Brevets, etc.

BROCHURE L. 15.141. — ENSEIGNEMENT SECONDAIRE : Classes complètes depuis la onzième jusqu'à la classe de Mathématiques spéciales incluse, Bourses, Examens de passage, Baccalauréats, etc.

BROCHURE L. 15.142. — ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : Licences (Lettres, Sciences, Droit), Professorats.

BROCHURE L. 15.143. — GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES.

BROCHURE L. 15.144. — POUR DEVENIR FONCTIONNAIRE : Administrations financières, P. T. T., Police, Ponts et Chaussées, Génie rural, etc...

BROCHURE L. 15.145. — CARRIÈRES DE L'INDUSTRIE, des MINES et des TRAVAUX PUBLICS, Certificats d'aptitude professionnelle et Brevets professionnels.

BROCHURE L. 15.146. — CARRIÈRES DE L'AGRICULTURE et du Génie rural.

BROCHURE L. 15.147. — COMMERCE, COMPTABILITÉ, INDUSTRIE HOTELIÈRE, ASSURANCES, BANQUE, BOURSE, etc... Certificats d'aptitude professionnelle et Brevets professionnels.

BROCHURE L. 15.148. — ORTHOGRAPHE, RÉDACTION, CALCUL, ÉCRITURE.

BROCHURE L. 15.149. — LANGUES VIVANTES, TOURISME, Interprète, etc...

BROCHURE L. 15.150. — CARRIÈRES de L'AVIATION MILITAIRE et CIVILE.

BROCHURE L. 15.151. — CARRIÈRES de la MARINE de GUERRE.

BROCHURE L. 15.152. — CARRIÈRES de la MARINE MARCHANDE (Pont, Machines, Commissariat).

BROCHURE L. 15.153. — CARRIÈRES des LETTRES (Secrétariat, Bibliothèque, etc...).

BROCHURE L. 15.154. — ÉTUDES MUSICALES : Solfège, Harmonie, Composition, Piano, Violon, Chant, Professorats.

BROCHURE L. 15.155. — ARTS DU Dessin : Professorats, Métiers d'art, etc...

BROCHURE L. 15.156. — MÉTIERS DE LA COUTURE, de la COUPE, de la MODE, de la LINGERIE, de la BRODERIE, etc...

BROCHURE L. 15.157. — ARTS DE LA COIFFURE ET DES SOINS DE BEAUTÉ.

BROCHURE L. 15.158. — CARRIÈRES DU CINÉMA.

ÉCOLE UNIVERSELLE

59, boulevard Exelmans, PARIS

NOTRE SERVICE DE T.S.F.



VOUS Y TROUVEREZ
COMME AVANT GUERRE

*des postes
de grande classe*

DEMANDEZ LE CATALOGUE GRATUIT



ENIGME...

POUR VOTRE CHANCE

CERTITUDE

POUR LES ŒUVRES DE BIENFAISANCE

LOTÉRIE NATIONALE

• SOCIÉTÉ D'HORLOGERIE DU DOUBS •
106, Rue LAFAYETTE - PARIS 10^e



PRESENTE

WATERPROOF
STAINLESS



N°	V-1.	Montre bracelet Homme, Dame ou Garçonnet...	1150	frs
N°	V-2.	Montre de Luxe - 15 Rubis.....	1490	frs
N°	V-3.	Montre de Grand Luxe - 15 Rubis.....	1760	frs

Le 1^{er} Stylo Français
à plume capotée
assure :

- 1 PROTECTION
CONTRE TOUT
ENCRASSEMENT
- 2 ARRIVÉE
D'ENCRE
INSTANTANÉE
- 3 DES MILLIERS DE KMS D'ÉCRITURE
AVEC SA PLUME À POINTE
INUSABLE EN MÉTAL PRÉCIEUX
- 4 UN SERVICE
D'ENTRETIEN
PERMANENT ET GRATUIT

AIRMAIL
FAP

33, RUE CAMBON - OPÉ 72-89 - PARIS
En vente dans toutes les bonnes maisons

Vous pouvez gagner de l'argent par le DESSIN

Le dessin n'offre pas seulement des joies personnelles, les bons dessins sont rares, recherchés et bien payés. Quelle que soit votre occupation actuelle, le dessin peut vous rapporter des gains supplémentaires. Il peut même être pour vous le début d'une nouvelle carrière dans l'illustration, la publicité, la mode, le dessin humoristique, la décoration, le portrait, etc...



C'est toute la Bretagne qu'évoque une de nos élèves dans ce croquis où l'attitude et les valeurs sont très justes.

Songez à assurer dès maintenant votre avenir. Préparez-vous à une carrière indépendante et lucrative. L'École A. B. C. vous enseignera le dessin par correspondance d'une manière à la fois amusante et pratique, que vous habitiez une grande ville ou le plus petit des hameaux. Dès la première leçon vous ferez des dessins qui vous étonneront. Vous n'auriez jamais pensé obtenir de tels résultats aussi rapidement.

La caractéristique de la méthode est de faire travailler tout de suite d'après nature objets, animaux, personnages, paysages.

DEMANDEZ LA NOUVELLE BROCHURE
DE RENSEIGNEMENTS



Charmante scène de la rue notée très simplement mais avec une grande vérité par un de nos élèves.

Un luxueux album abondamment illustré est offert gratuitement, pour vous renseigner sur la méthode, le programme et les cours de spécialisation. Vous y trouverez une documentation complète, ainsi que le témoignage de nombreux élèves enthousiastes et reconnaissants. En écrivant donnez-nous des détails; avez-vous déjà dessiné? Quel but voulez-vous atteindre? (Joindre 6 fr. pour frais.)

ÉCOLE A. B. C. DE DESSIN

(Studio X. 8), 12, rue Lincoln (Ch.-Élys.), PARIS (8^e)

Il existe un cours par correspondance spécial pour enfants de 8 à 13 ans. Demandez l'album « ENFANTS ».



Stephens'
LA
MEILLEURE
DES ENCRE
ANGLAISES

fabriquée en FRANCE



STYLO

Stephens'



ROYAL

Le stylo qui a du style

Stephens'

37, RUE DEGUINGAND
LEVALLOIS-PERRET
(SEINE)

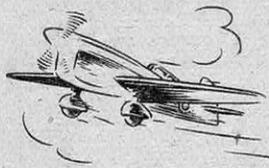
JEUNES GENS !

Occupez vos loisirs en suivant par correspondance les cours qui feront de vous, en peu de temps, des hommes de valeur. Faites-vous une situation d'avenir dans l'une des branches suivantes :



DESSIN INDUSTRIEL

Situations agréables dans toutes les industries sans exception : Aviation, Automobile, Constructions mécaniques et électriques, Travaux publics, Grandes Administrations d'État. Partout, il y a place pour des milliers de dessinateurs, hommes et femmes.



AVIATION

Le développement formidable que prendra l'Aviation demain offrira de nombreuses et excellentes situations à un personnel spécialisé. L'Aviation vous attire ? Alors devenez à votre choix Électro-Mécaniciens ou pilotes.



RADIOÉLECTRICITÉ

Industrie à l'avenir illimité, qui, avec ses actuelles applications du Cinéma sonore et de la Télévision, fait appel à des techniciens de tous grades : du monteur à l'ingénieur, elle réserve à ces techniciens un travail aussi passionnant que bien rémunéré.

TRAVAUX PRATIQUES

Avec le matériel que l'École mettra GRATUITEMENT entre vos mains et quelle que soit votre résidence, vous deviendrez un TECHNICIEN VRAIMENT COMPLET

Notre documentation illustrée vous sera adressée GRATUITEMENT sur simple demande. (Bien spécifier la branche choisie.)

ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE

51, boulevard Magenta, PARIS (10^e)

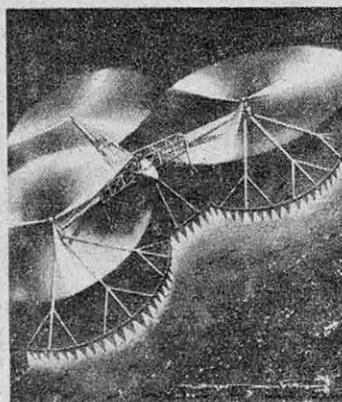
SCIENCE ET VIE

Tome LXX - N° 351

Décembre 1946

SOMMAIRE

- ★ Les nébuleuses extragalactiques et l'expansion de l'univers,
par J. Gauzit..... 251
- ★ Les fusées à liquides, par Camille Rougeron 261
- ★ Des étalons internationaux aux mesures industrielles, par
Jean Labadié 271
- ★ Les « Orties de mer », par Robert Weill 282
- ★ L'hélicoptère au service de l'agriculture, par Jean Marival. 291
- ★ A côté de la Science, par V. Rubor..... 295



L'hélicoptère, comme l'avion, a bénéficié des perfectionnements considérables apportés, pendant la guerre en particulier, aux groupes motopropulseurs et a prouvé sa facilité d'adaptation à des fins pacifiques, notamment pour les transports à la demande (taxis aériens) et le tourisme. Une nouvelle application à la lutte contre les parasites des cultures par projection, au cours de vols en rase-mottes, de produits insecticides ou anticryptogamiques a déjà démontré l'efficacité de l'hélicoptère au service de l'agriculture. Un appareil spécialisé, le Cierva « Air Horse », que représente la couverture de ce numéro, a été spécialement étudié dans ce but. Il permettra de résoudre le problème de l'enlèvement de lourdes charges (plusieurs tonnes), domaine où jusqu'ici l'hélicoptère accusait une grave infériorité. Sans doute des appareils commerciaux pour le transport de marchandises ou de passagers mettront-ils bientôt à profit les enseignements dégagés de ces expériences. (Voir l'article page 291 de ce numéro.)

« Science et Vie », magazine mensuel des Sciences et de leurs applications à la Vie moderne. Administration, Rédaction : 5, rue de La Baume, Paris (VIII^e). Téléphone : Elysées 26-69. — Publicité : 24, rue Chauchat, Paris (IX^e). Téléphone : Provence 70-54. Chèque postal : 91-07 Paris. Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Copyright by « Science et Vie », décembre mil neuf cent quarante-six.

ABONNEMENTS. — Affranchissement simple : France et Colonies, 300 francs ; Étranger, 450 francs.
Recommandé : France et Colonies, 400 francs ; Étranger : 600 francs.
Seuls, les règlements par chèques postaux (mandats roses ou virements) sont acceptés.
Compte de chèques postaux : PARIS 91-07.
Tout changement d'adresse doit être accompagné de 5 francs en timbres et de la dernière bande d'envoi.

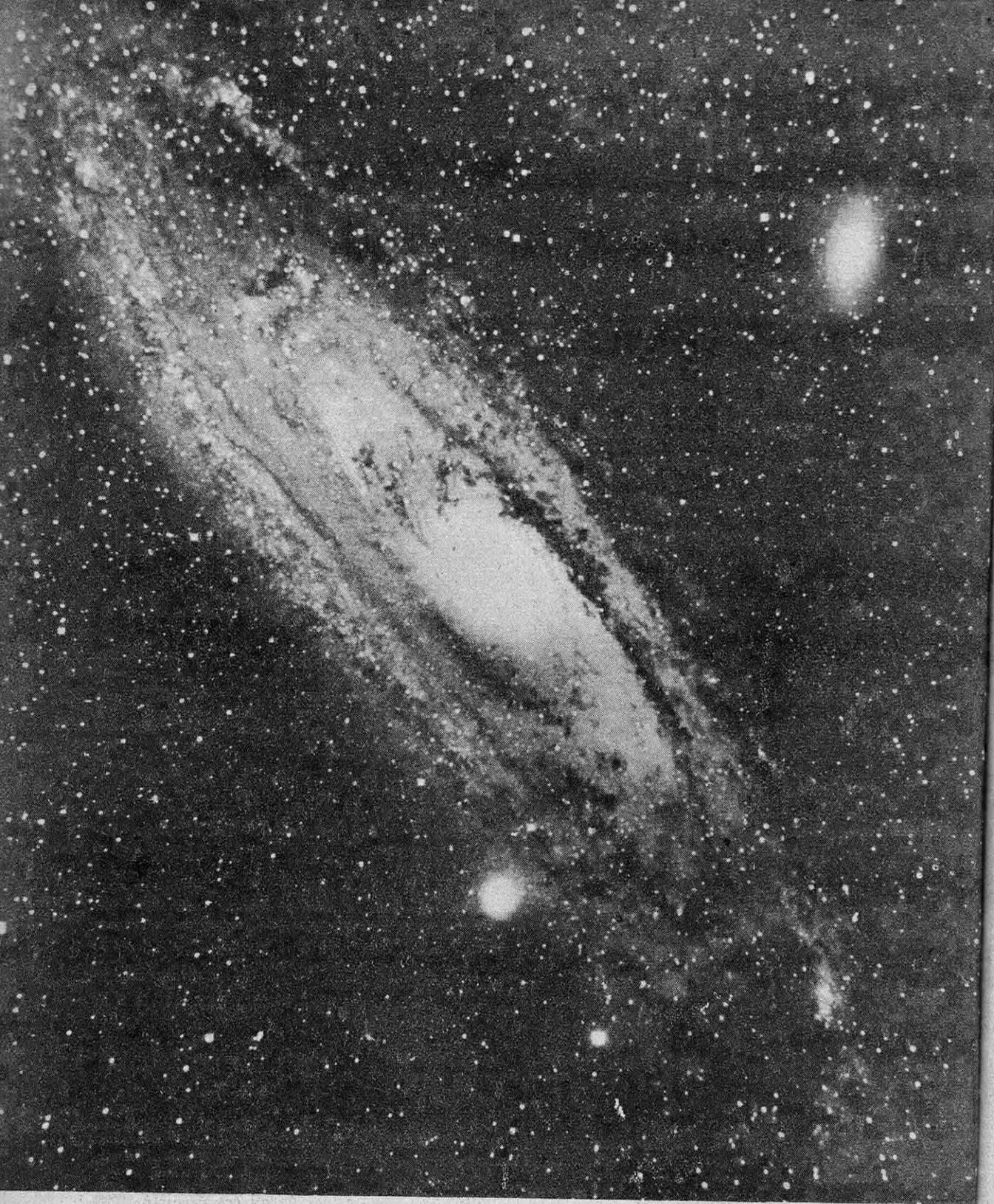


FIG. 1 — LA GRANDE NÉBULEUSE D'ANDROMÈDE. MESSIER 31 (N. G. C. 224)

Cette belle spirale, vue sous un angle très oblique, est la seule visible à l'œil nu dans nos régions. C'est d'ailleurs uniquement la partie centrale qui impressionne l'œil, car la photographie, dans laquelle on a voulu faire apparaître les régions extérieures, ne donne pas l'impression réelle de la répartition d'intensité. Ici, la partie centrale est très surexposée. Si les régions externes étaient visibles à l'œil nu, la nébuleuse aurait un diamètre apparent trois fois plus grand que celui de la pleine Lune. Les nombreuses étoiles visibles sur la nébuleuse sont des objets étrangers, beaucoup plus rapprochés. Si nous pouvions observer notre propre galaxie d'un point extérieur convenablement placé, il est probable qu'elle ressemblerait beaucoup à cette spirale.

LES NÉBULEUSES EXTRAGALACTIQUES ET L'EXPANSION DE L'UNIVERS

par J. GAUZIT

Astronome de l'observatoire de Lyon

Deux dates font ressortir les immenses progrès accomplis dans la connaissance de l'univers : il y a cent ans, on commençait à peine à évaluer les distances qui nous séparent des étoiles ; il y a vingt ans, on hésitait et l'on discutait sur la nature exacte des nébuleuses spirales, que certains considéraient comme des masses gazeuses peu lointaines. On sait aujourd'hui que ces nébuleuses sont de véritables mondes stellaires semblables à notre Voie Lactée et contenant comme elle des milliards d'étoiles ; et l'on parvient à mesurer leur distance, jusqu'à celles dont la lumière met un demi-milliard d'années à nous parvenir. On a déjà dénombré près de cent millions de ces nébuleuses extragalactiques. Quelle écrasante leçon d'humilité nous apporte l'astronomie ! Mais aussi quelle immense joie, la joie de connaître et de comprendre, celle de « sentir notre esprit s'élargir d'autant plus qu'il mesure et domine de plus vastes objets » ! L'étude du spectre de ces nébuleuses lointaines semble indiquer qu'elles s'enfuient, qu'elles s'écartent de nous à des vitesses vertigineuses, qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de milliers de kilomètres par seconde. Cette fuite est-elle réelle et assistons-nous à une rapide expansion de l'univers ? C'est très probable, mais le problème est ardu et la réponse n'est pas encore absolument certaine.

Nébuleuses galactiques et nébuleuses extragalactiques

On a pendant longtemps appelé « nébuleuses » tous les corps célestes dont les contours ne sont pas nets, à l'exception des comètes. Dès le XVIII^e siècle on avait reconnu que de nombreuses nébuleuses ont une forme elliptique et l'on pensait qu'elles sont constituées par des agglomérations très lointaines d'étoiles ; on les désignait fréquemment sous le nom d'« univers-iles » et l'on espérait que toutes ces nébuleuses pourraient être résolues un jour en étoiles, grâce aux progrès de l'optique astronomique.

C'est d'abord la spectroscopie qui a montré, vers 1865, une différence essentielle entre les nébuleuses : les unes donnent un spectre formé de quelques raies brillantes, qui est caractéristique d'un gaz sous une pression très faible ; ce sont les *nébuleuses gazeuses*. Mais d'autres nébuleuses, comme par exemple la grande nébuleuse d'Andromède (fig. 1), ont essentiellement un spectre continu, avec quelques raies d'absorption et sont, dans la plupart des cas, formées par un immense amas d'étoiles, dont elles présentent le spectre moyen ; ces nébuleuses sont situées en dehors de la Voie Lactée, elles n'appartiennent pas à notre système stellaire, à notre galaxie ; on les appelle les *nébuleuses extragalactiques*. Ces nébuleuses se trouvent donc à des distances beaucoup plus grandes encore que celles qui nous séparent des étoiles (voir la fig. 13). La distinction que nous venons de faire

n'a été définitivement confirmée que lorsqu'on a su mesurer la distance de ces nébuleuses, c'est-à-dire à une date relativement récente, puisque c'est en 1924 seulement que l'astronome américain Hubble réussit le premier à évaluer la distance de la nébuleuse d'Andromède.

Les catalogues fondamentaux dont on se sert encore pour désigner un grand nombre de nébuleuses sont déjà anciens et comprennent indifféremment les deux sortes d'objets (ils contiennent même des amas d'étoiles, par exemple l'amas globulaire d'Hercule, qui porte le nom de Messier 13). Ce sont le *Catalogue de Messier*, publié en 1782, qui contient 103 nébuleuses, les plus brillantes, et le *New General Catalogue*, publié par Dreyer, en 1888, qui contient 13 000 objets. On nomme une nébuleuse d'après son numéro dans ces catalogues ; par exemple, on désigne la nébuleuse d'Andromède par « Messier 31 » ou, en abrégé, M. 31 ; ou encore on écrit N. G. C. 224, car on a pris l'habitude, pour le deuxième catalogue, de ne garder que les initiales.

Avant de passer à l'étude détaillée des nébuleuses extragalactiques, rappelons que les nébuleuses gazeuses sont souvent appelées, par opposition, les *nébuleuses galactiques* et que l'on distingue deux types parmi ces dernières : les *nébuleuses planétaires* (fig. 2), qui ont généralement l'aspect d'un petit disque elliptique plus ou moins semblable à celui du disque d'une planète ; d'où leur nom, dans lequel il ne faut voir que le rappel d'une vague ressemblance d'aspect ; et les *nébuleuses diffuses*, de forme irrégulière,



FIG. 2. — LA NÉBULEUSE PLANÉTAIRE HELIX
(N. G. C. 7293)

C'est la plus grande des nébuleuses planétaires; elle a un diamètre apparent de 15 minutes. Elle apparaît un peu comme un anneau, autour d'une étoile centrale de magnitude 11. Toutes les nébuleuses planétaires sont des objets de forme sphérique, qui n'apparaissent donc jamais sous la forme d'un disque plat ou d'un anneau vu par la tranche, comme les nébuleuses spirales.

souvent de grandes dimensions; les unes ressemblent à un nuage lumineux, comme la nébuleuse d'Orion (fig. 3); les autres forment comme une dentelle légère.

Enfin on parle aussi de *nébuleuses obscures*; c'est, en effet, ainsi que l'on désigne certaines régions du ciel où l'absence d'étoiles ne peut s'expliquer que par la présence d'un nuage de poussière cosmique qui les cache. C'est un tel nuage qui nous donne l'impression que la Voie Lactée se sépare en deux branches dans la région de la constellation du Cygne. On voit aussi une nébuleuse obscure caractéristique au sud de la nébuleuse d'Orion (fig. 3); on a nettement l'impression que l'absence d'étoiles dans la région gauche de la photographie est due à un rideau opaque qui nous empêche de voir les étoiles lointaines. Les nébuleuses obscures sont très nombreuses dans le ciel.

Les divers types de nébuleuses extragalactiques

On a observé à l'aide des télescopes à grande ouverture, et notamment du télescope de 2,50 m du mont Wilson (1), un nombre immense de nébu-

(1) Voir : « Les États-Unis possèdent l'outillage astronomique le plus puissant et le plus perfectionné du monde » (*Science et Vie*, n° 264, juin 1939, p. 663).

leuses extragalactiques. On estime que le nombre des nébuleuses atteignant la magnitude 20 (1) est d'environ 100 millions. (Rappelons que le nombre d'étoiles atteignant la même magnitude est à peine cinq fois plus grand et que celui des étoiles visibles à l'œil nu ne dépasse pas 6 000). Pour faire saisir la grandeur de ce nombre de très petites nébuleuses, disons que le disque lunaire cache, en moyenne, 500 à 600 de ces objets.

Bien entendu, même avec les plus puissants télescopes dont disposent actuellement les astronomes, elles n'apparaissent sur les photographies que comme de très petites taches ovales ou de minuscules fuseaux. Mais on observe d'autant plus de détails de structure que les nébuleuses sont plus grosses, c'est-à-dire plus proches. Or, on constate que les nébuleuses extragalactiques montrent une grande variété de formes (fig. 4, 5, 6). A quoi correspondent ces différences? Nous reprendrons ici une

(1) Le classement des astres par *magnitude* succède à celui par *éclat* ou *grandeur*. A la première grandeur correspond la magnitude 1; à la deuxième grandeur (astres moins brillants), la magnitude 2 etc. Ainsi la magnitude croît lorsque l'éclat diminue. L'échelle se prolongeant dans les deux sens, on a été amené à considérer des magnitudes négatives pour les astres très brillants. L'éclat étant fonction de la distance, on envisage, pour rendre les comparaisons possibles, la magnitude absolue qui caractérise l'éclat apparent que posséderait un astre ramené à une distance (la même pour tous) égale à 10 parsecs (32,6 années-lumière). La *magnitude apparente* caractérise l'éclat apparent de l'étoile telle qu'on l'observe. Elle dépend de sa magnitude absolue et de sa distance à l'observateur. Ainsi, alors que la magnitude apparente du Soleil est de 26,7, sa magnitude absolue est de 4,8.



FIG. 3. — LA GRANDE NÉBULEUSE GAZEUSE D'ORION

comparaison de l'astronome anglais Jeans : « Si nous pénétrons dans une forêt de chênes, nous voyons les hautes futaies et en même temps les jeunes arbres, les pousses et les glands sur le sol ; ces différents aspects représentent les diverses phases de la croissance végétale. De même, les formes variées des nébuleuses correspondent à des phases diverses de leur évolution, à différents chapitres de leur histoire. La transformation des nébuleuses est, bien sûr, extrêmement lente et exige des millions d'années. »

On classe généralement les nébuleuses extragalactiques en nébuleuses régulières spirales (74 %), en nébuleuses régulières elliptiques (23 %) et en nébuleuses irrégulières (3 %).

Les nébuleuses régulières sont la grande majorité ; elles sont caractérisées par une forme symétrique autour d'un noyau. Parmi elles, les *nébuleuses spirales* sont de beaucoup les plus nombreuses, à tel point que l'on emploie assez souvent l'expression « nébuleuse spirale » pour désigner de manière générale les nébuleuses extragalactiques. C'est pour la nébuleuse Messier 51, de la constellation des Chiens de chasse (fig. 7) que la forme en spirale fut découverte pour la première fois, en 1845. Les nébuleuses spirales du type normal ont un noyau globulaire beaucoup plus brillant que les parties extérieures ; de deux points diamétralement opposés de ce noyau partent deux bras, qui s'enroulent en spirale autour de lui, dans un même plan et dans le même sens. La forme spiralée nous apparaît plus ou moins nettement suivant que les nébuleuses sont vues de face (fig. 7), sous une incidence oblique, ou même par la tranche. Le cas le plus fréquent est celui de l'incidence oblique. C'est, par exemple, le cas de la nébuleuse d'Andromède (fig. 1). Quand une nébuleuse est vue par la tranche, elle prend l'aspect d'une sorte d'aiguille, dix fois plus longue qu'épaisse environ, avec un renflement lenticulaire au centre (fig. 8). Un caractère remarquable est l'apparition générale d'une bande noire dans le sens de la longueur, qui décelle la présence de nuages de poussière cosmique particulièrement abondante dans le plan équatorial. Nous avons appelé plus haut que c'est la poussière cosmique qui produit les nébuleuses obscures dans notre galaxie. Nous retrouvons ce caractère de notre galaxie dans les nébuleuses spirales. Il est d'ailleurs certain que la majorité des nébuleuses spirales sont formées comme notre galaxie de nuées d'étoiles mêlées à

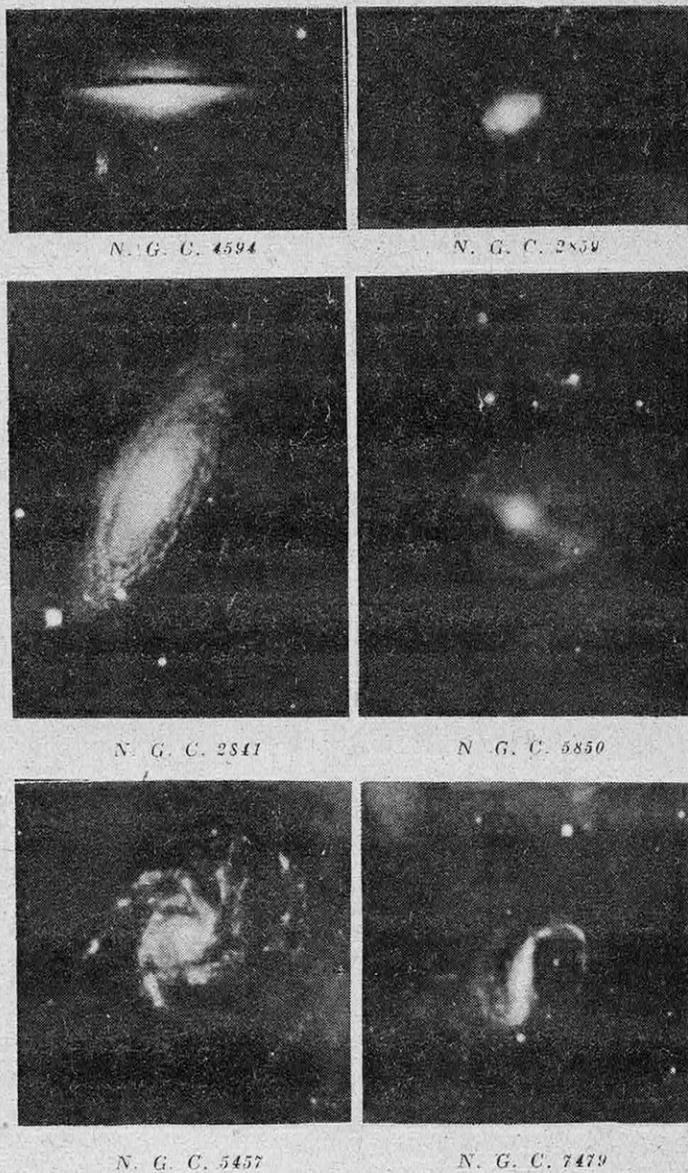


FIG. 4. — NÉBULEUSES SPIRALES NORMALES ET NÉBULEUSES « BARRÉES »

Les trois nébuleuses de gauche ont la forme typique. La première est vue de profil et montre une large bande obscure dans le sens de la longueur ; la deuxième est vue sous un angle considérable, enfin la dernière à peu près normalement. Elles représentent aussi différents degrés de la résolution en détails stellaires. A droite, des nébuleuses de forme moins usuelle ; on les nomme des nébuleuses barrées. Les bras, beaucoup moins développés, partent des extrémités d'une barre lumineuse qui traverse le noyau. Dans N. G. C. 2859, on a l'impression de deux appendices lourds et courts, au lieu des longs bras spiralés. Les nébuleuses barrées sont assez fréquentes ; on en compte environ 30 p. 100 parmi les spirales.

d'immenses nuages de gaz ou de poussière cosmique : les nébuleuses les plus rapprochées ont pu être résolues en étoiles, du moins dans leurs branches extérieures, et l'on a pu y reconnaître la présence d'étoiles tout à fait analogues à celles que l'on trouve dans

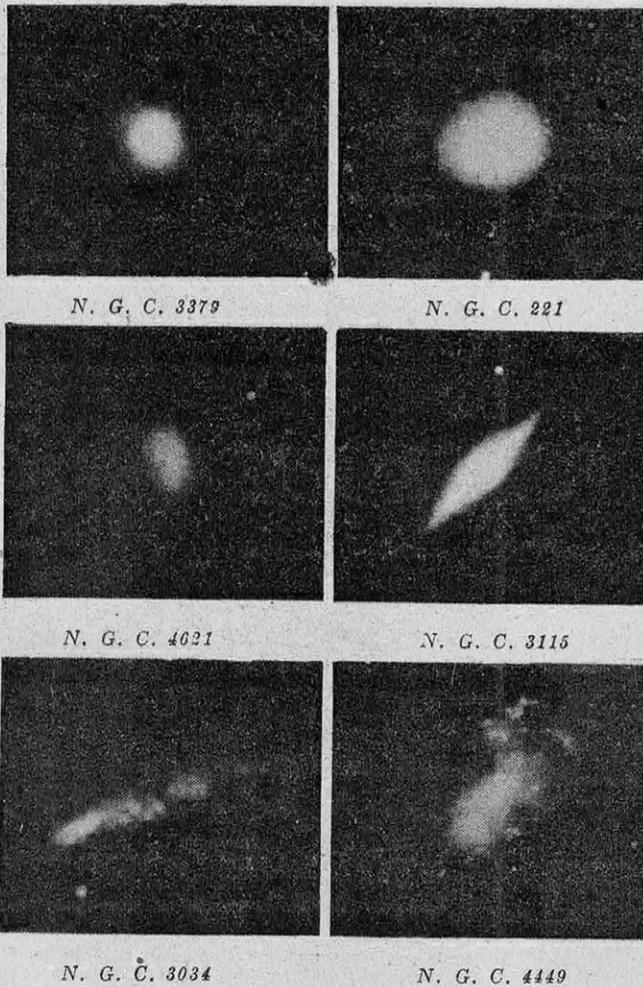


FIG. 5. — NÉBULEUSES ELLIPTIQUES ET NÉBULEUSES IRRÉGULIÈRES

N. G. C. 3379 a une forme globulaire. N. G. C. 221 et N. G. C. 4621 sont ovales, tandis que N. G. C. 3115 est du type « fuseau ». Les quatre nébuleuses sont tout à fait « non résolues », sans aucune trace de structure. Les deux photographies du bas montrent deux nébuleuses irrégulières typiques.

notre galaxie, comme nous le préciserons plus loin.

Les *nébuleuses elliptiques* apparaissent comme des objets ovales, à bords diffus, dans lesquels on n'aperçoit aucun indice de la structure en spirale, ni de la résolution en étoiles. La figure 5 en reproduit quelques exemples. On en voit aussi une dans la partie inférieure de la photographie représentant la nébuleuse d'Andromède (fig. 1) ; il s'agit de la nébuleuse N. G. C. 221, qui est un compagnon de la nébuleuse d'Andromède. Le degré d'aplatissement, probablement aux pôles de rotation, est le seul caractère qui différencie les divers aspects de ces nébuleuses. Puisqu'un système lenticulaire présenté à plat semble circulaire, on peut se demander si ces nébuleuses elliptiques ne sont pas, elles aussi, aplaties comme les spirales et si leur différence d'aspect n'est pas due simplement à leurs orientations différentes. Mais la fréquence des nébuleuses

globulaires est vraiment trop grande et l'on est amené à penser qu'en proportion notable les nébuleuses elliptiques sont réellement globulaires.

Quant aux *nébuleuses irrégulières*, elles n'ont ni noyau apparent, ni symétrie de rotation. Les plus proches sont les deux nuages de Magellan. On a pu distinguer dans plusieurs nébuleuses irrégulières des étoiles et des nébuleuses gazeuses analogues à celles de notre système galactique.

Distances des nébuleuses

Les méthodes employées pour évaluer les distances (1) sont tout à fait différentes selon qu'il s'agit de nébuleuses résolubles en étoiles (on en compte 150 environ) ou d'objets très lointains.

On dispose, pour les premières, de plusieurs procédés qui permettent souvent une vérification mutuelle et donnent de très bons résultats.

C'est d'abord l'observation des étoiles variables du type céphéide. On a découvert que l'éclat absolu maximum de ces étoiles géantes varie linéairement en fonction de leur période. La cause de cette variation des céphéides n'est pas encore établie d'une façon décisive, mais on admet généralement qu'il s'agit d'étoiles pulsantes, c'est-à-dire d'étoiles qui se gonflent et qui se contractent périodiquement. On comprend alors que la période des oscillations soit d'autant plus grande que l'étoile est plus massive, et l'on sait que, plus une étoile est massive, plus elle est brillante. L'important pour nous, c'est que ces étoiles servent à évaluer les distances. En effet, Hubble a reconnu, au bord de la nébuleuse d'Andromède, 40 céphéides, dont l'éclat absolu est connu. En mesurant leur éclat apparent, qui dépend de la distance, on peut déduire que la nébuleuse se trouve environ à un million d'années-lumière.

Mais le calcul n'est valable que si la relation entre la période et la luminosité des céphéides est identique pour les étoiles de la nébuleuse et pour celles de notre galaxie. On a pu vérifier qu'il en est bien ainsi en déterminant la distance par une autre méthode. On a observé, dans la même nébuleuse d'Andromède, 115 *novae*, et l'on a constaté qu'elles ont toutes atteint, en moyenne, à leur maximum, la même magnitude de 15,5 (2). Si ces astres avaient été placés, non plus à un million d'années-lumière, mais à la

(1) Voir « Les Dimensions de l'Univers » (*Science et Vie*, n° 318, février 1944, p. 60).

(2) Une *nova* n'est pas une étoile nouvelle, mais un astre qui est le siège d'une flambée soudaine. L'examen spectroscopique révèle, en effet, des couches de gaz en expansion, animées de vitesses de l'ordre de 1 000 km/s qui correspondent à des vitesses d'explosion. Voir : « Les cataclysmes stellaires : novae et supernovae » (*Science et Vie*, n° 325, octobre 1944, p. 101).

distance choisie pour évaluer les magnitudes absolues, cette magnitude aurait été $-5,5$ (c'est-à-dire environ 10 000 fois le rayonnement du Soleil). L'accord est excellent, car c'est précisément la magnitude absolue que l'on obtient pour les *novae* galactiques. Enfin, on arrive à des estimations analogues de la distance par l'étude des amas globulaires décelables (il y en a 140) dans la nébuleuse.

Comment fait-on pour évaluer les distances des nébuleuses éloignées, celles dans lesquelles on ne distingue aucune étoile ou même aucun détail ?

En gros, on compare les dimensions de ces nébuleuses à la dimension moyenne de celles dont la distance est connue. Dans la pratique, on ne mesure pas les diamètres des images, car nous verrons que cette estimation est assez arbitraire ; mais on mesure, par les méthodes habituelles de photométrie photographique, les magnitudes totales des nébuleuses. Or, on constate, pour les nébuleuses dont la distance est connue, que leur magnitude absolue totale s'écarte peu de la valeur moyenne $-14,9$; les écarts sont assez importants pour les nébuleuses irrégulières, mais pour les spirales il y a deux chances sur trois pour que la magnitude ne diffère pas d'une unité de la moyenne. A ce point de vue, la comparaison des nébuleuses est beaucoup plus favorable que celle des étoiles ; en somme, les nébuleuses sont peu différentes les unes des autres, tandis que l'éclat des étoiles n'est pas seulement fonction de la distance. Si l'on évaluait la distance d'une nébuleuse par la méthode dont nous venons de donner le principe, on pourrait seulement affirmer que l'on a deux chances sur trois pour que l'erreur sur cette distance soit inférieure à 60 %. Mais une circonstance favorable contribue souvent à réduire beaucoup l'incertitude : s'il existe des nébuleuses isolées, il y a aussi, comme nous le verrons, des amas de nébuleuses. Dans certaines régions du ciel, on rencontre des centaines de nébuleuses groupées ; ce fait n'est pas dû au hasard, mais il correspond à un véritable amas physique. La répartition des magnitudes des diverses nébuleuses d'un amas autour d'une valeur moyenne obéit à une loi simple, qui nous renseigne d'une manière vraiment précise sur la distance de l'amas.

Pour les nébuleuses les plus faibles perceptibles sur les clichés du mont Wilson (magnitude 21), on atteint la distance inconcevable de 500 millions d'années-lumière. La lumière qui nous parvient et que nous analysons est partie depuis un demi-milliard d'années, à une époque où la Terre était encore informe et où probablement aucun être vivant n'avait encore apparu sur elle.

Comparaison des nébuleuses et de notre galaxie

Toutes les nébuleuses qui ont été résolues montrent une étroite ressemblance avec notre système galactique, par le genre des objets qu'elles contiennent. Les étoiles les plus brillantes ont une luminosité du même ordre que dans notre système. On y trouve des étoiles variables des types familiers, notamment des céphéides tout à fait analogues à celles que nous connaissons. Les *novae* ressemblent aux *novae* galactiques. Des nébuleuses gazeuses y sont visibles ou révèlent leur présence par leur spectre. Quant aux nébuleuses obscures, elles y sont fréquentes.

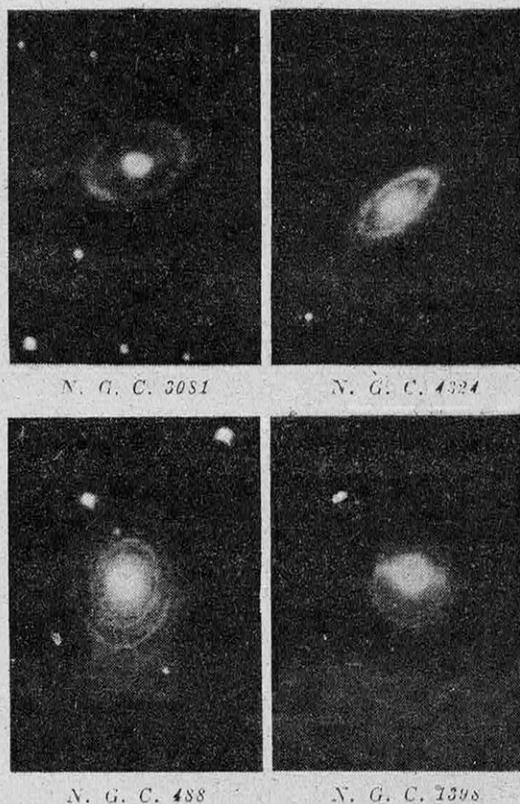


FIG. 6. — QUELQUES TYPES INTERMÉDIAIRES DE NÉBULEUSES EXTRAGALACTIQUES

Dans les deux nébuleuses du haut, nous voyons un anneau centré autour d'un noyau plus ou moins dense. Dans N. G. C. 488 le fait remarquable est la présence d'une série d'anneaux concentriques, tandis que N. G. C. 1398 montre à la fois un noyau barré, un anneau et des bras spirales.

Étudions cette analogie des nébuleuses et de notre galaxie. Examinons en particulier si elles ont des dimensions comparables.

On déduit les dimensions des nébuleuses de l'angle sous lequel elles apparaissent, à condition que leur distance soit connue. Il y a, nous l'avons dit, à peine vingt ans que l'on sait mesurer ces distances et les premières conclusions que l'on en avait déduites semblaient indiquer que notre galaxie est exceptionnellement grande, beaucoup plus vaste que toutes les nébuleuses spirales observées. Mais, en réalité, on avait, pour commencer, pris une valeur trop grande pour le diamètre du disque galactique, qui atteindrait, d'après les estimations récentes, 100 000 années-lumière environ ; et, d'autre part, on avait sous-estimé les dimensions des nébuleuses. Cette dernière erreur est facile à comprendre : il est malaisé de mesurer le diamètre d'une nébuleuse spirale, car la brillance décroît progressivement à partir du centre et les dimensions d'une image photographique dépendent des conditions d'observation. Par exemple, on avait évalué, d'après les premières photographies obtenues, à 35 000 années-lumière le diamètre de la nébuleuse d'Andromède ; mais des photographies à longue pose



FIG. 7. — LA NÉBULEUSE SPIRALE MESSIER 51, DE LA CONSTELLATION DES CHIENS DE CHASSE

Très belle nébuleuse spirale, vue à peu près de face. Sa forme caractéristique donne l'impression d'une rotation rapide. Remarquer la présence de masses globulaires floues accumulées le long des branches principales de la spirale, et qui apparaissent dans presque toutes les grandes nébuleuses spirales. Une particularité de cette spirale est la grande masse nébuleuse non spiralee, qui termine l'un des bras.

montrèrent que les bras de la spirale s'étendent presque deux fois plus loin qu'on ne l'avait cru ; enfin, des observations plus précises, dans lesquelles on a cherché à quelle distance du centre il faut s'écarter, soit sur les photographies, soit directement en pointant le ciel, pour que la brillance ne soit plus que celle du fond du ciel, conduisent à un diamètre tout à fait du même ordre de grandeur que celui de notre galaxie. Notre galaxie est certainement une très belle spirale, mais elle n'a rien d'exceptionnel.

On n'a pas encore réussi à mettre en évidence la présence, dans notre galaxie, de bras analogues à ceux des spirales. Cela n'a rien de surprenant, car, si l'on a une bonne vue d'ensemble d'un point extérieur, il en va tout autrement dans notre cas ; le Soleil est très mal placé, sur le bord du noyau central, dans un nuage local, pour que nous puissions apprécier la structure de la spirale qui nous entoure.

L'aspect des nébuleuses spirales suggère immédiatement l'idée d'une rotation rapide. On a pu mesurer cette rotation — non par une observation directe, car une preuve du mouvement ne serait fournie que par la comparaison de deux clichés pris à des dates très éloignées — mais en mesurant, par application du principe de Doppler-Fizeau, les vitesses d'éloignement ou de rapprochement des divers points d'une spirale. On a, par exemple, trouvé une période de

de rotation de 16 millions d'années pour le noyau de la nébuleuse d'Andromède. Quant aux bras, ils tournent avec une période plus longue, en se déformant. En effet, une nébuleuse ne tourne pas en bloc, comme une roue autour de son centre, mais plutôt comme l'anneau de Saturne autour de cette planète : la partie centrale tourne plus vite que la circonférence. Il est tout à fait remarquable que, malgré notre position défavorable dans notre galaxie, les astronomes soient parvenus à démontrer que notre galaxie tourne sur elle-même, à la manière des spirales. La rotation semble, il est vrai, être beaucoup plus lente que pour la nébuleuse d'Andromède, puisqu'on trouve une période de deux cents millions d'années. Mais, d'une part, cette évaluation est peut-être encore imprécise, et, d'autre part, elle concerne les étoiles voisines du Soleil, qui se trouvent assez éloignées du centre de la galaxie.

Les « supernovae »

Nous venons d'étudier les points de ressemblance de notre galaxie et des nébuleuses spirales. Jusqu'ici nous pouvons dire que l'on trouve dans l'une toutes les variétés d'astres qui sont présentes dans les autres, et réciproquement. Il faut peut-être faire une exception pour ces objets extraordinaires auxquels on a donné le nom de *supernovae* (1). Ce sont des *novae*, que l'on observe parfois dans les nébuleuses extragalactiques, et qui ont un éclat absolu inusité même parmi les *novae*, puisqu'il dépasse de plus de 1 000 fois celui des *novae* ordinaires.

La première *supernova* connue, *S. Andromedae*, fut découverte en août 1885, près du noyau de la nébuleuse d'Andromède. Elle atteignit la magnitude 7,2 ; à elle seule l'étoile émettait un flux lumineux égal au dixième de celui émis par toutes les étoiles de la nébuleuse, qui sont au nombre de quelques milliards.

On a reconnu, actuellement, l'existence de deux à trois douzaines de *supernovae*. Pour les rechercher, on a, d'une part, procédé à un examen rétrospectif minutieux des clichés du ciel dans les collections des divers observatoires ; mais, surtout, on a voulu saisir sur le vif l'explosion de quelques-uns de ces astres et, dans ce but, plusieurs télescopes américains, à grande ouverture et grand champ, explorent le ciel régulièrement. Par exemple, au mont Palomar, un télescope de 65 cm d'ouverture et qui a un champ de 9 degrés et demi, surveille environ 3 000 nébuleuses, de magnitude inférieure à 15. Dans les dix-sept premiers mois de travail, il a découvert trois *supernovae* (fig. 9).

Malgré le faible nombre d'objets connus, on fait déjà de la statistique : en moyenne, il doit apparaître une à deux *supernovae* par nébuleuse en mille ans.

Quant à la magnitude absolue maximum des *supernovae*, elle atteint en moyenne — 14, ce qui signifie que ces astres sont, au moment de leur « explosion », 1 500 fois plus lumineux que les étoiles normales les plus brillantes et 100 millions de fois plus que le Soleil. Placée à la distance standard de 10 parsecs, où notre Soleil serait à peine visible à l'œil nu, une *supernova* serait quatre fois plus lumineuse que la pleine Lune.

Un problème se pose : a-t-on jamais observé une *supernova* dans notre galaxie ? C'est possible.

(1) Voir : « Novae et Supernovae » (*Science et Vie*, n° 325, octobre 1944, p. 110).

mais non certain. On peut, en effet, soupçonner que deux *novae* galactiques ont été, en réalité, des *supernovae*. L'une est celle apparue en 1572, dans la constellation de Cassiopée ; elle était visible en plein jour, beaucoup plus brillante que Jupiter ; sa position approximative a été fournie par l'observation du célèbre astronome danois Tycho Brahé ; on a récemment étudié minutieusement la région où cette étoile apparut, sans y rien découvrir de spécial. Quant au deuxième cas, c'est celui d'une *nova* dont l'apparition en l'an 1054 est rapportée par les livres chinois ; elle aussi aurait été plus brillante que Jupiter ; elle était située dans la nébuleuse qui porte le nom de « Crab Nebula », dans la constellation du Taureau.

Distribution dans l'espace des nébuleuses extragalactiques. Les amas de nébuleuses

Les nébuleuses apparaissent à peu près dans toutes les régions du ciel, sauf au voisinage du plan de l'équateur galactique, où leur absence

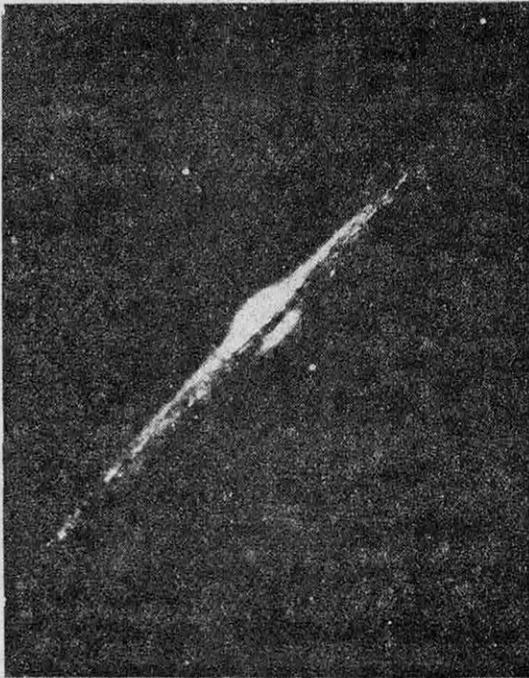


FIG. 8. — NÉBULEUSE SPIRALE VUE PAR LA TRANCHE

C'est la spirale N. G. C. 4565, dans la constellation de la Chevelure de Bérénice. Cette photographie, d'un grand intérêt, montre la partie centrale brillante et épaisse tandis que les branches spirales sont, par comparaison, minces et moins lumineuses. Une partie du noyau est cachée par les branches de la spirale et notamment par les amas de poussière cosmique, semblables à ceux que l'on distingue par endroits dans la nébuleuse d'Andromède (fig. 1). Si nous pouvions photographier notre galaxie d'un point situé près du plan équatorial, à une distance de quelques millions d'années-lumière, nous obtiendrions probablement une figure analogue à celle-ci. Nous comprenons pourquoi nous ne distinguons aucun objet lointain dans le plan équatorial galactique, la lumière étant absorbée par les nuages opaques abondants.

apparente s'explique par l'intense absorption de la lumière dans les nuages cosmiques abondants. Mais leur répartition n'est pas uniforme. Comme nous l'avons déjà signalé ci-dessus, on observe assez fréquemment des accumulations de nébuleuses, qui forment de véritables amas (certains les appellent des supergalaxies) (fig. 10).

L'amas le plus proche et, par suite, le plus brillant et celui qui a le plus grand diamètre apparent, est l'amas de la Vierge ; il a été le premier découvert. Il se trouve à une distance de 7 millions d'années-lumière et comprend 2 800 nébuleuses de magnitude inférieure ou égale à 18 sur une surface de quelques degrés carrés.

La distance moyenne qui sépare ces nébuleuses est de 130 000 années-lumière. On retrouve à peu près cette même distance moyenne dans d'autres amas, comme ceux de Persée ou du Lion.

Par contre, lorsque nous calculons la distance moyenne qui sépare deux nébuleuses en faisant intervenir l'ensemble de toutes les nébuleuses visibles avec les plus grands télescopes actuels, nous obtenons une séparation moyenne de 2 millions d'années-lumière.

Or, sans compter les deux nuages de Magellan, qui semblent réellement former une nébuleuse annexe de notre galaxie, nous trouvons une dizaine de nébuleuses situées à une distance du Soleil inférieure ou égale à 1 million d'années-lumière. Il faut donc admettre que notre galaxie fait elle-même partie d'un amas local de nébuleuses. Elle se trouve probablement sur le bord de cet amas.

La récession des nébuleuses

L'observation des nébuleuses extragalactiques a conduit à la découverte d'un fait étonnant, extraordinaire ; il est si surprenant que, depuis dix-sept ans qu'il a été annoncé, il n'est pas encore admis comme réel par certains astronomes, qui tentent de trouver une nouvelle interprétation aux observations. Voici ce fait : *les nébuleuses s'éloignent rapidement de nous, d'autant plus vite qu'elles sont plus éloignées.* Comment s'en est-on aperçu ? Par la photographie du spectre des nébuleuses. Rappelons, en effet, que la position précise des raies dans un spectre nous renseigne sur la vitesse relative du corps émetteur : si nous nous rapprochons de la source lumineuse, nous devançons les ondes à la réception, leur fréquence apparente est donc supérieure à leur fréquence réelle, et la lumière nous paraît plus violette ; si, au contraire, nous fuyons devant la lumière, les ondes doivent nous rattraper, et la lumière nous paraît plus rouge ; le déplacement des raies vers le violet ou le rouge nous permet de déduire la vitesse de l'astre, d'après ce que l'on nomme le principe de Doppler-Fizeau. Or le spectre des nébuleuses extragalactiques — qui est le spectre d'une immense agglomération d'étoiles et ressemble beaucoup à celui du Soleil — est déplacé vers le rouge ; et le déplacement est d'autant plus grand que la nébuleuse est plus éloignée (fig. 11). Les vitesses que l'on déduit du déplacement sont énormes, même pour des astronomes. Les vitesses des étoiles ne dépassent pas beaucoup la vitesse du Soleil par rapport aux étoiles voisines, qui est de 20 km/s ; on trouve bien quelques rares étoiles dont la vitesse atteint 100 km/s et même 400 km/s ; mais il s'agit, dans le cas des nébuleuses, de vitesses de plusieurs milliers et même de dizaines de milliers de

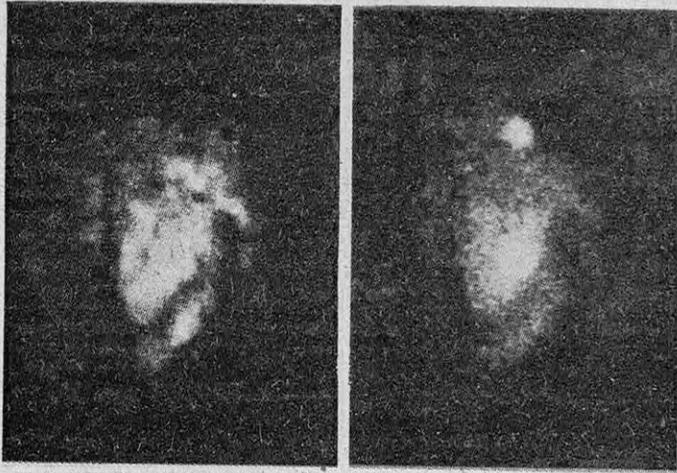


FIG. 9. — COMMENT APPARAÎT UNE « SUPERNOVA »

La figure reproduit, côte à côte, deux photographies de la nébuleuse N. G. C. 4273, de l'amas de la Vierge. Celle de droite a été tirée en mai 1931, celle de gauche le 16 février 1936; cette dernière, peu posée, montre une supernova à 29 secondes d'arc au nord du noyau de la spirale. Cette supernova a atteint la magnitude 14,2, soit à peu près le sixième de l'intensité totale de toute la spirale. C'est la règle générale que l'intensité des supernovae soit voisine de celle des nébuleuses où elles apparaissent.

kilomètres par seconde. Une loi remarquablement simple, qui est mise en évidence par le diagramme de la figure 13, régit ces vitesses : la vitesse de récession des nébuleuses est proportionnelle à leur distance. (Cette loi a été vérifiée d'une manière si précise qu'elle sert maintenant parfois pour évaluer la distance d'une nébuleuse, d'après son spectre). La vitesse croît de 160 km/s par million d'années-lumière, si bien que les nébuleuses les plus lointaines dont on a pu obtenir le spectre, et qui sont à 280 millions d'années-lumière, s'éloignent vers les profondeurs de l'espace avec une vitesse de 45 000 km/s.

Avant d'admettre la réalité de ces mouvements, les astronomes ont, bien entendu, examiné si le déplacement du spectre vers le rouge ne pouvait pas être dû à quelque autre effet. On connaît d'autres causes de décalage. Par exemple, on sait que, suivant un effet prévu par Einstein, les raies sont déplacées vers le rouge par un champ de gravitation ; mais, d'une part, le décalage n'est sensible que dans un champ très intense et n'a été mis en évidence d'une manière certaine qu'au voisinage d'étoiles très denses, comme les naines blanches (1), par exemple le compagnon de Sirius ; d'autre part, on ne voit pas comment l'effet Einstein pourrait être proportionnel à la distance. Finalement, aucun effet actuellement connu, sauf l'effet Doppler-Fizeau, ne paraît pouvoir expliquer le décalage observé. Ceux qui refusent de croire à la réalité de la fuite des nébuleuses peuvent, évidemment, supposer qu'intervient une action encore inconnue et qui ne serait perceptible que pour les très grandes distances ; ainsi, puisque la théorie moderne fait intervenir des grains de lumière (ou photons) ayant une énergie déterminée, on peut penser que ces grains subissent dans l'espace une perte d'énergie proportionnelle

(1) Voir : « Le mystère des naines blanches » (*Science et Vie*, n° 331, avril 1945, p. 142).

à la distance ; cela équivaudrait précisément à un déplacement des raies vers le rouge... Mais il s'agit là d'une pure hypothèse.

L'expansion de l'Univers

Dans l'état actuel des choses nous n'avons donc aucune raison pour ne pas admettre comme réelle la récession des nébuleuses. Essayons de comprendre les faits.

Nous ferons d'abord une remarque. Nous avons l'impression que les nébuleuses s'écartent de notre galaxie comme d'un pestiféré. En réalité, notre galaxie ne joue aucun rôle particulier. Les nébuleuses s'écartent les unes des autres exactement de la même manière qu'elles s'écartent de nous. Si, brusquement, les distances qui nous séparent de nos semblables et des objets environnants étaient multipliées par 2, nous croirions d'abord que chacun s'éloigne de nous ; mais chacun de nous aurait la même impression. C'est une expansion de ce genre qui se présente avec les nébuleuses. Elle est analogue, par exemple, à l'ex-

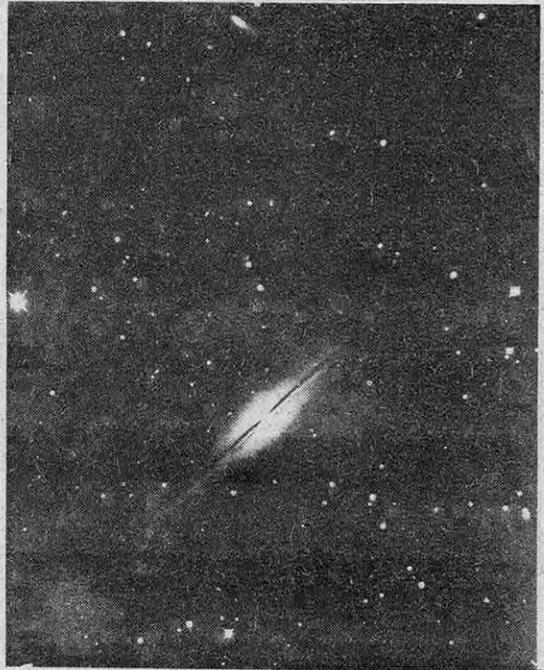


FIG. 10. — UN AMAS DE PETITES NÉBULEUSES SPIRALES

Au centre, la nébuleuse spirale H 11,240, de Pégase, qui se présente exactement de profil. D'autres nébuleuses apparaissent sur la figure. Dans le cliché original, obtenu au télescope de 1,50 m du mont Wilson, on distingue une quarantaine de très petites nébuleuses spirales, qui font partie d'un amas. Si quelque chose dans l'univers est plus capable de frapper l'imagination que les grandes nébuleuses spirales formées de milliards d'étoiles, c'est bien, sans doute, un amas groupant lui-même une centaine ou un millier de minuscules spirales !

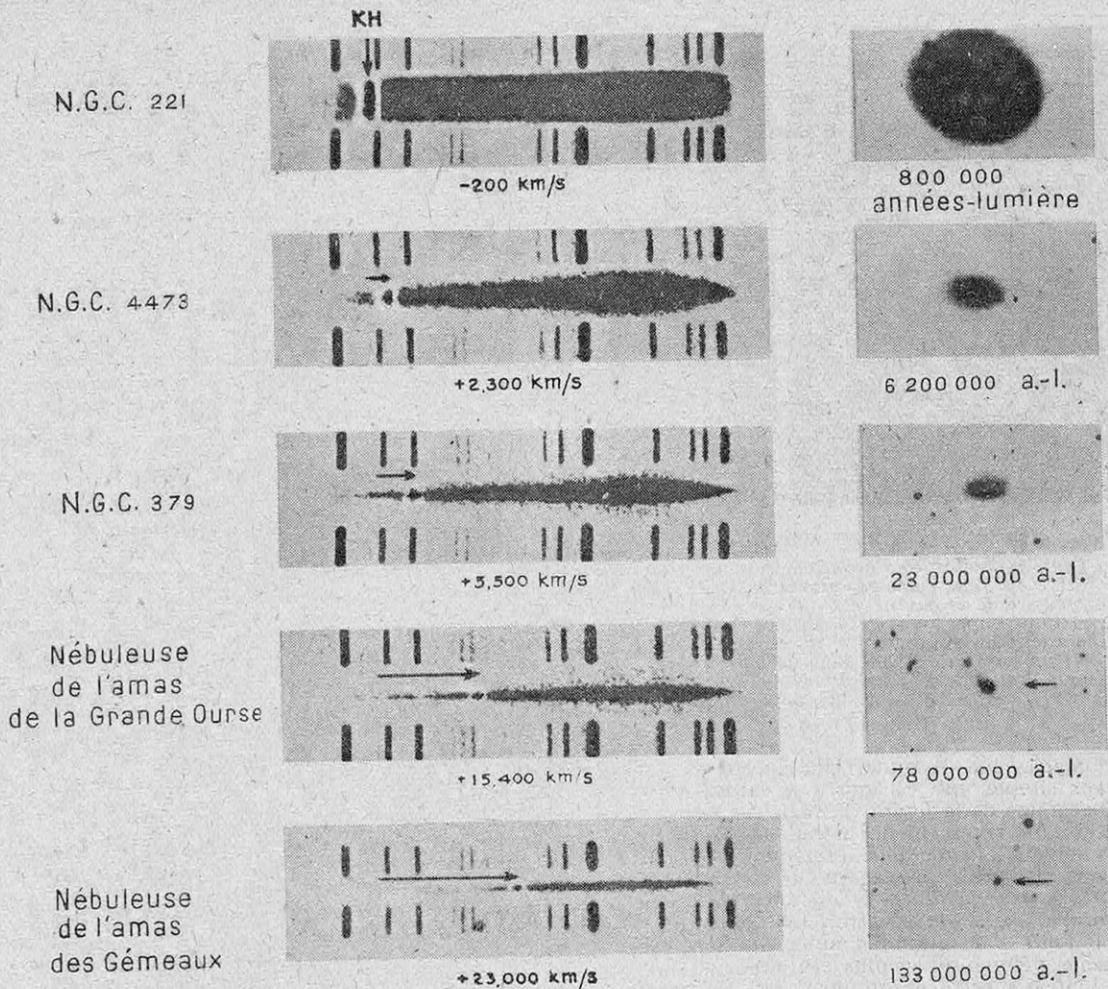


FIG. 11. — DÉPLACEMENT VERS LE ROUGE DES SPECTRES DES NÉBULEUSES EXTRAGALACTIQUES

La figure reproduit les spectres de quelques nébuleuses, rangés dans l'ordre des distances croissantes. Chaque spectre nébulaire est bordé d'un spectre de comparaison (raies de l'hélium). La flèche dans chaque spectre indique la position des raies H et K, dues au calcium, et montre la grandeur du déplacement de ces raies. A droite, des photographies directes montrent les nébuleuses correspondantes; elles sont prises toutes à la même échelle et avec approximativement le même temps de pose. On voit la diminution du diamètre et de l'intensité quand la distance croît. N. G. C. 4473 fait partie de l'amas de nébuleuses de la Vierge. N. G. C. 379 fait partie d'un groupe dans les Poissons.

pansion d'un gaz dont les molécules s'écartent de plus en plus les unes des autres.

Maintenant, une image simple va nous permettre de comprendre la proportionnalité des vitesses et des distances. Quand un obus éclate, les éclats volent à des vitesses différentes et ceux qui vont le plus vite arrivent le plus loin. Si nous photographions ces éclats à un instant donné, chacun d'eux aura franchi une distance proportionnelle à sa vitesse. Puisque les nébuleuses s'éloignent suivant cette loi, nous sommes amenés à imaginer qu'à un certain moment dans le passé l'univers a éclaté en morceaux. (En réalité, l'histoire est certainement plus compliquée, car, pour expliquer l'état actuel, il suffirait que l'explosion se soit produite il y a deux milliards d'années, ce qui est certainement un temps trop court.)

Malgré tout, cette fuite vertigineuse des nébuleuses nous surprend. Mais nous devons dire

maintenant que la raison profonde pour laquelle la grande majorité des astronomes la croient réelle, c'est qu'elle avait été prévue comme possible bien avant qu'elle soit observée. En 1917, Einstein donna, dans sa théorie de la relativité, une formule de la gravitation qui faisait intervenir un « terme cosmique »; il montra qu'il faut ajouter à la force attractive de Newton, inversement proportionnelle au carré de la distance, une force répulsive proportionnelle à la distance. Cette force est négligeable sur les corps voisins, mais elle devient prépondérante pour les nébuleuses lointaines. Pour avoir un univers en équilibre, Einstein proposa l'hypothèse d'un univers sphérique, rempli d'un milieu de densité uniforme, qui produirait une force attractive variant proportionnellement à la distance. Mais l'abbé Lemaitre montra, en 1927, que le modèle d'univers proposé par Einstein est, en réalité, en

Distance du Soleil.....	150 000 000	kilomètres.
Limite du système solaire (orbite de Pluton).....	5 800 000 000	—
Distance de l'étoile la plus proche.....	40 000 000 000 000	—
Diamètre de notre galaxie.....	1 000 000 000 000 000	—
Distance de la nébuleuse la plus proche.....	6 500 000 000 000 000	—
Distance des nébuleuses de magnitude 21.....	5 000 000 000 000 000 000	—
Rayon de l'univers.....	50 000 000 000 000 000 000	—

FIG. 12. — ÉCHELLE DES DISTANCES ASTRONOMIQUES

équilibre instable et qu'il doit se dilater ou se contracter. Il discuta particulièrement le cas de l'« univers en expansion ». Sa théorie, reprise par de nombreux savants et notamment par l'astronome anglais Eddington, ne donne pas la valeur de la « force cosmique », mais on déduit celle-ci de la vitesse de récession mesurée sur les spectres.

Par contre, il est remarquable que la théorie lie directement cette vitesse de récession des nébuleuses à la masse totale de l'univers. On trouve ainsi, pour cette masse, une valeur de

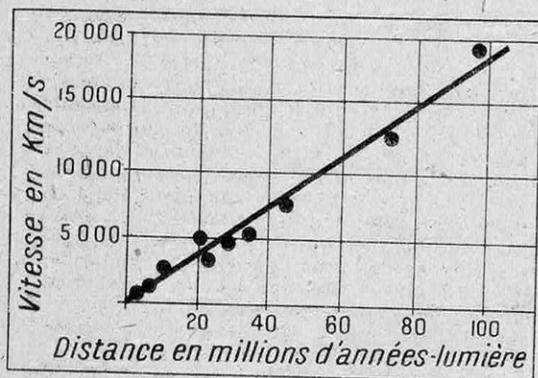


FIG. 13. — LA RELATION ENTRE LES VITESSES ET LES DISTANCES DES NÉBULEUSES

On a porté en abscisses les distances des nébuleuses en millions d'années de lumière, en ordonnées les vitesses d'éloignement en km/s. On voit que les vitesses sont proportionnelles aux distances. Chaque point de la figure représente la valeur moyenne obtenue pour un amas ou un groupe de nébuleuses extragalactiques.

2×10^{55} g, qui est probablement connue avec une erreur inférieure à 10 % — beaucoup mieux que la masse globale de n'importe quelle nébuleuse particulière. Cette masse de l'univers représente 10^{22} fois celle du Soleil. Si l'on admet que chaque nébuleuse contient, en moyenne, une masse de 10^{11} Soleils, l'univers doit renfermer 10^{11} nébuleuses, c'est-à-dire 100 milliards. (On hésite, sur ce point, entre les valeurs 10 et 1 000.)

Revenons enfin — sans insister, car nous touchons ici des problèmes très difficiles — sur une conséquence de la théorie de l'expansion de l'univers. Notre univers est fermé, c'est-à-dire limité. C'est une conception qui heurte notre

esprit, parce que les mathématiques nous ont habitués à parler de l'infini... Mais nous faisons cela d'une manière purement abstraite et, dans la réalité, nous ne pouvons pas imaginer une grandeur physique infiniment grande. Si nous acceptons la force de répulsion cosmique, que suppose la théorie de la relativité, nous devons logiquement accepter en même temps la nature finie de l'espace, qui va de pair avec elle dans la théorie, exactement de même que nous admettons qu'un corps matériel ne peut jamais atteindre une vitesse supérieure à celle de la lumière ou, pour prendre un exemple tout simple, qu'il ne peut pas y avoir sur la surface de la Terre de distance supérieure à 20 000 km.

Mais quelle est alors la limite de cet univers ? Il faut donner la valeur actuelle, car cet univers se dilate ; son rayon double en 1,2 milliard d'années. Il y a quelque incertitude sur la valeur à admettre, car elle dépend de la densité moyenne actuelle de l'univers, qui est mal connue. Le rayon de l'univers est de l'ordre de 5 milliards d'années-lumière, sans que l'on puisse affirmer que la valeur réelle n'est pas deux fois plus grande ou plus petite. En tout cas, lorsque le télescope de 5 m de diamètre du mont Palomar sondera l'univers jusqu'à un milliard d'années-lumière, il nous permettra déjà de connaître une fraction importante de l'univers.

Nous laisserons chacun réfléchir à sa guise sur la structure de l'univers. Les uns se sentiront accablés devant la multitude de ces nébuleuses, dont chacune est formée de plusieurs milliards d'étoiles. Les autres renonceront avec regret à l'idée d'un monde sans borne.

Faisons toutefois remarquer que le nombre obtenu pour la masse totale de l'univers, 10^{55} fois celle du Soleil, nous donne aussi l'ordre de grandeur du nombre total des étoiles dans l'univers ; et que ce nombre est inférieur à celui des atomes contenu dans 1 g d'hydrogène (nombre d'Avogadro $N = 6,06 \cdot 10^{23}$).

Remarquons aussi combien, malgré leur grandeur, les nombres qui expriment l'« infinement grand » astronomique sont peu de chose devant l'« infinement grand » mathématique. Pour exprimer le rayon de l'univers en centimètres, il suffit d'un nombre qui a 27 zéros ; pour exprimer la masse totale de l'univers en grammes, il suffit de 55 zéros.

Ceux qui trouvent ces nombres petits peuvent toujours imaginer, comme l'ont déjà proposé certains esprits audacieux, que tout notre univers — celui que nous pouvons connaître — n'est peut-être lui-même qu'une unité, un atome d'une construction incomparablement plus gigantesque.

J. GAUZIT

LES FUSÉES A LIQUIDES

par Camille ROUGERON

Les fusées à liquides, aboutissement de plus de dix ans de recherches allemandes, ont donné lieu à des réalisations dont les plus connues sont les propulseurs des avions-fusées et des V-2. Dans la classe des propulseurs à deux liquides, on peut utiliser des produits variés, tels que l'oxygène liquide, l'eau oxygénée ou l'acide azotique comme combustibles, les alcools, amines ou « visols » (éthers vinyliques) comme combustibles. Suivant la durée de fonctionnement, les chambres de combustion sont alimentées par pression d'air, ou de gaz provenant de la réaction, ou par turbopompe. L'avenir de la fusée à liquides, soit dans l'aviation militaire, soit dans l'artillerie, est considérable. Une guerre future verrait certainement des millions de tonnes de ces produits mis en œuvre, soit pour l'alimentation des propulseurs, soit même comme explosifs.

Les premières applications de fusées à liquides

Les propositions d'emploi de la fusée comme propulseur d'avion remontent aux débuts de l'aviation. Mais les premiers vols ne furent effectués qu'en 1928, à la Wasserkuppe, par Stamer, suivi par Opel et Valier.

Les fusées employées utilisaient la poudre noire, qui donna lieu à des explosions et des accidents mortels. Les poudres sans dissolvant présentent une sécurité supérieure et conviennent notamment très bien aux engins destinés à faciliter le décollage. Mais ni les unes ni les autres ne se prêtent au fonctionnement de longue durée exigé par un vol véritable.

La seule fusée adaptée à un vol de plusieurs minutes est la fusée à liquides, dont les essais ont commencé en Allemagne, dès 1934, avec Hellmuth Walter, qui réussit à intéresser la marine allemande à l'eau oxygénée concentrée pour la propulsion des torpilles et des sous-marins. En janvier 1937, le premier vol sur un avion DVL (1) avec propulsion auxiliaire à base d'eau oxygénée eut lieu à Alimbsmühle, en présence du général Udet. En juin suivant, on tirait les premières fusées.

Les applications se multiplièrent en même temps que les combustibles et les combustibles se diversifiaient. La fusée à liquides est couramment utilisée depuis plusieurs années. Les applications en service ou à l'étude en 1943 dans la « Luftwaffe » comportaient la propulsion des chasseurs, le décollage des avions lourdement chargés, le freinage à l'atterrissage, les projectiles de D. C. A., les bombes d'avion, le freinage à l'arrivée au sol de chargements parachutés, la propulsion des torpilles marines. Les mêmes réactions chimiques trouvaient leur emploi pour la production rapide de gaz à haute pression, dans les catapultes de V-1 par exemple. On avait même étudié, sur ce principe, des canons automatiques où la poudre était remplacée par les gaz en provenance d'une chaudière spéciale à pulsations.

(1) Abréviation de *Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt*, organisme allemand de recherches aéronautiques.

Aujourd'hui, la fusée à liquides est probablement le sujet de recherches qui bénéficie des plus gros efforts, en vue de la guerre sur terre, sur mer ou dans les airs. C'est sur ce mode de propulsion que reposent les projets de l'artilleur d'étendre son champ d'action à des milliers de kilomètres, et les réalisations présentes de ceux qui tiennent à faire savoir, dans le ciel de Suède ou de Grèce, que leurs V-2 atteignent déjà les 1 000 km. C'est celui dont les torpilles et les sous-marins tireront, demain, des vitesses très supérieures à celles des grands bâtiments d'aujourd'hui. C'est encore lui qui servira aussi bien les progrès de l'avion que ceux de la D. C. A., et qui aidera à porter sur l'objectif la bombe atomique ou à l'en préserver.

Si les résultats des recherches actuelles ne sont divulgués dans aucun pays, les dix années de travaux allemands sur ces questions sont une source de documentation abondante dont une partie avait été publiée avant l'armistice et dont le reste s'est trouvé ensuite à la disposition des Alliés. Les principes de cette technique ne relèvent pas plus aujourd'hui du secret militaire que les principes de la chimie des gaz de guerre en 1919. L'exposé qui suit est basé sur des documents datant déjà de plusieurs années. Mais les réalisations des dix premières années d'une technique aussi intéressante que celle-là en donnent déjà l'essentiel, tout comme le phosgène et l'ypérite restaient, en 1939, des toxiques qui n'avaient rien perdu de leur importance.

Monergols, lithergols et hypergols

Les plus simples des fusées à liquides seraient alimentées par des « monergols », cette désignation allemande rappelant que l'énergie de la réaction vient d'un seul produit. Ce sera donc un mélange stable contenant à la fois le comburant, le combustible et éventuellement la matière inerte. Les monergols seraient à la poudre noire et aux autres poudres propulsives solides, ce que la nitroglycérine ou les panclastites sont à la mélinite ou à la tolite, dans le domaine des explosifs. Mais l'inflammation d'un jet de nitroglycérine dans une chambre de combustion ne présente pas les conditions de sécurité requises. Cependant l'I. G. Farben — le grand trust

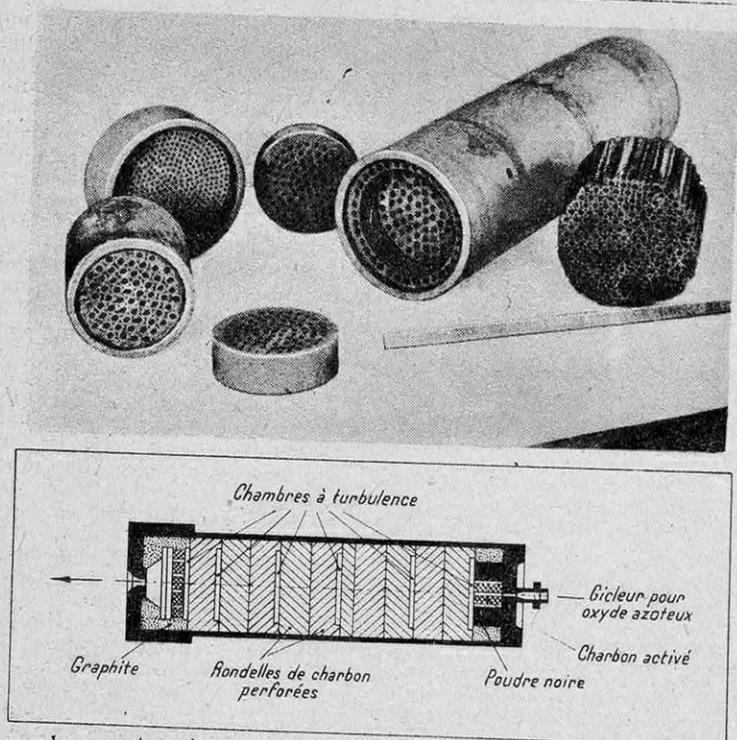


FIG. 1. — SCHEMA D'UNE CHAMBRE A COMBUSTION D'ANDRUSSOW AU « LITHEGOL » ET CHARGES DE CHARBON POUR UNE TELLE CHAMBRE

Le combustible est constitué par des blocs de charbon perforés ou des paquets de tubes; le comburant est l'oxyde azoté introduit par un gicleur. Entre les blocs, des chambres à turbulence ralentissent les gaz pour donner à la réaction le temps de se produire. L'allumage est obtenu par un peu de charbon activé placé au voisinage du gicleur, qui enflamme une charge de poudre noire; pour que toute la surface des canaux jusqu'à la tuyère de sortie soit portée presque simultanément à la température d'inflammation, des fils de celluloid sont insérés dans toute leur longueur. Sur un appareil d'essai donnant une poussée de 50 à 75 kg pendant trente à cinquante secondes, la pleine poussée a pu être obtenue en moins de 1 seconde et les variations ont été limitées à 5 %.

allemand de l'industrie chimique — était arrivé à quelques résultats en choisissant comme combustibles des produits à base d'ammoniaque et l'acide nitrique comme comburant. On était parvenu, avec des corps réfrigérants capables d'absorber une grande quantité d'énergie, à empêcher l'explosion de remonter le tuyautage. C'est également des produits à base d'ammoniaque que Dupont de Nemours brevetait récemment aux États-Unis pour l'emploi dans les fusées à un seul liquide. Certains spécialistes considèrent que les monergols ont un grand avenir, en raison de la simplicité de construction, pour les engins destinés à ne servir qu'une fois, tels que les bombes volantes.

Les deux reproches faits à l'emploi des poudres solides : nécessité de loger l'ensemble du produit utilisé dans les chambres de combustion, difficulté de réglage d'une combustion lente, disparaissent avec les « lithergols », dont la désignation veut rappeler un combustible solide séparé d'un comburant liquide. Il sera, par exemple, dérivé de la poudre noire en conservant le charbon (le soufre devient superflu), et en remplaçant le salpêtre par une des nombreuses combinaisons liquides d'azote et d'oxygène. Le corps de fusée ne renfermera donc que le char-

bon, qui n'entre que pour une faible part dans les poudres noires, le comburant étant injecté sous pression à partir d'un réservoir. Les essais d'Andrussov avec de l'oxyde azoté liquide (N_2O) ont donné des résultats satisfaisants. La figure 1 reproduit un dessin de l'appareil et une photographie des blocs de charbon perforés ou des paquets de tubes utilisés. Il semble que l'on puisse obtenir des poussées de l'ordre de 500 kg et des durées de fonctionnement allant jusqu'à 50 secondes avec des appareils à peine plus compliqués qu'une fusée à poudre.

Les « hypergols », mélanges propulseurs pour fusées « à deux liquides », sont les seuls produits qui aient donné lieu jusqu'ici à des réalisations de série. L'un des liquides est le comburant (oxygène liquide, eau oxygénée, acide azotique); l'autre est le combustible (méthanol, hydrate d'hydrazine, aniline). Le comburant et le combustible sont choisis de manière qu'ils s'enflamment par simple contact des deux jets, ce qui évite la formation de mélange explosif en grande quantité dans la chambre de combustion. Pour la même raison, le retard à l'allumage doit être aussi faible que possible; on ajoute au besoin un catalyseur métallique dissous dans l'un ou l'autre des composants.

La séparation des liquides devant entrer en réaction est la transposition dans le domaine des poudres propulsives du même principe, appliqué par l'aviation française, au cours de la guerre 1914-1918, dans le domaine des explosifs liquides. Les mélanges d'acide azotique ou de peroxyde d'azote avec divers combustibles liquides donnent des explosifs très puissants (panclastites) connus depuis longtemps. Ils sont malheureusement plus sensibles encore que la nitroglycérine, ce qui interdit leur emploi sous cette forme dans les bombes. La séparation des deux liquides et leur mélange au cours de la chute par défoncement de la cloison de séparation paraît à cette objection. Des bombes de ce type, à peroxyde d'azote et essence, furent acceptées, puis abandonnées après des accidents sur les bombes dites « à air liquide », le combattant ne tenant pas en général à faire de la pyrotechnie sur le champ de bataille.

Les qualités exigées des combinaisons genre hypergol sont nombreuses. Le faible retard à l'allumage et l'indépendance éventuelle du catalyseur viennent d'être mentionnés. Le point de congélation des deux composants doit être inférieur aux limites d'emploi pour lesquelles on fixe ordinairement $-40^{\circ}C$ pour les engins sans pilote lancés du sol, et $-55^{\circ}C$ pour les avions exposés à un plus long séjour à basse tempé-

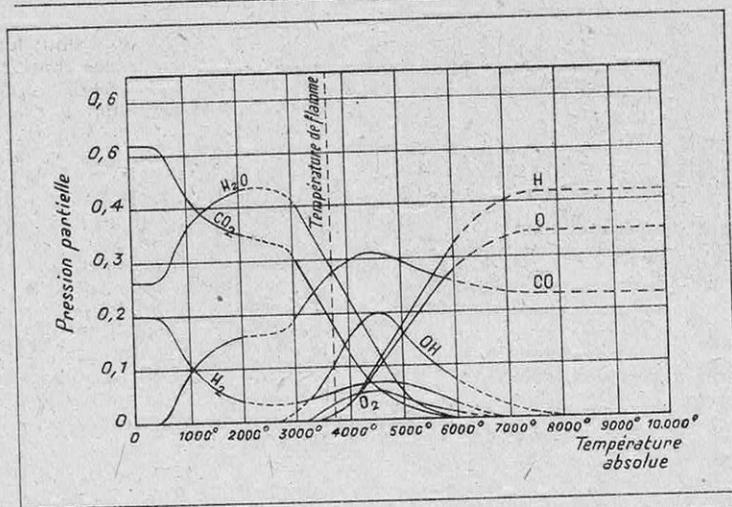


FIG. 2. — COMMENT VARIE, AVEC LA TEMPÉRATURE, LA COMPOSITION DES GAZ DANS LA COMBUSTION PÉTROLE-OXYGÈNE

La combustion étudiée est celle du pétrole dans l'oxygène, avec un excès de pétrole d'environ 10 %, de sorte que, même à basse température, la combustion complète en gaz carbonique (CO₂) et vapeur d'eau (H₂O) est impossible: l'insuffisance d'oxygène se traduit par la présence d'oxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H₂). Au voisinage de la température de la flamme (3 700° absolus), on notera la chute rapide des pressions partielles en gaz carbonique (CO₂) et eau (H₂O) et l'accroissement de celles d'oxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H₂), en même temps qu'apparaissent l'oxygène sous forme moléculaire (O₂), le groupe oxyhydrile (OH), puis l'hydrogène et l'oxygène sous forme atomique (H et O). La combustion devient donc de plus en plus incomplète, et, vers 5 000° absolus, la part du gaz carbonique et de l'eau, produits de la combustion complète, devient insignifiante. La température normale de la flamme est de 3 700° absolus: les températures inférieures ou supérieures sont obtenues artificiellement. (D'après Busemann.)

rature. La viscosité au voisinage du point de congélation doit rester faible et varier dans le même rapport pour les deux composants. Le pouvoir calorifique doit être grand, la densité élevée. Les questions de prix, de facilité d'approvisionnement et de conservation ont également une grosse importance.

Les combustibles : l'oxygène liquide

Trois combustibles se partagent les faveurs des techniciens : l'oxygène liquide, l'eau oxygénée, l'acide azotique.

L'oxygène liquide, bien connu par son emploi sur les V-2, présente l'avantage essentiel d'une production aisée, avec une très faible dépense d'énergie, à bas prix, à un degré de pureté aussi grand qu'on peut le désirer. N'exigeant pas d'azote inerte, son pouvoir calorifique est supérieur à celui des produits concurrents, mais sa densité plus faible rétablit la balance dans la plupart des cas. Ses inconvénients dérivent des difficultés d'isolation, qui obligent à la conservation et au transport en récipients ouverts. Le choix des matériaux pour réservoirs et tuyautages est limité à ceux qui ne sont pas cassants à très basse température. Au surplus, certains métaux peuvent brûler dans l'oxygène. Le cuivre et certains bronzes sont ceux qui conviennent le mieux.

Le mode habituel de conservation et de transport de l'oxygène liquide en vases de Dewar à double paroi argentée et vidée d'air ne doit pas faire croire à des difficultés insurmontables pour l'emploi sur engin de guerre. La

perte par évaporation est une question de durée de fonctionnement de l'engin et de tonnage; pour quelques minutes et quelques milliers de kilogrammes, elle reste insignifiante, même en récipients non isolés. Une isolation légère est utile pour des durées plus longues et des poids moindres. Quant au stockage de grandes quantités, une isolation soignée y pourvoira; on peut construire des réservoirs dont le contenu mettrait plusieurs mois à s'évaporer.

Il ne faut pas non plus s'exagérer l'avantage de l'oxygène pur par rapport aux autres combustibles, du point de vue pouvoir calorifique. Il n'est pas toujours facile d'utiliser pleinement les hautes températures qui en résultent. D'autre part, la combustion dans l'oxygène donne lieu à une dissociation plus importante que celle des combustions à température de flamme moindre. D'après les lois de l'équilibre thermochimique, les réactions exothermiques restent en effet d'autant plus incomplètes que la température est plus élevée; la pression joue en sens inverse, mais son augmentation ne parvient pas à compenser l'effet de la température. Assurément, la

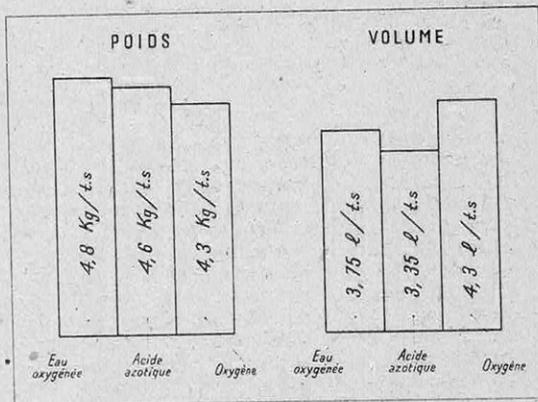


FIG. 3. — CONSOMMATIONS THÉORIQUES D'EAU OXYGÉNÉE, D'ACIDE AZOTIQUE ET D'OXYGÈNE LIQUIDE DANS UNE FUSÉE

On voit que l'oxygène conserve une faible supériorité quant à la consommation en poids (kilogrammes de combustible par tonne de poussée et par seconde), mais est nettement inférieur, en raison de sa faible densité, à l'eau oxygénée et surtout à l'acide azotique, pour la consommation en volume (litres de combustible par tonne de poussée et par seconde). Les calculs ont été faits en supposant l'emploi, comme combustible, d'un hydrocarbure de 10 000 cal/kg, une pression dans la chambre de combustion de 35 kg/cm² et une contre-pression de 1 kg/cm². (D'après Zoborowski.)

Comburant..... Combustible.....	Oxygène liquide. Hydrogène liquide.	Oxygène liquide. Méthanol.	Acide azotique. Amine.
Consommation spécifique.....	3,5 kg/t/s	4,5 kg/t/s	5 kg/t/s
Poids du combustible et du carburant	1 680 kg	2 166 kg	2 390 kg
Poids spécifique du mélange.....	0,4 kg/l	1 kg/l	1,4 kg/l
Volume des réservoirs.....	4 200 l	2 170 l	1 700 l
Section du fuselage	1,8 m ²	1,2 m ²	1 m ²
Coefficient de traînée.....	0,012	0,009	0,0083

FIG. 4. — TROIS AVANT-PROJETS D'AVIONS-FUSÉES

On voit sur ce tableau, se rapportant à trois projets d'appareils de caractéristiques semblables, le gros intérêt que présente la forte densité du mélange combustible et comburant, le coefficient de traînée dépendant du volume des réservoirs. Il ne faut cependant pas conclure d'une manière trop absolue à l'inutilité des mélanges à très grand pouvoir calorifique, tels que celui d'hydrogène et d'oxygène liquides. Dans la période d'accélération, le travail négatif de la traînée peut être négligeable devant le travail positif de la poussée. La traînée étant très faible à haute altitude, la propulsion à l'aide d'oxygène et d'hydrogène liquides resterait intéressante pour les liaisons interplanétaires, même si elle ne l'est pas pour le vol à vitesse uniforme et à faible altitude.

détente ultérieure dans la tuyère abaisse beaucoup la température d'éjection, mais elle est trop rapide pour que l'équilibre correspondant à la température de la chambre de combustion puisse être modifié. Les courbes de la figure 2 montrent la grosse influence de celle-ci sur le rendement de la combustion.

L'eau oxygénée

L'eau oxygénée — le « liquide T » allemand — a été étudiée comme comburant dès 1934, et appliquée dès 1936. Ses propriétés chimiques étaient connues depuis longtemps et en particulier la réaction eau oxygénée-permanganate, qui servait au dosage des deux produits.

La principale difficulté consistait à obtenir des produits à forte concentration, 70 % d'abord, 85 % ensuite, et à leur adapter les moyens de conservation et de transport. Les hautes concentrations avaient provoqué des accidents, l'eau oxygénée attaquant le réservoir, la dissociation suivant la corrosion, avec un dégagement de chaleur qui provoquait l'explosion. La conservation a été obtenue d'une part en améliorant la pureté du produit, d'autre part en lui ajoutant un stabilisateur, phosphore ou oxyquinoléine. De très nombreux matériaux conviennent pour le réservoir, en particulier les aciers inoxydables au chrome-nickel, l'aluminium très pur, des alliages d'aluminium étudiés pour la résistance à l'eau de mer, surtout s'ils sont recouverts de revêtements protecteurs (produits cireux, chlorure de polyvinyle). La marine allemande a notamment réalisé, pour ses torpilles, des réservoirs adaptés aux conditions tropicales (+ 50° C) pour stockage de six mois, sans diminution importante de la concentration. En Allemagne, le transport était fait en wagons-réservoirs d'aluminium traité.

L'eau oxygénée a comme principal défaut sa faible teneur en oxygène utilisable, 47 % pour le produit pur. Cet inconvénient est heureusement compensé par la chaleur élevée de décomposition du produit en ses composants : eau (H₂O) et oxygène (O₂) ; la dissociation d'une solution

à 100 % libère en effet 690 grandes calories au kilogramme, qui portent les produits de décomposition à une température finale de 950° C. Dès la concentration de 13,5 %, il y a vaporisation partielle de l'eau produite ; la vaporisation est totale quand la concentration atteint 64,5 % ; au delà, il y a surchauffe de la vapeur produite, qui atteint par exemple 465° C pour la concentration 80 %, tous les chiffres se rapportant à la pression atmosphérique.

Cette propriété de l'eau oxygénée présente un gros intérêt pour l'alimentation des auxiliaires et c'est ce qui l'a fait choisir en particulier pour les groupes turbopompes des V-2 ; on obtient avec la plus grande facilité une vapeur surchauffée à la température désirée par le réglage de la concentration.

Pratiquement, la décomposition de l'eau oxygénée en eau et oxygène est obtenue, soit par

l'emploi d'un catalyseur, soit par mélange avec un permanganate.

Le poids spécifique est relativement élevé : 1,345 pour une solution à 80 %. La résistance au froid est excellente pour les concentrations de 40 à 60 %, le point de congélation étant alors compris entre -50° et -55° C ; elle est beaucoup moins bonne aux fortes concentrations, le point de congélation de l'eau oxygénée pure étant de -2° C environ.

La sécurité à l'incendie et au mitraillage a été jugée satisfaisante ; l'incendie d'un réservoir sous pression provoque le déchirement, ou même la simple évaporation s'il est muni d'une soupape de sûreté. Il n'y a détonation sous l'effet d'une balle que pour les concentrations supérieures à 87 %. Mais toutes réserves doivent évidemment être faites sur les possibilités de mélange avec les autres composants des « hypergols » ; le danger est d'ailleurs le même pour

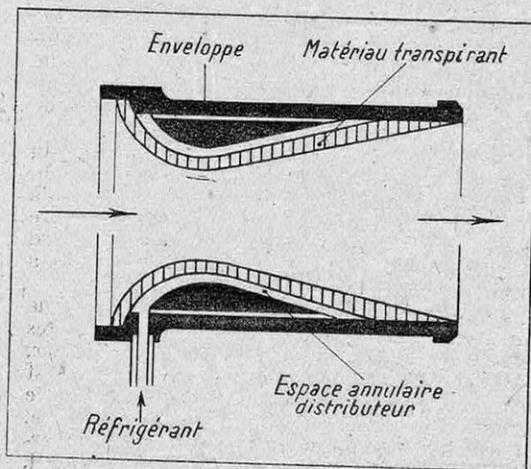


FIG. 5. — SCHÉMA D'UNE TUYÈRE EN MATÉRIAU « TRANSPIRANT »

TYPE DE FOYER	COMBUSTANT	COMBUSTIBLE	PRESSION en kg/cm ²	CHARGE du foyer en millions de calories par m ³ et par heure.
Chaudière à tubes d'eau.	Air	Charbon	1	0,7
Chaudière marine	Air	Mazout	1	3
Chaudière Vélox	Air	Mazout	3	9
Chambre de combustion type fusée	Air	Gas-oil	85	1 500
—	Oxygène	Gas-oil	27	1 800
—	Oxygène	Gas-oil	100	7 000
—	Oxygène	Gas-oil	21	19 000

(avec préparation spéciale du mélange).

FIG. 6. — CHARGE THERMIQUE DE DIVERS FOYERS

l'oxygène liquide et l'acide azotique, et l'écrasement au sol d'un avion propulsé par de tels produits tournera généralement mal.

L'acide azotique

L'acide azotique a fait l'objet de nombreuses recherches, notamment chez B.M.W. (1), et certains pensent qu'il peut remplacer avantageusement l'oxygène liquide et l'eau oxygénée. S'il est plus coûteux que l'oxygène extrait de l'air, ses possibilités de production sont par contre de loin supérieures à celles de l'eau oxygénée.

Sa densité est nettement la plus élevée des trois avec 1,52. On a même pu la porter à 1,62 par dissolution de peroxyde d'azote (NO₂) et diminuer simultanément les consommations en volume de 6,5 % et en poids de 2,5 %. On obtient en même temps un abaissement du point de congélation, une facilité d'allumage accrue, et une amélioration sensible de la corrosion provenant de l'absence totale d'eau dans l'acide. Au surplus, même avec l'acide azotique pur, la figure 3 met en évidence la supériorité de l'acide azotique sur l'eau oxygénée quant à la consommation spécifique à la fois en poids et en volume. Une étude plus complète montre que, pour les projectiles sans voilure à grand allongement, genre V-2, l'acide azotique donne sensiblement même portée et même consommation réelle en poids, mais avec un engin de dimensions, donc de prix, inférieurs.

L'acide azotique est très avantageux du point de vue de son point de congélation, — 42° C, qui peut être encore abaissé jusqu'à — 56° C par l'addition de 4 % de chlorure ferrique qui convient pour diminuer le retard à l'allumage de la plupart des combustibles à allumage spontané.

Le stockage et le transport de l'acide azotique sont aisés. L'acide concentré rend « passifs » les métaux facilement oxydables, tels que le fer, et ne les attaque donc pas ; le phénomène est encore plus accentué avec l'aluminium ou le chrome. On conservera donc l'acide azotique, qui est hygroscopique, en réservoirs. Au surplus, les aciers à forte teneur de chrome-nickel,

(1) Abréviation de Bayerische Motorenwerke.

les matériaux céramiques et la plupart des verres ne sont pas attaqués, même par l'acide étendu.

On dispose aujourd'hui de tous les produits pour membranes, joints... et des liquides d'étanchéité nécessaires pour réaliser une mécanique fonctionnant à l'acide azotique concentré. Les hydrocarbures éthyléniques hautement polymérisés de l'I.G. Farben, tels que le lupolène H (poids moléculaire 25 000 à 30 000), l'opanol B-200 (poids moléculaire 200 000) et les fibres d'amiante sont inattaqués ; l'huile de paraffine pure et les émulsions de polymères précités également.

L'inconvénient principal reproché à l'acide azotique est la combustion incomplète avec dégagement de vapeurs nitreuses toxiques. On est arrivé

à l'éviter par un excès de combustible, qui a d'ailleurs l'avantage de donner une consommation spécifique moindre.

Les combustibles

Les combustibles réagissant avec des combustants aussi actifs que l'oxygène liquide, l'eau

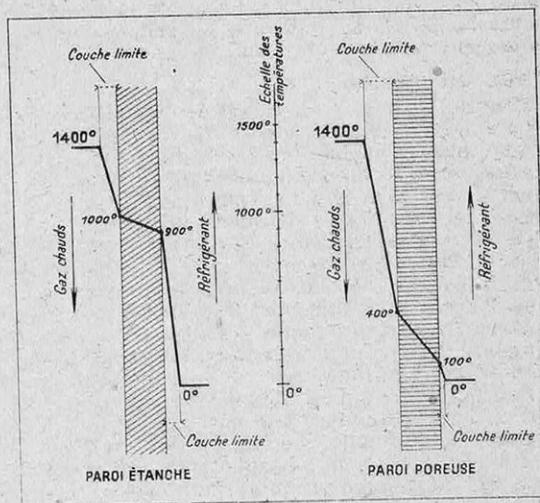


FIG. 7. — RÉPARTITION DES TEMPÉRATURES DANS UNE PAROI ÉTANCHE ET UNE PAROI POREUSE REFRIGÉRIÉES

Les gaz chauds sont supposés circuler à 1 400° C d'un côté de la paroi, et l'air réfrigérant à 0° C, en surpression, de l'autre côté. A gauche, dans le cas de la paroi étanche, la température de l'air réfrigérant reste uniforme jusqu'à la couche limite où elle s'élève à 900° C, au voisinage immédiat de la paroi. Elle passe à 1 000° C en traversant la paroi et s'élève à 1 400° C dans la couche limite côté gaz chauds. Dans le cas de la paroi poreuse, la couche limite s'épaissit du côté des gaz chauds par suite de l'arrivée d'air réfrigérant, et la température maximum de la paroi tombe de 1 000° C à 400° C. Tous ces chiffres ne sont indiqués qu'à titre d'exemple et varient suivant les vitesses des gaz chauds et de l'air de refroidissement, ainsi qu'avec le degré de porosité de la paroi.

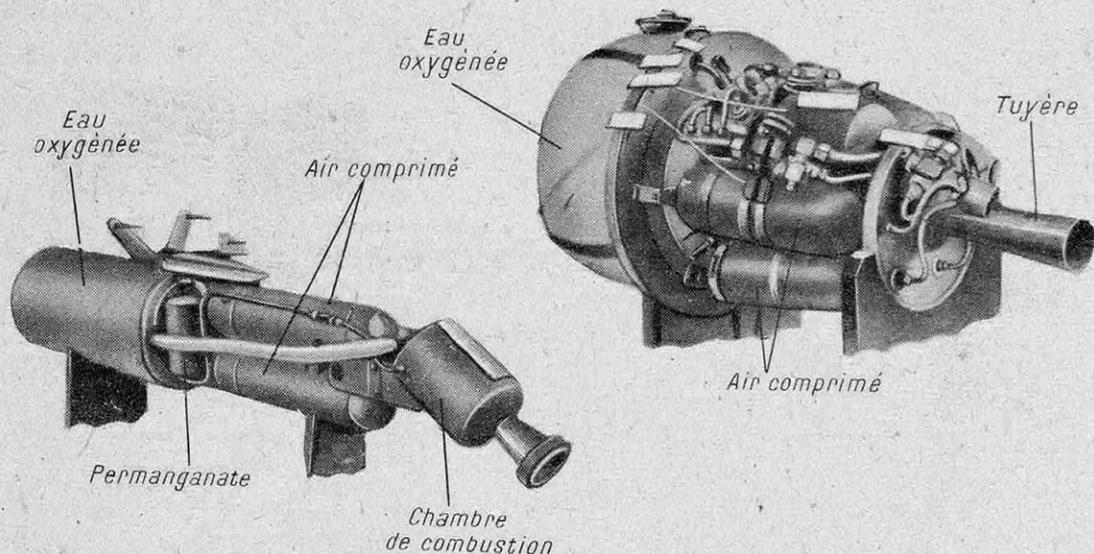


FIG. 8 ET 9. — LE MOTEUR DE LA BOMBE VOLANTE RADIOCOMMANDÉE HENSCHEL HS-293 ET LA FUSÉE WALTER HWK-109-500 POUR PROPULSEUR AUXILIAIRE DE DÉCOLLAGE

oxygénée et l'acide azotique concentrés, sont évidemment très nombreux. Mais les exigences sont tout autant.

On demande au combustible un pouvoir calorifique élevé et une forte densité. Cependant, l'importance de ces caractéristiques est moindre pour le combustible que pour le comburant, car il entre en proportion plus faible dans le mélange. Le tableau 4, reproduit d'après des calculs de B. M. W., montre cependant que des combustibles à grand pouvoir calorifique et faible densité, tels que l'hydrogène liquide, n'ont pas d'intérêt à cause de cette densité.

Les combustibles normaux, ne réagissant pas d'eux-mêmes et exigeant un allumage extérieur, sont jugés beaucoup moins intéressants que ceux dont la combustion est spontanée, avec un très faible délai d'allumage comme nous l'avons indiqué dans le paragraphe consacré aux hypergols.

On exige en outre :

- Une bonne stabilité pendant un long stockage ;
- Une attaque faible du réservoir ;
- La résistance au froid jusqu'à -40° ou -55° C ;
- Une faible viscosité à basse température, et en particulier une variation de viscosité parallèle à celle du comburant.

En dehors des carburants classiques comme l'alcool, qui donne satisfaction avec l'oxygène liquide sur la V-2, les techniciens allemands ont fait une étude poussée des amines et des « visols » (éthers vinyliques).

Les amines

L'étude des amines a débuté avec l'hydrate d'hydrazine (liquide B), qui a servi à Haussmann, dès 1935, en mélange avec l'eau oxygénée, à produire le premier hypergol. Le retard

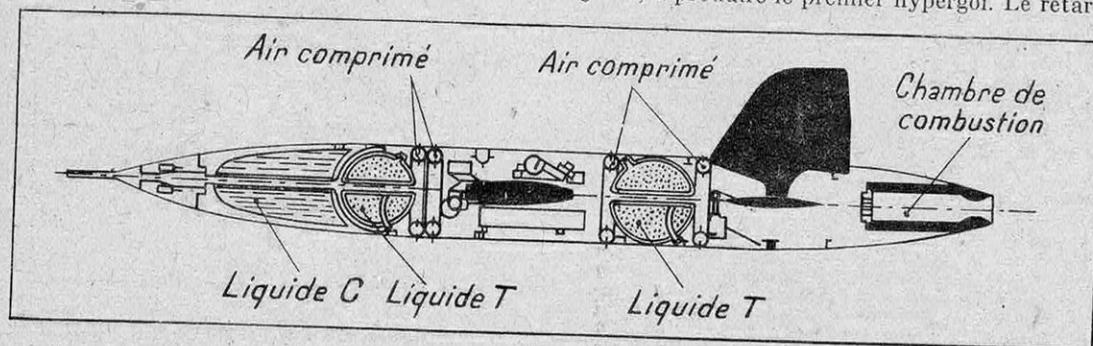


FIG. 10. — DISPOSITION SCHÉMATIQUE DE LA MAQUETTE VOLANTE VICKERS « TRANSONIC », PROPULSÉE PAR FUSÉE A DEUX LIQUIDES

Le combustible (liquide C) est composé de 57 % de méthanol, 30 % d'hydrate d'hydrazine et 13 % d'eau ; le comburant (liquide T) est de l'eau oxygénée à 80 %. Ces liquides sont chassés dans la chambre de combustion par de l'air comprimé logé dans quatre réservoirs en forme de tores ; injectés par trois orifices, ils réagissent instantanément et donnent une poussée spécifique de 180 kg par kilogramme de combustible brûlé par seconde. L'appareil atteindrait 1 280 km/h.

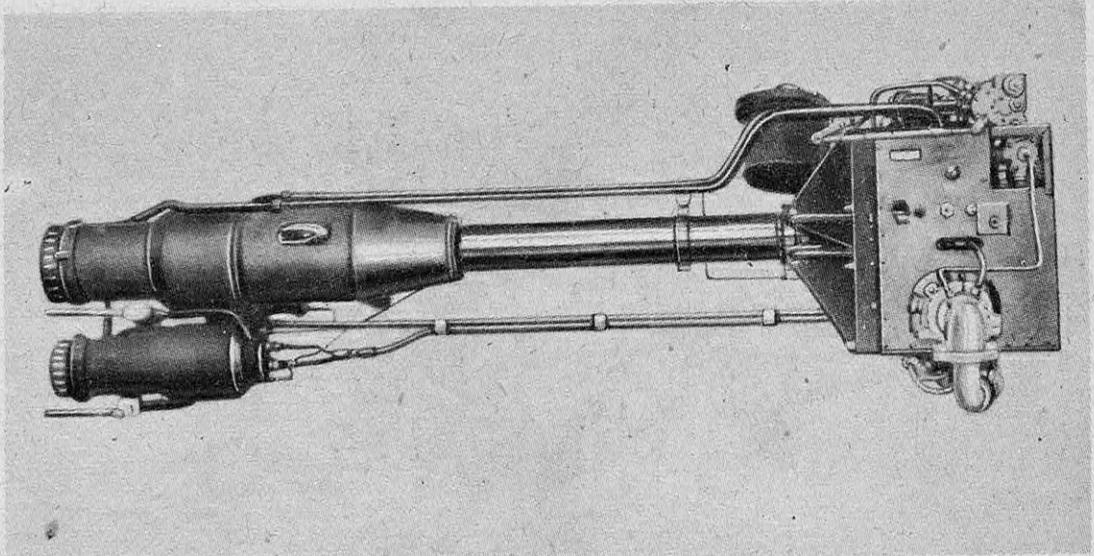


FIG. 11. — LA FUSÉE WALTER HWK-509 A DEUX LIQUIDES

Cette fusée équipait le Messerschmitt Me-163-C, qui était capable de monter à 9 000 m en 2,5 mn, à 12 000 m en 3 mn, et dont le plafond était de 16 000 m. Les deux chambres de combustion superposées (à gauche) étaient en action dans la montée; la chambre auxiliaire (inférieure) assurait seule le vol de croisière et la chambre principale était utilisée dans le combat. Ces chambres étaient en acier spécial, à double paroi: la température de combustion maximum était de 1 800° C. Le combustible liquide (liquide C: 30 % d'hydrate d'hydrazine, 57 % de méthanol, 13 % d'eau et de cuprocyanure de potassium) et le carburant (liquide T: eau oxygénée) sont débités par des pompes entraînées par une turbine mue par de la vapeur surchauffée engendrée par l'action du permanganate de calcium sur l'eau oxygénée. La longueur totale de l'engin est de 2,75 m et son poids de 165 kg. Les deux chambres en action simultanément peuvent fournir une poussée de 2 200 kg à 12 000 m.

à l'allumage, avec catalyseur, est convenable. Mais l'hydrate d'hydrazine a le gros inconvénient d'un pouvoir calorifique très faible, 2 822 cal/kg. Aussi préfère-t-on l'employer sous forme de liquide C, mélange de méthanol et d'hydrate d'hydrazine.

D'autres amines, l'aniline, la méthylaniline, conviennent particulièrement bien avec l'acide azotique. L'affinité de réaction est d'autant

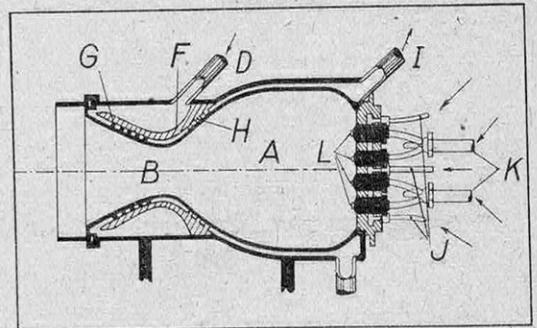
plus grande et le retard à l'allumage plus petit que l'indice de carbone est plus faible; les amines aromatiques ont l'avantage supplémentaire d'être particulièrement sensibles à l'effet d'un catalyseur comme le chlorure ferrique.

Les « visols »

Les visols, malgré leur grande affinité pour l'acide azotique, ne sont pas à proprement

FIG. 12. — CHAMBRE DE COMBUSTION ET TUYÈRE D'UN WALTER HWK 109-509

La chambre de combustion A et la tuyère convergente-divergente B sont à double paroi, avec circulation de liquide C (méthanol + hydrate d'hydrazine) dans l'intervalle. Le liquide de refroidissement entre en D, est guidé au voisinage de la tuyère par une pièce moulée en alliage léger F qui épouse ses formes; sa vitesse est accrue par des aubages G, venus de forge avec la paroi intérieure, qui lui impriment un mouvement hélicoïdal de rotation et par des aubages H, venus de fonderie avec le guide, qui le redressent. Le liquide C sort en I et arrive par J dans la chambre. Les deux parois de la chambre et de la tuyère ont 3 mm d'épaisseur. On remarquera que la paroi interne, qui subit toute la fatigue thermique, n'a à supporter qu'un effort mécanique négligeable puisque le liquide réfrigérant qui l'entoure est à une pression légèrement supérieure à la pression interne, la différence étant les pertes de charge dans le circuit. Les efforts mécaniques sont donc supportés entièrement par la paroi extérieure froide. L'injection du comburant, eau oxygénée à 80 % pénétrant par K, et celle du combustible se fait par une plaque de fond, en acier ordinaire, où sont vissés les douze injecteurs en acier inoxydable. Dans chacun l'eau oxygénée arrive par un orifice central terminé par un déflecteur conique L, qui sert en même temps d'obturateur et qui est maintenu par un ressort sur son siège; on évite ainsi les retours d'explosion dans la canalisa-



tion d'eau oxygénée, et on assure un certain retard, au démarrage, de l'eau oxygénée par rapport au liquide C; il a été trouvé indispensable pour éviter les explosions dans la chambre. Le liquide C est amené à chaque injecteur dans un orifice annulaire autour de l'eau oxygénée; la rencontre des deux nappes cylindrique et conique produit un mélange satisfaisant. Un tuyau de vidange conduit en dehors de la chambre sous l'effet d'une vanne à ouverture automatique non représentée, l'excès de liquide C subsistant dans les tuyauteries et à l'intérieur de la double paroi.

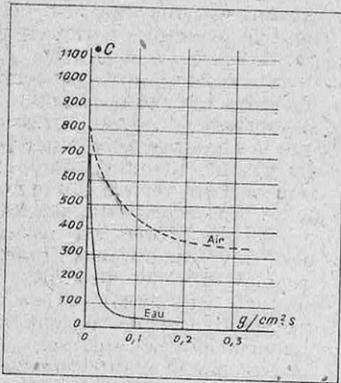


FIG. 13. — COMMENT VARIE LA TEMPÉRATURE SUPERFICIELLE D'UNE PAROI POREUSE AVEC LE DÉBIT DU COURANT RÉFRIGÉRANT

Il s'agit d'une tuyère débitant 100 g/s de gaz à 1100° C, sous une pression de 2,4 kg/cm². On voit que, pour un débit d'eau de 0,04 g/cm² de paroi et par seconde, la température tombe à 100°. La courbe supérieure, relative à l'air, montre la possibilité d'obtenir un refroidissement efficace dans ces conditions, même avec de l'air.

mélange. Par exemple, une addition de 3 % d'aniline et de 12 % de méthylaniline à un mélange 60-40 de visol 1 et de visol 4 réduit le retard à l'allumage à 2 ou 3 centièmes de seconde, quand il est de 2 ou 3 dixièmes pour une composition à peine différente. Le retard, très acceptable dans un cas, est inadmissible dans l'autre.

Chambres de combustion et tuyères

La caractéristique des chambres de combustion de fusée est l'énormité de la charge thermique du foyer, comparée à celle des autres générateurs thermiques, les chaudières à charbon ou à pétrole par exemple. Sur la chaudière normale à charbon et à tubes d'eau, la charge thermique est de l'ordre du million de grandes calories par mètre cube de volume du foyer et par heure; on est arrivé, dans des chambres de combustion de fusée, à des charges vingt mille fois plus élevées. Le tableau figure 6 précise ces chiffres pour différents types de chaudières et de chambres de combustion.

La charge thermique obtenue sur les fusées tient en partie à la haute pression, en partie à l'emploi d'oxygène pur. Cependant, une bonne part du résultat doit être attribuée à la perfection du mélange par les organes d'injection. La qualité

parler auto-inflammables. Ce sont des éthers vinyliques : visol 1, éther butylvinylique; visol 4, éther butanedioldi-vinylique. Leur pouvoir calorifique, sans atteindre celui des carbures d'hydrogène, est très supérieur à celui des amines; il est de l'ordre de 9 000 cal/kg.

Les mélanges de ces produits présentent fréquemment une affinité de réaction plus grande que celle des composants et très sensible à de faibles variations du

de la combustion peut être jugée à la fois à l'aspect et au bruit de la flamme sortant de la tuyère; la flamme correspondant à la combustion incomplète qui se prolonge à l'éjection est aveuglante tandis qu'on peut regarder directement l'éjection de gaz dont la combustion dans la chambre a été complète; simultanément, le jet très bruyant de la première fait place à un jet simplement sifflant.

Il est évident que chambres et tuyères ne peuvent supporter ces charges thermiques sans dispositions particulières de refroidissement. Le procédé le plus efficace consiste à employer une chambre à double paroi où l'on fait circuler l'un des deux liquides injectés qui se vaporise en même temps qu'il sert au refroidissement. On peut en outre protéger la paroi intérieure en la perceant de trous au travers desquels le gaz produit s'échappe en partie, en l'isolant de la flamme chaude. C'est le procédé qui est appliqué, avec l'alcool comme réfrigérant, sur les chambres de combustion des V-2, et, avec de l'air secondaire, sur plusieurs chambres de combustion de turboréacteurs et turbopropulseurs.

Les tuyères peuvent être refroidies suivant ce même principe, mais des études avaient été faites en Allemagne sur des matériaux « transpirants », qui sont des poudres métalliques agglomérées par frittage, présentant une résistance mécanique suffisante en même temps qu'une porosité convenable au passage d'eau ou de liquide combustible ou comburant sous pression. La figure 5 donne le schéma d'une tuyère conçue sur ce principe. Des tuyères de ce genre, étudiées par Otto Lutz, ont pu résister en service continu à une température de 2 200° C, avec une alimentation à 36 kg/cm², et un débit de 0,6 g de liquide réfrigérant (eau) par centimètre carré de surface et par seconde, soit 2 %

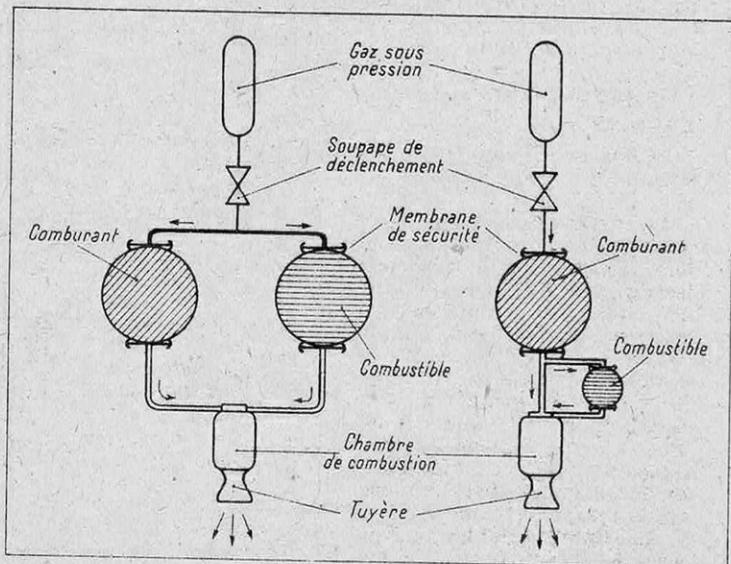


FIG. 14. — SCHÉMA DE PROPULSEURS POUR COURTE DURÉE DE FONCTIONNEMENT

A gauche : Les deux liquides sont chassés dans la chambre de combustion par la pression de l'air stocké dans une bouteille. A droite : une partie d'un des liquides passe dans le réservoir du deuxième, et le dégagement de gaz qui en résulte chasse ce dernier dans la chambre de combustion.

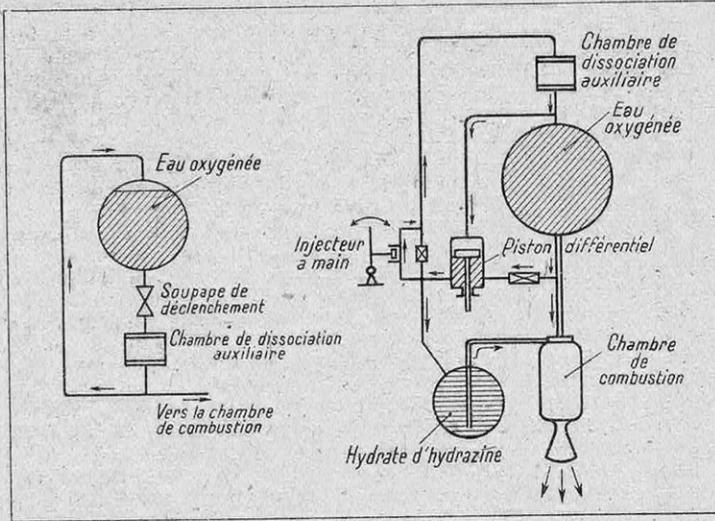


FIG. 15. — MISE SOUS PRESSION DE RÉSERVOIRS SANS AIR COMPRIMÉ

A gauche : Schéma de principe : l'eau oxygénée tombe, par gravité, dans la chambre de dissociation, et une partie du gaz produit met le réservoir lui-même sous pression. A droite : Une partie de l'eau oxygénée est envoyée, par l'injecteur à main, d'une part dans la chambre de dissociation auxiliaire, où les gaz produits mettent le réservoir d'eau oxygénée sous pression, d'autre part vers le réservoir d'hydrate d'hydrazine que la réaction qui s'amorce immédiatement met sous pression. La vidange des deux réservoirs ainsi amorcée se poursuit grâce au piston différentiel qui pompe des quantités supplémentaires d'eau oxygénée dans la chambre de dissociation et le réservoir d'hydrate d'hydrazine.

environ en poids du débit des gaz chauds. Des essais étaient en cours, à la fin de la guerre, sur des matériaux céramiques également poreux et même sur des mélanges de poudres métalliques et d'oxydes céramiques qui ne présentent pas les mêmes difficultés que les produits céramiques pour leur assemblage aux métaux.

Les propulseurs-fusées à liquides

Leur type dépend essentiellement de l'emploi qu'on en veut faire.

Les appareils à courte durée pour engins ne servant qu'une fois, tels les propulseurs de projectiles, de bombes volantes, de torpilles, pourront sacrifier la consommation à la simplicité mécanique. Au contraire, sur les appareils à courte durée de fonctionnement mais à usage répété, tels que des catapultes, des canons automatiques, des dispositifs auxiliaires de décollage et d'atterrissage, ainsi que sur les appareils à longue durée réglables, tels que ceux des avions-fusées, la mécanique reprend ses droits si son perfectionnement doit conduire à une économie de consommation importante.

Le type le plus simple de propulseur à courte durée de

fonctionnement pour engin ne servant qu'une fois est celui dont le principe est représenté par la figure 14, à gauche. Les deux liquides sont conservés dans des réservoirs capables de supporter la même pression que la chambre de combustion. Ils y sont introduits par pression de l'air venant d'une bouteille. La sécurité du stockage de longue durée est assurée par des membranes inattaquables par les produits au contact desquels elles se trouvent, qui les isolent des canalisations, et qui sont déchirées par la manœuvre de la soupape de déclenchement pour l'air comprimé, et par la pression de cet air pour les réservoirs à comburant et à combustible.

Une disposition un peu plus complexe permet d'éviter la consommation d'air comprimé pour la mise en pression d'un des deux liquides en envoyant une fraction du débit de l'autre dans le réservoir qui contient le premier ; la combustion partielle produite dans le réservoir même les gaz qui le videront dans la chambre de combustion. Le choix du liquide dont une fraction est envoyée dans le réservoir qui contient l'autre n'est d'ailleurs pas indifférent. La figure 14 à droite, schématise cette disposition.

Dans le cas où le comburant est l'eau oxygénée, susceptible de décomposition catalytique en donnant des gaz à haute pression, il suffit

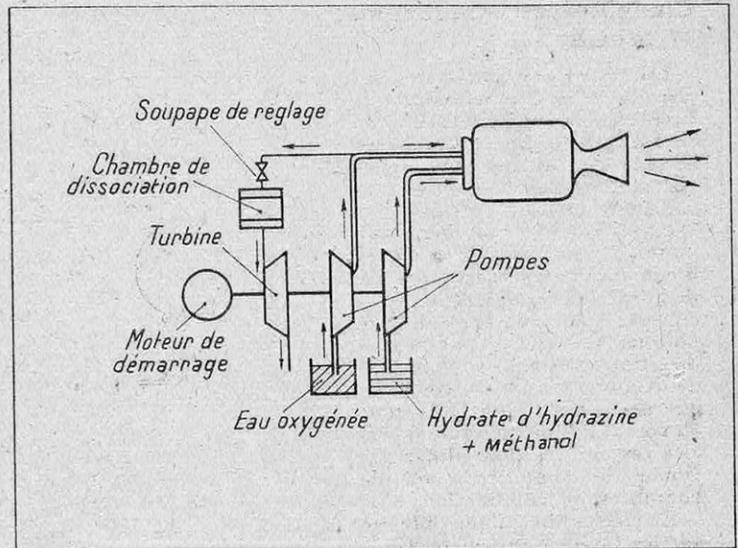


FIG. 16. — SCHEMA D'ALIMENTATION D'UNE FUSÉE PAR TURBOPOMPES

Les deux liquides sont pompés dans les réservoirs et envoyés à la chambre de combustion. Une dérivation d'eau oxygénée, après passage dans une chambre de dissociation, assure l'entraînement des pompes par une turbine.

d'envoyer ce liquide par gravité dans une chambre auxiliaire de dissociation, garnie d'un catalyseur solide (pierre ponce platinée, pyro-lusite) pour que la vapeur produite puisse servir à mettre le réservoir sous pression. La figure 15 indique le schéma de principe, et une application à l'injection de deux liquides, par exemple eau oxygénée et hydrate d'hydrazine.

Lorsque la durée de fonctionnement devient assez élevée, on estime en général nécessaire de passer de l'alimentation par gaz comprimé à l'alimentation par pompe. Tel est le cas de la V-2, où la durée de fonctionnement est de plusieurs minutes, et des chasseurs-fusées, où elle est plus élevée encore. La solution la plus simple est l'entraînement des pompes centrifuges par une turbine à vapeur alimentée par la décomposition d'eau oxygénée; une partie de l'eau oxygénée mise sous pression est dirigée vers la chambre de dissociation auxiliaire, le reste vers la chambre de combustion. L'avantage de l'alimentation de la turbine par eau oxygénée est la production de vapeur à la pression désirée, obtenue par le seul réglage d'une soupape, et surchauffée à une température qui ne dépend que de la concentration de l'eau oxygénée, par exemple 475° C pour 80 %. La figure 16 représente le schéma de la disposition la plus simple.

L'avenir des fusées à liquides

Depuis l'époque où le combattant faisait lui-même ses mesures et ses chargements de poudre noire dans les armes portatives et les canons, sa tâche a été tellement simplifiée qu'il est devenu rebelle à toute proposition d'exécuter lui-même les travaux de pyrotechnie sur le champ de bataille. L'idéal est devenu la bombe qu'on accroche au fuselage ou le projectile encartouché qu'on charge dans un canon, et dont le départ s'obtient par la simple manœuvre d'un interrupteur ou d'un percuteur.

Il est bien possible que les quelques tentatives d'emploi, dans les bombes d'avion, de l'explosif dit « à l'air liquide » (oxygène liquide et charbon) et des panclastites à base de peroxyde d'azote aient péché, en 1914-1918, par l'exécution. Par temps chaud et à faible altitude, il ne devait pas arriver beaucoup d'oxygène sur l'objectif, après plusieurs heures de réchauffage par l'air ambiant d'un corps de bombe de faible volume suspendu sous les ailes d'un avion, et, inversement, par temps froid et à grande altitude, les produits dont le mélange était destiné à former la panclastite devaient fréquemment dépasser le degré de viscosité convenable. Ces difficultés disparaissaient avec les grosses bombes en fuselage, telles qu'on les lançait en 1939-1945, et au surplus une peinture au liège de 2 mm d'épaisseur aurait évité tous réchauffages ou refroidissements intempestifs. Mais l'aviateur, comme l'artilleur, veut l'engin tout préparé, même s'il lui faut renoncer à un gain de puissance de 50 %. Aussi n'avons-nous eu aucun succès en 1936, en suggérant à l'aviation française de revenir à ses bombes à panclastite de 1916, et pas davantage, au cours de cette guerre, en renouvelant la proposition à la R. A. F. Il semble bien cependant que l'Allemagne était, en 1945, à la veille de se décider, si l'on en juge par les études de panclastites nouvelles à liquides séparés qu'on y faisait, en remplaçant les hydrocarbures par un combustible plus lourd, et

plus aisément miscible avec l'acide azotique.

En tout cas, la propulsion par fusée à liquides est une acquisition de l'art militaire sur laquelle il sera difficile de revenir.

On peut assurément consentir un sacrifice de prix pour que le pilote d'un avion-fusée ne soit pas sous la menace permanente d'une explosion accidentelle tenant à l'emploi de combustibles et de comburants qui donnent lieu à extinctions et réinflammations. Le recours à des produits analogues à ceux des moteurs Walter serait alors justifié. Encore faudrait-il être bien sûr que l'effet du tir sur des appareils utilisant ces produits à inflammation absolument certaine et instantanée ne soit pas plus dangereux que le risque de mauvais fonctionnement d'un mélange d'oxygène liquide et d'alcool.

Quant à la deuxième classe d'engins à fusées, ceux qui n'emmenent aucun personnel à bord et n'en réclament que pour leur chargement et leur lancement, la solution admise pour les V-2 s'impose. L'engin doit être conduit inerte au poste de lancement, pointé, puis chargé et lancé par un personnel abrité. Le même principe s'applique au chargement en explosif qui peut être soit l'explosif « à air liquide », soit une panclastite améliorée, soit tout simplement la nitroglycérine. Mais, aussi bien pour les liquides propulsifs qu'explosifs, le choix doit porter sur des produits bon marché qu'il sera possible de distribuer en quantité suffisante pour des destructions étendues.

La notion de sécurité dans les opérations de pyrotechnie demande à être révisée de temps à autre, surtout si l'on étend son domaine à la zone des armées. On en donnera comme exemple l'un des problèmes nouveaux qui se posaient en 1939, et qui était le chargement des obus de 20 mm pour D. C. A. et canons d'avion. Pour ne risquer aucune explosion, surtout avec un mélange de penthrite et de tolite assez sensible, il eût fallu procéder en plusieurs passes, en ne comprimant chaque fois qu'une couche mince d'explosif dans le corps. Une deuxième solution consistait à faire le chargement en une seule opération, en admettant l'explosion de temps à autre, en construisant la presse pour qu'elle y résistât et en abritant le personnel, ce qui n'était guère difficile pour une charge de moins de 10 g. Avec quelques presses automatiques et un personnel des plus réduits, l'atelier de chargement qui fonctionnait sur ce principe suffisait à toute la production française; on en était quitte avec un balayeur supplémentaire chargé de nettoyer la poussière d'acier qui se produisait tous les dix mille ou vingt mille coups.

Abriter sous béton les installations et le personnel d'un poste de lancement de V-2 pour qu'ils ne soient pas incommodés par les explosions accidentelles est d'autant plus simple que la protection contre les bombes ennemies de 10 t est en général indispensable. Dès lors, il suffira de choisir comme combustible, comme comburant et comme explosif des liquides qui ne majorent pas sensiblement les chances d'explosion ou de mauvaise direction au départ que laissera toujours subsister le fonctionnement d'une mécanique assez complexe. Cela vaudra beaucoup mieux que d'accepter la réduction de portée et d'efficacité liée à l'emploi d'eau oxygénée, d'hydrate d'hydrazine ou de tolite.

Camille ROUGERON

DES ÉTALONS INTERNATIONAUX AUX MESURES INDUSTRIELLES

par Jean LABADIÉ

Le système métrique est né à la fin du XVIII^e siècle, sur l'initiative de savants français, du besoin d'un système d'unités universelles et d'emploi aussi aisé que possible, destiné à faciliter les échanges commerciaux. Deux des unités fondamentales de ce système : le mètre et le kilogramme, sont définies par des étalons matériels : une règle de platine, le mètre international, et une masse du même métal, le kilogramme international, déposés tous deux au Pavillon de Sèvres. Des copies aussi exactes et aussi invariables que possible de ces étalons ont été distribuées à toutes les nations ayant adopté le système métrique, et ces copies, à leur tour, ont servi à réaliser les étalons secondaires et à graduer les appareils de plus en plus précis que réclament la science et la technique modernes. Tout naturellement, les laboratoires chargés de la conservation des étalons nationaux se sont trouvés être les plus qualifiés pour effectuer les opérations de haute précision (analyses, essais de matériaux, etc.) que réclame l'industrie. En France, c'est le Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers qui, dépositaire des étalons nationaux, a pour mission de fournir à tous les laboratoires français les étalons de mesure dont ils ont besoin, d'effectuer pour eux les essais qu'il ne sont pas outillés pour mener à bien et enfin de faire progresser la métrologie, science parfois méconnue, mais sans laquelle les autres sciences seraient désarmées.

MICROSECONDES, microgrammes, microvolts, ne parlons pas du micron, c'est un géant trop grossier puisque les physiciens emploient depuis longtemps l'angström, dix-millième partie du micron. Ayant épuisé tous les préfixes : *déci, centi, milli*, de son vocabulaire latin original, ce n'est pas par amour du grec que le système métrique adopte ces unités nouvelles, de plus en plus familières non seulement aux physiciens, mais encore aux industriels.

L'emploi d'unités de plus en plus petites traduit le progrès de l'art de la mesure vers une précision toujours plus grande, une précision sans laquelle les plus belles théories scientifiques n'auraient pu ni s'édifier ni se vérifier, car, ainsi que le disait Lord Kelvin : « On ne connaît vraiment bien que ce que l'on peut mesurer. » La technique, elle aussi, se fait de plus en plus exigeante en fait de mesures.

En ces vingt dernières années, l'industrie métallurgique, par exemple, a dû prendre une connaissance rigoureuse des impuretés, réellement infinitésimales, qui conditionnent ou déterminent les propriétés mécaniques, physiques, électriques des alliages qu'elle prépare et qui doivent présenter une très grande constance. L'usage des microbalances s'est donc généralisé dans cette industrie. Elles n'y sont plus considérées comme des instruments pour métrologistes virtuoses, mais comme des appareils d'outillage courant.

La marge la plus étonnante qu'on ait constatée entre la petitesse de la cause et la grandeur de l'effet sur le plan industriel fut révélée tout récemment dans la fabrication de la bombe atomique ; il suffit d'impuretés se mesurant par millièmes de la masse du graphite utilisé

comme « modérateur » dans les fameuses « piles » où l'uranium se transforme en plutonium pour que les neutrons cessent de traverser ces blocs comme il est nécessaire. Le bore, en particulier, doit être évité au taux invraisemblable de 0,5 g par tonne de graphite. On ne demandera pas à une balance de comparer directement des poids aussi distants sur l'échelle des mesures. Ce sont, nous le savons, des méthodes « non mécaniques » qui interviennent dans ce genre de contrôle industriel. C'est ainsi que l'électromètre joua le rôle d'une véritable balance au cours des « cristallisations fractionnées » par lesquelles Pierre et Marie Curie isolèrent le premier décigramme de radium en traitant des quintaux et des quintaux de pechblende.

L'importance nationale d'un laboratoire des mesures

Admettre que l'usine et le laboratoire ont également besoin d'appareils de mesure capables d'une extrême précision, c'est évidemment admettre la nécessité de vérifier périodiquement le fonctionnement et les propriétés de ces appareils.

« Cela suppose, écrit M. G.-A. Boutry, directeur du Laboratoire d'Essais au Conservatoire national des Arts et Métiers, qu'il existe, dans la nation, un organisme capable de réaliser des étalons de mesure avec une précision supérieure à l'incertitude la plus petite de la mesure couramment pratiquée.

« Cela suppose aussi que cet organisme dispose, pour rapporter les résultats donnés par les appareils à contrôler à ces étalons, de méthodes de mesure qui garantissent une précision supé-

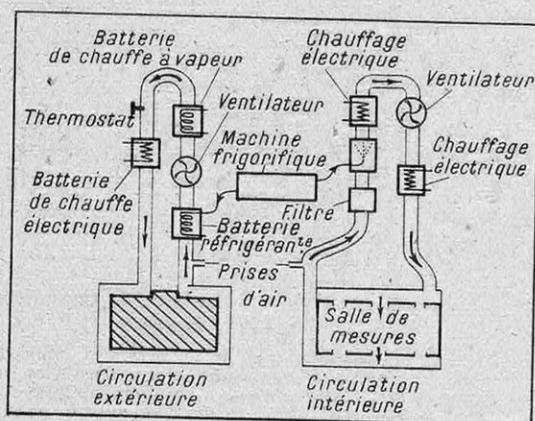


FIG. 1. — PLAN SCHÉMATIQUE DE L'INSTALLATION THERMOSTATIQUE DES SALLES DE MESURE DU LABORATOIRE D'ESSAIS DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS DE PARIS

Le sous-sol du laboratoire se trouve aménagé dans ce but en salles à doubles parois avec double circulation d'air : une circulation extérieure parcourant la chemise des doubles murs (à gauche) et une circulation intérieure la salle elle-même en air respirable (à droite), l'une et l'autre circulations étant à des températures dont la constance est assurée par thermostats électriques.

rière à celle dont sont capables les appareils à vérifier. On devine qu'un tel laboratoire central doit disposer d'une puissance d'outillage, de personnel et de moyens techniques tels qu'il serait ruineux de les concevoir à plusieurs exemplaires dans une même nation.

C'est ainsi que les États-Unis d'Amérique disposent du Bureau of Standards, qui a été certainement mis largement à contribution dans le *Manhattan Project* pour la mise sur pied des méthodes qui permirent de passer, sans transition, de la fabrication des premiers « microgrammes » d'uranium 235 à la fabrication de la bombe à raison de 1 kg quotidien, sans relâcher un instant la surveillance des impuretés à des taux infinitésimaux.

En Angleterre, l'établissement correspondant est le *National Physical Laboratory* et, en Allemagne, la *Physikalische Technische Reichsanstalt*, la plus ancienne de ces institutions, puisque sa fondation date de 1880.

La France possède, depuis 1902, un *Laboratoire d'Essais mécaniques, physiques et chimiques*, dans les attributions duquel rentre cette vérification fondamentale des instruments de mesure et des produits industriels.

Sans doute, ce Laboratoire n'est-il pas un véritable laboratoire national des mesures analogue à ceux de l'étranger, puisque chez nous les mesures sont confiées à plusieurs organismes d'attributions mal définies et de ressources insuffisantes (1), mais il est le plus grand et le plus actif, et on peut le considérer comme le noyau d'un futur laboratoire, dont le projet a d'ailleurs été présenté par M. Boutry au Bureau national des Laboratoires.

(1) Laboratoire central d'Électricité, dépendances de l'Institut d'Optique, Laboratoire national de Radioélectricité, Laboratoire des Hautes Températures de l'Université de Paris, etc...

Depuis 1919, c'est le Laboratoire d'Essais qui est chargé de la conservation des étalons nationaux du système métrique, copies des étalons internationaux du Pavillon de Sèvres. Et, à partir de ces étalons qui dorment dans ses coffres et qui ne sont utilisés que dans des occasions rarissimes, il réalise, par une série de copies successives, des étalons secondaires destinés aux laboratoires industriels. Et tout naturellement il est chargé d'étudier tous les moyens propres à augmenter la précision des mesures.

La température, condition première de toute mesure physique

La première chose que l'on remarque, quand on pénètre dans les sous-sols du Laboratoire d'Essais où s'effectuent les opérations les plus précises et où sont conservés les étalons de longueur et de masse, c'est une installation quasi-industrielle destinée à maintenir rigoureusement constante et définie la température à laquelle s'effectuent les expériences (fig. 1). Sans définition précise de la température et du degré hygrométrique de l'air, aucune mesure précise n'est en effet possible.

Les dimensions des objets à mesurer ne sont définies avec rigueur que si ces objets sont en équilibre avec le milieu ambiant et à une température connue et maintenue constante avec toute la précision possible.

En sorte que, pour mesurer un mètre, il faut tout d'abord posséder un thermomètre et l'agencer ensuite en « thermostat », c'est-à-dire en régulateur automatique de température.

Mais la mesure des températures, définies à l'aide d'un thermomètre à gaz parfait, se ramène à son tour à des mesures de longueur, et nous sommes apparemment enfermés dans un cercle vicieux. Apparemment seulement, car, dans la pratique, toutes les mesures progressent simultanément vers une précision de plus en plus grande.

De même, si on veut mesurer des masses, on doit pouvoir calculer la poussée d'Archimède qu'elles subissent de la part de l'air environnant; et, par conséquent, la densité de l'air et le volume déplacé par les masses comparées, ce qui suppose des conditions de température, de pression et d'humidité parfaitement définies. Dans la pratique, les salles de mesures sont maintenues en permanence à 20° C.

Une cause d'apparence négligeable, mais qui, au degré de précision où l'on opère est, au contraire, très importante, est la perturbation thermique qu'apporte, dans les salles, la présence des opérateurs. Dans

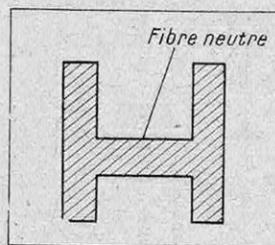


FIG. 2. — LA SECTION EN H D'UN ÉTALON SECONDAIRE DE LONGUEUR

On ne peut pas négliger, pour les comparaisons précises des longueurs, les déformations des règles qui résultent de leur flexion. On réduit donc cette flexion au minimum en donnant à la section des règles la forme d'un H dont la fibre neutre, c'est-à-dire le lieu des points qui ne subissent ni compression ni traction quand la règle est fléchie, se trouve coïncider avec la surface plane qui porte les graduations.

une atmosphère à 20°, le corps d'un opérateur dégage environ 100 grandes calories par heure, dont les deux-tiers sont dissipés par conduction, convection et rayonnement (le reste étant à mettre au crédit de l'air expiré). Et les observateurs sont plusieurs, ils n'ont ni la même corpulence, ni le même métabolisme; ils ne se tiennent pas toujours à la même place.

Malgré cette cause de perturbation, on parvient à maintenir la température des salles constante à 0°,1 près.

Cette première précaution étant prise pour l'atmosphère où va s'opérer la mesure, les appareils au moyen desquels s'effectuera l'inter-comparaison des étalons sont eux-mêmes recouverts d'enceintes de protection qui les maintiennent dans l'obscurité, achevant ainsi de les protéger contre tout rayonnement thermique, celui des lampes et celui du corps des opérateurs, lesquels sont, quand cela est possible, tenus à distance des appareils grâce à des dispositifs de commande et de lecture à distance.

Puisque nous parlons des précautions générales qui sont prises pour permettre des mesures de haute précision, mentionnons enfin que la plupart des appareils sont montés, par l'intermédiaire de dispositifs amortisseurs, sur des socles de béton de grande masse reposant sur les couches profondes du sol. De cette façon, ils sont à l'abri des vibrations toujours impor-

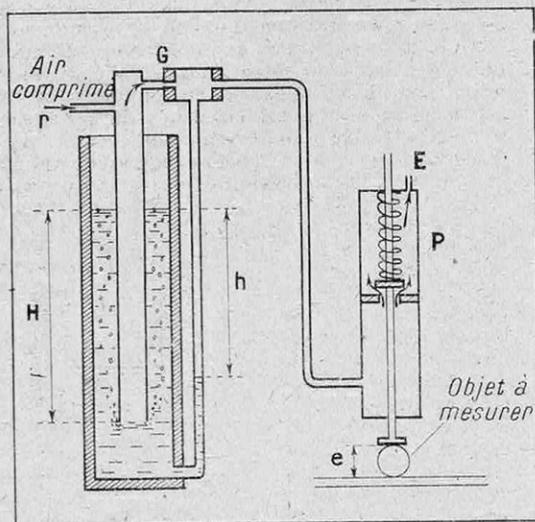


FIG. 3. — COUPE SCHÉMATIQUE D'UN MICROMÈTRE SOALEX

L'objet dont on veut mesurer l'épaisseur repousse plus ou moins loin un piston P et fait ainsi varier la section de l'orifice par lequel s'échappe de l'air sous pression. Une différence de pression constante H est entretenue entre l'orifice G et l'échappement E de l'air dans l'atmosphère. On mesure à l'aide d'un tube manométrique la surpression h qui règne immédiatement en aval de G. Quand l'épaisseur de l'objet et, par conséquent, la section d'échappement de l'air varient, h varie également. Le phénomène est extrêmement sensible et permet d'effectuer rapidement des mesures au 10^e de micron. Le régulateur de la surpression est constitué par un tube plongeant dans de l'eau à la profondeur H. Si la pression qui y règne vient à excéder la valeur voulue, il se produit un échappement de bulles dans l'eau. Un robinet r permet de régler l'arrivée d'air comprimé pour que ce dégagement de bulles reste aussi régulier que possible.

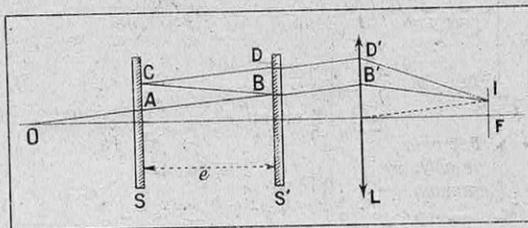


FIG. 4. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE L'INTERFÉROMÈTRE BENOIT, PÉROT ET FABRY

Un rayon lumineux issu de la source O monochromatique traverse la lame d'air à faces parallèles comprise entre les deux surfaces semi-réfléchissantes S et S'. Arrivé en B, il se divise en deux rayons. Le premier continue son chemin en BB' tandis que l'autre ne sort de la lame d'air qu'après une double réflexion BCD, et vient recouper le rayon BB' en I dans le plan focal de la lentille L. La différence des chemins optiques des deux rayons augmente quand le rayon OA s'écarte de l'axe optique de l'appareil, et par conséquent le point I est alternativement obscur et éclairé suivant le déphasage des deux rayons que nous avons considérés. On observe donc dans le plan focal de la lentille une série de cercles concentriques alternativement éclairés et obscurs. Quand l'épaisseur e de la lame d'air augmente, de nouveaux cercles apparaissent continuellement au centre F du plan focal, à raison d'un cercle noir pour une variation d'une demi-longueur d'onde de e. En comptant le nombre des cercles apparus depuis l'épaisseur zéro jusqu'à l'épaisseur e, on évalue cette dernière en longueurs d'onde.

tantes dans une grande ville où circulent des véhicules très lourds.

Les étalons de longueur

Il existe deux catégories d'étalons de longueurs actuellement en usage : les étalons à traits et les étalons à bouts.

Les étalons à traits sont des règles métalliques sur lesquelles les longueurs sont définies par les distances qui séparent des traits gravés à l'aide d'une pointe de diamant sur la surface métallique polie. Pour comparer deux longueurs sensiblement égales sur deux étalons à traits, on les amène successivement devant les microscopes d'un appareil comparateur. La distance des axes optiques des deux microscopes étant d'abord rendue égale à la première longueur par visée sur les traits qui la définissent, on la rend ensuite égale à la deuxième longueur (très voisine de la première) en déplaçant le réticule de visée dans le champ des microscopes, et on mesure à l'aide d'une vis micrométrique le déplacement qu'il a fallu effectuer pour cela et, par conséquent, la différence entre les deux longueurs comparées.

Dans les étalons à bouts, les longueurs sont définies par la distance de deux surfaces terminales. On ne peut donc matérialiser qu'une seule longueur avec un même étalon. Pendant longtemps, la comparaison des étalons s'est effectuée uniquement à l'aide de palpeurs qui appuient sur les extrémités de l'étalon. Mais cette méthode introduit une erreur impossible à éliminer et difficile à évaluer. L'effort appliqué par le palpeur sur l'étalon provoque des déformations des surfaces au contact, et ces déformations, qui peuvent atteindre quelques microns pour un effort de 1 kilogramme, dépendent de la forme des palpeurs. Nous verrons qu'il existe

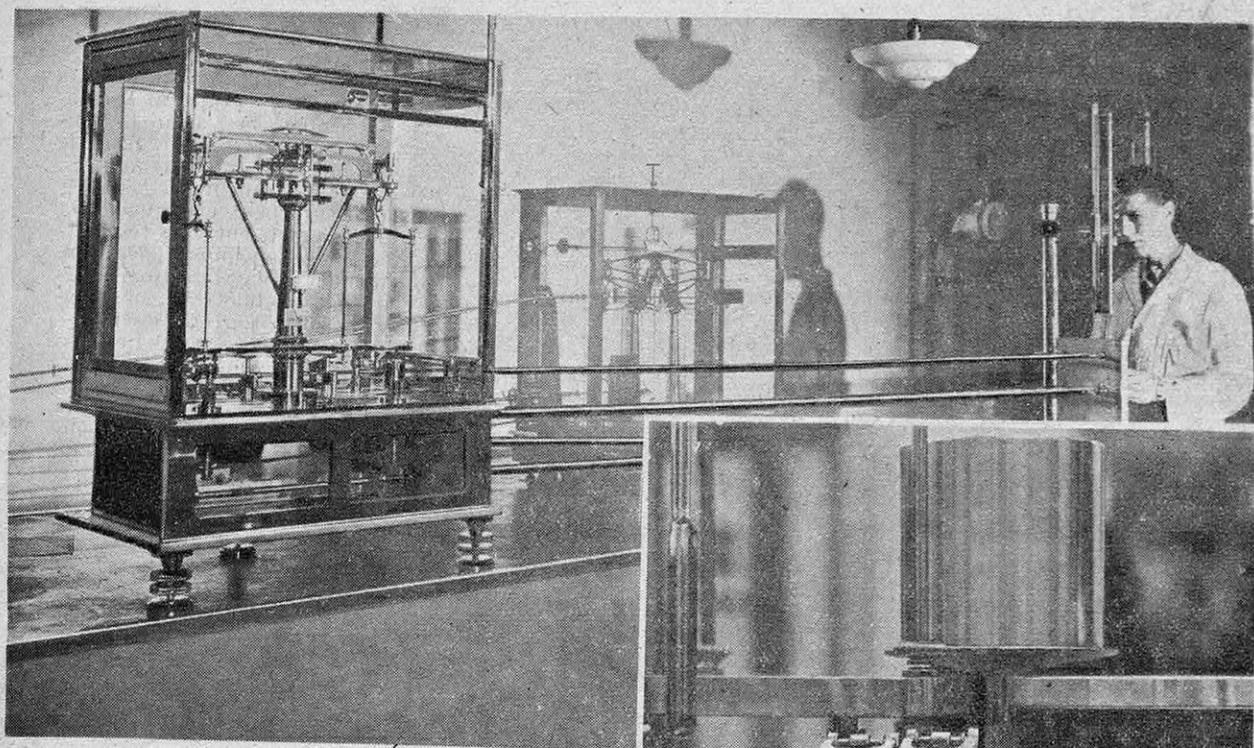
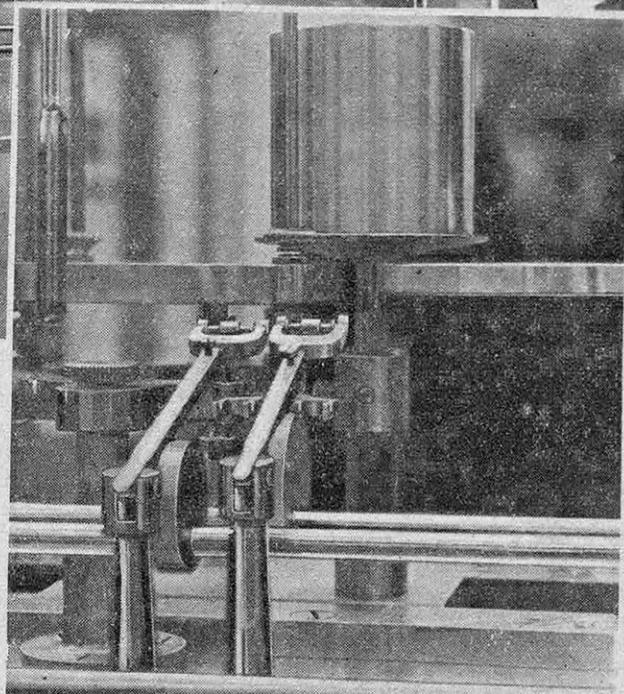


FIG. 5 ET 6. — LA BALANCE DE JOUAN QUI SERT A LA COMPARAISON DES ÉTALONS DE L'ORDRE DU KILOGRAMME, AVEC UNE SENSIBILITÉ DU 1/50 DE MILLIGRAMME

On voit, à droite, le détail d'un plateau: l'un des étalons à comparer (cylindre en acier amagnétique) vient d'être soulevé de son plateau par le dispositif de manœuvre à distance de la balance. On aperçoit, au premier plan, deux fourches qui peuvent poser sur des étriers solidaires du plateau de la balance deux petites masses cylindriques de quelques grammes. Simultanément, deux autres fourches déposent sur des étriers solidaires de l'autre plateau des masses qui diffèrent des premières d'une quantité connue et très petite (1 mg).



des méthodes permettant d'éliminer cette cause d'erreur.

Le mètre international du Pavillon de Sèvres est un étalon à traits. Le mètre légal du Laboratoire d'Essais est aussi un étalon à traits. Le contrôle des fabrications en usine s'effectue presque toujours à l'aide de calibres, tampons, broches à bouts plans ou sphériques, qui sont des étalons à bouts. Ce sont ces étalons pratiques que le Laboratoire d'Essais compare au mètre légal par l'intermédiaire d'une des règles en invar établies par comparaison avec lui et qui sont des étalons à traits. On doit donc constamment comparer entre eux des étalons à traits et des étalons à bouts, opération qui se fait sur une machine à mesurer, les longueurs des deux sortes se traduisant par des déplacements de chariots mus par des vis micrométriques.

Ces opérations de mesure sont longues et délicates; il faut éliminer les erreurs systématiques (auxquelles on peut assigner une cause) et réduire par des répétitions convenables et l'établissement des moyennes les erreurs accidentelles (sans cause connue dans l'état actuel de la technique des mesures).

Pour montrer à quelle minutie on est tenu, voyons comment est étalonné un mètre de réfé-

rence, règle à traits, graduée de centimètre en centimètre.

Ce sont les étalons secondaires établis d'après le mètre légal, qui servent de référence dans ce travail. Ils sont établis en invar, alliage de fer-nickel découvert par Ch.-Ed. Guillaume après des années de recherches et dont le coefficient de dilatation est extrêmement faible à la température ordinaire. Leur rigidité mécanique est assurée par une section en H (fig. 2) comportant un plan intérieur optiquement poli, et qui coïncide avec la « fibre neutre », lieu géométrique du minimum de déformation. C'est sur ce plan que sont tracés les traits de la subdivision décimale soumise aux microscopes du comparateur à déplacement longitudinal.

L'opération de comparaison d'un mètre à traits avec l'un des étalons du laboratoire débute par la détermination de sa longueur totale, avec une incertitude de 2 à 3/10 de micron. Le mètre est ensuite porté sur la machine à mesurer, et l'on procède à la mesure des distances comprises entre les divisions. Le premier microscope est placé de manière à viser le trait zéro tandis que le second se trouve dirigé sur le trait 10 cm de la règle à étudier. L'opérateur fait ensuite glisser le chariot qui porte la règle de façon à pointer les

traits 10 et 20 cm. La longueur du deuxième « décimètre » n'est jamais exactement celle du premier ; autrement dit, quand l'axe optique du microscope n° 1 coïncide avec le trait 10, la coïncidence exacte du microscope n° 2 avec le trait 20 serait le fait du hasard. La vis micrométrique du microscope n° 2 (préalablement étalonnée elle-même) intervient alors pour mesurer la différence observée. L'incertitude est encore ramenée à l'ordre du dixième de micron.

On recommence les mêmes opérations de pointage des microscopes et de déplacement de la règle pour les 3^e, 4^e, 5^e..., 10^e décimètres. Et l'on obtient de la sorte une première série de mesures.

Puis, on recommence en ramenant le zéro sous le premier microscope tandis que le second pointerait le trait 20. Et, cette fois, c'est la série des « doubles décimètres » qui sera déterminée.

On recommence, toujours en repartant du zéro, pour des triples décimètres ; et encore pour les quadruples, etc., jusqu'à ce qu'une dernière série de mesures compare la longueur 0-90 à la longueur 10-100.

Cette série de mesures est répétée un grand

nombre de fois avec des observateurs différents et l'ensemble des résultats est traité mathématiquement pour déterminer la valeur la plus probable de chaque décimètre. On procède ensuite à une opération beaucoup plus longue : l'étalonnage centimètre par centimètre.

La valeur de la mesure peut être jugée par l'ordre de grandeur des écarts entre les résultats donnés par les répétitions d'une même opération.

Elle dépend finalement de la perfection matérielle des appareils et de l'habileté des observateurs qualifiés dont le laboratoire dispose.

Mais, pour servir les industries spécialisées à un rythme convenable, le Laboratoire d'Essais doit ramener ses intercomparaisons à des opérations plus rapides. Aussi bien l'industrie, avons-nous dit, présente-t-elle surtout à l'étalonnage des jeux de calibres, de tampons, de broches. Ces étalons secondaires industriels sont alors vérifiés par des méthodes automatiques.

Contentons-nous de citer les comparateurs classiques : le comparateur de Hartmann, et le comparateur à micromètre électrique, déjà

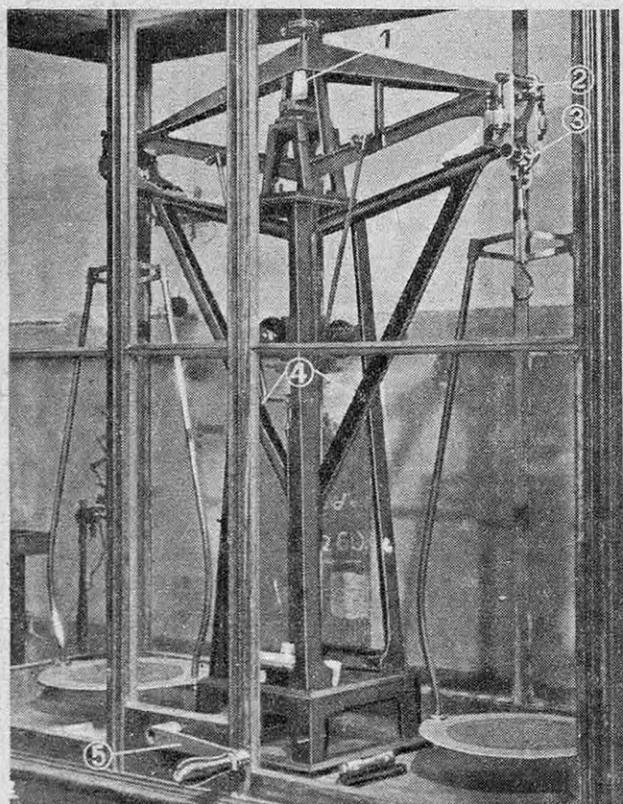


FIG. 7. — CETTE BALANCE DE RUPRECHT PÈSE 20 KG A 0,5 G PRÈS

On remarque en 1 le couteau sur lequel repose le fléau ; en 2, le couteau sur lequel repose un des plateaux ; en 3, la suspension du plateau par deux anneaux d'acier en contact par des arêtes très aiguës, dispositif qui donne aux mouvements du plateau le maximum de liberté ; en 4 la fourche qui soulève le fléau (quand la balance n'est pas employée, elle est normalement soulevée et on la repose sur son couteau pour les pesées) ; enfin, en 5, la manivelle de commande de cette fourche.

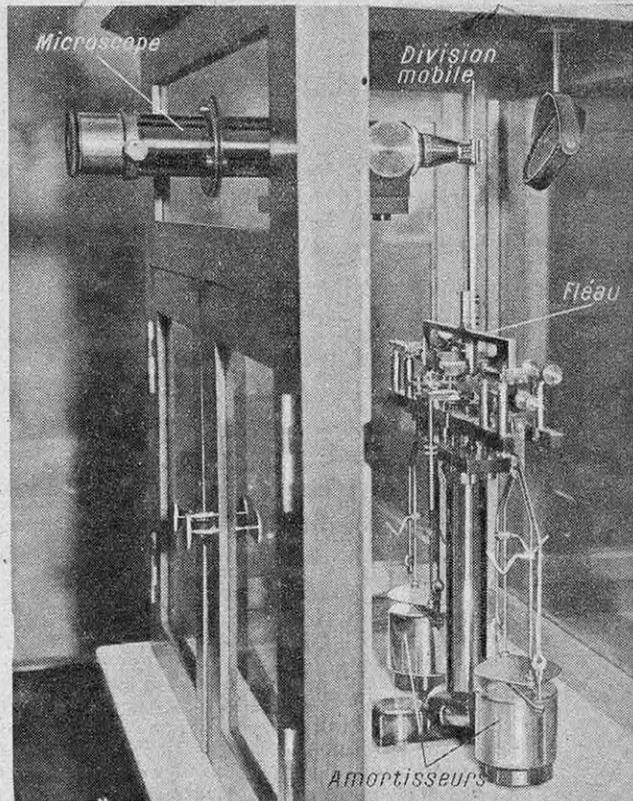


FIG. 8. — BALANCE DE COLLOT PERMETTANT DE PESER 20 G A 0,001 MG PRÈS

On remarque sous les plateaux un amortisseur à air qui réduit le nombre des oscillations du fléau et accélère les pesées. L'extrême sensibilité de l'appareil, par suite des couteaux très aiguës qui servent à la suspension du fléau et des plateaux, exigerait en effet plusieurs heures pour que la balance reprenne sa position d'équilibre au cours d'une pesée. Les oscillations sont observées grâce à une échelle solidaire du fléau et portée par un verre translucide qu'on observe au microscope.



FIG. 9. — DEUX BOITES D'ÉTALONS DU LABORATOIRE D'ESSAIS

Au premier plan, des cales Johansson, étalons de longueur à bouts, dont les valeurs s'échelonnent de 1 dm à 1 mm, et qui sont employées dans les mesures interférométriques. Au second plan, des étalons de masse en acier, allant de 500 g à 1 g.

anciens et qui tendent à être abandonnés. Pour les petits diamètres, citons le micromètre pneumatique Solex (fig. 3). Toutefois, une mention spéciale doit être réservée aux « interféromètres » qui ont l'avantage de protéger les étalons à bouts de tout contact matériel déformant.

L'instrument le plus précis de mesure des longueurs

Les étalons à bouts ont longtemps été considérés comme inférieurs aux étalons à traits parce qu'on admettait qu'il était nécessaire d'employer des palpeurs pour les mesurer. Or, des méthodes purement optiques, fondées sur l'interférence des rayons lumineux, permettent d'effectuer ces comparaisons sans contact matériel, et partant sans déformation, et ces mesures, parmi les plus précises qu'on ait réalisées, ont permis de comparer le mètre à un étalon immatériel ; la longueur d'onde d'une radiation lumineuse.

Et c'est précisément au Laboratoire d'Essais que furent effectuées, par Benoit, Pérot et Fabry, ces expériences célèbres qui comportaient :

- 1° La mesure en longueurs d'onde de l'épaisseur très voisine de 6,25 cm d'une lame d'air comprise entre deux faces semi-réfléchissantes ;
- 2° La réalisation, de proche en proche, par l'emploi de méthodes interférentielles, de lames d'épaisseur exactement double, quadruple, ... et enfin seize fois plus grande que la première, réalisant un étalon à bouts de 1 m de longueur ;
- 3° Enfin, la comparaison de cet étalon à bouts, mesuré en longueurs d'onde, avec le mètre international (étalon à traits).

Nous décrivons seulement la première partie de cette opération à la figure 4.

La longueur d'onde de la raie rouge du cadmium a été trouvée égale à 0,643 846 96 micron.

Peut-on espérer faire un jour des déterminations plus précises ? Cela n'est pas impossible. Quand on emploie, pour produire la raie rouge, le cadmium naturel, on opère, en réalité, sur un mélange d'isotopes dont les spectres d'émission ne coïncident pas exactement ; chaque raie

est, en réalité, complexe et ne correspond donc pas à une longueur d'onde unique. C'est une valeur moyenne de la longueur d'onde de ces raies que l'on mesure en microns. En séparant un isotope du mercure, on a pu obtenir des raies d'émissions plus simples et dont la longueur d'onde est définie avec plus de précision.

C'est sur des principes analogues à celui de l'interféromètre de Fabry que sont construits les interféromètres industriels qui servent à vérifier rapidement et avec précision les dimensions des calibres utilisés pour vérifier les fabrications en série et dont l'emploi se généralise de plus en plus à mesure que la technique se fait plus exigeante en fait de précision.

L'intercomparaison des masses

Ne quittons pas la métrologie des étalons matériels sans dire un mot de l'intercomparaison des masses.

Passons sur les balances de précision (ou microbalances de type usuel) dont le Laboratoire des Essais possède, comme on pense, une série remarquable. Remarquons seulement les deux appareils de haute précision qui permettent d'obtenir le 1/50 de milligramme dans la comparaison des étalons kilogrammes.

Ces deux balances, l'une de Collot, l'autre, tout récemment installée, de Jouan (fig. 5), sont manœuvrées à distance. Les poids sont soulevés automatiquement pour l'intervention des pesées. Le fléau de chaque balance porte un petit miroir devant lequel se trouve une lentille qui projette l'image ponctuelle d'un spot lumineux sur une échelle divisée, elle-même fixée à 3 m de la balance. C'est la variation de position du spot, résultant de l'intervention des masses étudiées sur les plateaux de la balance, qui révèle la différence des poids.

Cette interprétation exige que soit connue la « sensibilité » de l'appareil, qu'il faut mesurer au cours de la pesée elle-même. Dans ce but (toujours automatiquement), le fléau de la balance est surchargé d'abord à droite et puis à gauche d'une quantité de l'ordre du milligramme (fig. 6) et on mesure le déplacement du spot qui en résulte.

Au cours des mesures qui sont longues et

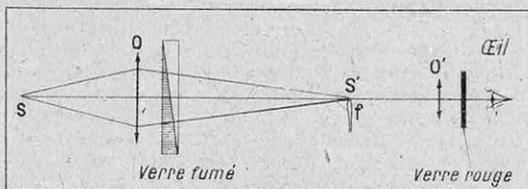


FIG. 10. — SCHÉMA DE PRINCIPE DU PYROMÈTRE A DISPARITION DE FILAMENT

On observe simultanément dans l'appareil un filament I de brillance constante et l'image S' de la source S dont la brillance peut être atténuée plus ou moins par l'interposition d'une épaisseur réglable de verre fumé. Quand la brillance du filament et celle de l'image deviennent égales, le filament disparaît. De part et d'autre de cette coïncidence, le filament se détache, tantôt brillant, tantôt obscur sur l'image de la source S . Les brillances sont observées en lumière rouge, et on calcule, grâce à des tables spéciales (compte tenu de la courbe d'émission de la source), la température de cette source. L'appareil est étalonné par l'observation de corps noirs à températures connues.

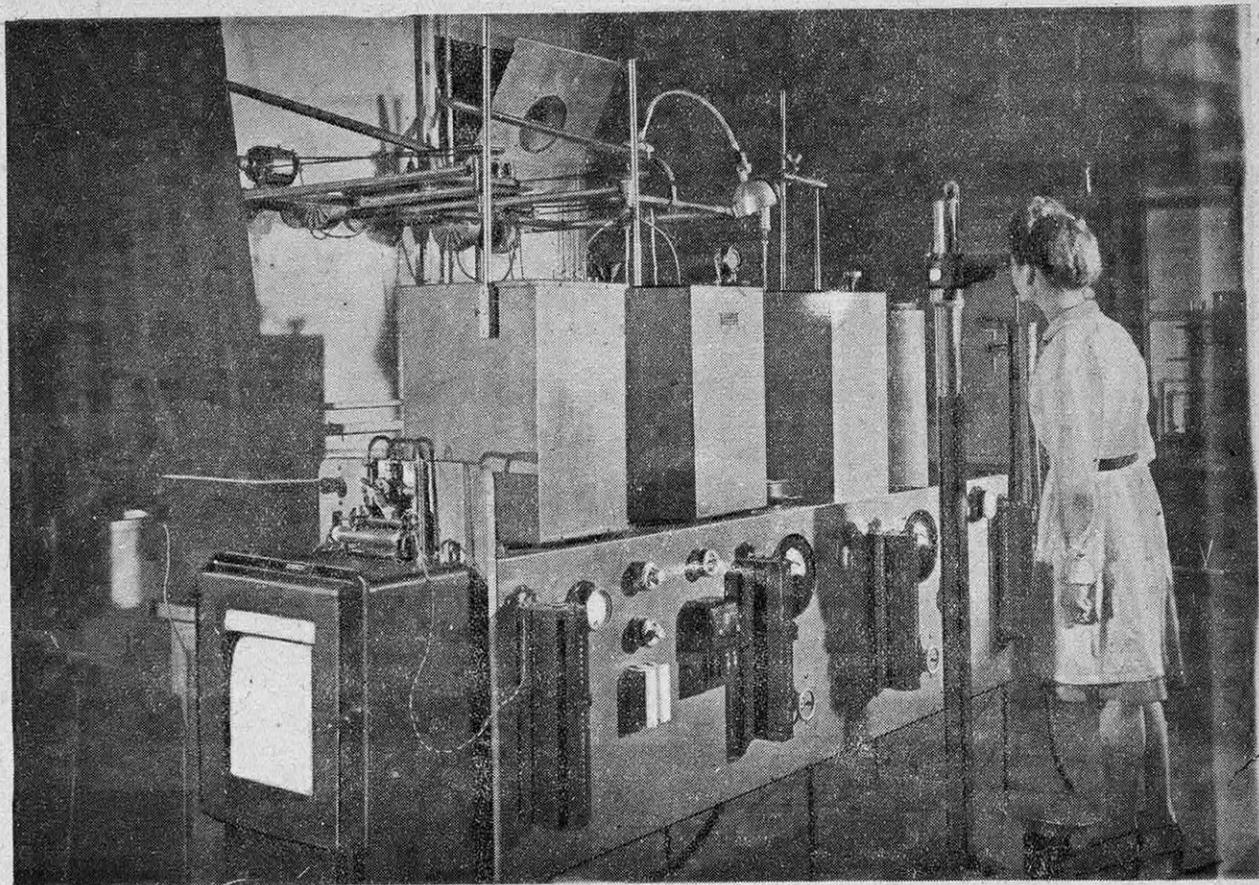


FIG. 11. — L'ÉTALONNAGE DES THERMOMÈTRES DE PRÉCISION À MERCURE DESTINÉS À L'INDUSTRIE

Ces thermomètres sont maintenus aux températures désirées dans des enceintes thermostatiques, et on vise les niveaux de mercure au moyen de cathétomètres.

déliçates (la période des oscillations du fléau est égale à une minute et les fléaux mettent trois heures à s'immobiliser), un aide-opérateur contrôle constamment la pression atmosphérique et la température de la salle, précautions indispensables pour corriger la poussée atmosphérique subie par les étalons de formes données. Les étalons secondaires sont des cylindres polis de diamètre égal à leur hauteur, en acier amagnétique ou en nickel.

Remarque importante : ici, non plus, ce n'est pas la valeur de l'erreur absolue qui permet de juger de la précision d'une mesure de masse, mais la valeur de l'erreur relative (rapportée à la masse mesurée). La précision que nous venons de rencontrer au taux de 1/50 de milligramme pour une pesée de 1 kg est donc, soit dit à titre d'exemple, incomparablement meilleure que celle qui correspond à la pesée d'une masse de 20 g avec une erreur de 1/1 000 de milligramme obtenue avec les microbalances du type courant.

La mesure des températures

Nous avons vu l'importance de la définition de la température dans toutes les mesures de précision. Aussi le Laboratoire d'Essais est-il armé pour déterminer les températures avec toute la précision possible et dans les limites les plus étendues.

Ici encore son rôle est, en même temps que de réaliser une échelle fondamentale de température, de fournir à l'industrie des instruments de mesure précis et d'un emploi aisé et rapide.

Il possède même un service d'étalonnage des thermomètres médicaux et industriels qui vérifie les instruments avant leur mise en vente (fig. 11).

En France, l'échelle légale des températures est définie par le thermomètre à gaz parfait, définition qui, du point de vue théorique, est la plus satisfaisante. Le gaz parfait n'existe pas, mais les thermomètres à gaz (azote, hydrogène, hélium) donnent des indications qui se rapprochent de celles que donnerait le thermomètre à gaz parfait, et on sait calculer les écarts qui existent entre ce dernier et les premiers, et définir ainsi l'échelle thermométrique légale.

Mais le thermomètre à gaz est lui-même d'un emploi peu commode, et c'est pourquoi on a défini une échelle internationale qui emploie trois sortes d'instruments de mesures : le thermomètre à résistance de platine depuis les températures les plus basses jusqu'à 660° C ; puis le couple thermo-électrique de 660 à 1 063° C ; enfin, au-delà de cette valeur, les températures des corps sont mesurées par le rayonnement qu'ils émettent (fig. 10). Les indications de l'échelle internationale coïncident, par définition, avec celles du thermomètre à gaz parfait en un certain nombre de points : températures de fusion ou d'ébullition d'un certain nombre de corps. Entre ces points, on connaît, en fonction de la température définie par le gaz parfait, la loi du phénomène employé pour définir l'échelle internationale.

L'équipement du Laboratoire de thermomé-

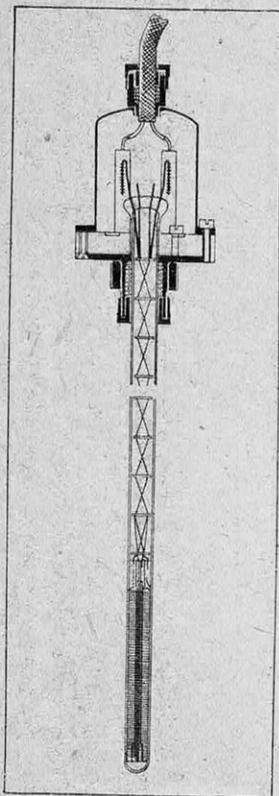


FIG. 12. — LE THERMOMÈTRE A RÉSISTANCE DE PLATINE MIS AU POINT PAR LE LABORATOIRE D'ESSAIS

Cet appareil sert à la mesure des températures entre -182°C et 660°C . La résistance de platine est enroulée dans un tube de quartz rempli d'hélium. A l'époque où il a été construit, l'appareil représentait un progrès important par rapport aux autres appareils du même genre, en raison de son volume dix fois plus petit et de sa faible inertie calorifique.

lui-même étudié et mis au point le thermomètre à résistance de platine (fig. 12), qu'il emploie ainsi que le pont de Smith (fig. 14) qui sert à mesurer les résistances à 10^{-5} ohm près, ce qui donne, pour la mesure de la température, une précision de $0,001^{\circ}\text{C}$.

La photométrie

Avec la photométrie, nous quittons le domaine des mesures de haute précision, et, en même temps, nous sortons de cette enceinte à 20°C qui était indispensable pour leur réalisation. Les mesures de photométrie que nous verrons réaliser sont entachées d'une erreur relative égale à $1/100$. Pourtant, cette précision n'est obtenue qu'au prix de soins minutieux et après avoir vaincu de grandes difficultés.

Par la mesure de l'intensité d'une source lumineuse, on peut entendre la mesure de

l'énergie qu'elle rayonne. Mais le même nombre de watts ne produit pas les mêmes effets dans toutes les lampes ; il existe même des radiations complètement invisibles pour l'œil. Ce que nous voulons mesurer ici, c'est l'intensité des impressions lumineuses provoquées par la source sur l'œil. Commençons par envisager la comparaison de deux sources de même composition spectrale : par exemple, deux lampes à filament de carbone.

L'éclairage produit par une source lumineuse sur un écran obéit à la loi de l'inverse des carrés des distances ; nous pourrions, en les plaçant à distance convenable d'un écran ou de deux écrans identiques voisins, nous arranger pour que les éclairagements des deux écrans soient égaux. Le rapport des intensités lumineuses est alors le rapport des carrés des distances de la source à l'écran. C'est le principe des opérations photométriques.

Si nous voulons comparer deux sources d'intensité différente, nous pourrions, en les plaçant à distance convenable d'un écran ou de deux écrans identiques voisins, nous arranger pour que les éclairagements des deux écrans soient égaux. Le rapport des intensités lumineuses est alors le rapport des carrés des distances de la source à l'écran. C'est le principe des opérations photométriques.

Entre ces repères thermométriques, il faut pouvoir réaliser et maintenir constantes, pendant la durée de l'opération, toutes les températures intermédiaires pour lesquelles on comparera les indications du thermomètre de référence avec celles du thermomètre à étalonner. Cela se réalise au moyen de thermostats qui, aux températures modérées, sont des enceintes où l'on fait circuler de l'air et, aux températures plus élevées, des fours électriques.

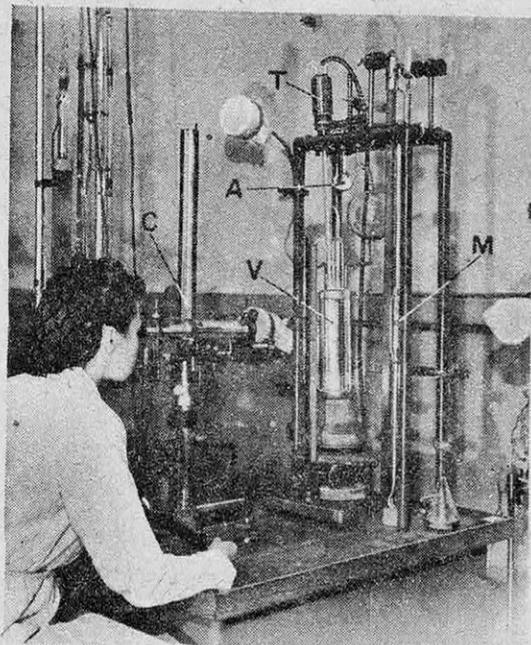


FIG. 13. — L'ÉTALONNAGE DU THERMOMÈTRE A RÉSISTANCE DE PLATINE AU POINT D'ÉBULLITION DE L'OXYGÈNE LIQUIDE

L'oxygène pur produit en A par la décomposition du permanganate de potassium vient se liquéfier partiellement dans la partie inférieure de l'appareil où il est refroidi énergiquement par l'air liquide contenu dans un vase de Dewar V. Il reste en équilibre avec sa vapeur à une température qui est fonction de la pression régnant dans l'enceinte qui le contient. C'est cette pression que l'opératrice est en train de mesurer en visant à l'aide d'un cathétomètre C les niveaux de mercure d'un manomètre M. En T, les connexions du thermomètre à résistance de platine dont l'extrémité plonge dans l'oxygène liquide. La mesure de la résistance de platine se fait dans une autre salle qui communique avec la première par microphones et haut-parleurs.

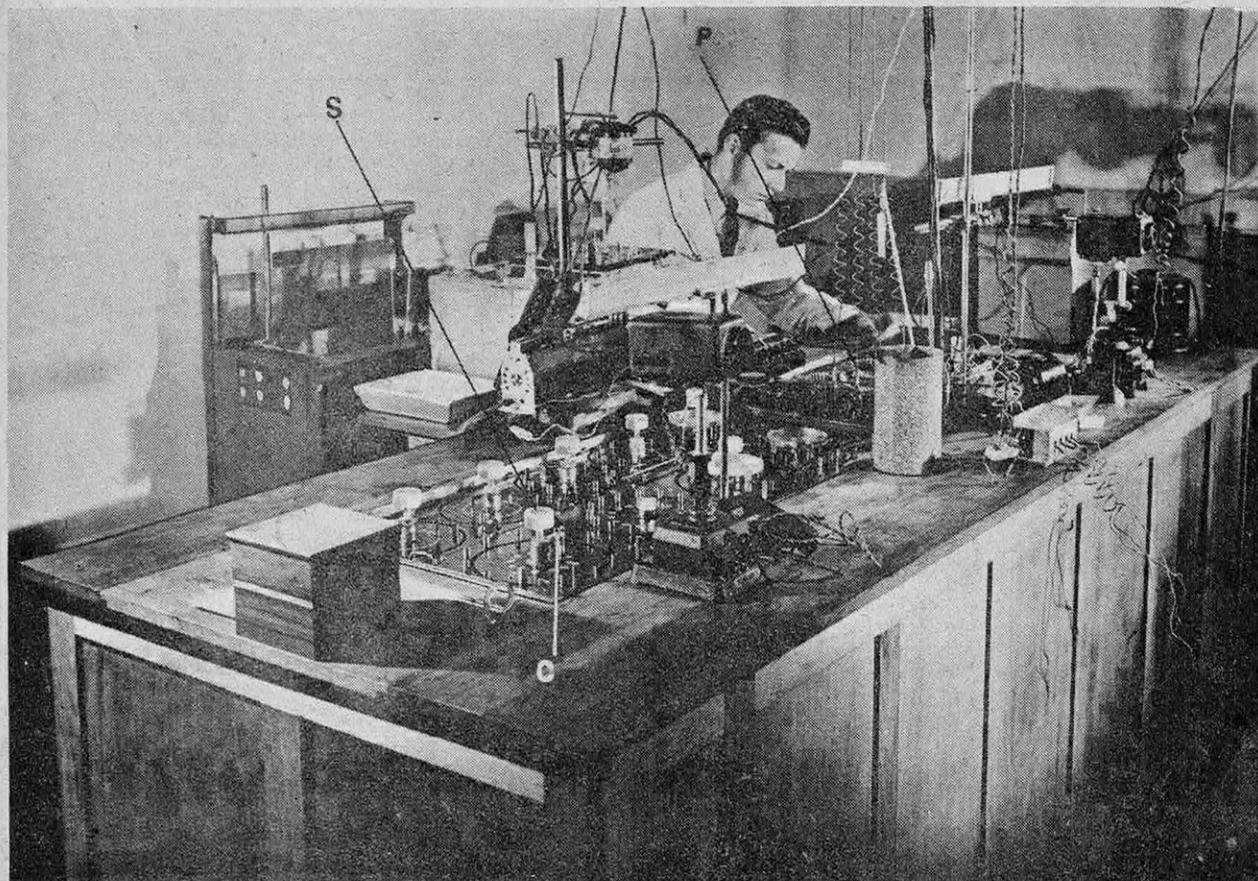


FIG. 14. — LE PONT DE SMITH ET LE POTENTIOMÈTRE DU LABORATOIRE THERMOMÉTRIQUE

Le pont de Smith S sert à mesurer la résistance de platine du thermomètre utilisé dans l'échelle internationale des températures entre -182°C et 660°C . Le potentiomètre P mesure les différences de potentiel produites par le couple platine-platine rhodié employé pour les mesures de températures entre 660°C et $1\,063^{\circ}\text{C}$. On remarquera en C les contacts mercure-cuivre amalgamés qui ont été étudiés pour présenter des variations de résistance aussi faibles que possible (inférieures à 10^{-5} ohm).

Dans la pratique, on opère par une méthode qui rappelle la double pesée : une lampe d'intensité constante (lampe tare), placée à une distance constante de l'un des écrans, donne sur cet écran un éclaircissement constant. L'ensemble lampe-écran est placé sur un chariot qui roule sur les glissières du banc photométrique (fig. 15). Les deux sources à comparer, placées successivement sur un autre chariot, éclairent un écran très voisin du premier et, en réglant leur distance à l'écran, on réalise successivement l'égalité d'éclaircissement avec l'écran de la lampe-tare.

La mesure du rapport des distances des deux sources à l'écran donne le rapport de leurs intensités.

Le banc photométrique du Laboratoire d'Essais est un des plus perfectionnés qui existent dans le monde. Il est équipé d'une sphère d'intégration de 2 m de diamètre qui permet de mesurer le rayonnement global d'une source lumineuse dissymétrique. Pour cela, la source est placée au centre de la sphère et on mesure la brillance d'une petite fenêtre dépolie après que la lumière de la source s'est réfléchiée une infinité de fois sur les parois blanches de la sphère.

La première difficulté que l'on a rencontrée en photométrie a été de maintenir constante l'intensité des sources lumineuses. C'est pourquoi la photométrie n'a guère pu progresser tant qu'on

ne disposait pour s'éclairer que de bougies tremblotantes. Avec les lampes électriques, on doit s'attacher à maintenir aussi constante que possible la tension aux bornes. Pour cela, on emploie des sources de courant spéciales et on vérifie pendant toute la durée des mesures la constance de la tension à $1/20\,000$ près.

Mais l'apparition des lampes électriques, si elle a facilité la réalisation de sources d'intensité constante et permis d'établir, en 1909, les étalons de la *bougie internationale*, produit de la confrontation de lampes à filament de carbone avec les divers étalons à flamme employés en France et dans les pays anglo-saxons, a, par ailleurs, rendu beaucoup plus complexe la photométrie depuis que ces lampes se diversifient, et qu'à côté de la lampe « demi-watt » à filament de tungstène, on emploie des tubes à néon, à vapeur de mercure, au sodium, à revêtements luminescents, qui produisent des lumières diversement colorées.

Si nous essayons de comparer entre elles deux sources de composition spectrale et partant de coloration différente, comme une lampe à filament de carbone et une lampe à filament de tungstène, l'un des écrans aura une teinte orangée et l'autre une teinte bleue, et il sera très difficile, pour ne pas dire impossible, de déterminer à quel moment les éclaircissements des deux écrans sont égaux.

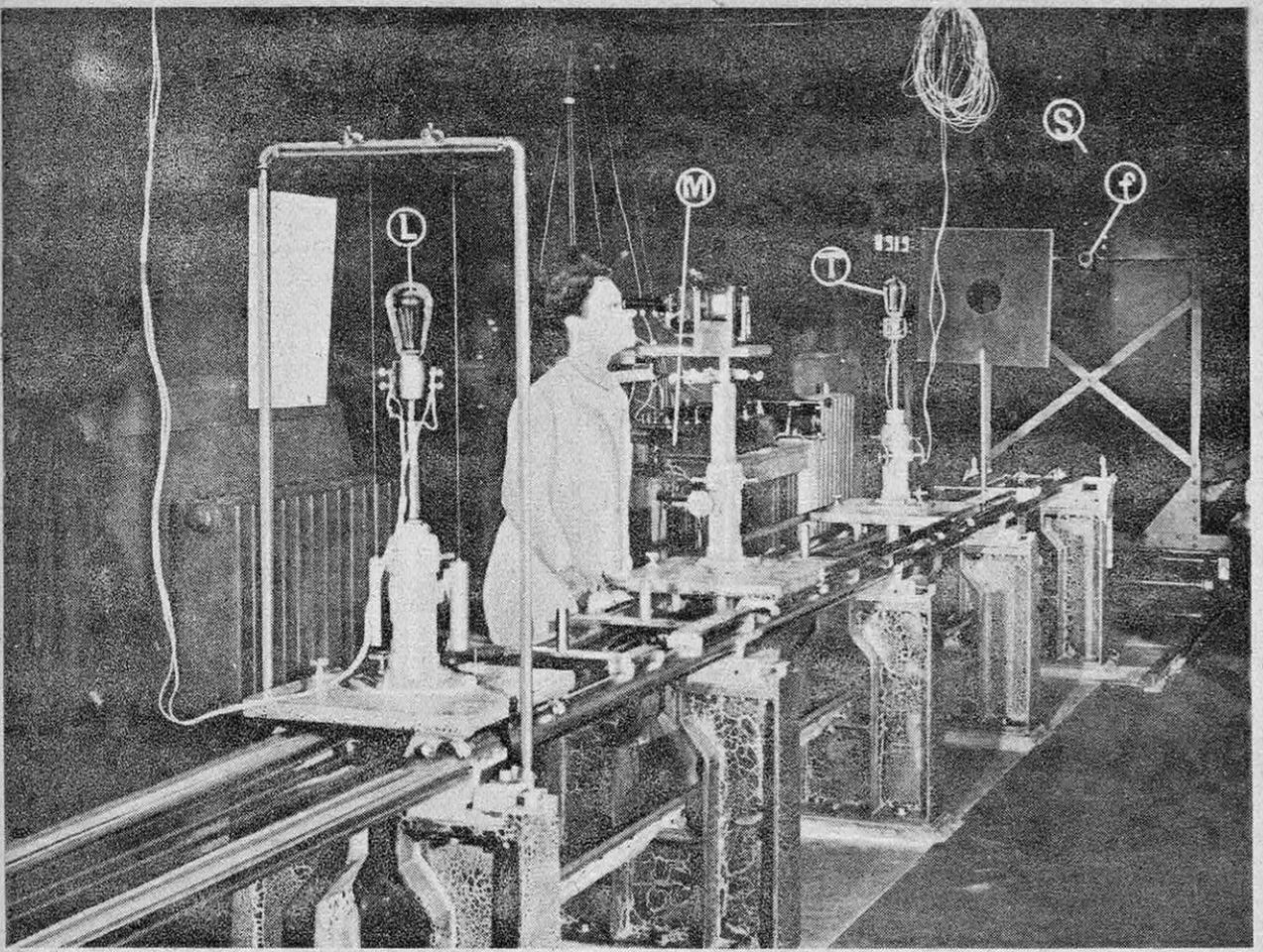


FIG. 15. — LE BANC PHOTOMÉTRIQUE DU LABORATOIRE D'ESSAIS

L'opératrice observe simultanément deux écrans à 45° éclairés l'un par la lampe étalon L et l'autre par la lampe tarée T. Elle déplace l'ensemble lampe-lampes-écrans jusqu'à ce qu'elle constate l'égalité de l'éclairage des deux écrans. Elle recommence la même opération en remplaçant la lampe étalon par la lampe à étalonner. Le rapport des distances de ces deux lampes à l'écran qu'elles éclairent permet de calculer le rapport de leurs intensités. Au fond de la pièce, on aperçoit la sphère S d'intégration qui sert à mesurer le rayonnement global d'une source par l'éclairage de la fenêtre f, obturée par un verre translucide. En M, les instruments de mesure qui servent à vérifier la constance rigoureuse de la tension aux bornes des lampes.

Cela est d'autant plus difficile que tous les yeux ne sont pas comparables entre eux du point de vue de leurs sensibilités relatives aux différentes composantes du spectre de la lumière blanche. Chacun de nous présente, pour une certaine longueur d'onde, un maximum de sensibilité de part et d'autre duquel son œil est moins fortement impressionné par la lumière, à égalité d'énergie rayonnée. D'un observateur à l'autre, ce maximum de sensibilité se déplace, soit vers le rouge, soit vers le violet, et, pour éliminer en photométrie hétérochrome l'influence des observateurs, il faut sélectionner ceux-ci de telle sorte que leur maximum de sensibilité occupe une position moyenne, qui a été reconnue égale à 0,55 micron après une série d'expériences effectuées en 1924, par Gibson et Tyndall, sur deux cents personnes.

Pour comparer deux sources de coloration différente, on s'efforce de rendre identiques les compositions spectrales de leur lumière par l'emploi de filtres convenables. Mais, alors, il faut déterminer quelle proportion de la lumière arrêtent ces filtres, ce qui, du point de vue théorique, ne fait que déplacer le problème, mais, du point de vue pratique, le simplifie quand on a réalisé une collection de filtres convenables.

La recherche d'un étalon photométrique rationnel

Il est extrêmement peu satisfaisant de ne posséder comme étalon photométrique qu'une collection de lampes qui sont fragiles, n'ont qu'une durée limitée de fonctionnement et sont sujettes à varier au cours de leur « vie ». De plus, c'est l'empirisme qui a fixé le choix de leur intensité. Aussi a-t-on cherché à définir une unité qui fût reproductible indépendamment de tout étalon matériel.

En 1884, le physicien français Violle proposa de choisir comme unité d'intensité lumineuse l'intensité du rayonnement émis normalement par un centimètre carré de la surface d'un bain de platine pur en cours de solidification (le Violle).

Cette définition se révéla peu satisfaisante dans la pratique parce que la constance de l'intensité ainsi définie était loin d'être réalisée, l'état de la surface du platine et la valeur du facteur de réflexion de l'enceinte de chaux qui le contenait faisant varier de 25 % cette intensité.

Aujourd'hui, c'est à l'aide du corps noir que l'on définit une unité d'intensité indépendante de tout étalon.

Le corps noir est un corps qui, à une température donnée, présente le maximum d'absorption et d'émission des radiations lumineuses. L'émission du corps noir est uniquement fonction de sa température, et, pour une température donnée, on connaît l'intensité relative des diverses radiations rayonnées.

Dans la pratique, le corps noir est réalisé par un tube de faible diamètre que l'on porte à une température donnée et dont on mesure le rayonnement suivant l'axe de l'orifice.

Le Bureau of Standards américain a le premier réalisé un étalon photométrique du type « corps noir » à la température de fusion du platine (1 773° C) dont l'intensité est remarquablement constante. Le corps noir-platine est utilisé pour des comparaisons directes avec les lampes à filament de carbone parce qu'il émet une lumière sensiblement de même couleur. Pour la comparaison avec des sources de couleur différente, on emploie des filtres d'absorption connue.

Ainsi, peu à peu, la photométrie se dégage de l'empirisme qui a présidé à sa naissance pour satisfaire aux exigences croissantes de la technique de plus en plus rationnelle de l'éclairage.

Les méthodes physiques de mesure des intensités lumineuses

L'éclairage n'est d'ailleurs pas seul à exiger la mesure des intensités lumineuses : en physique, en chimie, en astrophysique, on doit chaque jour mesurer l'intensité des raies des spectres lumineux. Mais, ici, ce qu'on veut mesurer, ce n'est plus une sensation lumineuse (les spectres ultraviolet et infrarouge, quoique invisibles, présentent pour le physicien le même intérêt que le spectre visible) mais une quantité d'énergie rayonnée, et on doit s'adresser, pour cela à des instruments de mesure tels que les cellules photoélectriques.

Dans le domaine des radiations visibles, ces appareils peuvent d'ailleurs très utilement contrôler les indications de l'œil humain. Ici encore le Laboratoire d'Essais ne reste pas inactif et MM. Boutry et Gillod ont mis au point une cellule photoélectrique extrêmement perfectionnée (fig. 16) et qui, employée comme élément sensible d'un spectrophotomètre, permettra de tracer les spectres d'émission des sources lumineuses et, en filtrant des lumières de composition connue et en analysant la lumière restante, de déterminer les courbes d'absorption des filtres.

Nous arrêterons là notre visite du Laboratoire d'Essais. Le parcourir entièrement et examiner toute son activité serait faire l'apprentissage complet de la Métrologie, science ardue et dont les conquêtes, pour ne pas être spectaculaires, n'en sont pas moins essentielles aux progrès de la science et de la technique. Au fur et à mesure de ces progrès, le Laboratoire se développe sous la pression de besoins nouveaux. C'est ainsi que les techniques de reproduction des sons (radio,

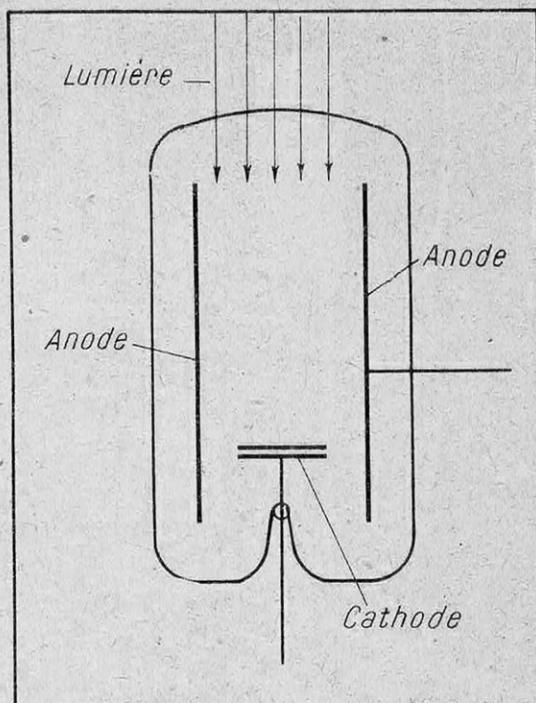


FIG. 16. — LA CELLULE PHOTOÉLECTRIQUE DE MM. BOUTRY ET GILLOD

Cette cellule est dotée d'une anode cylindrique qui capte la presque totalité des électrons émis par la cathode de césium sous l'action de la lumière. Elle fonctionne, par conséquent, avec une tension de saturation très basse, de l'ordre de quelques volts. Le courant d'obscurité est très réduit et la réponse de l'appareil est très sensiblement proportionnelle au flux lumineux qu'il reçoit.

disque, cinéma sonore) ont fait naître une section d'acoustique qui s'efforce de substituer à l'empirisme des débuts des connaissances vraiment rationnelles.

Tous les jours, le Laboratoire reçoit des usines des demandes d'analyses, d'essais de matériaux les plus divers : métaux, béton, bois, etc.

Il leur fait subir tous les traitements auxquels ils devront résister dans la pratique : choc, action de l'eau, de la chaleur, du feu, et traduit en chiffres à l'usage de l'ingénieur et de l'architecte toutes leurs réactions. Il étudie leurs qualités isolantes contre la chaleur, les bruits, etc...

Et il n'est pas rare de rencontrer dans ses salles des industriels venus se documenter sur le choix de leurs appareils de mesure, et qu'il fait largement profiter de son expérience. Malgré les apparences que créent toutes les précautions prises par les savants pour s'isoler de l'agitation extérieure, ceux-ci ne vivent donc pas dans une tour d'ivoire, mais sont en contact quotidien avec la pratique.

Jean LABADIÉ

On construit aux États-Unis une locomotive équipée d'une turbine à gaz de 3 750 ch, entraînant un compresseur axial et une génératrice électrique. Cet engin, fonctionnant sans eau, utilisera directement comme combustible du charbon pulvérisé sur la locomotive même et brûlé dans le courant d'air comprimé.

LES " ORTIES DE MER "

par Robert WEILL

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux
Directeur de la Station biologique d'Arcachon

Les animaux venimeux — au moins ceux qui sont pourvus d'appareils inoculateurs — sont généralement faciles à reconnaître comme tels : l'aspect menaçant de ces appareils — dard des Scorpions, chélicères des Araignées, aiguillon ou trompe des Insectes, nageoires épineuses des Poissons, crochets des Serpents, — l'attitude et le comportement manifestement offensifs de ces êtres éveillent inmanquablement chez l'Homme une défiance en quelque sorte instinctive et qui, d'ailleurs, peut être exagérée, ou injustifiée. A cet égard, les Cnidaires constituent une exception. Ces « Orties de mer » — Polypes, Méduses, Anémones de mer, Coraux — sont les plus primitifs des animaux pluricellulaires ; d'une fragilité extrême, mous, souvent transparents, d'une passivité telle que jadis on les avait incorporés au règne végétal, ressemblant effectivement à des fleurs par leur symétrie, leurs couleurs chatoyantes, souvent par la disposition arborescente de leurs colonies, rien, ni dans leur aspect ni dans leur attitude, ne peut éveiller la méfiance. Apparences trompeuses, car tous sont, plus ou moins, venimeux et pourvus d'appareils inoculateurs remarquables dont l'Homme peut occasionnellement ressentir les cruels effets.

Il arrive parfois au baigneur insouciant qui, à l'heure du bain, sur une plage des côtes de France, se laisse aller béatement à « faire la planche », de ressentir soudain une douleur fulgurante, un coup de fouet qui le cingle de la nuque aux talons, le secoue comme une commotion électrique et lui coupe le souffle. Tout de suite, il éprouve sur les bras, le dos et les cuisses, une sensation de brûlure intense. Il regagne hâtivement le sable, étourdi par un malaise dont il sent monter le froid et alors, tandis qu'il se ressaisit, il aperçoit, dans les petites vagues qui viennent mourir à ses pieds, flottant et ballotté, un objet étrange, gros à peu près comme un Melon, blanchâtre, mou et flasque ; lorsque le ressac le reprend, il s'épanouit en une cloche opaquescente, au bord et au battant curieusement découpés et frangés, et qui lentement, rythmiquement, se contracte, comme un cœur qui pomperait à même le liquide nourricier, à la fois pitoyable et inquiétant. C'est une Méduse, peut-être une Cyanée (*Cyanea capillata*) : le baigneur a été victime des appareils urticants d'une Ortie de mer ou Cnidaire (1).

De cette rencontre, le baigneur gardera, pendant quelques heures, des zébrures sur ses membres tuméfiés, de pénibles démangeaisons, un peu de dyspnée (gêne respiratoire), un léger sentiment d'angoisse, peut-être aussi un léger mouvement fébrile. Mais les accidents peuvent être beaucoup plus sérieux lorsqu'il s'agit de personnes sensibles (enfants, cardiaques), ou de Cnidaires plus virulents. Les traces de l'urtication peuvent persister, pendant plusieurs

semaines, voire six mois, et évoluer en plaies profondes et suppurantes. La douleur peut être atroce, provoquer l'évanouissement et, si l'accident survient loin de la plage, les conséquences peuvent alors en être funestes. On constate quelquefois des accès de toux, des vomissements, des spasmes musculaires, une syncope, même des phénomènes comateux. Des cas de mort même ont été signalés, très exceptionnellement, aux Philippines.

Sur nos côtes, les accidents sont généralement bénins et dus à une Scyphoméduse (*Cyanea. Pelagia, Aurelia, Chrysaora*) ; quoique beaucoup plus petits et presque invisibles en raison de leur transparence, les Siphonophores de la Méditerranée sont beaucoup plus désagréables. Enfin, les accidents sont fréquents avec les Physalies, dont le flotteur magnifiquement coloré tente trop la curiosité des profanes ; ces hôtes indésirables sont heureusement rares sur nos côtes ; l'essai qui cet été a infesté les plages du Sud-Ouest (de Biarritz à Royan) est le plus important qui y ait jamais été signalé.

Le traitement (morphine, atropine, caféine) est surtout symptomatique, c'est-à-dire qu'il vise à faire disparaître les manifestations apparentes du mal ; localement, on obtiendrait de bons résultats par l'ammoniaque, par une solution saturée de sucre ; récemment, un auteur américain préconisait l'injection de gluconate de calcium. Il semble que l'effet thérapeutique soit, souvent, surtout psychologique : il importe de rassurer le blessé et de lui faire attendre, avec le plus de calme possible, une guérison spontanée qui, d'ordinaire, ne tarde pas.

Et, après avoir dit tant de mal de l'urtication de ces Cnidaires, accordons-lui une modeste compensation : on sait, en effet, que certain établissement thermal de Norvège traitait jadis les névralgies et les douleurs rhumatismales par des applications de Méduse oreillard

(1) Les Méduses urticantes constituent, avec les Hydres d'eau douce, les Anémones de mer, les Coraux et Madrépores, les Polypes, le sous-embouchement des Cnidaires, de l'embouchement des Coelentérés. Les Cnidaires sont caractérisés par l'existence de capsules urticantes vénéneuses ou nématocystes.

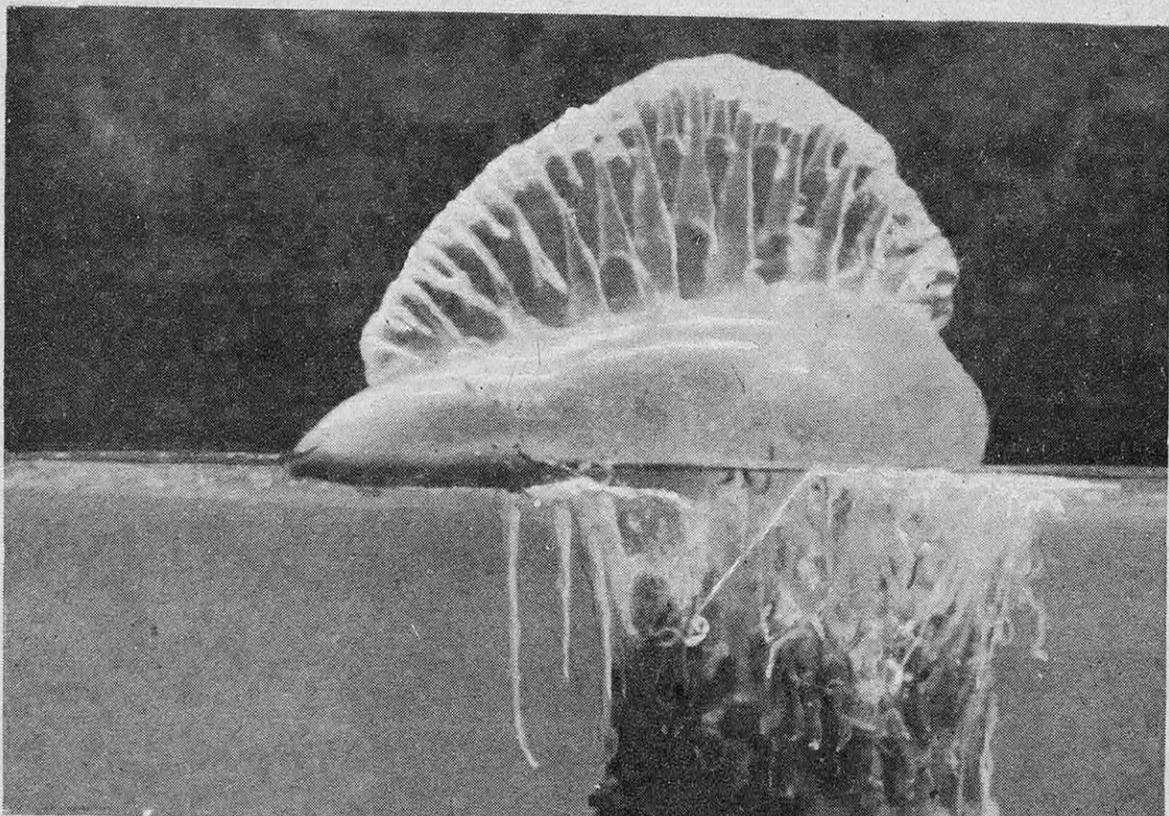


FIG. 1. — PHYSALIE PÉCHÉE A ARCACHON

(*Aurelia aurila*), espèce fort commune sur nos côtes ; on opère ainsi sur les parties malades une révulsion qui, souvent, aurait donné d'excellents résultats.

D'ailleurs, un avocat pourrait plaider bien d'autres circonstances atténuantes. Ces Méduses ne commettent pas d'assassinat, à peine un homicide bien involontaire, et bien plutôt de simples coups et blessures ! Lorsqu'il s'agit d'êtres aussi simples, les mots de « conscience » et de « volonté » n'ont aucun sens. Peut-être peut-on les dire chasseurs ; mais ils chassent à l'aveuglette, déchargent leurs armes au hasard des rencontres et ne retirent aucun bénéfice, d'ailleurs, de celle d'un Homme ; ils feraient bien mieux leur affaire d'un Ver, d'un Crabe, d'un Poisson, qu'ils réussissent à capturer et à engloutir même lorsque cette proie leur est très supérieure en volume, en force musculaire et en agilité. Reprochera-t-on la chasse à un carnivore ? Interdira-t-on les armes au chasseur ? Il faut bien vivre !

Les nématocystes

Quelles sont exactement ces armes aussi efficaces qu'invisibles et comment fonctionnent-elles ?

Ce sont les « capsules urticantes » ou « nématocystes », microscopiques (leur plus grande dimension varie entre 5 et 250 microns ou millièmes de millimètre), très compliqués, et qui garnissent par milliers les tentacules et presque tout l'épiderme des Cnidaires. Chaque nématocyste est sécrété à l'intérieur d'une cellule unique (le « nématoblaste ») ; mais il est, lui-même, constitué de substances mortes, comme l'est un poil, une soie, un spicule. Mais, contrai-

rement aux poils, aux soies, aux spicules, le nématocyste, s'il est « mort », n'est pas inerte : il représente une machine, un mécanisme qui naît tout « remonté », bandé en position d'attente et capable d'exécuter une seule fois un mouvement bien déterminé, complexe, instantané et irréversible, après quoi il n'est plus qu'un déchet destiné à être éliminé et que remplaceront d'autres éléments qui, constamment, se forment dans la profondeur des tissus. Ce mouvement peut être déclenché expérimentalement par des moyens physiques et chimiques qui, au contraire, figent instantanément et tuent toute substance vivante ; il peut l'être aussi en l'absence de tout tissu vivant : on peut, par exemple, et très facilement, extraire les nématocystes des tissus, les conserver en « frottis » sur des lames de verre et longtemps après encore déclencher

expérimentalement leur décharge. A cet égard, les nématocystes constituent un phénomène rare, sinon unique.

Pour comprendre leur structure, imaginons (fig. 2), une capsule mesurant environ 20 microns sur 50 microns, ovoïde, faite d'une paroi dure, lisse, transparente, chitinoïde ; à son sommet, une ouverture dans laquelle s'enclasse un opercule. Sous celui-ci, la paroi capsulaire se réfléchit en un long tube, à parois minces et flexibles, qui descend tout droit jusque sur le fond de la capsule, puis remonte en s'enroulant en circonvolutions très régulières. Dans sa partie initiale rectiligne, beaucoup plus large, le tube porte, implantées sur ses parois internes, des épines rigides et acérées disposées par groupes de trois, leurs pointes se rejoignant en un dard effilé dirigé vers le sommet capsulaire. La capsule

est remplie, en outre, d'un liquide colloïdal, le « contenu capsulaire », incolore, transparent, réfringent et qui constitue à la fois le venin et le moteur de cette étrange machine.

Comment va-t-elle fonctionner ?

L'opercule tombe, arraché mécaniquement ou, peut-être, détaché par une contraction du nématoblaste. L'eau environnante pénètre à travers le tube au contact du contenu capsulaire et en détermine instantanément le gonflement ; le tube se trouve ainsi refoulé hors de la capsule par un mouvement de dévagination en doigt de gant, débutant à sa racine ; les groupes d'épines, l'un après l'autre, font saillie à son sommet, puis s'écartent et se rabattent en arrière, et l'on voit alors, sur le tube dévaginé, qu'elles sont implantées très régulièrement selon trois hélices dextres (fig. 2, II et III). Après la partie armée, plus large, qui constitue maintenant la « hampe » du tube, se dévagine son segment terminal inerte, plus mince et plus long. En fin, au moment même où s'achève la dévagination, le contenu capsulaire, continuant à gonfler, est instantanément éjaculé à l'extrémité du tube, où se manifeste ainsi l'existence d'un imperceptible orifice (fig. 2, IV). Inerte et vidé, le nématocyste a ainsi accompli sa fonction.

Dévagination et éjaculation, le tout se fait en une fraction de seconde. Le tube étant, pour une longueur atteignant facilement 1 mm, d'un calibre minime (1 à 2 microns), il faut, pour observer son comportement,

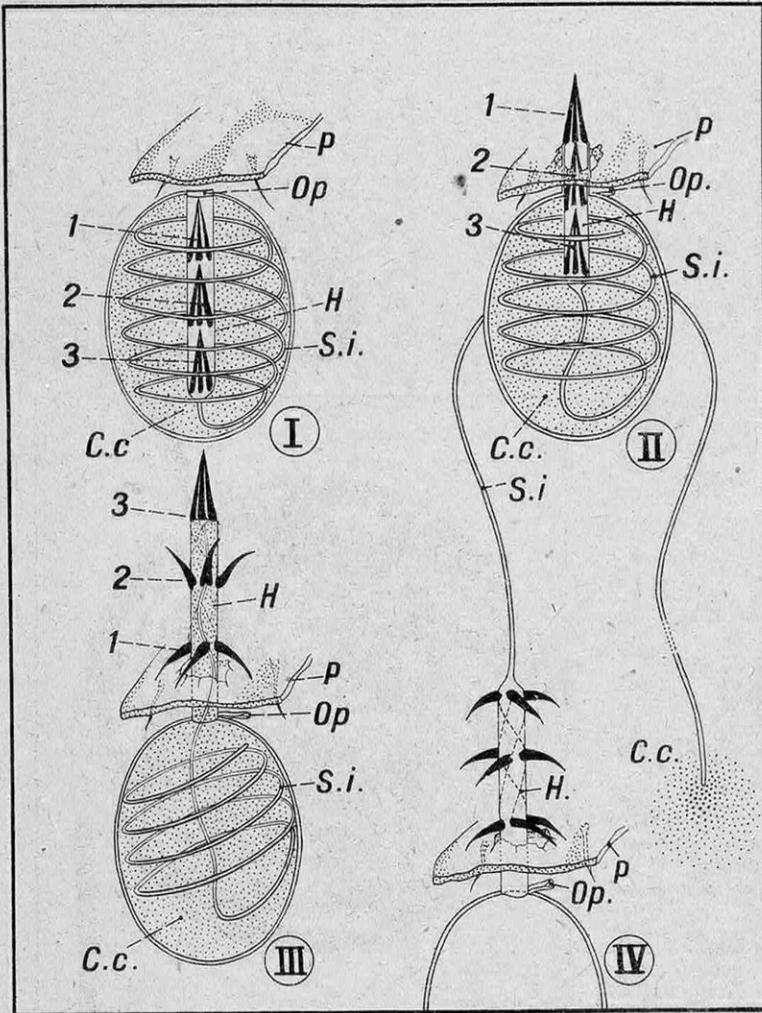


FIG. 2. — SCHEMA D'UN NÉMATOCYSTE ET DE SA DÉCHARGE

I, le nématocyste intact : Op, opercule ; — II, hampe ; — Si, segment tubulaire inerte ; — C.c, liquide intracapsulaire ; — 1, 2, 3, les trois groupes de trois épines. — II, début de la décharge : l'opercule s'est rabattu, le dard constitué par le premier groupe d'épines perce la plaque chitineuse P. — III, la hampe est entièrement dévaginée ; les groupes d'épines se rabattent successivement en arrière, élargissant la blessure et s'y ancrant. — IV, la dévagination s'est achevée par celle du segment inerte, à l'extrémité duquel est éjaculé le liquide intracapsulaire.

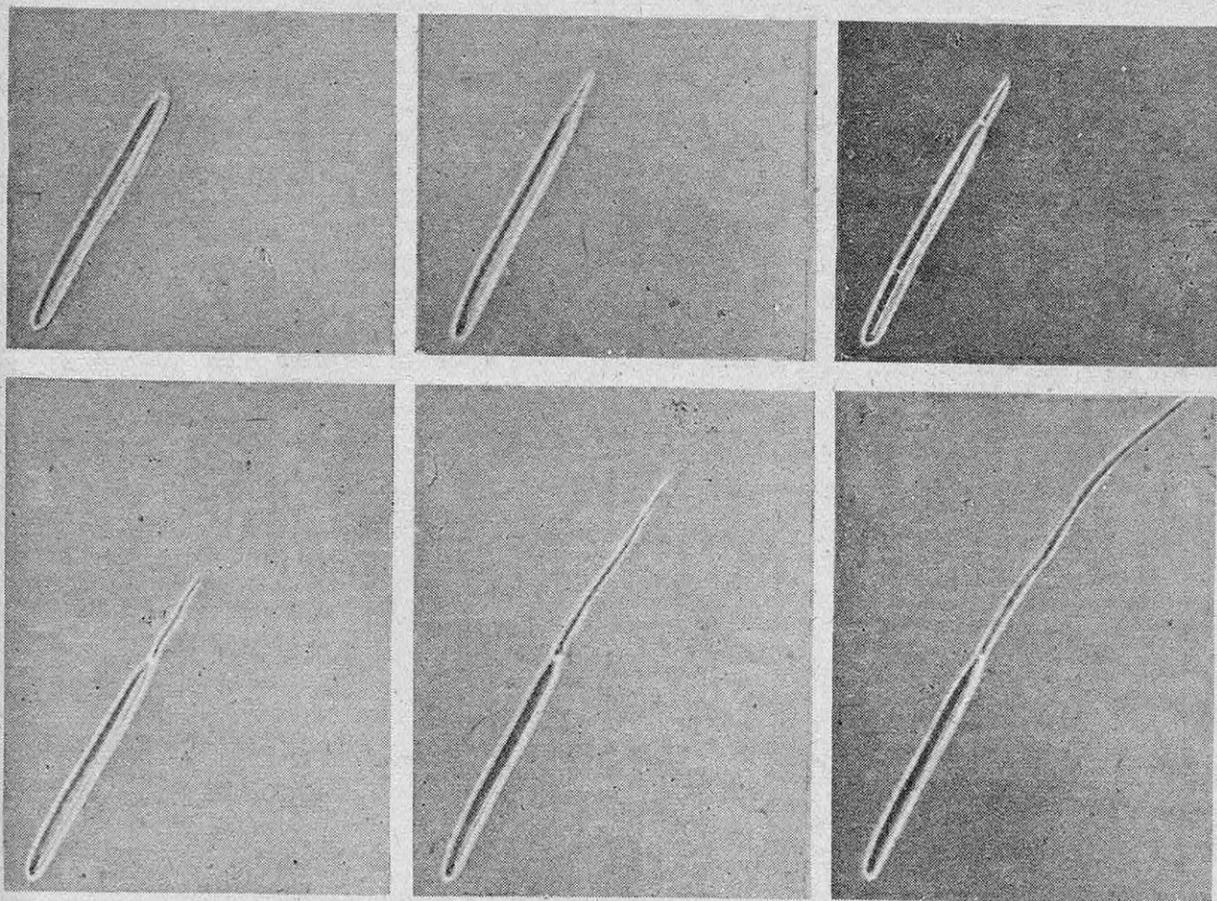


FIG. 3. — LES PHASES INITIALES DE LA DÉCHARGE D'UN NÉMATOCYSTE D'ANÉMONE DE MER, EXPÉRIMENTALEMENT RALENTIE PAR UNE DESSICCATION PRÉALABLE (ENREGISTREMENT MICROCINÉMATOGRAPHIQUE)

les objectifs microscopiques les plus puissants, dont le champ, par conséquent, est très restreint ; mais comme, d'autre part, le mouvement est extrêmement rapide et le déplacement considérable, il en résulte qu'il est impossible d'en analyser directement les modalités ; la microcinématographie n'a pas davantage donné de résultats, même pour la vitesse considérable de 800 images par seconde. Aussi a-t-on pendant longtemps contesté la réalité tant de la dévagination du tube que du gonflement et de l'éjaculation terminale du liquide intracapsulaire, et d'éminents physiologistes avaient même cru démontrer que, pour un tube d'un calibre aussi minime, ces phénomènes étaient impossibles, incompatibles en particulier avec la loi de Poiseuille. Le problème a été résolu à l'aide d'artifices expérimentaux.

En traitant certains nématocystes par le chlorure de calcium, ou en les déshydratant rapidement par dessiccation ou par l'alcool absolu avant de les placer dans l'eau distillée, on obtient des dévaginations considérablement ralenties (fig. 3), se poursuivant quelquefois pendant plus d'une demi-heure et dont il devient alors très facile de suivre et de cinématographier tous les détails. Pour mettre en évidence le comportement du liquide intracapsulaire normalement invisible et qui, après son éjaculation, se dissout instantanément dans l'eau environnante, on peut, soit amener le tube à achever

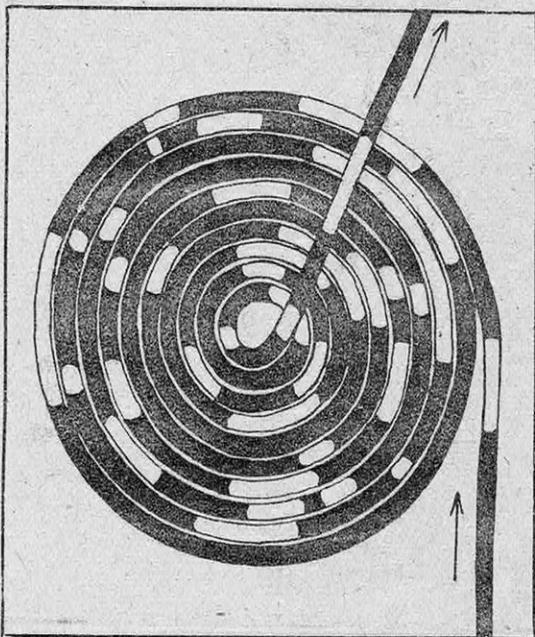


FIG. 4. — ASCENSION DU LIQUIDE INTRACAPSULAIRE DANS LE TISSU NÉMATOCYSTIQUE

Lorsque le nématocyste se décharge sous l'action d'une solution de rouge neutre et à l'intérieur d'une bulle d'air, le tube, en se dévaginant, s'enroule souvent en spirales très régulières. Le liquide intracapsulaire, intensément coloré et entrecoupé de gouttelettes incolores, chemine lentement vers l'orifice terminal du tube, où il est éjecté.

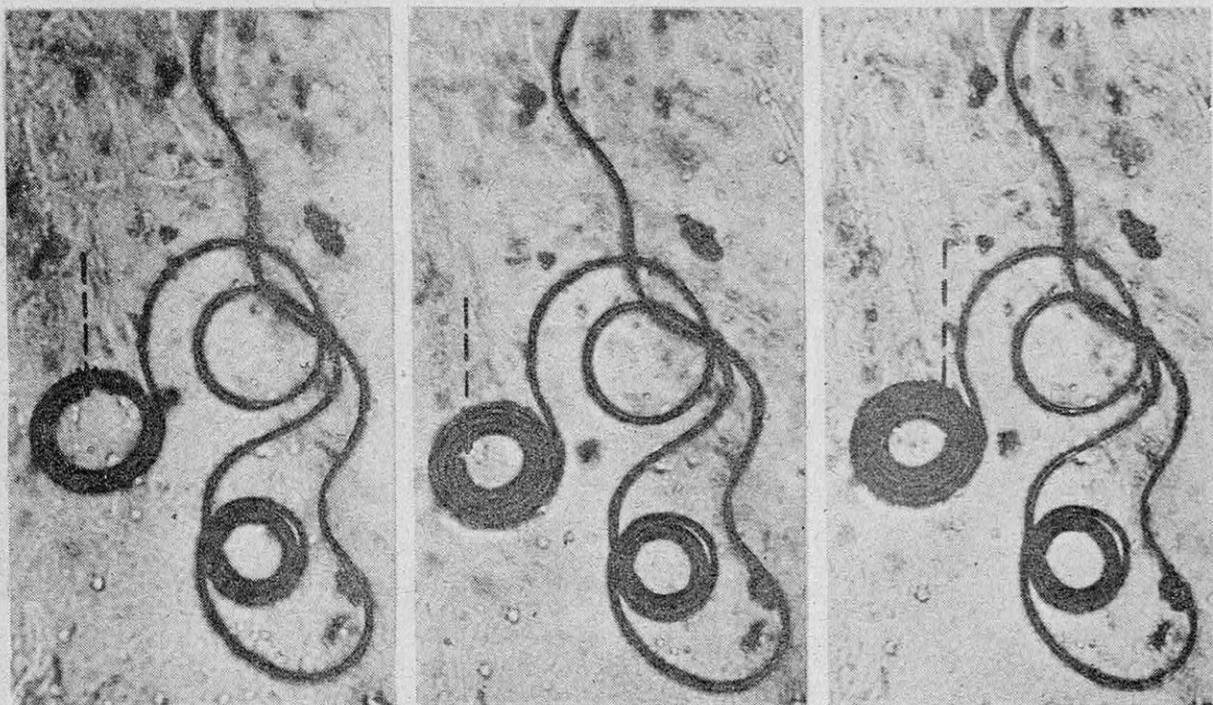


FIG. 5. — MICROPHOTOGRAPHIES (GROSSISSEMENT 500) D'UN TUBE DE NÉMATOCYSTE EN COURS DE DÉVAGINATION

Il s'agit des nématocystes de l'Anémone Tealia crassicornis, desséchés pendant cinq jours, puis traités par une solution de rouge neutre. Le tube se dévagine au ralenti et sous une bulle d'air (la flèche indique l'extrémité du tube en voie de dévagination) : une heure entière s'est écoulée entre les premiers stades, un quart d'heure entre les derniers.

sa dévagination sous une bulle d'air, soit, plus facilement, le colorer par des colorants tels que le rouge neutre ou le bleu de méthylène, qui ralentissent également la dévagination : on voit alors (fig. 4 à 8) le liquide intracapsulaire, souvent entrecoupé de gouttelettes incolores, monter lentement à l'intérieur du tube et fina-

lement sourdre à son extrémité sous forme d'une gouttelette sphérique qui, lentement, augmente de volume.

Pour bien comprendre le mode d'action de ce nématocyste, il convient de voir ce qui se passe lorsqu'il se décharge au contact d'une victime, par exemple sur la cuticule chitineuse d'un Crus-

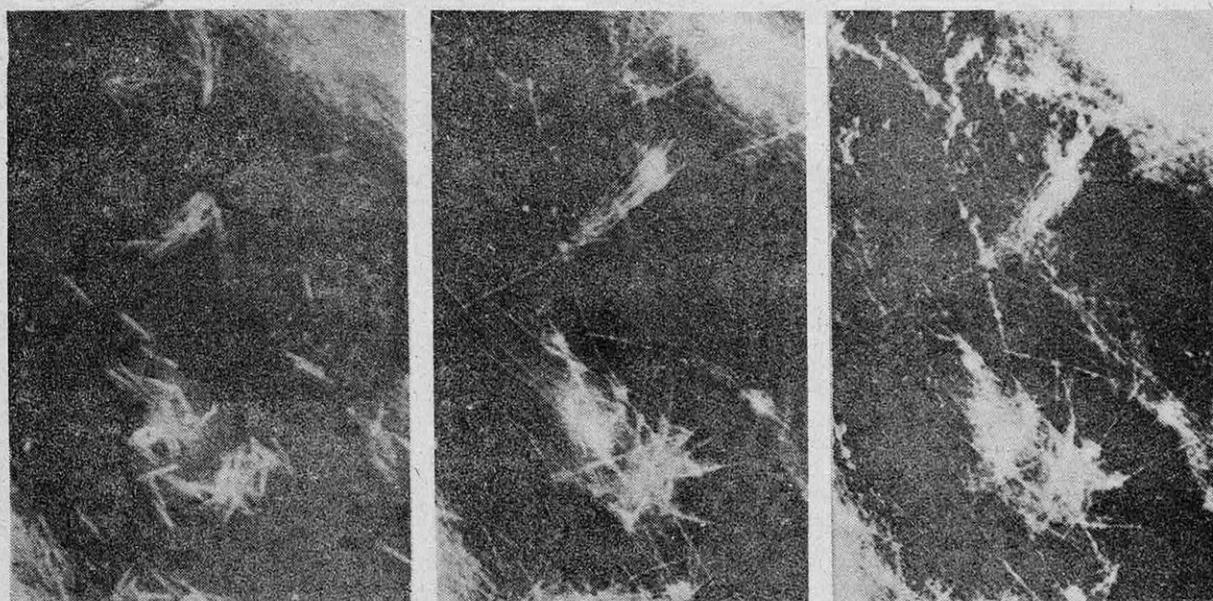


FIG. 6. — ENREGISTREMENT MICROCINÉMATOGRAPHIQUE A FAIBLE GROSSISSEMENT DE LA DÉCHARGE DE NÉMATOCYSTES

Il s'agit de la même expérience et du même matériel que pour la figure 5. A gauche, les nématocystes intacts. D'un cliché au suivant, on voit les tubes s'allonger et constituer finalement un feutrage inextricable.

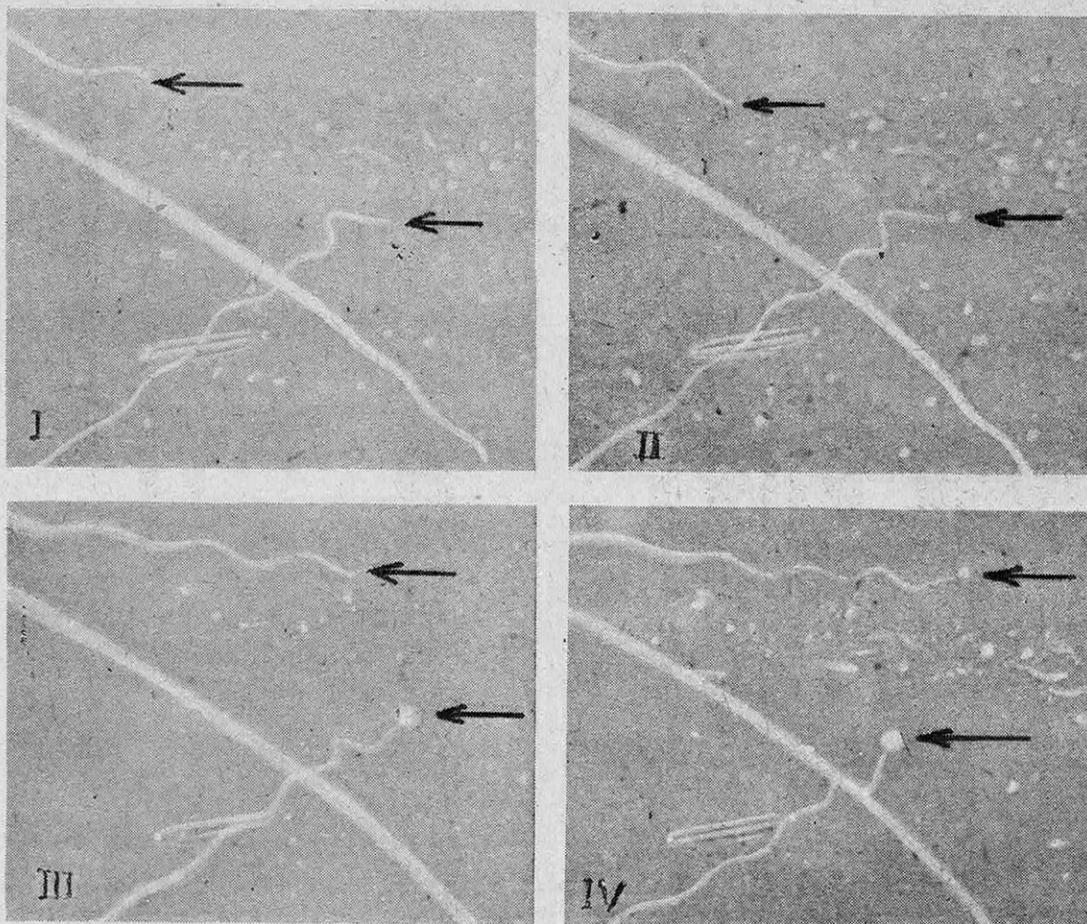


FIG. 7. — LES PHASES TERMINALES DE LA DÉCHARGE DE DEUX NÉMATOCYSTES, EXPÉRIMENTALEMENT RALENTIE PAR LE ROUGE NEUTRE (ENREGISTREMENT MICROCINÉMATOGRAPHIQUE)

Remarquer, de I à IV, l'allongement du tube supérieur, dont l'éjaculation se voit en IV : celle du tube inférieur commence en II.

tacé, ou sur l'épiderme de l'Homme. Immédiatement le dard, constitué par le premier groupe d'épines, s'enfonce, tel un trocart, puis les épines se rabattent, s'accrochent ainsi solidement et en même temps élargissent la plaie à travers laquelle s'insinue le tube en voie de dévagination. A mesure qu'il progresse dans les tissus de sa victime, les autres groupes d'épines, constituant autant de trocarts successifs, lui fraient de même son chemin jusqu'à ce que la dévagination soit totale ; alors, au sein même des tissus, l'éjaculation terminale peut se faire avec le maximum d'efficacité. A la fois arme automatique, harpon, ampoule de poison (1) et

(1) La nature chimique de ce poison n'est pas connue avec précision. Des tissus de divers Cnidaires on a extrait plusieurs substances toxiques très imparfaitement définies (thalassine, hypnotoxine, congestine, médusocongestine), dont l'étude conduisit, en 1902, Richet et Portier à définir l'important phénomène de l'anaphylaxie. Mais tout porte à croire que ces substances proviennent non pas — et en tout cas pas seulement — des nématocystes, mais des autres éléments tissulaires utilisés dans leur préparation ; d'ailleurs, elles n'existent pas chez tous les Cnidaires et, d'autre part, certaines d'entre elles se trouvent chez d'autres Invertébrés. Il faudra procéder à l'analyse histochimique des nématocystes eux-mêmes et on s'apercevra sans doute que la nature chimique de leur contenu varie d'une espèce

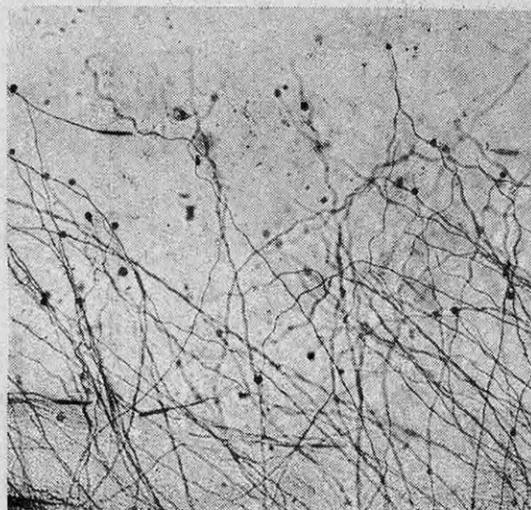


FIG. 8. — MICROPHOTOGRAPHIE (GROSSISSEMENT 180) DE NÉMATOCYSTES DE « TEALIA CRASSICORNIS » ÉJACULANT À LEUR EXTRÉMITÉ LA GOUTTELETTE DE VENIN INTRACAPSULAIRE, COLORÉE PAR LE ROUGE NEUTRE

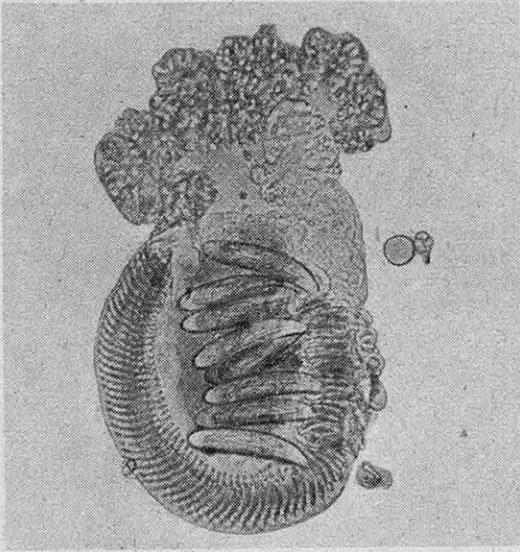


FIG. 9. — UNE DES BATTERIES URTICANTES QUI GARNISSENT PAR MILLIERS LES TENTACULES DU SIPHONOPHORE « HIPPOPODIUS NEAPOLITANUS »

Elle comporte quatre catégories différentes de nématocystes. Les plus grands, peu nombreux, sont disséminés au centre d'une bandelette constituée par des nématocystes effilés, disposés en rangs serrés et très réguliers.

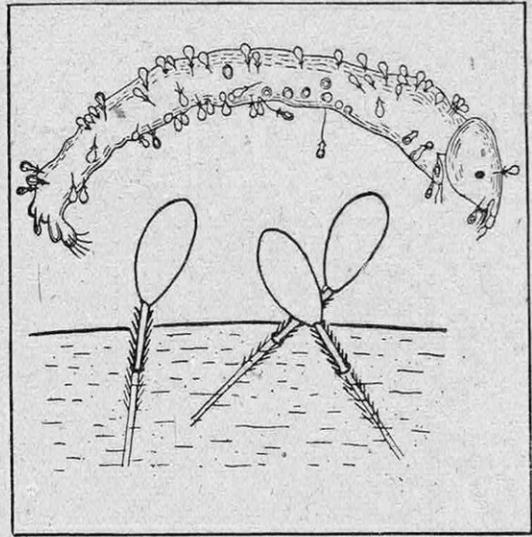


FIG. 10. — LARVE D'INSECTE APRÈS SON BOMBARDEMENT PAR LES NÉMATOCYSTES DE L'HYDRE D'EAU DOUCE (EN HAUT). NÉMATOCYSTES PROFONDÉMENT ENFONCÉS DANS UNE PAROI SQUELETTIQUE (EN BAS)

seringue à injection, le nématocyste ainsi présentée constitue incontestablement une magnifique réussite, un cas admirable de l'adaptation d'un organe à sa fonction.

Erreurs, lacunes et limites d'une adaptation

Mais, à les considérer de plus près, les questions vont singulièrement se compliquer.

Le schéma précédent correspond à un nématocyste de complication moyenne. Il en est (fig. 12) de plus simples, où le tube est de même calibre sur toute sa longueur, son armature pouvant être nulle, ou limitée à son segment basal, ou s'étendre sur toute sa longueur. Dans d'autres, la « hampe » est à peine ébauchée, ou au contraire existe seule, le segment terminal faisant défaut. D'autres encore sont plus compliqués, leur hampe étant dilatée à son sommet ou à sa base, et les épines y sont de taille inégale,

à l'autre et même d'un type de nématocyste à un autre : les diverses espèces de Cnidaires provoquent en effet, indépendamment de leurs dimensions, des symptômes d'empoisonnement différents, tant par leur nature que par leur intensité.

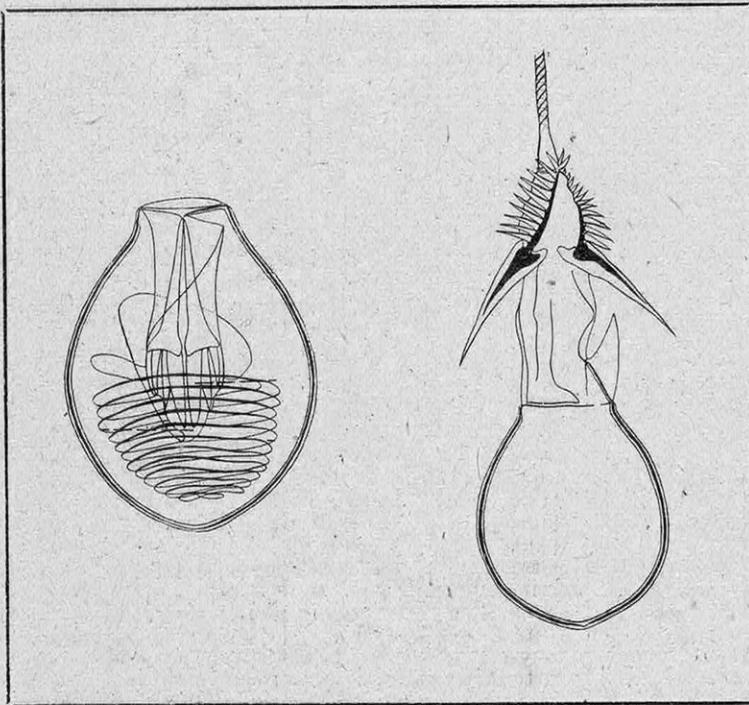


FIG. 11. — DÉTAILS DE LA STRUCTURE D'UN NÉMATOCYSTE D'HYDRE D'EAU DOUCE, DU TYPE LE PLUS PERFECTIONNÉ, AVANT ET APRÈS SA DÉCHARGE

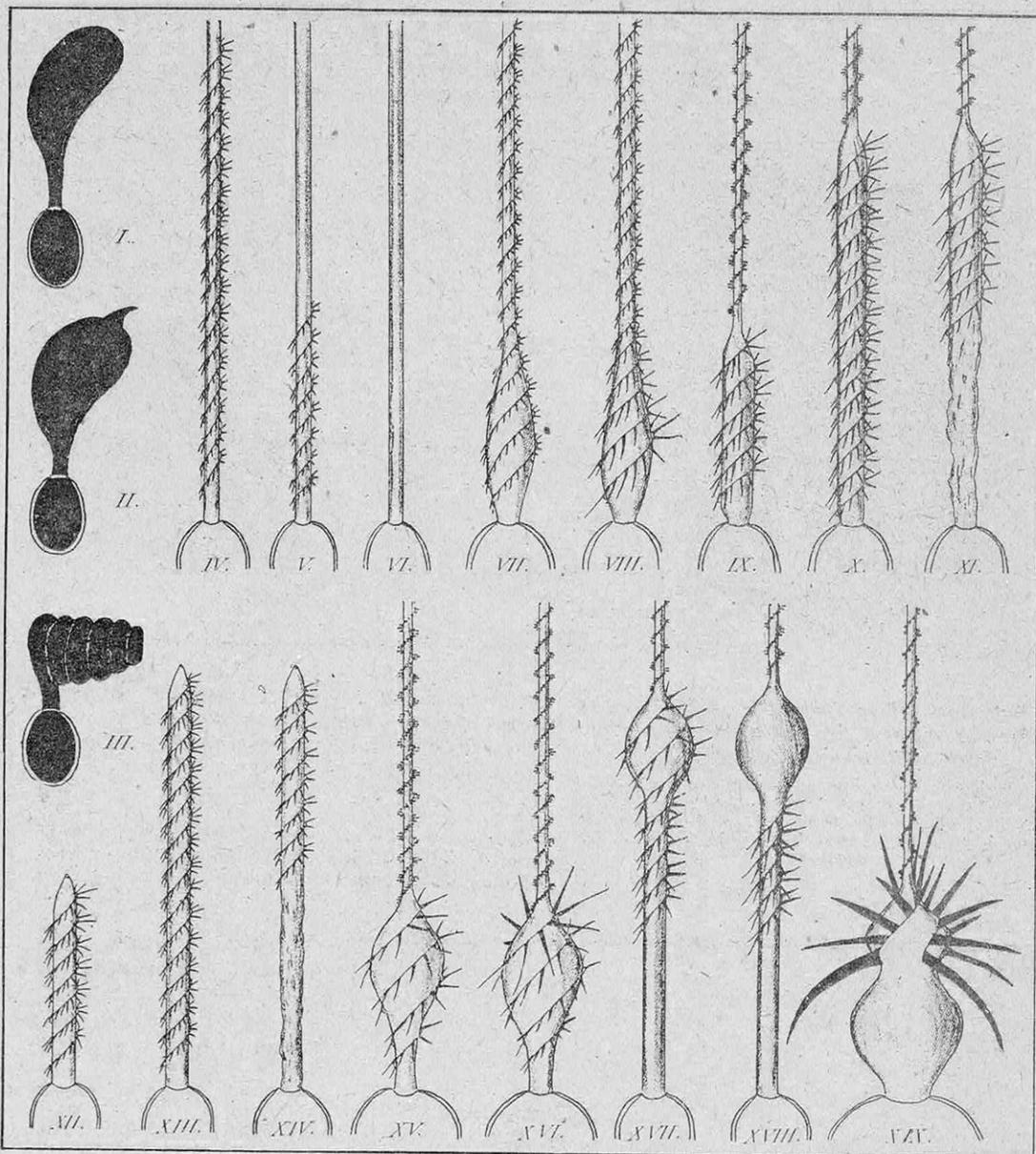


FIG. 12. — CETTE SINGULIÈRE PANOPLIE RÉUNIT LES DIVERS TYPES DE NÉMATOCYSTES (REPRÉSENTÉS DÉCHARGÉS) DONT PEUVENT ÊTRE ARMÉS LES CNIDAIRÉS.

I, II et III, nématocystes à tube clos, dont le rôle est énigmatique. Dans les autres, le tube est ouvert à son extrémité et capable d'éjecter le liquide intracapsulaire. Le tube peut être isodiamétrique (IV, V, VI); présenter une base renflée (VII, VIII) ou différenciée en une « hampe » soit cylindrique (IX à XIV), soit renflée à son sommet (XV, XVI, XVII) ou à sa base (XIX); l'extension et la différenciation de l'armature d'épines sont très variables. Les nématocystes inermes du type VI peuvent renfermer un liquide venimeux, mais sont incapables de l'inoculer; ceux du type XIX, puissamment armés, inoculent leur contenu, mais celui-ci peut être inoffensif.

certaines étant différenciées en stylets volumineux, creux, de forme complexe. On ne sait pas ce que signifient fonctionnellement ces spécialisations; il se peut que certains de ces types représentent des appareils d'accrochage mécanique plutôt que des organes venimeux, car, même si leur contenu est toxique, ils sont certainement incapables de l'inoculer et ne peuvent, au mieux, que le déposer à la surface de leur victime. Enfin, il existe d'autres types de nématocystes dont la fonction est encore plus énigmatique et l'efficacité encore plus douteuse: ce sont ceux dont le tube, toujours très large et inermé, est entièrement clos.

Ils ne peuvent être venimeux et leur rôle mécanique, que suggère l'enroulement très particulier de leur tube dévaginé (fig. 13), est au moins douteux, ces appareils se détachant si facilement du Cnidaire qu'ils ne peuvent pas lui permettre de retenir les proies auxquelles ils se sont ancrés. Certes, il ne suffit pas d'ignorer la fonction d'un organe pour affirmer son inutilité; mais, dans le cas particulier de ces nématocystes, il semble possible de considérer que cette inutilité est objectivement établie.

Les nématocystes d'un même Cnidaire peuvent appartenir à un, deux, trois, quatre, ou même cinq types différents, cet assortiment — le «cnidome»,

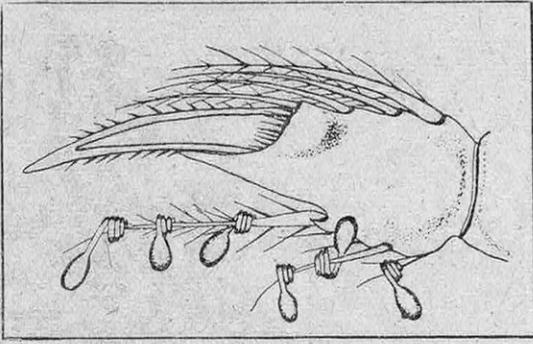


FIG. 13. — NÉMATOCYTES « ENROULANTS ». A TUBE CLOS, SOLIDEMENT ANCRÉS AUX POILS D'UN PETIT CRUSTACÉ.

— pouvant ne pas être le même à tous les stades du cycle évolutif ; mais, sous cette réserve, il est constant pour chaque espèce et peut la caractériser. L'étude comparée des espèces montre que leurs cnidomes se ressemblent d'autant plus qu'elles sont plus proches parentes et on peut tenter ainsi d'élucider la généalogie de cet embranchement. Par contre, les cnidomes ne reflètent nullement les particularités du mode de vie : que les Cnidaires soient chasseurs ou microphages, nageurs ou fixés, solidaires ou coloniaux, nus ou enfermés dans un squelette, libres ou parasites, qu'ils habitent la zone des marées, ou la haute mer, ou les grandes profondeurs, ou l'eau douce, la structure et l'assortiment de leurs nématocystes n'en sont aucunement influencés et échappent ainsi au modelage qui prouverait l'intervention d'une adaptation efficace.

Même lorsque les nématocystes réunissent les propriétés mécaniques et chimiques les plus efficaces, leur décharge présente des défaillances bien singulières, d'autant plus difficiles à expliquer qu'elle est presque certainement indépendante de toute commande nerveuse.

Non seulement beaucoup de Méduses, d'Anémones, de Polypes ont leurs commensaux spécifiques qui supportent impunément le contact de leurs tentacules et sont immunisés contre leur venin — l'association la plus connue est celle des Bernard-l'Hermite avec certaines Anémones — mais certains Invertébrés, cependant très fragiles et vulnérables, ont le goût et le courage de s'attaquer aux Cnidaires, de s'en nourrir, d'arracher même, avec leurs griffes, les nématocystes et de les avaler, sans provoquer leur décharge ! Les Mollusques du groupe des Éolidiens, qui se nourrissent presque exclusivement de Cnidaires, présentent un dispositif particulièrement curieux : leur tube digestif se ramifie en très nombreux diverticules, dont chacun est contenu dans une papille dorsale au sommet de laquelle il s'ouvre. Or, les nématocystes ingérés, et eux seuls, au lieu d'être évacués par l'anus, s'accumulent à l'extrémité de ces papilles, d'où l'Éolidien, lorsqu'il est excité, les rejette par une brusque contraction dans l'eau environnante, où alors ils se dévaginrent ; on se demande si le Mollusque ne se servirait pas ainsi, à son propre profit, des armes qu'il a volées à sa victime.

Enfin, on trouve chez divers Cnidaires des nématocystes fort bien construits, mais localisés dans la profondeur des organes ou des tissus, de telle sorte qu'à aucun moment ils ne peuvent venir au contact du milieu extérieur ni d'une proie éventuelle.

Il ne faut donc pas se laisser aveugler par l'admirable efficacité de certains nématocystes. A tout bien peser, elle est très exceptionnelle. Loin de représenter en quelque sorte le but, la justification de ces singuliers appareils, elle résulterait plutôt de la coïncidence pour ainsi dire fortuite de plusieurs propriétés — structure, nature chimique, localisation, sensibilité — dont chacune évolue indépendamment et n'a isolément qu'une valeur fonctionnelle réduite. L'origine même de ces propriétés et les facteurs de leur évolution n'en constituent pas moins un mystère, et le problème de l'adaptation reste un des plus difficiles à résoudre, et même à poser.

Robert WEILL

C'est en 1886 que Clemens Winkler isola pour la première fois un élément rare — beaucoup plus rare que l'or — dont le physicien Mendélejeff avait prédit l'existence, dès 1871, en lui attribuant le n° 32 de sa classification et en l'appelant provisoirement « ékasilicium ». Winkler le rebaptisa sous le nom de *germanium*. Jusqu'à ces tout derniers temps, il est demeuré sans aucune utilisation pratique. C'est un métal rappelant l'argent par sa couleur, présent en très petites quantités dans les minerais de zinc et de plomb et, bien que seulement deux fois plus lourd que l'aluminium, suffisamment dur pour rayer le verre. Des études récentes ont montré qu'un faible pourcentage de germanium confère aux alliages d'aluminium et de magnésium une résistance élevée à la fatigue et à la corrosion. Il présente, en outre, la propriété d'augmenter de volume en se refroidissant, ce qui doit permettre de l'utiliser dans les alliages d'or ou les amalgames servant aux obturations dentaires. Enfin, des traces de germanium confèrent aux verres des propriétés optiques particulières, d'où son emploi possible dans les lentilles de microscopes ou les objectifs de cameras cinématographiques qui fourniraient grâce à lui des images de définition très poussée.



FIG. 1. — L'HÉLICOPTÈRE AMÉRICAIN BELL-47 EN ACTION AU-DESSUS D'UN CHAMP

L'hélicoptère Bell 47 est un appareil biplace, équipé avec un moteur Franklin de 175 ch, 6 cylindres, refroidi par l'air. Il utilise un rotor à 2 pales et un système stabilisateur gyroscopique. Son poids total est de 950 kg environ, y compris une charge utile de 300 kg environ. Sa vitesse maximum est de 160 km/h et sa vitesse de croisière 130 km/h; son rayon d'action est de 400 km. L'appareil représenté ci-dessus a été spécialement équipé pour la projection de poudres ou la pulvérisation de liquides insecticides ou cryptogamiques. On voit notamment comment le souffle produit par le rotor projette vers le sol le nuage formé par le produit utilisé.

L'HÉLICOPTÈRE AU SERVICE DE L'AGRICULTURE

par Jean MARIVAL

Si les besoins militaires ont fait accomplir à l'aviation d'immenses progrès, grâce à l'intensification des recherches poursuivies dans le monde entier et au vaste champ d'expériences mis à la disposition des techniciens, ces progrès commencent à trouver leur application dans tous les domaines pacifiques. A cet égard, il semble que l'hélicoptère, qui a subi, ces dernières années, de nombreux et importants perfectionnements, soit appelé à de multiples utilisations. En particulier, d'intéressantes expériences effectuées en Angleterre ont montré que ce type d'appareil paraissait particulièrement désigné pour mener à bien sur une grande échelle la lutte chimique contre les parasites et les maladies cryptogamiques qui causent chaque année aux cultures d'incalculables ravages. Les difficultés rencontrées et surmontées dans ce domaine vont permettre la mise au point d'hélicoptères puissants, capables d'emporter une charge utile se chiffrant par plusieurs tonnes et susceptibles ainsi d'applications nombreuses dans le domaine des transports lourds.

PARTOUT dans le monde, l'augmentation des récoltes est à l'ordre du jour et, plus que jamais, une des préoccupations permanentes des agriculteurs est l'intensification de la lutte contre les parasites des cultures. Les moyens mis en œuvre dans ce but doivent évidemment, pour être efficaces, marcher de pair avec ceux accomplissant les autres opérations culturales. A la charrue multisocs

remorquée par un puissant tracteur ne peut évidemment correspondre une poudreuse à main.

L'avion contre les parasites des cultures

C'est donc à des engins motorisés qu'il fallait faire appel; et l'idée se fait jour aujourd'hui assez rapidement que l'aviation, au premier



FIG. 2. — L'HÉLIOPTÈRE SIKORSKY R-4 UTILISÉ CONTRE LES PARASITES DES CULTURES

Cet hélicoptère comporte deux rotors : l'hélice sustentatrice et l'hélice stabilisatrice, placée à l'arrière. Sa vitesse de croisière est de 112 km/h, son poids de 930 kg. Il est muni ici d'une rampe à l'avant pour la pulvérisation de l'insecticide. C'est au cours de ces expériences qu'a été démontrée la bonne répartition de l'insecticide sur le dessus et le dessous des feuilles.

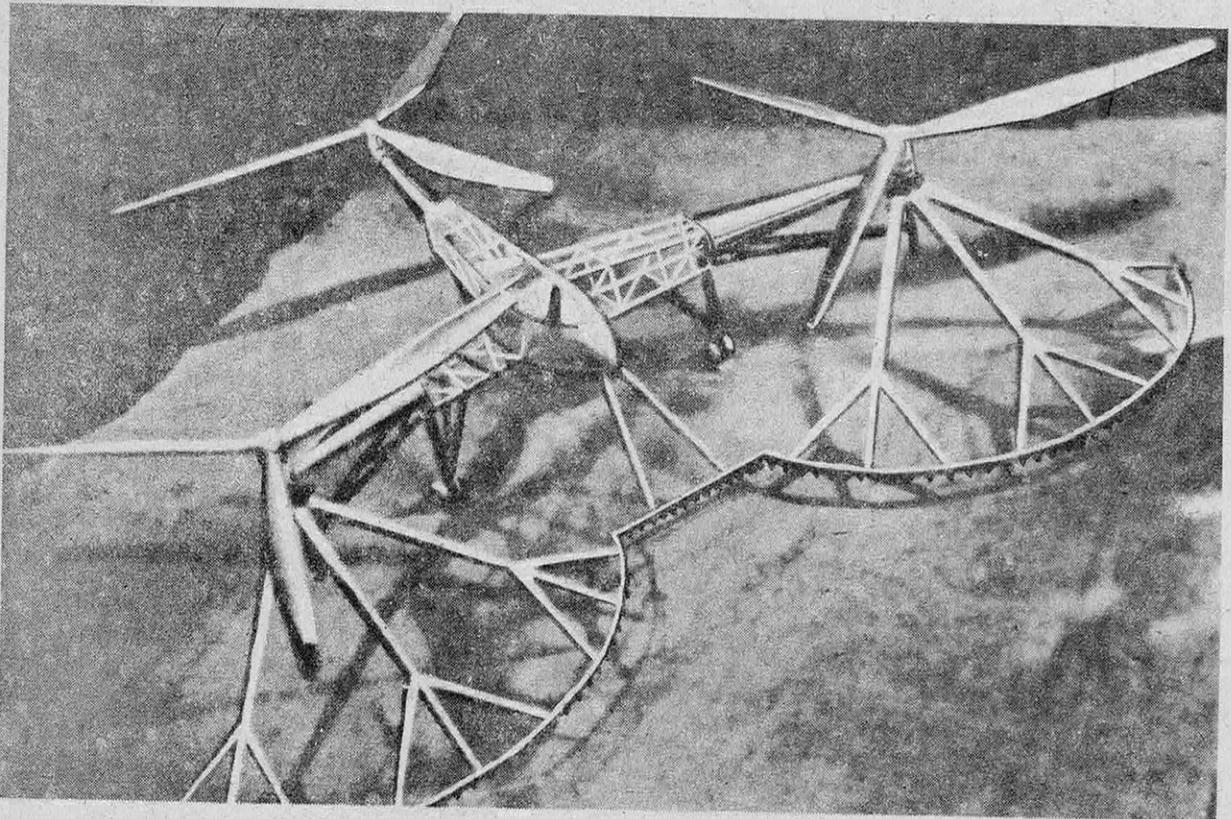


FIG. 3. — L'HÉLIOPTÈRE ANGLAIS « AIR HORSE » SPÉCIALEMENT ÉTUDIÉ POUR LA LUTTE CONTRE LES PARASITES
On remarque le grand développement donné aux rampes de pulvérisation situées à l'avant, position la plus favorable pour utiliser le souffle vers le bas des rotors sustentateurs.

chef, doit apporter une aide précieuse dans ce domaine. En effet, elle seule permet de traiter convenablement et uniformément de vastes étendues en peu de temps. C'est souvent dès les premières attaques d'un cryptogame, dès la première apparition d'un parasite, dès l'éclosion des larves ou dès une ponte qu'il faut intervenir radicalement pour conjurer le péril. C'est une tâche qui peut paraître insurmontable en grande culture sans l'aide de l'avion. Une pulvérisation d'insecticides au moyen d'un appareil terrestre remorqué par tracteur entraînerait d'ailleurs obligatoirement des dommages importants aux cultures au passage des roues ou des chenilles.

Depuis plusieurs années, aux États-Unis, de tels traitements aériens ont été effectués à l'aide d'avions ordinaires, au-dessus de forêts ou des vergers de Calédonie.

Toutefois, qu'il s'agisse de projection de poudres ou de pulvérisation de liquides insecticides ou anticryptogamiques, il est évident que l'opération doit être effectuée aussi près du sol que possible pour éviter une perte considérable de produit, et que ce dernier doit frapper non seulement le dessus des feuilles, mais encore le dessous et notamment la naissance de la feuille sur la tige.

Comment l'hélicoptère résout le problème

C'est un ingénieur anglais, M. Rippert, qui a eu l'idée de faire appel à l'hélicoptère, appareil qui permet de voler sans danger en rase-mottes et dont l'effet de souffle du rotor, surtout, peut être mis à profit pour assurer un épandage optimum du produit insecticide. Le rotor en effet, prévoyait M. Rippert, provoque un courant d'air vertical, dirigé vers le bas. Si on y pulvérise l'insecticide, celui-ci doit être entraîné, suivre l'aplatissement du courant d'air sur le sol et son rebondissement partiel, et ainsi venir au contact du dessous des feuilles. C'est effectivement ce qui se produit, ainsi que l'a montré la démonstration effectuée par un Sikorsky R-4 à Harston. On voit, à l'avant de l'appareil (fig. 2), la rampe de pulvérisation du liquide qui, lancé violemment par le souffle du rotor, rebondit en quelque sorte sur le sol pour atteindre le dessous des feuilles. Le champ d'expériences ayant été parsemé de feuilles de papier, préparées de manière à changer de couleur au contact du produit utilisé, on a pu constater ce changement de coloration sur les deux faces du papier. M. Rippert estime que l'hélicoptère pourra rendre ainsi d'immenses services en Afrique dans la lutte contre la mouche tsé-tsé, agent de la maladie du sommeil, pour le traitement des plantations de

cotonniers et aussi dans le monde entier pour le blé et les plantes analogues où l'on se trouve pratiquement désarmé par suite de l'impossibilité de circuler à travers les champs (1).

(1) On a proposé aussi l'emploi de l'hélicoptère pour d'autres applications que la lutte contre les parasites.

Ainsi, lorsqu'il pleut à la maturité des cerises, l'eau s'arrête dans l'ombilic entourant le pédoncule et forme une goutte à la partie inférieure du fruit, d'où éclatement de la peau attendrie au retour du soleil. La cerise ne peut plus se transporter. Des cérisculteurs de l'État de Washington ont eu l'idée de les sécher rapidement au moyen d'un vent artificiel créé par un hélicoptère surmontant de peu les arbres. Ce courant d'air écarte les rameaux, les secoue et fait tomber l'eau de pluie sur le sol. A la vitesse de 7 ou 8 km à l'heure, l'appareil fait le va-et-vient au-

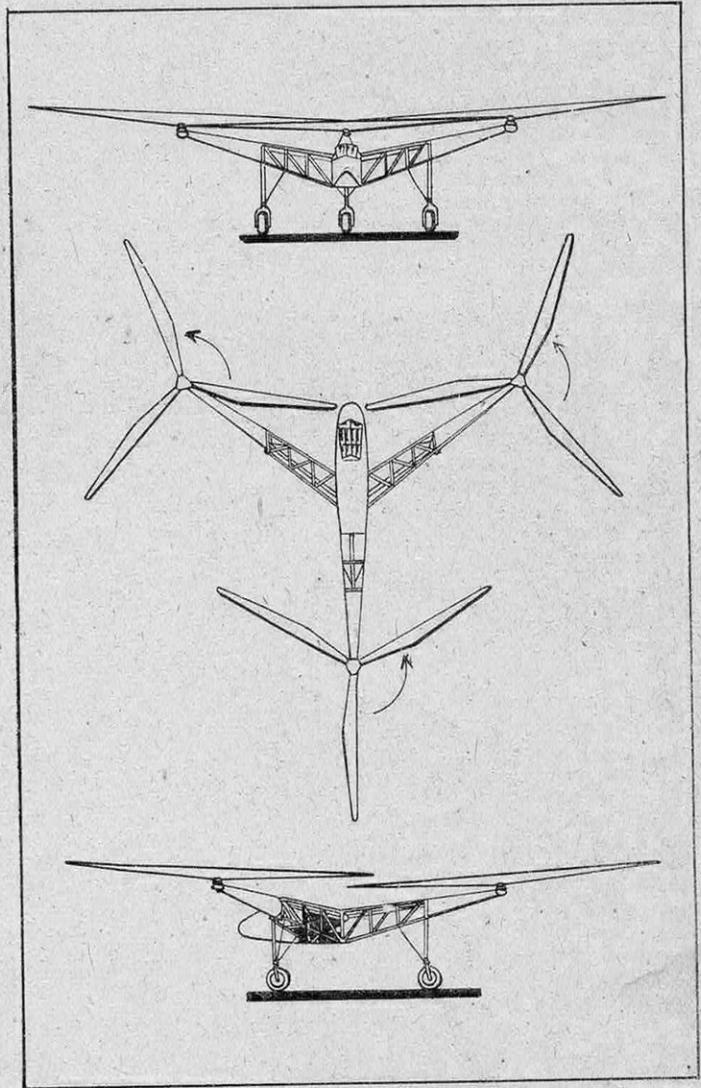


FIG. 4. — VUES DE FACE, EN PLAN ET DE COTÉ DE L'HÉLICOPTÈRE « AIR HORSE »

On remarque notamment, sur la vue de face, la légère inclinaison sur la verticale des axes des rotors, destinée à équilibrer le couple de rotation des trois rotors qui tournent tous dans le même sens.

Le principal inconvénient de l'hélicoptère pour cette application est sa faible charge utile comparée à la puissance exigée. Par exemple, le Sikorsky R-4 équipé d'un moteur de 195 ch, ne peut emporter qu'un petit réservoir contenant le liquide à projeter. Au moment des expériences de 1942, il n'existait aucun appareil capable de satisfaire aux conditions imposées par un rendement admissible de l'opération.

L'hélicoptère « Air Horse »

C'est à la *Gierva Autogiro, Ltd.*, pionnier de l'aviation à rotors, qu'il fut demandé par la firme anglaise *Pest Control, Ltd.*, spécialisée dans ce procédé de traitement des cultures, de mettre au point un appareil capable d'emporter une charge utile de 3 à 4 tonnes. Cet hélicoptère, dénommé « Air Horse », est actuellement en construction à la *Cunliffe-Owen Aircraft Co.* Il pourra voler naturellement à une très basse altitude (14 m) et emporter, sous son fuselage, un réservoir de 2 300 l environ, doté d'un dispositif de remplissage rapide. Une pompe centrifuge à trois étages, d'un débit de 450 l à la minute, assurera le pulvérisation du liquide. Ainsi de grandes étendues de terrain pourront être traitées à chaque opération puisqu'en une minute, cinquième du temps nécessaire à la vidange du réservoir, l'hélicoptère, dont la vitesse de croisière prévue est de 142 km/h, aura parcouru près de 2 400 m, soit 12 000 m par charge du réservoir.

Il va de soi que l'enlèvement d'une telle charge ne pouvait s'accommoder d'un rotor unique de dimensions acceptables. Aussi l'« Air Horse » en comporte-t-il trois de 14 m de diamètre. Il est constitué par l'assemblage de trois poutres en treillis de tubes métalliques formant entre elles des angles de 120°. L'une de ces poutres contient le moteur et le siège du pilote. À leurs extrémités se trouvent les trois hélices sustentatrices tripales. Les pales de deux hélices voisines ne se chevauchent pas. Chaque pale, d'un poids de 58 kg, comporte une ossature métallique recouverte de contre-plaqué moulé et collé, et sa surface est enduite d'un vernis synthétique de façon à être parfaitement lisse.

Dans un but de simplification des transmissions et afin d'assurer l'interchangeabilité des pièces, les trois rotors sont identiques, de même que les articulations des moyeux, conçues pour assurer un montage et un démontage rapides. Les trois hélices tournent dans le même sens. Pour compenser leurs couples de réaction, qui tendent à faire tourner l'hélicoptère en sens inverse de leur propre mouvement, leurs axes ont reçu une légère inclinaison fixe (3° 45'), autour de l'axe de chacun de leurs arbres de transmission respectifs. Les rotors tournent à 175 tours/mn. Enfin, l'incidence des pales subit des variations cycliques se reproduisant à chaque tour, et peut recevoir des variations

dessus des rangées d'arbres. Il peut survoler 24 ha en une heure.

Il pourrait servir aussi pour mélanger les couches d'air afin d'éviter les gelées printanières quand la température ne descend à zéro qu'au niveau du sol. On avait imaginé jadis d'effectuer ce brassage par une hélice horizontale placée sur un mât et actionnée par un moteur électrique. Mais elle n'avait qu'un bien faible rayon d'action.

d'ensemble correspondant aux commandes de direction, de profondeur et de roulis.

Celles-ci sont obtenues de la manière suivante : l'inclinaison latérale (roulis) correspond à une variation d'ensemble de l'incidence des pales des deux hélices avant, augmentation pour l'une, diminution pour l'autre, le braquage ou le piqué résultant d'une variation différentielle de l'incidence des pales entre les deux hélices avant et l'hélice arrière ; les virages sont réalisés en provoquant une différence entre les variations cycliques de l'incidence des deux hélices avant.

Le moteur, un Rolls Royce « Merlin XXXII » de 1 600 ch, a été choisi pour sa grande souplesse. Il est refroidi par liquide au moyen d'un ventilateur (qui absorbe 2 % de la puissance), la vitesse de déplacement étant évidemment insuffisante pour assurer le même débit d'air de refroidissement que sur un avion rapide.

Les rotors sont actionnés au moyen d'un embrayage spécial à disque et à force centrifuge. Ainsi un certain glissement est-il toléré à la mise en marche des rotors, tandis que la transmission devient rigide aux grandes vitesses de rotation. Cet entraînement joue également le rôle de roue libre, permettant aux rotors de se mettre en autorotation et donc de freiner la descente en cas de panne du moteur. À partir de cet embrayage, la transmission s'effectue par engrenage réducteurs, arbres creux logés dans les poutres et engrenages coniques pour chaque rotor.

L'utilisation particulière de l'« Air Horse » à très faible altitude ne donne évidemment pas aux rotors le temps matériel de se mettre en autorotation lors d'un arrêt subit du moteur. On doit donc prévoir des atterrissages forcés assez violents et on a étudié dans ce but un train d'atterrissage spécial tricycle, prenant appui sur le milieu des poutres et comportant des ressorts à très grande course (1,62 m), capables d'amortir des vitesses de chute jusqu'à 12 m/s, sans dommage pour l'appareil et l'équipage.

La vitesse maximum est de 185 km/h, la vitesse de croisière de 142 km/h et la vitesse ascensionnelle en montée verticale de 440 m/mn.

Les rampes de projection de liquide insecticide sont disposées à l'avant de l'appareil, région où se trouvent remplies les conditions aérodynamiques les plus favorables pour la projection vers le sol et la diffusion du produit dans toutes les directions. Le poids total calculé de l'appareil, y compris l'équipement et le personnel, est d'environ 6 800 kg, mais la machine pourrait emporter une charge utile plus considérable que les 3 t prévues. Ce calcul a supposé en effet un vol près du sol, à une distance de l'ordre de la longueur du diamètre d'un rotor, ce qui nécessite une puissance de 980 ch. Il reste donc une réserve de puissance de 620 ch. On estime que le poids total en vol normal pourrait atteindre environ 10 tonnes.

L'hélicoptère doit constituer ainsi une arme efficace contre les parasites destructeurs et les maladies cryptogamiques des grandes cultures. Cette première mise au point d'un appareil spécialement conçu dans ce but donnera d'utiles indications pour la réalisation d'engins plus puissants, plus étudiés du point de vue aérodynamique et capables, grâce à des rotors de plus grands diamètres et à une plus grande puissance motrice, d'emporter 10 à 12 t de charge utile.

Jean MARIVAL

A COTÉ DE LA SCIENCE

INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

ATTERRISSAGE PAR VENT LATÉRAL

Un atterrissage normal se fait, avec les avions actuels, par vent debout. Ainsi, la vitesse du vent se retranchant de la vitesse limite de sustentation de l'avion, la prise de contact avec le sol s'effectue à la plus faible vitesse relative. Les conditions sont les mêmes au décollage.

Quand la direction du vent

atterrissages et les décollages sur une piste unique, par tout temps, même par vent latéral ? Un Anglais M. Ower F. Maclaren a proposé, dès avant la dernière guerre, une solution à ce problème, théoriquement simple, mais d'application délicate. Il proposait de munir les avions d'un train d'atterrissage à roues orientables. Comme on le voit sur la figure, la vitesse de l'avion par rapport à l'air, inclinée sur la direction générale de la piste d'atterris-

sol, tel que le lui indique le service météorologique de l'aérodrome, et de sa vitesse d'atterrissage ; le calcul est simple et peut s'effectuer sans peine mécaniquement. Il se posera alors sur la piste en dirigeant son appareil obliquement de telle sorte que la dérive due au vent lui fasse parcourir exactement l'axe de la piste. En pratique, l'angle de braquage est toujours faible avec les vitesses d'atterrissage actuelles, et il suffit de prévoir

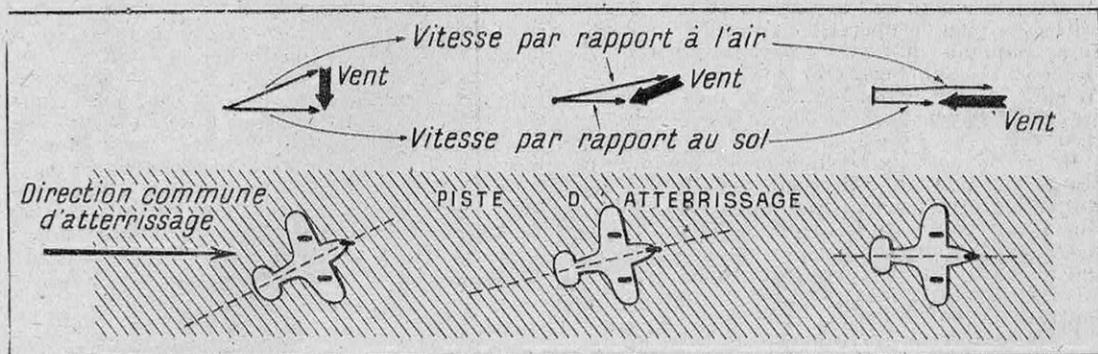


FIG. 1. — DISPOSITIONS SCHÉMATIQUES D'ATTERRISSAGES SUR UNE MÊME PISTE QUEL QUE SOIT LE VENT

A droite, l'atterrissage est normal, mais, au centre et à gauche, il s'effectue par vent oblique, puis rigoureusement perpendiculaire à la piste. Les constructions simples en haut de la figure indiquent l'angle de braquage à donner aux roues du train d'atterrissage pour qu'à la prise de contact avec le sol ou au moment du décollage, l'effort latéral dû au vent soit nul.

s'écarte de celle choisie pour l'atterrissage, la prise de contact avec le sol est chose plus délicate, par suite des efforts latéraux qui s'exercent sur le train d'atterrissage et qui sont d'autant plus intenses que l'écart est plus grand. C'est pourquoi, en pratique, on est conduit à multiplier les pistes des aérodromes pour que les avions puissent se poser ou prendre l'air en choisissant la piste dont l'orientation ne s'écarte pas de celle du vent au-delà du maximum admissible. Cela impose des aérodromes de dimensions considérables, fort coûteux, et dont l'étendue même complique l'organisation en cas de trafic intense.

Est-il donc impossible de pratiquer normalement les

sage, et la vitesse de l'air par rapport au sol se composent pour donner à l'avion une vitesse relative par rapport au sol dirigée suivant la piste. Si le pilote oriente les roues du train d'atterrissage suivant cette direction, elles n'auront à supporter aucun effort latéral, du moins tant que la vitesse de l'avion se maintiendra. Théoriquement il faudrait accroître le braquage des roues au fur et à mesure que l'avion ralentit, mais cette opération, qui exigerait un réglage délicat, apparaît inutile en pratique, car c'est surtout à grande vitesse que les efforts latéraux sont dangereux.

Le pilote donc devra, avant de décoller ou d'atterrir, calculer l'angle de braquage de ses roues en fonction du vent au

un angle de rotation maximum des roues d'une vingtaine de degrés de part et d'autre de leur position normale.

De tels trains d'atterrissage orientables à commande hydraulique ont été réalisés et adaptés en particulier à des monomoteurs tels qu'un Miles « Magister » ou un North American « Mustang » ou un bimoteur, comme l'Airspeed « Oxford », avec lesquels des essais ont eu lieu, qui semblent avoir été couronnés de succès.

HÉLICES D'AVIONS

La division des hélices de la Curtiss-Wright Corporation, aux États-Unis, a annoncé récemment qu'elle venait de réaliser la plus grande

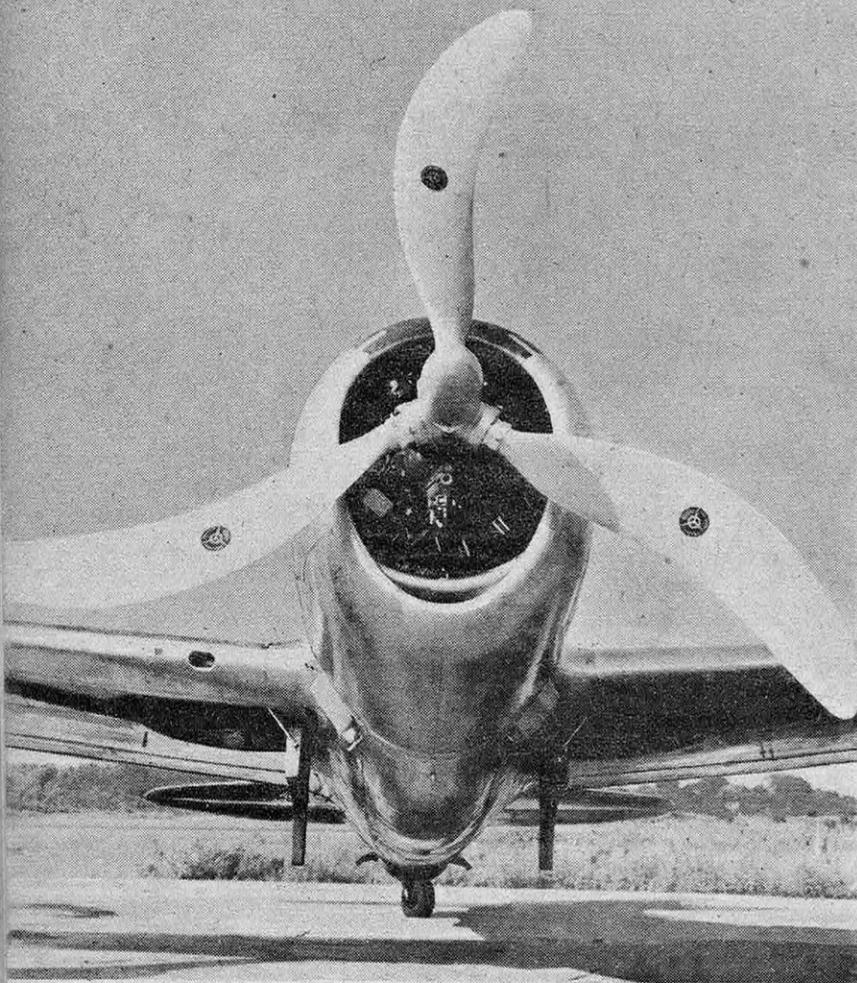


FIG. 2. — HÉLICE EXPÉRIMENTALE « EN FLÈCHE » POUR PLUS DE 1 000 KM/H (CURTISS-WRIGHT)

hélice à pales d'acier creuses qui ait été construite jusqu'ici (fig. 3). Son diamètre atteint 5,70 m, et elle fait partie d'un jeu d'hélices livré aux Army Air Forces des U. S. A. pour équiper le nouveau bombardier géant Consolidated-Vultee B-35, prototype militaire du Consolidated 37, avion de transport pour 204 passagers de jour, dont le poids total en charge est de 145 t.

L'hélice, tripale, à commande électrique de variation de pas, est capable d'absorber 3 000 ch avec un rendement élevé jusqu'au voisinage de la stratosphère. Elle est à pas réversible, donc capable de tirer ou de pousser, ce qui, d'une part, facilite les évolutions de l'avion au sol, d'autre part permet de freiner puissamment l'appareil à l'atterrissage, lorsqu'il vient de prendre contact avec le sol,

et de réduire ainsi la course sur le terrain tout en évitant une usure rapide des roues et des freins sur roues.

Sur le Consolidated 37, les hélices sont à synchronisation automatique par variation de pas, réduisant les vibrations et les battements entre groupes motopropulseurs. Enfin, elles sont prévues pour la mise en œuvre d'un nouveau système de dégivrage, par envoi d'air chaud dans la cavité des pales qui, comme nous l'avons dit, sont creuses et en acier.

La figure 2 montre d'autre part un type expérimental d'hélice destiné aux très grandes vitesses. On sait qu'à mesure que l'on se rapproche de la vitesse du son, l'effet de la compressibilité de l'air se fait de plus en plus sentir sur les qualités aérodynamiques des profils d'ailes ou d'hélices. On

constate en particulier qu'un profil donné accuse, à partir d'une certaine valeur de la vitesse, dite vitesse « critique », une augmentation brusque de la résistance à l'avancement et une diminution de la portance. On rapporte ces phénomènes à l'apparition de survitesses locales dans l'écoulement de l'air autour du profil, qui atteignent et dépassent la vitesse du son. Ce qui détermine évidemment l'allure de l'écoulement autour du profil, c'est la vitesse relative du profil par rapport à l'air, normalement du bord d'attaque de l'aile. On a donc imaginé de disposer le bord d'attaque obliquement par rapport à la direction générale du vol, et l'on a obtenu effectivement une augmentation appréciable de la vitesse critique, c'est-à-dire que l'on a retardé le moment où apparaissent les phénomènes nuisibles au rendement. C'est le principe de l'aile « en flèche », appliqué sur un certain nombre d'avions rapides et surtout sur les engins à propulsion par fusée, chasseurs-fusées et bombes volantes diverses. On peut l'appliquer également aux pales d'hélice qui, surtout à leurs extrémités, se déplacent dans l'air à des vitesses relatives encore plus grandes que la voilure des avions. La figure 2 en est un exemple; l'hélice en question est prévue pour des vitesses de l'ordre de 1 100 km/h.

LE RHUME SERA-T-IL ENFIN VAINCU ?

La plus bénigne des maladies, le rhume banal, est pourtant une de celles qui font perdre le plus de temps à l'humanité. Telle est la conclusion qui ressort d'une statistique américaine portant sur les absences de plus d'un jour du personnel d'une grande administration. Sur un total de 29 000 journées de travail perdues chaque année, 4 000 sont dues au rhume banal, qui est donc responsable de 15 p. 100 du temps total perdu par incapacité de travail. En moyenne, chaque employé perd une journée, et chaque employée deux journées de travail par an pour cause de rhume. Au total, 80 millions de journées, correspondant au travail

annuel de 250 000 personnes, sont perdues chaque année aux États-Unis. En admettant que la fréquence du rhume soit à peu près la même en France, les chiffres correspondants seraient pour notre pays de l'ordre de 25 millions de journées de travail perdues par an, équivalent au travail annuel de 80 000 personnes. On voit donc tout l'intérêt qu'il y aurait à posséder une arme efficace contre le rhume banal, que la science médicale est encore impuissante à prévenir. C'est dans le but de trouver ce remède qu'un « Centre de recherches contre le rhume » groupant une centaine de savants a été récemment fondé près de Washington, parallèlement aux centres analogues déjà existants pour la tuberculose et le cancer.

UN PROCÉDÉ ÉLECTROSTATIQUE POUR L'INDUSTRIE TEXTILE

On sait que les particules légères de matières telles que le papier, les fibres textiles, etc., sont attirées par un bâton de verre ou d'ébonite électrisé par frottement. Le principe de cette expérience classique a été récemment appliqué, aux États-Unis, au tissage d'étoffes analogues au velours, ainsi qu'à la fabrication de papiers abrasifs.

Les filaments de soie (ou les particules abrasives) sont déposés sur une courroie transporteuse et électrisés par passage à travers un champ électrique uniforme. Leurs extrémités se trouvent ainsi toutes, portées à la même polarité, et se repoussent mutuellement. Dans l'état d'équilibre correspondant à une telle situation, les particules électrisées se dressent verticalement sur la courroie porteuse, et il suffit de dérouler au contact de celle-ci un rouleau de tissu, de papier, ou de cellophane enduite d'un produit adhésif pour y obtenir l'effet recherché.

On fabrique, par ce procédé, des peluches ayant près de 500 poils au millimètre carré, soit dix fois plus que par les méthodes usuelles. En raison de leur rugosité, ces tissus sont propres à tous les usages nécessitant un fort coefficient de

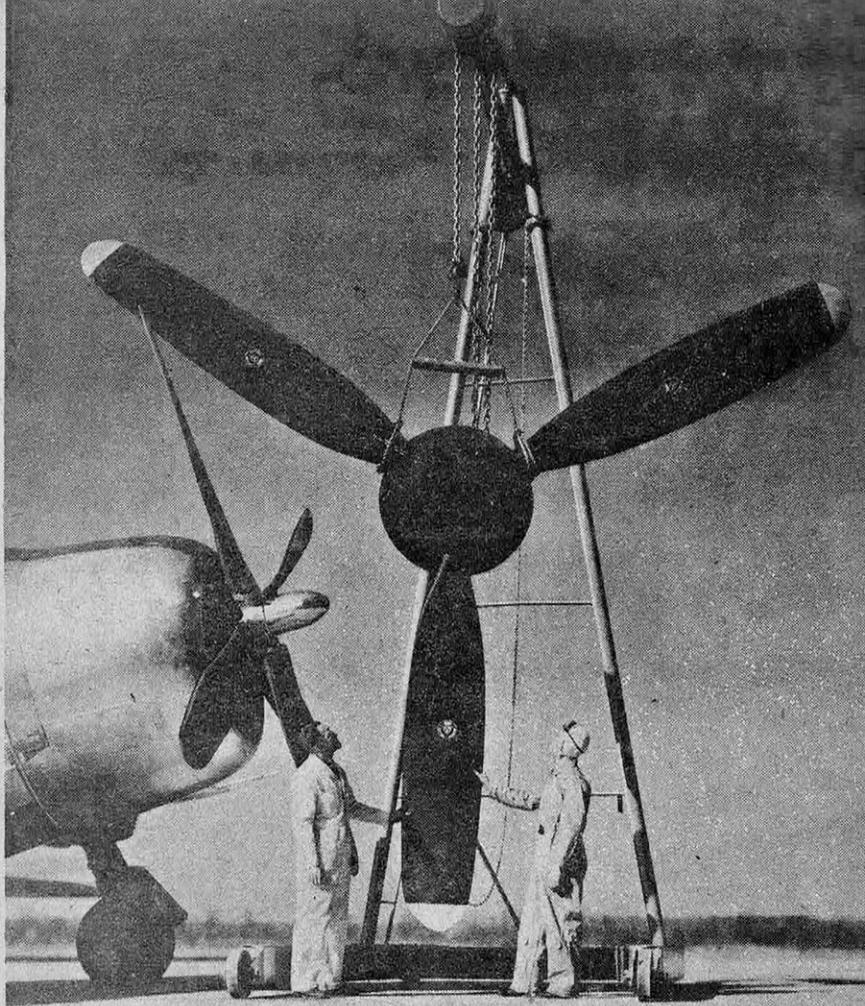


FIG. 3. — LA PLUS GRANDE HÉLICE A PALES D'ACIER CREUSES (DIAMÈTRE 5,70 M) DESTINÉE AU CONSOLIDATED 37 DE 145 T (CURTISS-WRIGHT)

frottement. Ils conviennent particulièrement bien pour recouvrir des tourne-disques, des tables de jeux, etc.

Appliqué au cuir naturel ou synthétique, le même procédé permet de fabriquer des fourrures artificielles remarquables par la fixité de leurs poils.

CONTRE LES BRULURES SOLAIRES

UNE conséquence imprévue de la guerre a été d'orienter les recherches d'un groupe de savants américains de Cleveland (Ohio) vers la recherche de substances efficaces contre les coups de soleil dont étaient menacés les aviateurs contraints d'abandonner leurs appareils dans le désert ou en haute mer. Ces travaux,

entrepris à la demande du haut commandement de l'aviation, aboutirent à la découverte de plusieurs substances absorbant la presque totalité des radiations nocives (qui sont situées dans l'ultraviolet entre 2 900 et 3 200 Angström) et présentant toutes les qualités requises pour leur utilisation pratique : maximum de protection dans un faible volume, résistance à la chaleur, au froid, à l'eau, inocuité vis-à-vis de l'organisme, etc.

Parmi les nombreux produits essayés, deux s'avèrent particulièrement efficaces : un produit pétrolier appelé « Dark red vet petrolatum » et le salicylate de phényle ou « Salol ». Le premier convient spécialement bien, car il est très adhérent à la peau, résistant au lavage, et non irritant. En couche très mince, il protège parfaitement la peau contre une exposition de vingt heures

A l'occasion du
SALON INTERNATIONAL DE L'AVIATION

" SCIENCE ET VIE "

a publié un important NUMÉRO HORS SÉRIE :

AVIATION 1946

- * L'AÉRONAUTIQUE FRANÇAISE
- * L'AÉRODYNAMIQUE DES GRANDES VITESSES
- * MOTEURS ET RÉACTEURS
- * DE L'AVION CARGO A L'AVION TRANSATLANTIQUE
- * LES AVIONS DE TOURISME ET LES HÉLICOPTÈRES
- * LES BOMBARDIERS LOURDS
- * L'AVION D'ASSAUT
- * LES CHASSEURS A RÉACTION
- * L'AVION SANS PILOTE
- * LES AÉROPORTS ET LES LIGNES AÉRIENNES

**CARACTÉRISTIQUES, DESSINS, PHOTOGRAPHIES EN NOIR OU EN COULEUR
 DE TOUS LES AVIONS MODERNES DU MONDE ENTIER — PLUS DE 150 PAGES**

CET OUVRAGE A ÉTÉ RÉALISÉ PAR

" SCIENCE ET VIE "

AVEC LA COLLABORATION DE **CAMILLE ROUGERON**

EN VENTE PARTOUT : 120 FR.

et à nos bureaux, 5, rue de la Baume, PARIS (8^e)

Compté de chèques postaux PARIS 1258-63

au plus violent soleil de Cleveland (ville située à la même latitude que Rome).

La découverte de ces nouvelles substances protectrices contre les brûlures du soleil montre comment toutes les ressources de la science furent mises en œuvre par les Alliés pour résoudre jusqu'aux problèmes d'une importance apparemment négligeable. Nul doute, par ailleurs, que ces recherches trouvent d'importantes applications pratiques pour le temps de paix.

TRACTEUR AGRICOLE AU GAZ DE FUMIER

UN des plus récents progrès de la chimie agricole consiste dans la récupération, dans le fumier de ferme, des calories que les animaux n'ont pu utiliser par suite d'une digestion incomplète de la cellulose. Cette récupération, obtenue par une fermentation spéciale du fumier, produit en effet du méthane combustible, sans altérer d'ailleurs les qualités fertilisantes du fumier (1).

Une intéressante installation de ce genre, suivant les procédés Ducellier-Isman, a été réalisée dans l'Indre pour l'alimentation d'un tracteur agricole qui fonctionne depuis plusieurs mois de façon satisfaisante.

Elle comprend une batterie de quatre cuves de fermentation de 25 m³ chacune, un gazomètre de 40 m³ et un compresseur, portant, à l'heure, sans lavage, la pression de 8 m³ de gaz à 150 kg/cm². Le gaz sous pression est emmagasiné dans des bouteilles dont l'installation possède deux groupes. Le froid ralentissant la réaction de fermentation, les cuves peuvent être protégées en hiver par un enrobage de fumier chaud assurant la continuité de la production. D'ailleurs, dans le cas particulier envisagé, le besoin de carburant étant surtout important de mars à novembre, tandis qu'en hiver la production de gaz sert presque uniquement aux besoins domestiques, beaucoup plus réduits, on pourrait se passer de toute protection spéciale de la cuve.

(1) Voir « Le gaz de fumier, carburant de la ferme » *Science et Vie*, n° 341, juillet 1943

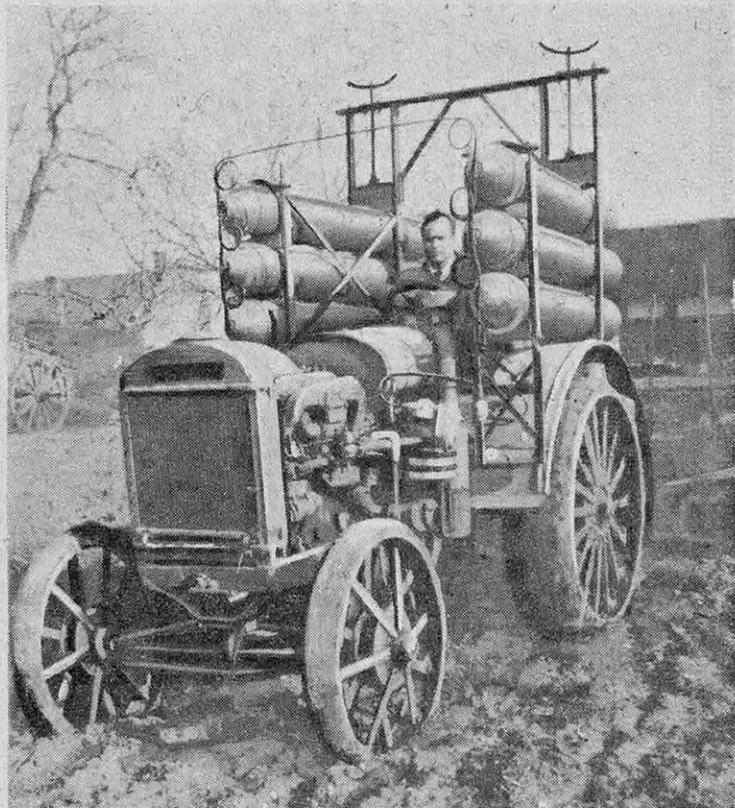


FIG. 4. — TRACTEUR AGRICOLE ÉQUIPÉ AVEC DES BOUTEILLES DE GAZ DE FUMIER

Les cuves sont chargées de fumier par roulement à raison d'une fois tous les mois, chaque cuve produisant du gaz pendant quatre mois environ.

Le poste de compression reçoit l'énergie du réseau électrique qui alimente la ferme et est raccordé au gazomètre. Son fonctionnement n'exige pratiquement aucune surveillance ; c'est le conducteur du tracteur qui assume son entretien.

Le tracteur agricole qui utilise le gaz de fumier comme carburant est équipé avec six bouteilles de 50 l en durallinox fretté qui, chargées à 150 kg/cm², lui procurent une autonomie de marche de deux tiers de journée de travail, autonomie qui dépasserait largement une journée si l'on avait pu disposer d'un compresseur à 200 kg/cm², pression pour laquelle les bouteilles sont « timbrées ». Les bouteilles sont disposées (fig. 4) horizontalement au-dessus des roues arrière du tracteur, de chaque côté du conducteur, qu'elles ne gênent pas dans ses manœuvres.

On aurait pu craindre que la surcharge de 300 kg ainsi imposée au tracteur présentât un inconvénient. Elle s'est révélée au contraire favorable en augmentant l'adhérence des roues motrices. On sait d'ailleurs que l'on est normalement obligé de charger les roues d'un tracteur monté sur pneumatiques, soit au moyen de gueuses de fonte, soit en gonflant les pneus à l'eau. Ce poids mort est donc avantageusement remplacé par un poids utile.

L'aménagement du tracteur est simple. Le gaz détendu débouche par un orifice calibré dans la chambre de mélange du carburateur d'origine et une vanne permet, si besoin est, d'isoler le détendeur pour passer immédiatement à la marche au carburant liquide. Le démarrage est très aisé grâce à une légère fermeture du papillon d'admission d'air, repérée une fois pour toutes, et n'exige aucune manœuvre délicate. Le moteur s'accommoderait parfaitement de ce carburant gazeux. D'ailleurs

comme son taux de compression avait été porté à 7 environ en vue d'un équipement au gazogène et qu'il est maintenant alimenté par un gaz riche, à près de 6.000 calories par mètre cube, il paraît à son conducteur plus puissant qu'à l'essence.

Du point de vue économique, on estime, d'après les premières observations, que la totalité de l'installation pourra être amortie en moins de dix ans, avec un prix de revient du mètre cube de gaz bien inférieur à 10 fr. Ce calcul suppose que tout l'amortissement est supporté par la production du gaz, alors que normalement la cuverie constitue une fumière rationnelle et qu'il serait équitable de faire assumer à la fabrication du fumier une notable partie de cet amortissement.

Fonctionnant depuis plusieurs mois déjà de façon satisfaisante, capable d'assurer, avec les quantités de fumier normalement produites sur l'exploitation, l'alimentation totale du tracteur, cette première installation rurale, bien que n'étant encore qu'un prototype très perfectible, prouve définitivement tout l'intérêt de ce carburant. A lui seul, le gaz de fumier pourrait assurer la totalité des besoins en carburant de l'agriculture française, allégeant ainsi notre balance commerciale d'une partie du fardeau dû aux importations.

LES INFRAROUGES DANS L'INDUSTRIE DE LA CHAUSSURE

La fabrication des chaussures comporte, entre autres opérations, la couture des semelles, qui s'effectue lorsque celles-ci sont mouillées. Le fraissage du bord de la chaussure, qui vient ensuite, doit s'effectuer à sec, pour que toutes les parties soient bien homogènes, et la chaussure doit, par conséquent, être séchée dans l'intervalle. Le séchage naturel est une opération longue, immobilisant longtemps les produits en cours de fabrication et le matériel (formes), et irrégulière. C'est pourquoi, dans toutes les installations de quel-

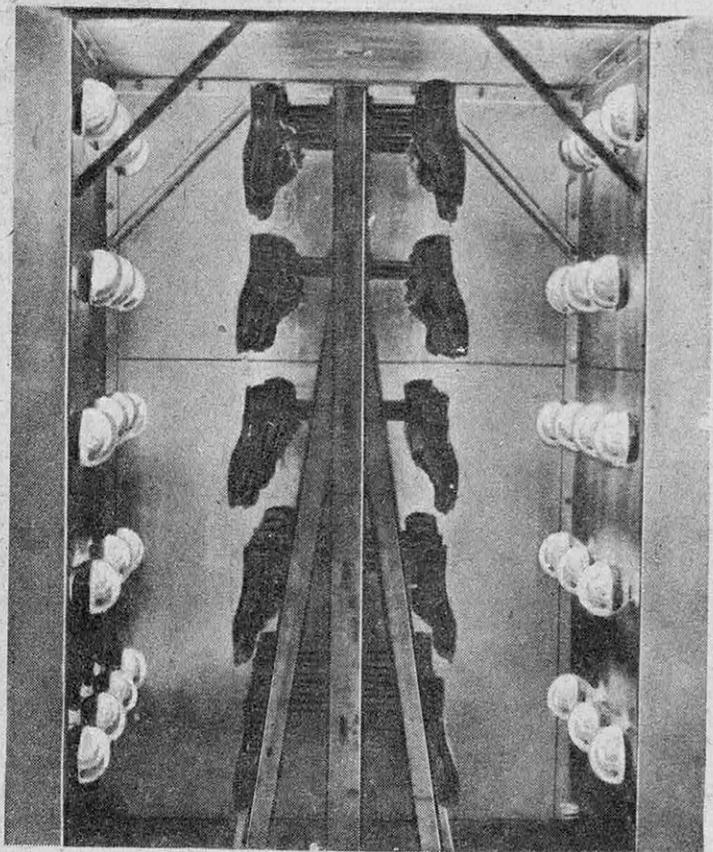


FIG. 5. — LES CHAUSSURES SUR FORMES, ACCROCHÉES AU CHARIOT SPÉCIAL, SONT INTRODUITES DANS LE SÉCHOIR A RAYONS INFRAROUGES

que importance, on pratique le séchage artificiel, généralement au four-tunnel, appareil encombrant pour une grosse production journalière, car les chaussures doivent y séjournier environ trois heures.

Un ingénieur, M. Lacapelle, a songé à faire appel pour le séchage aux rayons infrarouges, domaine où ils ont déjà reçu de nombreuses applications dans les industries les plus diverses. Le problème consistait, dans ce cas particulier, à ramener dans le temps minimum la teneur en eau des semelles de 20 % à 6 ou 7 %, en opérant en profondeur (3 ou 4 cm), sans croutage de la surface et sans provoquer son fendillement. Des essais préliminaires ont montré que les rayons infrarouges fournis-

saient une solution satisfaisante à la seule condition de ne pas rapprocher les lampes des chaussures à moins de 30 ou 35 cm. Sur ces bases, M. Lacapelle a réalisé le séchoir ci-dessus (fig. 5), du type armoire, où les chaussures sont introduites sur chariot, par 50 paires, et comportant 36 lampes de 250 watts espacées de 35 cm d'axe en axe. La durée du séchage, variable suivant la taille et l'épaisseur des semelles, est de vingt-cinq à trente minutes pour les chaussures d'homme, quinze à vingt minutes pour les chaussures d'enfant. Elle représente donc une importante économie de temps, sans nuire en aucune façon, bien au contraire, à la qualité du produit.

V. RUBOR

N. D. L. R. — Dans le numéro spécial « Aviation 1946 », publié récemment par SCIENCE ET VIE, nous avons indiqué parmi les fabrications Bréguet, l'avion expérimental Leduc à tuyère thermopropulsive.

Nous précisons que l'avion Leduc a été conçu et exécuté entièrement par M. Leduc dans ses ateliers.

SCIENCE ET VIE PRATIQUE

OPTONET TÉLÉMÈTRE ET POSOMÈTRE RÉUNIS EN UN SEUL INSTRUMENT

L'amateur rate des photos. Les causes majeures des insuccès sont le manque de précision dans l'appréciation de la distance et les erreurs de temps de pose, surtout lorsqu'on essaye le portrait ou la photo d'intérieur.



Grâce à l'Optonet, aucune erreur n'est possible. Cet instrument nouveau fournit instantanément les éléments de la réussite.

Il se fixe verticalement sur n'importe quel appareil à l'aide d'une griffe et de deux vis — ou mieux encore horizontalement à l'aide d'une pince à ressort vendue à part.

L'Optonet transforme donc tout appareil, même ancien, en un appareil moderne à télémètre couplé, capable de réaliser tous les genres, même le document et les petits objets.

Dimensions : 78 x 18 x 18 mm.

Echelle des distances : 0,30 m à 8 m.
Prix : 1.560 fr. En vente chez votre fournisseur habituel.

Documentation sur demande.

SOMMOR, 27, place Alphonse-Deville, Paris (6^e).

DÉTARTRANT POUR RADIATEURS



Tous les automobilistes connaissent les graves ennuis occasionnés par la présence du tartre dans la circulation de refroidissement de leur moteur :

Echauffement exagéré, surconsommation d'huile et d'essence, grippage, bielles coulées, etc.

Nous leur rappelons que la **Société pour le Traitement interne des Chaudières**, 36, boulevard de la Bastille, à Paris, spécialiste depuis quatorze ans des questions de détartrage industriel, livre son **Détartrant STIC**, en comprimés de 20 grammes, à l'intention des automobilistes.

Il s'agit là d'un produit de sécurité, car il ajoute à sa remarquable efficacité une absolue innocuité : une homologation de qualité du ministère de l'Air prouve qu'il est sans action sur les culasses en aluminium, le laiton du radiateur et les durites.

Il supprime radicalement l'emploi des dispositifs spéciaux et coûteux. Le détartrage d'un radiateur revient, en effet, à 12 francs, et son entretien en constant état de propreté à 6 francs par mois.

Il est en vente chez les garagistes et grossistes accessoiristes.

SUIVEZ LES CONSEILS DES CHAMPIONS DU VOLANT...

SOMMER, champion de France 1937, 1939 et 1946, WIMILLE, CHIRON, CHABOU, LOUVEAU, etc., en course, utilisent toujours le **Bretocyl-Graphité**, parce qu'ils ont compris que ce produit, grâce à ses qualités incomparables, assure au moteur un rendement que, malheureusement, l'essence actuelle ne lui permet pas.

Le **Bretocyl-Graphité** lubrifie et protège le moteur, assure une meilleure compression, combat la calamine, réduit la consommation de carburant, procure le maximum de puissance et de souplesse et supprime radicalement le cliquetage.

Indispensable à tout motoriste pour le rodage des moteurs.

En vente dans tous les garages. A défaut, profitez de l'offre de propagande de **Bretocyl** et écrivez à la **Société Bret-Oil**, 4, rue Jeanne-d'Arc, à Issy-les-Moulineaux, qui vous adressera franco, en se recommandant de *Science et Vie*, son coffret de 15 flacons-doses, correspondant à 300 litres d'essence, pour le prix de 250 francs.

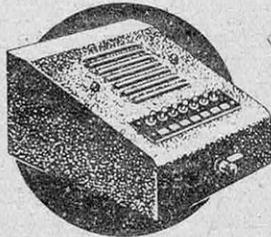
20 A 25.000 FRANCS PAR MOIS



Salaires actuels du Chef-Comptable. Préparez chez vous, vite, à peu de frais, le diplôme d'Etat qui vous assurera une situation lucrative. Demandez la brochure gratuite n° 14 « Carrières Comptables, carrières d'avenir » à l'Ecole Préparatoire d'Administrateurs, 4, r. des Petits-Champs, Paris.

INTERCOMMUNICATIONS PAR HAUT-PARLEURS

Les nouvelles conditions économiques imposant au chef une production de plus en plus intense, il ne l'obtiendra que par l'organisation rationnelle des liaisons entre ses services.



L'INTERVOX assure :

La liaison à haute voix entre chaque service séparément, ou en conférence partielle ou totale. Plus de déplacement inutile, chacun pouvant être appelé et parler à distance de l'appareil.

Soyez présent partout.

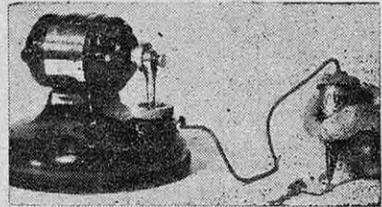
Ets INTERVOX.

135, avenue du Général-Michel-Bizot, (6, rue Victor-Chevreuil), PARIS (12^e).

Téléphone DID. 03-92.

Documentation sur demande.

LA MACHINE A GRAVER " GRAVIT "



Les Établissements VITOUX 42, rue de la Paix, à Troyes (Aube), Fabricants des Machines à Remailer « Vitos », utilisées dans le monde entier, viennent de présenter une Machine à Graver « GRAVIT ».

Cette machine, d'une rare perfection technique, apporte aux industriels et aux graveurs un outil remarquable par la rapidité, la fini de son travail et la simplicité de son emploi.

Sa cadence de frappe de 8.000 coups à la minute donne un trait continu extrêmement fin.

La machine peut travailler sur cuivre, zinc, aluminium, bois, matières plastiques, etc...

Elle permet d'établir rapidement des plaques d'identité, plaques de bicyclette, bagues, etc...

Son emploi se prête à des développements industriels presque illimités. Sa manœuvre, très simple, ne nécessite aucun apprentissage.

Avec « GRAVIT » vous graverez aussi rapidement et aussi facilement que vous écrivez.

ÉTUDES HYDRAULIQUES

Ingénieur E. I. H., licencié ès Sciences. Sérieuses références,

entrepris toutes études hydrauliques :

Adduction, distribution d'eau, irrigation, installation de turbines.

Bonne documentation hydraulique.

Renseignements : MARCHAL.

2, rue Valperga, Nice (A.-M.).

UNE GRANDE DÉCOUVERTE : LA RADIESTHÉSIE PHYSIQUE

De récentes découvertes techniques excluant tout occultisme ont permis

de mettre au point un **COURS PRATIQUE DE RADIESTHÉSIE MODERNE**, objective,

par procédés physiques à la portée de tous, sans don spécial. 30 leçons,

150 exercices judicieux vous initieront en un

mois pour vos résultats professionnels pratiques. Brillants succès garantis,

déjà acquis par milliers d'élèves enthousiastes. Brochure explicative importante, avec attestations de résultats

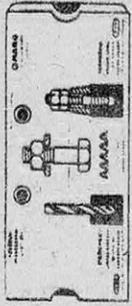
étonnants de prospecteurs, commerçants, ingénieurs, scientifiques, médecins, physiciens, contre 6 francs

timbres pour frais d'envoi. **ECOLE INTERNATIONALE DE RADIESTHÉSIE** par correspondance,

37-26, rue Rossini, Nice.



**CURSEURS OMARO
PROBLÈME POSÉ :
LA LECTURE DIRECTE
DE SA SOLUTION**



Les curseurs OMARO sont des règles à barèmes ou à calcul à lecture objective. De nombreux modèles concernant l'industrie, les mathématiques ont été réalisés. Plus de 25 modèles actuellement en vente, de 40 à 250 francs. Indispensables à tous les ingénieurs, bureaux d'études, étudiants. Excellent moyen de publicité par l'objet pour commerce, industrie. Documentation franco OMARO, 13, rue de la Nation, Paris (XVIII^e). (MONTMARTRE 21-65.)

**LA RADIOÉLECTRICITÉ
RÉVOLUTIONNE LA VIE
MODERNE, ELLE VOUS
PERMETTRA DE GAGNER
DAVANTAGE**

Sans abandonner vos occupations ni votre domicile et en consacrant seulement une heure de vos loisirs par jour, vous pouvez vous créer une situation



enviable, stable et très rémunératrice. Il vous suffit de suivre notre méthode facile et attrayante d'enseignement par correspondance comportant des travaux pratiques sérieux. Aucune connaissance spéciale n'est demandée. Vous deviendrez ainsi facilement et rapidement radiotechnicien diplômé, artisan patenté, spécialiste militaire, chef monteur industriel et rural.

Nous avons été les premiers à fournir à nos élèves du matériel électro-mécanique en réduction et TOUT le matériel de T. S. F. leur permettant de construire, sous notre direction, deux postes récepteurs COMPLETS en ordre de marche, sur courant alternatif ou courant continu, superhétérodynes 6 lampes, d'un fonctionnement parfait grâce à notre méthode américaine jamais égalée qui nous permet, grâce à sa simplicité, de conduire 95 % de nos élèves vers le succès en un temps record.

Une importante documentation, véritable guide d'orientation professionnelle, vous sera adressée gratuitement et sans engagement sur simple demande à

**L'INSTITUT NATIONAL
D'ÉLECTRICITÉ ET DE RADIO**
3, rue Laffitte, à Paris (IX^e).

**NOMENCLATURE
Des spécialités
RADIO**

800 spécialités enregistrées.
700 adresses de constructeurs et spécialistes.

Prix : 150 francs.

Franco recommandé : 165 francs.
Documentez-vous : cahiers techniques de la radio, télévision et cinéma.

Prix : 35 francs.

5 cahiers différents : 157 francs.
Ouvrages d'un grand intérêt pratique et technique.

**LA DOCUMENTATION
TECHNIQUE ET PUBLICITAIRE**
C. C. P. Paris 5372-19,
77, avenue République, PARIS (11^e).

**JEUNES ! APPRENEZ
UN MÉTIER D'AVENIR**

Faites-vous une situation intéressante dans Industrie et Commerce Auto en suivant nos cours par correspondance qui feront de vous techniciens et mécaniciens de premier ordre. Prépar. brevet automob. militaire (armée motorisée).

COURS TECHNIQUES AUTO,
rue du Docteur-Cordier, Saint-Quentin (Aisne). Rens. grat. sur demande.

**DANS 5 MOIS VOUS SEREZ
COMPTABLE**

(traitement : 7 500 à 10 500 fr.).
4 MOIS suffisent pour faire de vous un bon *Secrétaire Sténodactylo* (traitement jusqu'à 9 500 fr.) grâce aux célèbres cours par correspondance de l'ÉCOLE PRATIQUE DE COMMERCE, 74, rue Saint-Désiré, Lons-le-Saunier (Jura).

Actuellement, le nombre des emplois offerts aux anciens Éléves de l'École dans le Commerce, l'Industrie, les Administrations, etc., en France et aux Colonies, est bien supérieur à celui des candidats disponibles. Dem. broch. illustr. grat. n° 2210.

LOCATION DE FILMS

Pour distraire les enfants, en famille, à l'école ou au patronage, **TOUT PHOTO**, 64, rue de Turbigo à Paris (Arch. 71-09), tient à votre disposition

JOUETS SCIENTIFIQUES
CAMERAS PROJECTEURS



à cette adresse des JOUETS SCIENTIFIQUES MODERNES, DES PROJECTEURS ET DES CAMERAS

ÉCONOMISEUR D'ESSENCE



Vous économiserez 15 à 25 % d'essence en adaptant sur votre voiture ou votre camion l'économiseur IANDELLI à turbulence cinétique. Assurant la pulvérisation complète du carburant, il facilite les reprises, évite la calamine. Pose simple et facile. Prix : 500 francs. Modèle pour V-8 et 15 CV Citroën : 750 francs. Milliers de références, appareil agréé par le bureau Véritas. Établiss^{ts} LOMBARDI, 218 bis, avenue Daumesnil, Paris.

T. S. F.

Qualité « LABEL ». Garantie deux ans. Vente directe sans intermédiaire. Au comptant : à partir de 7 530 francs. A crédit : Grands supers à partir de 934 francs par mois. Expédition rapide dans toute la France. Catalogue et conditions envoyés gratuitement. Sans engagement de votre part.

TELESON RADIO

Service Province E,
33, avenue Friedland, PARIS (8^e).

**LE "RODAGE" DE L'HUILE
DE GRAISSAGE**

L'ultrafiltration sur sédiments actives débarrasse l'huile non seulement de ses impuretés, mais de tous ses éléments fragiles qui avaient échappé au raffinage et qui ont été libérés dans le sein de l'huile en service. De telle sorte qu'une huile parfaitement régénérée et réemployée est mieux adaptée à l'usage que l'huile neuve. Elle s'est en quelque sorte rodée.

Une preuve en est donnée par la diminution importante de consommation constatée sur une huile constamment réemployée et la même huile neuve originelle.

À titre d'indication, nous précisons que des essais faits par exemple sur deux autorails Diesel ont révélé des économies de l'ordre de 30 %

Toutes précisions sur les ultrafiltres Maxéi qui ont donné ce résultat vous seront envoyées sur demande de la notice SV, par la société MAXÉI, 25 bis, boulevard de Courbevoie Neuilly (Seine).

**POUR COLLER PHOTOS
PAPIERS, ÉTOFFES, etc.**

Les Éts CORECTOR, fabricants de l'ADHÉSINE, la colle blanche parfumée, attirent l'attention des usagers sur la qualité de sa nouvelle fabrication dont le pouvoir adhésif triple se remarque rien qu'au toucher.

Pour le BUREAU,
Pour l'ATELIER,
Pour l'ÉCOLE,
ADHÉSINE est la colle idéale, car elle est solide, propre et économique.
EN VENTE PARTOUT.

JEUNES GENS III
 sans quitter votre emploi actuel
ASSUREZ VOTRE AVENIR !
CHOISISSEZ UNE CARRIERE REMUNERATRICE !
LA RADIO manque de spécialistes

Il faut des RADIOTECHNICIENS dans
l'ARMÉE, l'AVIATION, la MARINE
l'INDUSTRIE, le COMMERCE, l'ARTISANAT

Nos élèves sont suivis par des Professeurs de valeur
 Cours de tous les degrés sous leur direction
 vous monterez un poste
 Préparation aux diplômes officiels Envoi du matériel à domicile
PLACEMENT ASSURÉ



ÉCOLE PRATIQUE
D'APPLICATIONS SCIENTIFIQUES
 39, rue de Babylone - PARIS-VII^e
 Cours par correspondance
Demandez notre documentation gratuite No 45

3 BANDES O. C. ÉTALÉES
ÉMETTEURS AMÉRICAINS
PLUS DE 200 STATIONS REÇUES

3 MODÈLES
5 GAMMES

5 lampes portatif
6 lampes multiples
altern. et tous cour^{ts}

PRÉSENTATION INÉDITE
TECHNIQUE NOUVELLE
GARANTIE TOTALE

5 GAMMES

RADIO - STER

LE POSTE QUI A ÉTONNÉ L'AMÉRIQUE

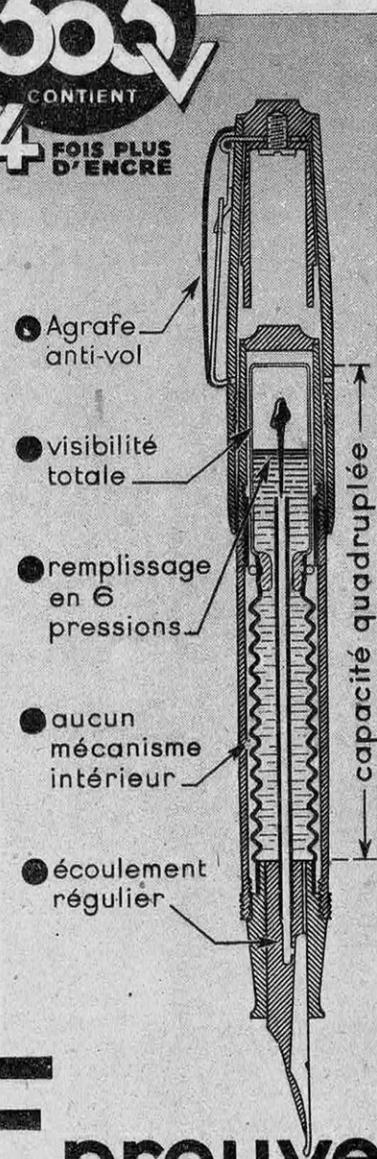
RADIO-SEBASTOPOL 100 B

FOURNISSEUR DES P.T.T. PREFECTURE - S.N.C.F. GÉNÉRALITÉS

Demandez documentation illustrée - Joindre timbre

PARDIES - AG. LEBEUF

LE NOUVEAU STYLO
303
CONTIENT
4 FOIS PLUS D'ENCRE



- Agrafe anti-vol
- visibilité totale
- remplissage en 6 pressions
- aucun mécanisme intérieur
- écoulement régulier

capacité quadruplée

E prouvez
 la réelle supériorité
 technique du **303**
 Breveté par les Établissements

STYLOMINE

Usines et Bureaux : 2, rue de Nice, Paris

LES MEILLEURES ÉTUDES PAR CORRESPONDANCE

se font à l'ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS où les meilleurs maîtres, appliquant les meilleures méthodes d'**enseignement par correspondance**, forment les meilleurs élèves. Demandez, en la désignant par son numéro, la brochure qui vous intéresse. Envoi gratuit par courrier.

N° 31660. CLASSES SECONDAIRES COMPLÈTES : Baccalauréats.

N° 31661. CLASSES PRIMAIRES COMPLÈTES : Brevets.

N° 31662. ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : Licence ès Lettres.

N° 31663. COURS D'ORTHOGRAPHE.

N° 31664. COURS DE RÉDACTION.

N° 31665. FORMATION SCIENTIFIQUE : (Math., Phys., Chimie).

N° 31666. DESSIN INDUSTRIEL.

N° 31667. INDUSTRIE. Certificats d'aptitude professionnelle.

N° 31668. RADIO, CERTIFICATS DE RADIO DE BORD (1^{re} et 2^e classes).

N° 31669. COMMERCE ET COMPTABILITÉ : Certificats d'aptitude professionnelle.

N° 31670. DYNAMIS (Culture mentale).

N° 31671. PHONOPOLYLOTTE (Anglais, Allemand, Italien, Espagnol).

N° 31672. DESSIN ARTISTIQUE.

N° 31673. COURS D'ÉLOQUENCE.

N° 31674. COURS DE POÉSIE.

N° 31675. FORMATION MUSICALE.

N° 31676. INITIATION AUX GRANDS PROBLÈMES PHILOSOPHIQUES.

N° 31677. COURS DE PUBLICITÉ.

N° 31678. CARRIÈRES DES P. T. T. et des TRAVAUX PUBLICS.

N° 31679. ÉCOLES D'INFIRMIÈRES et ASSISTANTES SOCIALES, ÉCOLES VÉTÉRINAIRES.

Plusieurs milliers de brillants succès aux examens officiels
ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS

16, rue du Général Mallette PARIS (16^e).



MONACO

Apprenez chez vous le Dessin ET LA PEINTURE

Excellente étude à l'aquarelle de notre élève M. J. L., de Sarlat, qui déjà a la valeur d'un professionnel.



Si vous voulez devenir un artiste à votre tour, connaître les joies incomparables du dessinateur et du peintre, améliorer votre situation pécuniaire, **VIVRE** vraiment, vous le pouvez désormais, grâce aux secrets qui vous seront révélés par l'extraordinaire méthode **Voir, Comparer, Traduire**, de l'**ÉCOLE INTERNATIONALE**. En quelques mois, vous apprendrez à dessiner et à peindre, **chez vous**, sans rien changer à vos occupations habituelles et pour une dépense à la portée de tous.

Réclamez aujourd'hui même le passionnant album de renseignements que vous offre l'**ÉCOLE INTERNATIONALE** (Service SV. 12), Principauté de Monaco. Joignez simplement à votre demande vos noms et adresse, ainsi que 10 francs, à votre gré, pour frais de poste.



Très joli croquis à la plume traité largement et bien équilibré de notre élève R. H., de Strasbourg, dès le début de ses cours.



Croquis rapide mais très expressif de l'un de nos élèves à son troisième cours.

SEREZ-VOUS TOUJOURS UN HÉSITANT ?

Votre constante hésitation vous fait manquer des occasions propices et vous écarte du succès.

Vos tergiversations découragent amitiés et appuis les plus précieux. Les événements se tournent contre vous. Alors vous accusez le sort au lieu de vous accuser vous-même...

Apprenez à observer, juger sûrement, organiser, persévérer, commander, capacités qui vous donneront la personnalité d'un chef, de celui qui agit promptement avec la certitude d'atteindre le résultat escompté.

Essayez la méthode psychologique consacrée par cinquante-cinq ans de succès dans le monde entier.

Demandez notre documentation n° VI-20.

INSTITUT PELMAN

176, boulevard Haussmann, PARIS (8^e)

LONDRES, NEW-YORK, AMSTERDAM, DUBLIN
STOCKHOLM, MELBOURNE, DELHI, CALCUTTA, etc.



Dans la Radio et l'Electricité

"En moins d'un an j'ai pu gagner
12.000 frs. par mois..."

Tres vite, j'ai su faire des dépannages et des installations d'États.
Maintenant, je construis des postes et je gagne bien ma vie...

Voilà ce que nous dit un de nos anciens élèves.

Des centaines de références semblables nous parviennent
chaque mois, de tous pays.

SANS QUITTER VÔTRE ESPÈRE



C'est en vous exerçant sur un
matériel véritable que vous
ferez des progrès rapides.

Les collect.
d'expérience
sont envoyés
au cours des
études.

suivez notre méthode
américaine
d'enseignement
professionnel.
Le pratique de la
théorie chez vous par
correspondance.

Des aujourd'hui, demandez
notre Album
l'Électricité et ses Applications:
Radio, Cinéma, Télévision



Nom _____

Adresse _____

JOINDRE 10F
pour tous frais

INSTITUT ELECTRO-RADIO

6, RUE DE TÉHERAN, PARIS, 8^e

Parlez ANGLAIS comme un Anglais

**Favorisez
votre
avancement**

Il faut savoir parler anglais. Ce qui semblait autrefois utile à une élite est devenu une obligation pour tous : employés,

commerçants, courtiers, industriels, techniciens, hôteliers. Demain vous pouvez aller en Angleterre et en Amérique pour vos affaires : comment réussir si vous ne parlez pas l'anglais ?

Demain, le tourisme et le commerce du monde entier passeront par la France, véritable porte d'entrée de l'Europe. Comment accueillir ces voyageurs si vous ne parlez pas leur langue ?

Si vous parlez l'anglais, vous gagnerez bien mieux votre vie, vous accéderez aux postes les plus intéressants, toutes les carrières vous seront ouvertes.

Vous pouvez, très vite, parler couramment

« Parler » ne veut pas dire savoir échanger quelques mots, mais tenir sa place dans toutes les conversations : comprendre son interlocuteur, lui répondre correctement, parler vraiment l'anglais comme un Anglais. Vous obtiendrez ce résultat rapidement et facilement par la Méthode Linguaphone, méthode phonétique avant tout, qui vous familiarisera sans peine avec l'intonation et les sonorités de la langue. Votre prononciation sera parfaite.

Linguaphone vous fera parler l'anglais couramment en quelques mois.

Quel est donc le secret de Linguaphone ?

Si vous voulez le savoir, renseignez-vous sur cette méthode éprouvée depuis vingt-cinq ans par plus d'un million d'élèves dans tous les pays du monde. La méthode Linguaphone, pour apprendre les langues par phono, est la plus rapide et la plus intéressante qui ait jamais été conçue.

Une brochure explique combien il est facile d'apprendre une langue par Linguaphone.

Écrivez sans tarder : cette brochure vous sera envoyée par retour, gratuitement et sans engagement de votre part. Vous y trouverez une documentation complète sur cette merveilleuse méthode. Et les conditions pour faire un essai gratuit chez vous.

Disques
actuellement
disponibles :
ANGLAIS
ALLEMAND
ESPAGNOL
RUSSE

LINGUAPHONE

(Dépt. 0. 2), 12, r. Lincoln, PARIS (8^e)

TOUS LES JEUNES GARÇONS et FILLES

Sans quitter vos occupations, devenez

RADIO-TECHNICIENS

ou

DESSINATEURS INDUSTRIELS

en suivant les cours de

l'École Spéciale des Techniques Modernes

14, rue Volta, TOULOUSE

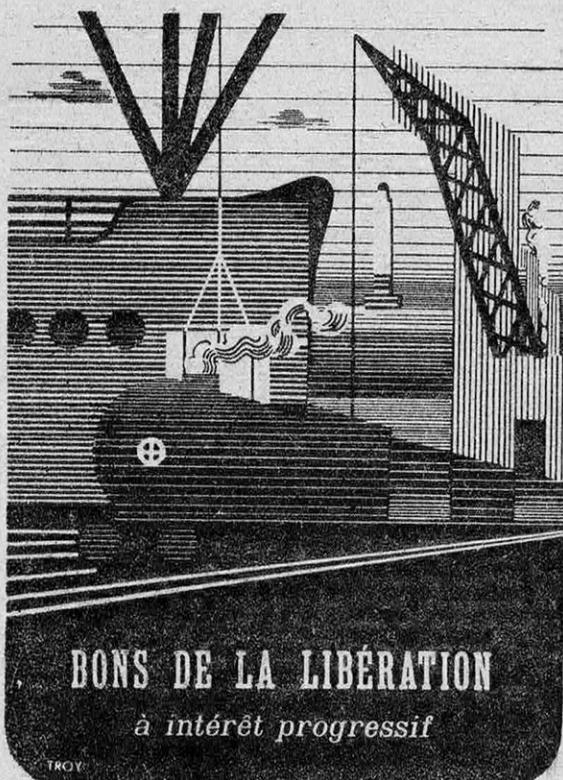
I. — **Le RADIO** ouvre de belles situations dans l'Industrie et l'Artisanat, l'Administration, l'Armée, l'Aviation.

Enseignement pré militaire Radio approuvé par le Ministère de l'Air.

Stages pratiques dans une École Radio de l'Aviation Militaire.

II. — **Le DESSIN** conduit à toutes les branches d'activité : industrie, constructions, urbanisme, topographie, etc. Nombreuses et bonnes situations assurées en France et dans les territoires de l'Union Française.

Pour tous renseignements, écrire au Directeur de l'École. (Spécifier la branche choisie.)



BONS DE LA LIBÉRATION

à intérêt progressif

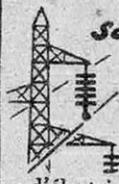
TROY

APPRENEZ

L'ÉLECTRICITÉ

PAR CORRESPONDANCE

sans connaître les mathématiques!



TOUS les phénomènes électriques ainsi que leurs applications industrielles et ménagères sont étudiés dans le cours pratique d'électricité sans nécessiter aucune connaissance mathématique spéciale. Chacune des manifestations de l'électricité est expliquée à l'aide de comparaison avec des phénomènes connus. En dix mois vous serez à même de résoudre tous les problèmes pratiques de l'électricité industrielle. Ce cours s'adresse aux praticiens de l'électricité, radio-électriciens, mécaniciens, vendeurs de matériel électrique et à tous ceux qui sans aucune étude préalable désirent connaître réellement l'électricité, tout en ne consacrant à ce travail que quelques heures par semaine.

↓ Demandez la documentation en envoyant ou en recopiant le bon ci-dessous. — Joindre 6 frs en timbres.

BON 55 D

COURS PRATIQUE D'ÉLECTRICITÉ

222, Bd. Péreire - Paris 17^e

Devenez REPORTER ou CORRESPONDANT de Presse

SPORTIF - THÉÂTRAL - CINÉMA
INFORMATION - CRIMINEL - VOYAGES

En suivant notre cours de
JOURNALISME

Si vous aimez le **DESSIN**, le **CROQUIS**

Suivez notre cours de

CARICATURISTE

TOUS CES COURS PAR CORRESPONDANCE PEUVENT ÊTRE SUIVIS SANS QUITTER VOS OCCUPATIONS HABITUELLES

SITUATIONS D'AVENIR
INDEPENDANTES ASSURÉES

Pour tous renseignements gratuits écrire à l'

ÉCOLE TECHNIQUE DE REPORTAGE
8, boulevard Michelet, 8
TOULOUSE



AVEC VOUS
jusqu'au Succès final!

RADIO-CINÉMA-AVIATION

JEUNES GENS... JEUNES FILLES...

Ces carrières modernes répondent bien à vos aspirations. Préparez-les en suivant nos cours **PAR CORRESPONDANCE**.

Notre organisation spécialisée sera tout entière avec vous jusqu'au succès final. Elle groupe, sous la direction d'une élite de professeurs, les Ecoles suivantes :

ÉCOLE GÉNÉRALE RADIOTECHNIQUE
 (Monteurs-dépanneurs, dessinateurs, opérateurs, sous-ingénieurs et ingénieurs.)

ÉCOLE GÉNÉRALE AÉRONAUTIQUE
 (Préparation technique du pilote d'avion, de navigateurs radios, mécaniciens, dessinateurs.)

ÉCOLE GÉNÉRALE PHOTOGRAPHIQUE
 (Opérateurs des studios d'art, techniciens de laboratoires, reporters, photographes.)

PRÉPARATION aux Brevets officiels d'opérateurs projectionnistes.

Pour recevoir gratuitement la documentation de l'École qui vous intéresse, écrivez en vous recommandant de Science et Vie, au



CENTRE D'ÉTUDES TECHNIQUES ET ARTISTIQUES

69, rue Louise-Michel, LEVALLOIS (Seine) — Tél. : Pereire 55-10

— PUBLÉDITEC-DOMENACH —

ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL

152, Avenue de Wagram, PARIS (17^e)

Enseignement par correspondance

MATHÉMATIQUES Les Mathématiques sont accessibles à toutes les intelligences, à condition d'être prises au point voulu, d'être progressives et d'obliger les élèves à faire de nombreux exercices. Elles sont à la base de tous les métiers et de tous les concours. Candidats, apprenez les Mathématiques par la méthode de l'École du Génie Civil. Cours à tous les degrés, de même que pour la Physique, la Chimie.

MÉCANIQUE ET ÉLECTRICITÉ De nombreuses situations sont en perspective dans la Mécanique générale et l'Électricité. Les cours de l'École s'adressent aux élèves des lycées, des écoles professionnelles, ainsi qu'aux apprentis et techniciens de l'Industrie. Les cours se font à tous les degrés : Apprenti, Monteur, Technicien, Dessinateur Sous-Ingénieur et Ingénieur.

CONSTRUCTIONS AÉRONAUTIQUES Cours de Monteurs, Techniciens, Dessinateurs, Sous-Ingénieurs.

AVIATION CIVILE Brevets de navigateurs aériens, de Mécaniciens d'aéronefs et de Pilotes. Concours d'Agents techniques de l'Aéronautique et d'Ingénieurs militaires des Travaux de l'Air.

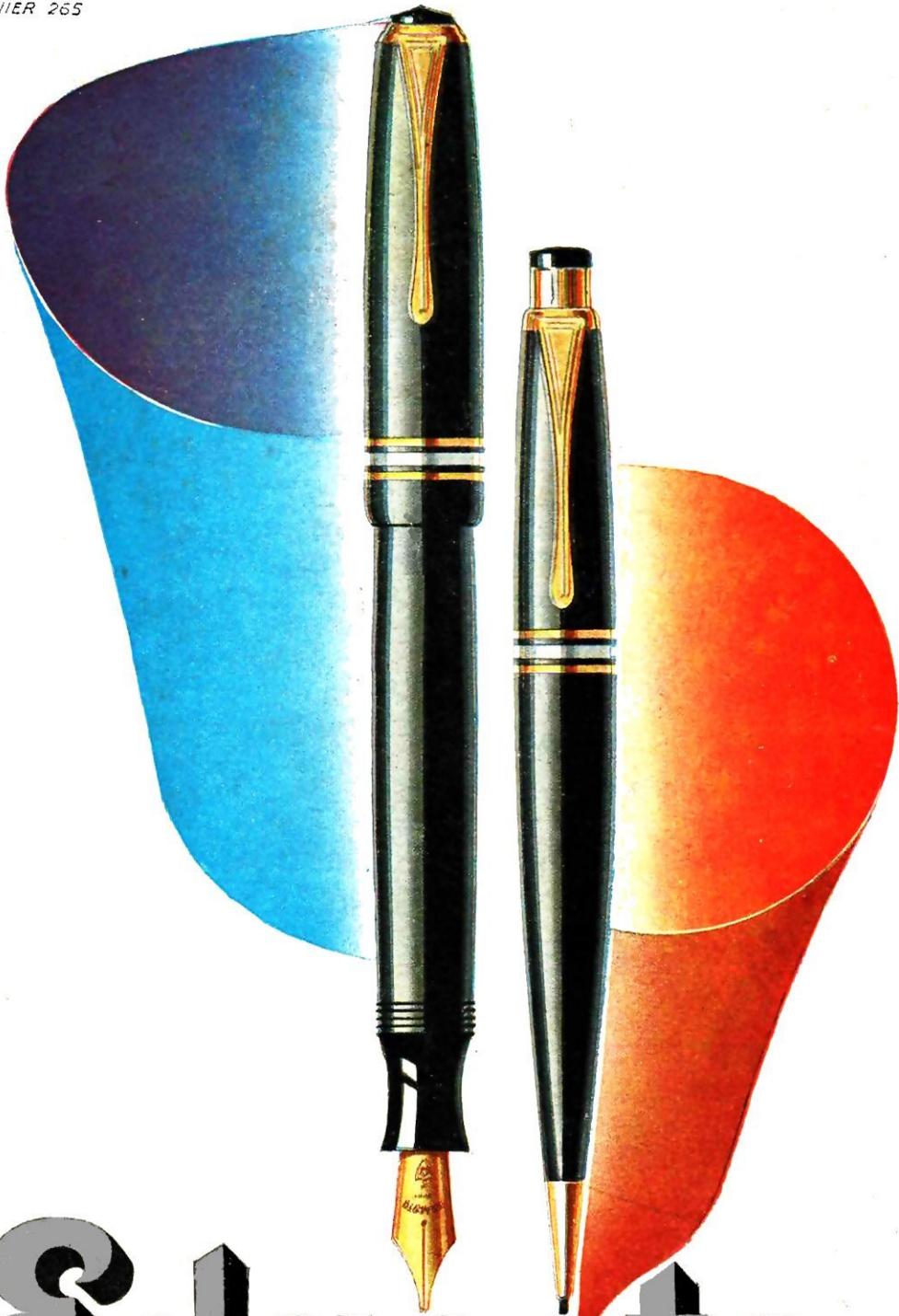
MARINE MARCHANDE Préparation à l'examen d'entrée dans les Écoles Nationales de la Marine marchande. Préparation au brevet d'officier mécanicien de deuxième classe.

MARINE MILITAIRE Préparation aux Écoles de Maistrance et d'Élèves Ingénieurs Mécaniciens.

T. S. F. Préparation aux carrières de la Radio : P. T. T., Aviation, Marine, Colonies, Défense du territoire, Construction industrielle. Dépannage, Télévision, Cinéma.

Envoi franco du programme de chaque section contre 10 fr. en timbres ou mandats pour les Colonies et l'Étranger.

CH. LEMONNIER 265



Edacoto 87

Le stylo de France

René Ravo

USINES : PARIS ET ORLÉANS

EN VENTE PARTOUT