

SCIENCE ET VIE

JUIN 1947

N° 357

30 FRANCS



Bénéficier...

toute votre vie du renom d'une Grande Ecole Technique

Devenir...

un de ces spécialistes si recherchés, un technicien compétent,

En suivant...

les cours de l'



ECOLE CENTRALE DE T.S.F.

12, RUE DE LA LUNE PARIS

COURS DU JOUR, DU SOIR
OU PAR CORRESPONDANCE

Demander le Guide des Carrières gratuit



J'aime le DESSIN!

Merci de m'avoir initié à cet art exaltant !...

Voilà ce qu'écrit à Marc SAUREL l'un des nombreux élèves qu'il a formés et dont il a fait des artistes. On sait que Marc SAUREL est le véritable père de l'enseignement du dessin par correspondance, qu'il a été le premier à lancer en France dès 1912 et qu'il pratique depuis trente-cinq ans exactement.

Sa nouvelle méthode « LE DESSIN FACILE », fruit d'une expérience unanimement reconnue, ne ressemble à aucune autre. Elle utilise d'une façon ingénieuse le document photographique ; ses magnifiques planches modèles facilitent à l'extrême les débuts de l'élève. Elle développe chez lui la mémoire visuelle par un entraînement méthodique et l'amène à dessiner sans modèle, c'est-à-dire à « créer ».

Croquis d'après nature par un de nos élèves.

VOUS QUI AIMEZ LE DESSIN, écrivez en toute confiance à Marc SAUREL, demandez-lui conseil : il vous orientera vers le genre de dessin ou de peinture qui convient à votre tempérament. L'un de ses cours est fait pour vous.

BON 572

Cette jolie brochure illustrée de 16 pages, véritable introduction à l'art passionnant du dessin, vous sera envoyée contre ce bon et 12 frs en timbres. Soulignez le genre qui vous intéresse.



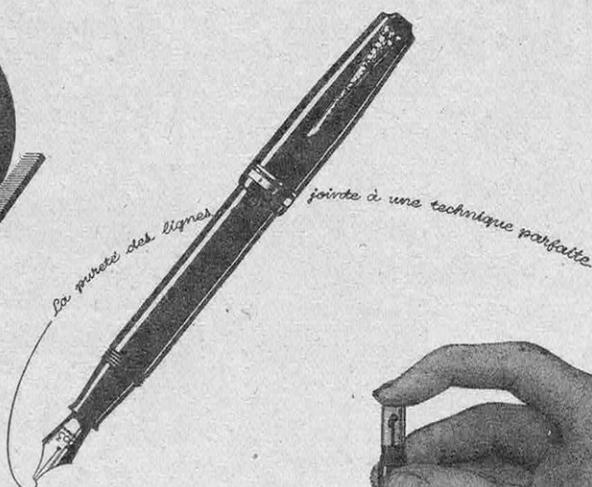
CROQUIS - PAYSAGE - PORTRAIT - PEINTURE - DESSIN DE MODE - ILLUSTRATION AFFICHE ET PUBLICITÉ - DESSIN ANIMÉ DE CINÉMA - DESSIN INDUSTRIEL - DESSIN DE LETTRES - COURS POUR ENFANTS DE 6 A 12 ANS.

"LE DESSIN FACILE"

11, RUE KEPPLER - PARIS (16^e)



LE REMPLISSAGE TOTAL
EST DEVENU UN JEU,
GRÂCE AUX BREVETS
DES USINES FRANÇAISES
STYLOMINE
POMPAGE IDÉAL VISIBLE
POUR REMPLIR TOTALEMENT
6 PRESSIONS SUFFISENT
LE 303 EST LE STYLO DES CONNAISSEURS



LA GRANDE MARQUE

STYLOMINE

HONORE L'INDUSTRIE FRANÇAISE

Vous ne trouverez pas le mot STYLOMINE au dictionnaire, c'est une marque déposée en 1921 sous le N° 199.226.



Imité... jamais égalé!

Pour effacer l'encre sur le papier
sans le jaunir.

Pour enlever les taches d'encre, les taches
de fruit, de vin, de teinture d'iode sur les
étoffes blanches, le bois, les mains,

Il n'y a que le
Corector

Refusez les imitations
EXIGEZ LA BOITE **Corector**



Pour les études de vos enfants, pour vos propres études,

n'hésitez pas à recourir à l'enseignement
par correspondance de

L'ÉCOLE UNIVERSELLE

qui a comblé une grave lacune. Grâce à l'École Universelle, en effet, tous ceux qui étaient jusqu'ici empêchés de s'instruire, parce qu'ils résident loin d'un centre ou parce que leur état de santé les retient à la maison, peuvent désormais travailler chez eux. Il en est de même de tous ceux qui sont astreints à de fréquents déplacements ou qui ont un retard à rattraper, ou qui se trouvent dans l'impossibilité de poursuivre leurs études à un rythme normal, et aussi ceux qui sont dans la nécessité de gagner leur vie. L'enseignement individuel de l'École Universelle permet à chacun de faire chez soi, à tout âge, sans dérangement, dans le minimum de temps, aux moindres frais, quel que soit le degré d'instruction de l'élève, en toute discrétion s'il le désire, toutes les études qu'il juge utiles, quel que soit le but qu'il veuille atteindre.

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

Br. 21.520 : ENSEIGNEMENT PRIMAIRE : Classes complètes ; préparation au C. E. P., Bourses, Brevets, etc.
Br. 21.521 : ENSEIGNEMENT SECONDAIRE : Classes complètes depuis la onzième jusqu'à la classe de Mathématiques spéciales incluse, Bourses, Examens de passage, Baccalauréats, etc.

Br. 21.522 : ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : Licences (Lettres, Sciences, Droit), Professorats.

Br. 21.523 : GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES.

Br. 21.524 : POUR DEVENIR FONCTIONNAIRE : Administrations financières, P. T. T., Police, Ponts et Chaussées, Génie rural, etc.

Br. 21.525 : CARRIÈRES DE L'INDUSTRIE, des MINES et des TRAVAUX PUBLICS, Certificats d'aptitude professionnelle et Brevets professionnels.

Br. 21.526 : CARRIÈRES DE L'AGRICULTURE et du Génie rural.

Br. 21.527 : COMMERCE, COMPTABILITÉ, INDUSTRIE HOTELIÈRE, ASSURANCES, BANQUE, BOURSE, etc... Certificats d'aptitude professionnelle et Brevets professionnels.

Br. 21.528 : ORTHOGRAPHE, RÉDACTION, CALCUL, ÉCRITURE.

Br. 21.529 : LANGUES VIVANTES, TOURISME, Interprète, etc...

Br. 21.530 : CARRIÈRES de l'AVIATION MILITAIRE et CIVILE.

Br. 21.531 : CARRIÈRES de la MARINE de GUERRE.

Br. 21.532 : CARRIÈRES de la MARINE MARCHANDE (Pont, Machines, Commissariat).

Br. 21.533 : CARRIÈRES des LETTRES (Secrétariats, Bibliothèque, etc...)

Br. 21.534 : ÉTUDES MUSICALES : Solfège, Harmonie, Composition, Piano, Violon, Chant, Professorats.

Br. 21.535 : ARTS DU DESSIN : Professorats, Métiers d'art, etc...

Br. 21.536 : COUTURE, COUPE, MODE, LINGERIE, etc...

Br. 21.537 : ARTS DE LA COIFFURE ET DES SOINS DE BEAUTÉ.

Br. 21.538 : CARRIÈRES DU CINÉMA.

Milliers de brillants succès aux baccalauréats, brevets et tous examens et concours.

ÉCOLE UNIVERSELLE
la plus importante du monde

59, boulevard Exelmans, PARIS
ou : **chemin de Fabron, NICE**

Aux U.S.A. plus de Culture sans HORMONES VÉGÉTALES synthétiques

TRANSPLANTONE

facilite la reprise des plantes repiquées ou transplantées.

ROOTONE

active la croissance des racines sur les plantes et semences.

FRUITONE

bonifie les récoltes en évitant la chute prématurée des fruits.

WEEDONE

puissant désherbant sans action sur les céréales et les graminées.

Produits de l'
AMERICAN CHEMICAL PAINT CO
fabriqués par la

Cie Fse de PRODUITS INDUSTRIELS

Siège Social et Usine :

85, rue Raymond-Teissière, Marseille - D. 94-28

Envoi de notices sur demande

Les 3 Grands de la Radio

POLYMESUREUR
Prix (port en sus) 15.500.

SUPER-CONTRÔLEUR
Prix (port en sus) 9.975.

POLYMÈTRE
Prix (port en sus) 9.975.

Expéditions FRANCE, COLONIES et ÉTRANGER
Catalogue avec prix contre 10 francs.

CIRQUE - RADIO

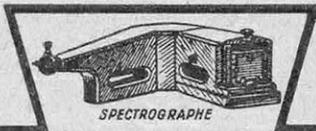
24, boulevard des Filles-du-Calvaire, PARIS (11^e)
Tél. : ROquette 61-08 C. C. PARIS 445-66

OPTIQUE DE GRANDE PRÉCISION



MARQUE DÉPOSÉE

SPECTROGRAPHE à grande luminosité et à grande dispersion destiné à l'étude de l'effet Raman. SPECTROGRAPHE universel à prismes de verre (3.800-8.000 Å). OBJECTIFS SPÉCIAUX pour spectrographes. CONDENSEUR à grande ouverture pour l'effet Raman. VISIONNEUSE destinée à regarder les films petit format. RÉFRACTOMÈTRE pour mesure de la densité ou des matières sèches des jus de betteraves, de tomates, de raisins, etc. LECTOR destiné à la lecture pratique des micro-films. RÈGLE OPTIQUE pour la vérification de planéité et d'alignement de haute précision. JUMELLES, LONGUES-VUES BINOCULAIRES, INSTRUMENTS de TOPOGRAPHIE et tous appareils d'optique de haute précision.



SPECTROGRAPHE

PUB.



SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'OPTIQUE
76, BOULEVARD DE LA VILLETTE - PARIS

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



PRÉSENTE

**WATERPROOF
STAINLESS**



CATALOGUE SUR DEMANDE

Modèles Réduits
A. MORIN

Le Spécialiste des Petits Moteurs. Vous offre



15 PLANS DE MOTEURS

TYPES A ESSENCE ET DIESEL. MONO ET BI-CYLINDRES. CYLINDREE DE 3 à 40 cm³
PUISSANCE DE 1/5 à 15 CV

12 Des plans uniques en France PLANEURS ET AVIONS

DU MODELE DE DEBUTANT A L'APPAREIL DE GRANDE PERFORMANCE. AVIONS A MOTEUR ESSENCE de 5 à 10 cm³

3 AVIONS RADIO-GUIDES

MAGNIFIQUES PLANS SUPER-DETAILLES PERMETTANT LA COMMANDE A DISTANCE PAR T.S.F.

Prochainement Moteurs à ESSENCE AMERICAINS POUR RECORDS ET VOL CIRCULAIRE.

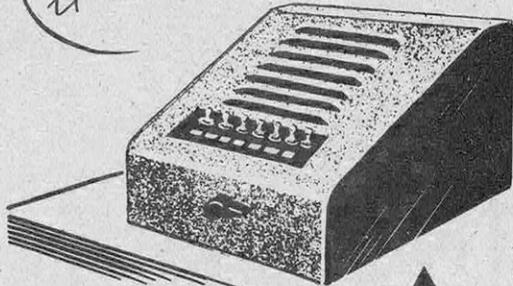
MOTEURS A RÉACTION Pour Modèles Réduits

CATALOGUE M15 50 pages illustrées
ENVOYÉ CONTRE 20 FRANCS

A. MORIN 7 RUE DES GARDES
PARIS. (18)



O.P.



INTERVOX

TELEPHONE IDÉAL EN HAUT PARLEUR
INTERCOMMUNICATION TOTALE



135, Av du GÉNÉRAL MICHEL-BIZOT - PARIS 12^e
6, Rue Victor-Chevreuril Tel. DID. 03-92

UN VÊTEMENT DE CUIR pour 63 frs

peut être remis à neuf et imperméabilisé
assoupli par vous-même mais avec
la nourriture

VIE-CUIR

a des ateliers spéciaux
pour la réparation, trans-
formation et remise à neuf
de tous vêtements cuir.
Rénovation de teintures
de chaussures, sacs,
serviettes, fauteuils de
cuir, etc.

VIE-CUIR

81, rue Saint-Maur
PARIS (XI^e)

Même maison à
BORDEAUX

16, rue d'Arès

VIE-CUIR, produit scientifique →
pour l'imperméabilisation
et entretien du cuir



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

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

PUBL. BONNANGE

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

AUTOMOBILE - AVIATION - CINÉMA - MA
ELECTRICITE - ELEVAGE - ENSEIGNEMENT
RADIO - TELEVISION
MECANIQUE - PHOTO
DESSIN - DICTIONNAIRE

LIBRAIRIE

SCIENCES et LOISIRS

LE PLUS
GRAND CHOIX D'OUVRAGES
TECHNIQUES DE VULGARISATION SCIENTIFIQUE
ET D'UTILITÉ PRATIQUE.

CATALOGUE N° 12 CONTENANT SOMMAIRES DE 750
OUVRAGES, FRANCO CONTRE
10 FRANCS EN TIMBRES.

EXPÉDITIONS IMMÉDIATES
FRANCE ET COLONIES.

ENCYCLOPÉDIES -
MENT GENERAL -
JEUX DE SOCIÉTÉ
TISME - ASTROLOGIE
ET YACHTING -
MENUISERIE -
TELIE - PHILOSOPHIE
RADIO-AMATEURS - SCIENCES
LANGUES ÉTRANGÈRES - JARDINAGE

17, AV. de la RÉPUBLIQUE
PARIS (XI^e) Métro : République

La Librairie de Paris
au Service de toute la France!

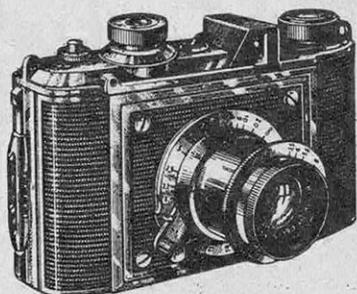


PHOTO
CINÉ
RADIO

PHOTO-HALL

5, RUE SCRIBE, PARIS 9^e

Catalogue T — 10 frs Fco

SPECIAL CAMPING

16. BOULEVARD VOLTAIRE. PARIS
11. COURS LIEUTAUD. MARSEILLE
17. Rue du MARECHAL JOFFRE. RENNES

Grand choix de

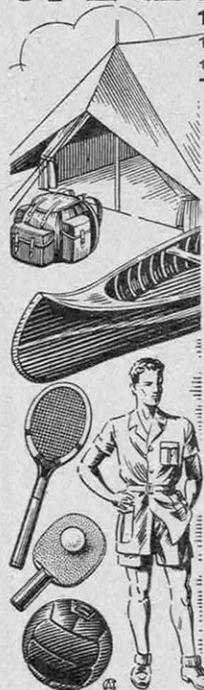
- TENTES - SACS A DOS -
- MATELAS PNEUMATIQUES
- SACS DE COUCHAGE -
- LITS DE CAMP - USTENSILES
et VÊTEMENTS DE CAMPING

CANOËS BOIS ET ALU-BLOC
KAYACKS PLIANTS
- ET RIGIDES -
BATEAUX DE PÊCHE, etc...

Tous les articles de sport :
TENNIS - PING-PONG
ATHLÉTISME - FOOTBALL, etc

VÊTEMENTS DE TOILE
BLOUSONS - WINDJACKS
- PANTALONS GOLF -
MAILLOTS DE BAIN
SWEAT-SHIRTS
IMPERMÉABLES

Catalogue S Camping
ou Vêtements contre 5 francs



Vous DESSINEZ DONC VOUS POUVEZ GAGNER DE L'ARGENT

Le dessin n'offre pas seulement des joies personnelles : il peut, si vous vous spécialisez, vous rapporter des gains intéressants. Les bons dessins sont rares, recherchés et bien payés. Un bon dessinateur ne chôme jamais.

Vous pouvez vous créer une situation indépendante et lucrative, aussi bien en province qu'à Paris, en suivant les cours par correspondance de l'École A. B. C. En plus de l'enseignement général du dessin, l'École A. B. C. met à la disposition de ses élèves, et sans supplément de prix, les cours suivants :

- Dessin publicitaire
- Dessin de mode
- Illustration
- Portrait
- Dessin humoristique
- Décoration
- Paysage



Excellent croquis de reportage réussi par un de nos élèves à sa huitième leçon.

DEMANDEZ LA NOU- VELLE BROCHURE

Un magnifique album illustré vous est offert gratuitement pour vous documenter sur l'École A. B. C. et ses cours de spécialisation. Demandez-le sans tarder. En écrivant, dites-nous si vous avez déjà dessiné et quelle spécialité vous attire. (Joindre 9 francs pour frais d'envoi.)

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



Et voici une paysanne du Lauraguais, pittoresque et vraie, croquée sur quelque marché par un de nos élèves devenu illustrateur.

ÉCOLE A. B. C. DE DESSIN

(Studio B. 66) - 12, rue Lincoln, PARIS (VIII^e)

Veillez m'envoyer, sans engagement de ma part, votre album illustré donnant tous renseignements sur la Méthode A.B.C. (Joindre 9 francs pour frais.)

NOM

ADRESSE

Et surtout écrivez-nous avec détails ; nous répondrons à vos questions.



Un poste de radio gratuit

Comme avant la guerre...

L'ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE
fournit gratuitement, à tous ses élèves, le matériel
nécessaire à la construction d'un récepteur moderne.

Ainsi les **COURS TECHNIQUES** par correspondance
sont complétés par des **TRAVAUX PRATIQUES**
Vous-même, dirigé par votre Professeur Géo MOUSSERON,
construirez un poste de T. S. F.

CE POSTE, TERMINÉ, RESTERA VOTRE PROPRIÉTÉ

Documentation gratuite affranchie philatéliquement sur demande :

ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE
9, AVENUE DE VILLARS, PARIS (VII^E)



*Une Situation
d'avenir en
étudiant chez soi*

DESSIN INDUSTRIEL RADIO

Méthode d'enseignement
INÉDITE, EFFICACE et RAPIDE
sous la direction de profes-
seurs de valeur.

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

BACCALAUREATS TECHNIQUES
...des carrières sédui-
santes et bien rémunérées

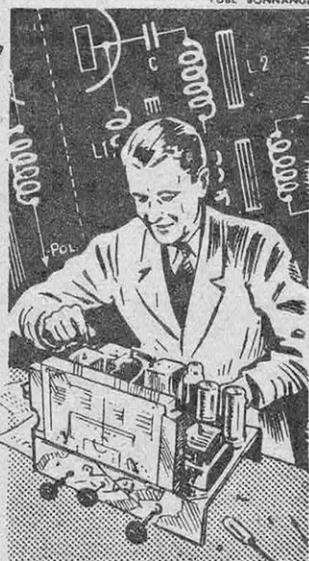
Nos services d'Orientation Professionnelle et de
placement sont à la disposition
de nos élèves.

DOCUMENTATION GRATUITE
(spécifier 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.



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

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

SCIENCE ET VIE

Tome LXXI, - N° 357

Juin 1947

SOMMAIRE

- ★ Les fusées de décollage, par Jacques Brédat..... 263
- ★ « Bulldozers » et routes stratégiques, par E. Lemaire... 272
- ★ La douleur et ses remèdes, par Paul Chauchard..... 281
- ★ Le chauffage par thermopompe, par Henri François..... 291
- ★ L'éclairage moderne par lampes fluorescentes, par M. Dérivé..... 299
- ★ A côté de la Science, par V. Rubor..... 308



La fusée était encore avant la guerre un artifice si délicat à manipuler que les artilleurs eux-mêmes, la considérant comme trop dangereuse, renonçaient à s'en servir pour le lancement de leurs projectiles. Aujourd'hui, elle est parfaitement au point et son fonctionnement est si régulier qu'elle est devenue un véritable moteur, capable de communiquer non seulement à des projectiles, mais à toutes sortes d'engins volants, une accélération élevée pendant un court instant. La fusée est particulièrement précieuse pour aider au décollage des avions de gros tonnage ou des avions à réaction qui, sans elle, auraient besoin de pistes d'envol démesurément longues. La couverture de notre numéro représente un chasseur américain à réaction Lockheed P-80 « Shooting-Star » décollant avec l'aide de ses deux fusées auxiliaires. Le décollage assisté est devenu pratique courante, non seulement dans l'aviation militaire, mais dans l'aviation sportive, touristique et commerciale. (Voir l'article page 263 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 : Élysées 26-69 et Balzac 02-97.
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 », juin mil neuf cent quarante-sept.

ABONNEMENTS. — Affranchissement simple : France et Colonies, 300 francs.
Recommandé : supplément, 100 francs. Étranger : 450 francs ; recommandé, 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.



Hydravion américain Martin PBM "Mariner" de 22 t décollant assisté de deux fusées J.A.T.O.

LES FUSÉES DE DÉCOLLAGE

par Jacques BRÉDAT

Le problème du décollage « assisté » intéresse aujourd'hui toute l'aviation, depuis le planeur de vol à voile qui doit gagner rapidement l'altitude, où une « ascendance » l'emportera, jusqu'à l'avion commercial de gros tonnage pour qui les pistes bétonnées des aérodromes ne sont jamais assez longues, depuis le chasseur embarqué sur porte-avions ou l'avion-fusée supersonique jusqu'au bombardier multimoteur à réaction. Les solutions proposées et expérimentées sont nombreuses : chariots ou hydroglisseurs porteurs, catapultes à air comprimé, à poudre ou électriques, avions composites ou avions de ravitaillement en vol. Chacune d'entre elles a son domaine d'application propre, suivant le tonnage des appareils, l'accélération maximum admissible, la vitesse d'envol et les conditions d'exploitation. C'est au cours de la dernière guerre que sont apparues les fusées auxiliaires pour le décollage des chasseurs à réaction et des engins spéciaux. Leur technique d'emploi s'est perfectionnée et peut s'appliquer déjà aux types d'appareils les plus divers, du monomoteur de tourisme à l'hydravion de cent tonnes. Leur emploi s'est étendu des appareils militaires aux avions commerciaux, domaine où leur généralisation peut être rapide devant l'augmentation constante des tonnages et des charges alaires qui fait apparaître rapidement insuffisantes les installations les plus largement calculées des grands aérodromes.

UN avion ne peut quitter le sol qu'après avoir roulé un certain temps sur le terrain afin d'acquies une vitesse suffisante pour que la « portance » de sa voilure excède son poids ; de même, un hydravion doit effectuer un certain temps d'hydroplanage. La longueur de la course nécessaire à l'envol est fonction d'un certain nombre de facteurs dont les principaux sont la charge de l'aile au mètre carré de surface, qui conditionne la vitesse minimum de sustentation, et la puissance que peuvent développer ses moteurs. Par l'emploi de dispositifs hypersustentateurs (volets de courbure et d'intrados, fentes...) on parvient à augmenter sensiblement la portance aux faibles vitesses. On fait d'autre part développer aux moteurs leur puissance maximum, ce qu'on ne peut d'ailleurs se permettre sans danger pour leur « vie » que pendant un temps relativement court, au plus une centaine de secondes. Cependant, malgré l'emploi d'hélices à pas variable, le rendement de propulsion est très mauvais pendant la plus grande partie de la course d'accélération, la vitesse de l'appareil demeurant faible, et l'effort propulsif s'en trouve réduit. Il est donc du plus haut intérêt, dans nombre de cas, de pouvoir appliquer à l'appareil une poussée momentanée supplémentaire qui abrégera la durée de son décollage.

Une des solutions les plus séduisantes de ce problème à l'ordre du jour est fournie par les propulseurs auxiliaires à réaction. Ce sont de véritables fusées, c'est-à-dire des engins n'empruntant rien à l'atmosphère et emportant à la fois leur combustible et leur comburant, ou, d'une manière plus générale, les corps dont le mélange provoquera une libération abondante d'énergie thermique qu'une tuyère transformera en énergie cinétique de gaz violemment projetés vers l'arrière. La poussée qu'ils fournissent est égale au produit de la masse de gaz éjectée par seconde par la vitesse d'éjection. Les fusées ont, d'une manière générale, une très

forte consommation, avec un faible rayon d'action. Pour l'application qui nous occupe, cela est sans inconvénient, puisqu'il s'agit d'un fonctionnement de quelque dizaines de secondes.

Les applications à l'aéronautique navale

Les fusées de décollage ont des applications militaires évidentes pour faciliter l'envol des chasseurs rapides à forte charge alaire et ne disposant que d'un espace limité : c'est le cas, en particulier, des chasseurs de porte-avions, comme le Vickers-Supermarine « Seafire » anglais ou le Vought F 4 U-4 « Corsair » américain, ou des bombardiers-torpilleurs tels que le vieux Fairey « Swordfish » ou le Fairey « Barracuda » plus récent. Tous ces types ont pu recevoir deux ou quatre fusées qui, après avoir fonctionné pendant un temps très court, de l'ordre de 5 à 10 s, peuvent être larguées en vol pour alléger les appareils.

Mais la réduction de la longueur d'envol présente un intérêt non moins grand pour bien d'autres types d'appareils. Tel est le cas, par exemple, des hydravions dont la coque, par mer agitée, fatigue énormément sous l'effet des chocs à la rencontre des vagues, même lorsque celles-ci sont peu accusées. Aux États-Unis, l'hydravion géant Martin JRM-1 « Mars », qui est en service entre San-Francisco et Honolulu, décolle normalement au poids de 70 t en 90 s, et en 51 s seulement lorsqu'il est muni de 12 fusées J. A. T. O. sous les ailes. On a proposé également d'utiliser ces propulseurs auxiliaires avec des hydravions ou des amphibies de tourisme, ce qui leur permettrait d'accéder à des plans d'eau de dimensions réduites. De tels appareils, dont les types les plus caractéristiques aux États-Unis sont le Republic « Seabee » et le Grumman « Wildgeon », semblent très en faveur dans la région des Grands Lacs.

Il n'est pas besoin d'insister sur le rôle que peuvent jouer les fusées auxiliaires pour le décollage d'un multimoteur avec un moteur arrêté, et, lors d'un décollage normal, dans l'éventualité d'une baisse de régime d'un des moteurs pour faire franchir un obstacle. La manœuvre dans ces deux cas doit cependant être délicate, et, comme il s'agit de situations exceptionnelles, il semble difficile d'y entraîner les équipages.

Le décollage par fusées des avions commerciaux

Mais c'est surtout dans le domaine des avions de transport géants et lourds que les fusées auxiliaires de décollage paraissent devoir jouer leur rôle économiquement le plus avantageux. Déjà les pistes des aérodromes intercontinentaux sont longues de plusieurs kilomètres. Pour accueillir les monstres de plusieurs centaines de tonnes actuellement en projet, il faudra sans doute les allonger encore, ce qui, dans de nombreux cas, risque de ne pas être matériellement possible. De nombreux essais de décollage assisté par fusées ont eu lieu avec des appareils commerciaux et en ont démontré les avantages. C'est ainsi qu'un Douglas DC-3 « Dakota », qui normalement, au poids de 11 t, exige 1 200 m au niveau de la mer pour décoller et franchir un obstacle de 15 m, ne demande plus que 780 m quand il est équipé d'une fusée J. A. T. O. exer-

çant pendant 15 s. une poussée supplémentaire de 450 kg ; à 1 500 m d'altitude, les chiffres passent de 1 650 m sans propulsion auxiliaire à 1 085 m avec une fusée J. A. T. O. Avec un Douglas DC-4 « Skymaster », à pleine charge, la longueur d'envol normal de 900 m a pu être ramenée à 210 m seulement, d'une part en attendant pour desserrer les freins des roues que les moteurs aient atteint leur pleine puissance, et d'autre part en allumant simultanément pendant le roulement quatre fusées J. A. T. O. Le gain sur la longueur de roulement est ici de 75 %, chiffre évidemment exceptionnel. Rappelons que le Lockheed P-2 V « Neptune » *Truculent Turtle* qui battit le record du monde de distance en septembre dernier (1), a décollé avec sa lourde charge de carburant de l'aérodrome de Perth, en Australie, à l'aide de trois fusées de décollage J. A. T. O.

Mais on peut envisager les avantages du décollage assisté sous l'angle plus directement commercial de l'augmentation de la charge utile pour une longueur de piste déterminée. Cette considération prend une importance particulière pour les aérodromes aménagés à haute altitude, tels que ceux que l'on rencontre sur la ligne anglaise d'Afrique du Sud, au Mexique et en Amérique centrale ou australe. C'est ainsi

(1) Le Lockheed P-2 V « Neptune » *Truculent Turtle* a parcouru 18 081 km de Pierce Field, Perth (Australie) à Columbus (Ohio, États-Unis).

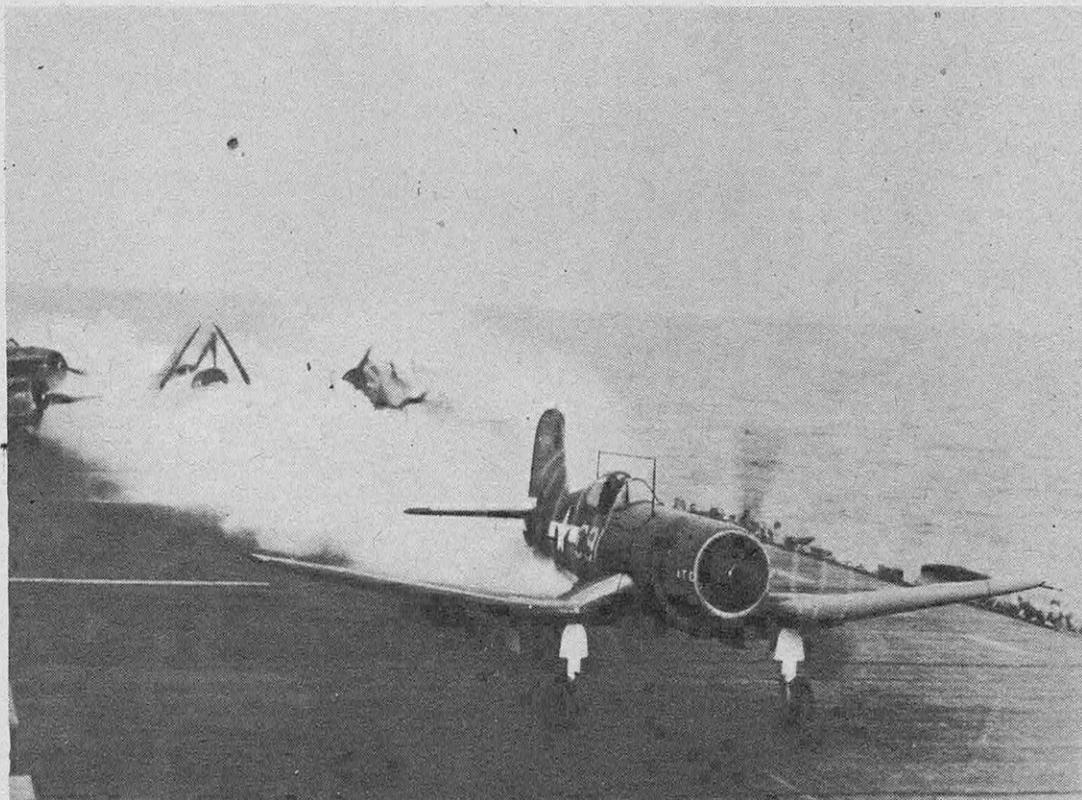


FIG. 1. — UN CHASSEUR DE LA MARINE AMÉRICAINE VOUGHT-SIKORSKY F 4 U-3 « CORSAIR » DÉCOLLANT À L'AIDE DE FUSÉES J. A. T. O. DU PONT D'UN PORTE-AVIONS (U. S. I. S.).

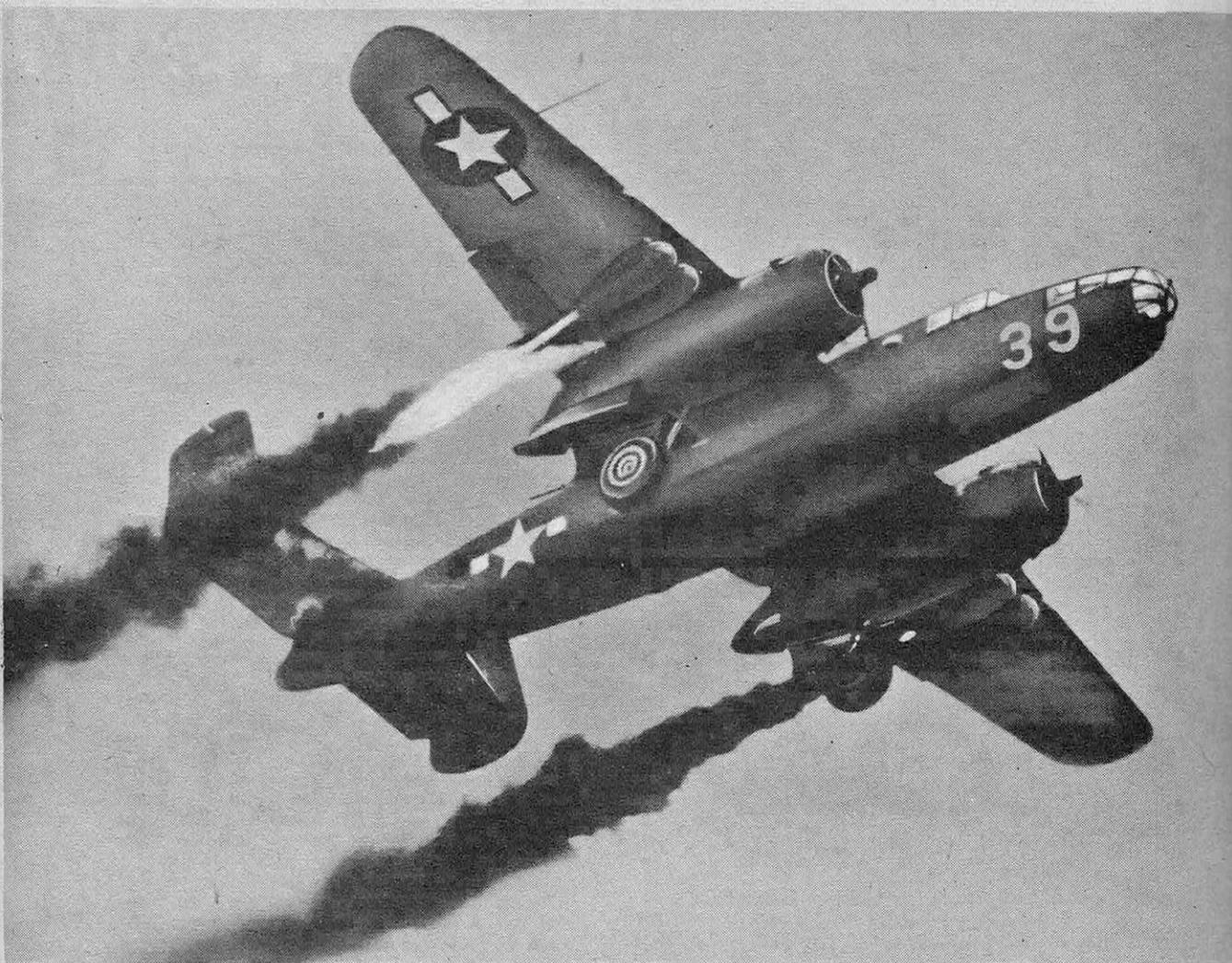


FIG. 2. — UN BOMBARDIER AMÉRICAIN NORTH-AMERICAN B-25 « MITCHELL » DE 11 T A LA FIN D'UN DÉCOLLAGE ASSISTÉ PAR QUATRE FUSÉES AUXILIAIRES

que des essais sont en cours avec les Avro « Tudor II » destinés à la ligne Londres-Johannesburg, où la longueur réduite des pistes et l'altitude des aérodromes nuit à la capacité de chargement des appareils, et par conséquent à leur rendement commercial.

Aux États-Unis, l'Aerojet Engineering Corp., qui fabrique les fusées J. A. T. O., a calculé qu'à Chiclayo, au Pérou, un Douglas C-54 « Skymaster », version militaire de transport du DC-4, équipé de moteurs Pratt et Whitney « Twin Wasp » de 1 350 ch, décollerait, volets d'atterrissage braqués, au poids total de 23 587 kg sans fusées, et de 32 205 kg avec fusées. Chiclayo est pratiquement au niveau de la mer (23 m d'altitude), mais la longueur de la piste n'est que de 1 000 m. A Bogota (Colombie), la piste de 1 460 m ne permettrait pas le départ, même à vide, sans fusées, alors que celles-ci autoriseraient l'envol avec 6 t de charge utile. Sur la piste de 1 525 m d'Arequipa (Pérou), à 2 484 m d'altitude, des avions, toujours du même type, prendraient le départ au poids total maximum de 19 047 kg sans fusées, et 28 096 kg avec fusées. Enfin, à la Paz, capitale de la Bolivie, bâtie sur les hauts plateaux de l'Amérique du Sud à 4 083 m d'altitude, sur la piste de 2 000 m, les « Skymaster » ne pourraient décoller que jusqu'à 21 985 kg sans fusées et 26 563 kg

avec fusées, soit un gain théorique de 4 578 kg.

Les essais pratiques ont pu être faits avec un plein succès : le 3 décembre dernier, un Douglas DC-4 « Skymaster » des *American Airlines* a pu quitter Mexico, à 2 239 m d'altitude, où la piste bétonnée mesure 2 440 m de long, avec 9 t de charge utile, constituée en l'espèce par des bananes destinées à la ville de Philadelphie ; les quatre fusées J. A. T. O. mises en œuvre au décollage ont permis une augmentation de poids de 2 700 kg. Les fusées de décollage sont d'ores et déjà d'un emploi courant pour permettre l'envol des avions qui ravitaillent les mines d'or du Nicaragua.

Enfin, il importe de souligner que les propulseurs auxiliaires de décollage joueront sans doute un rôle important dans un proche avenir pour faciliter l'envol des avions à réaction. Le rendement de propulsion des turbo-réacteurs est particulièrement mauvais à faible vitesse et, comme il s'agit en outre d'appareils conçus pour des vitesses maximum élevées, à forte charge alaire, leur vitesse de décollage est elle-même élevée. Aux États-Unis, des essais effectués avec des chasseurs à réaction Lockheed P-80 « Shooting Star » auraient donné pleine satisfaction. A la fin de la guerre déjà, les Allemands utilisaient des fusées auxiliaires larguées en vol pour le décollage de leurs chasseurs à réaction.

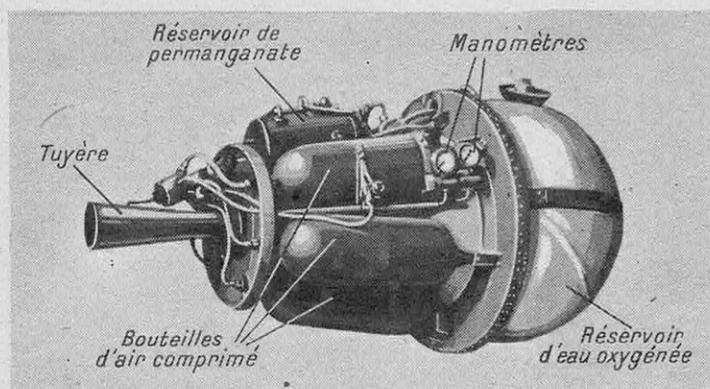


FIG. 3. — LE PROPULSEUR DE DÉCOLLAGE ALLEMAND WALTER 109-500

Accessoirement, ces fusées pourraient, sur les appareils d'interception, être utilisées pour améliorer temporairement les conditions de montée. Elles sont d'ailleurs étroitement apparentées aux fusées auxiliaires qui équipent un grand nombre d'engins spéciaux de D. C. A. et de bombes volantes télécommandées ou autoguidées. Il s'agit, dans ce cas, de fusées à durée de fonctionnement très réduite, de l'ordre de 5 à 6 s, car aucune considération physiologique ne limite l'accélération au départ.

Enfin, signalons l'application possible des fusées de décollage au lancement des planeurs.

Les accélérateurs-fusées à liquides

Les fusées auxiliaires de décollage sont de deux sortes : les unes mettent en action des liquides, les autres des solides.

Les premières sont, d'une manière générale, des engins dont la durée de fonctionnement est relativement longue, 30 à 40 s. Leur mécanisme est plus compliqué et, par suite, leur prix de revient plus élevé. Si on envisage leur largage en vol, il faudra donc prendre des précautions

spéciales, par exemple leur adjoindre un parachute. Ils exigent une manutention souvent délicate des liquides qui doivent réagir, et donc une organisation au sol assez complexe qui ne se justifie guère que pour leur application aux avions gros porteurs.

Les premiers accélérateurs à liquides semblent avoir été étudiés en Allemagne pour le décollage des avions à réaction à charge alaire élevée, allant jusqu'à 350 kg/m². Ils étaient attachés sous les ailes ou sous les fuseaux moteurs, largués après décollage, fixés à un parachute qui permettait de les récupérer.

La fusée Walter 109-500 était fondée sur la décomposition catalytique de l'eau oxygénée fortement concentrée en présence d'une solution de permanganate de calcium. Il se produisait un dégagement abondant d'oxygène et de vapeur d'eau surchauffée vers 450° C. Les deux liquides, eau oxygénée et permanganate, étaient stockés dans des réservoirs, mis sous pression au gré du pilote par de l'air comprimé contenu dans cinq bouteilles sous 150 kg/cm² et détendu à 40 kg/cm². Les deux liquides réagissent immédiatement l'un sur l'autre, aucun allumage n'étant nécessaire. La réaction peut être arrêtée à tout instant en coupant simplement l'arrivée d'air comprimé. Le propulseur mesure 1,45 m de longueur sans parachute ; son diamètre maximum est de 0,68 m ; il pèse à vide 120 kg. Il se fixe sous l'aile et est largué vers 150 m de hauteur au-dessus du sol, sur lequel le ramène un parachute fixé à l'avant. L'eau oxygénée est emmagasinée dans un réservoir sphérique qui en contient 130 kg. La solution de permanganate (6,6 kg) est logée dans une bouteille. La poussée maximum est obtenue en une demi-seconde et reste sensiblement

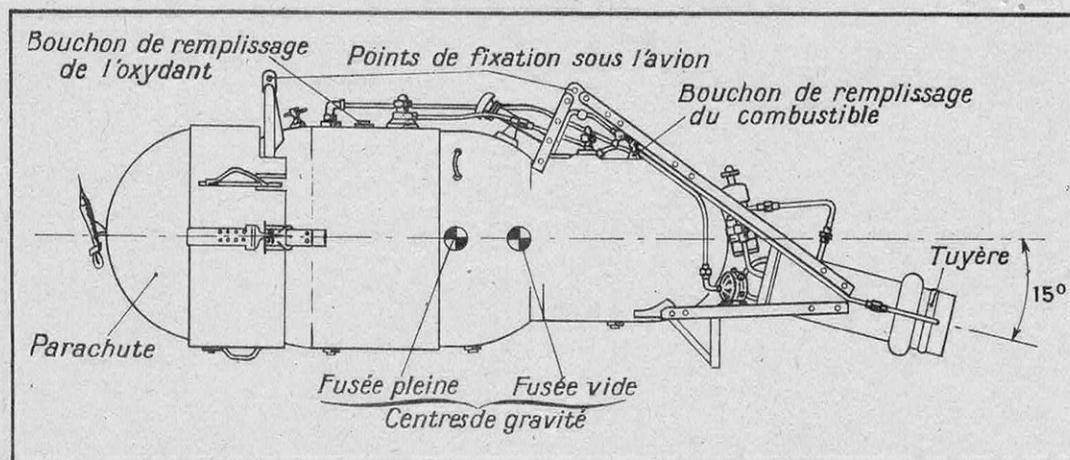


FIG. 4. — UNE FUSÉE AMÉRICAINE J. A. T. O. A LIQUIDES, CAPABLE DE DÉVELOPPER 675 KG DE POUSSÉE PENDANT QUARANTE SECONDES

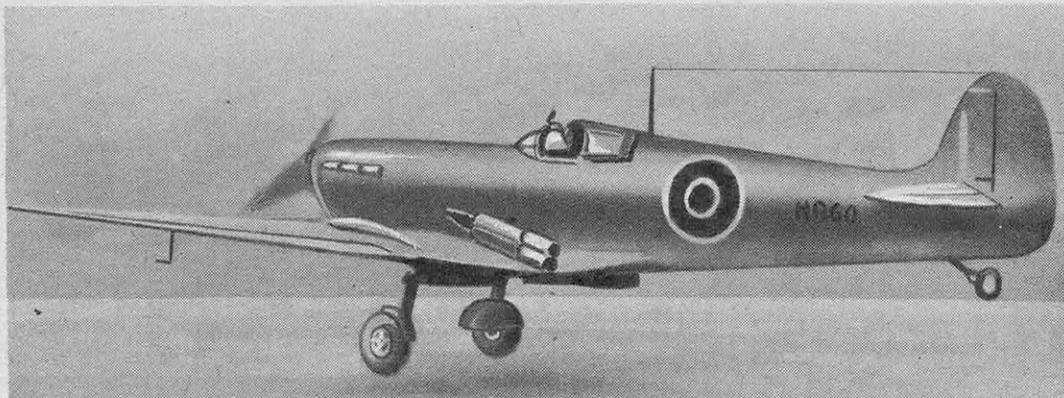


FIG. 5. — CHASSEUR ANGLAIS VICKERS-SUPERMARINE « SEAFIRE » POUR PORTE-AVIONS ÉQUIPÉ DE QUATRE FUSÉES À POUDDRE DÉVELOPPANT CHACUNE UNE POUSSÉE DE 500 KG PENDANT QUATRE SECONDES

constante, à 500 kg, pendant toute la durée de fonctionnement, soit 30 s, lorsque l'appareil est bien réglé. La consommation est d'un peu moins de 10 g par seconde et par kilogramme de poussée. Les gaz sont éjectés à la vitesse de 1 000 m/s.

Un deuxième propulseur Walter, fonctionnant suivant le même principe, mais plus puissant, comportait des tubes à air comprimé sous 150 kg/cm², plusieurs réservoirs de permanganate, une chambre de combustion avec tuyère de 16 cm de diamètre. Sa longueur était de 1,80 m, son diamètre de 0,86 m, son poids à vide de 220 kg, et en charge de 370 kg. Il développait une poussée maximum de 680 kg.

Enfin, le propulseur allemand HNX, plus petit, long de 1,46 m et de 0,68 m de diamètre, pesant 120 kg à vide, développait, avec 90 kg d'eau oxygénée, une poussée de 430 kg pendant 20 s.

Les Américains ont également étudié des fusées auxiliaires à liquides, telles les fusées J. A. T. O. (nom générique formé par les initiales de *Jet Assisted Take Off*, ou décollage assisté par fusée), capables de fournir une poussée de 700 à 900 kg pendant 40 s. On envisage sans doute de les utiliser pour faciliter le décollage des bombardiers multimoteurs à réaction dont les prototypes commencent à apparaître, tels que le North American XB-45.

C'est aux fusées à liquides probablement que l'on devra faire appel pour obtenir des poussées élevées et de longue durée. Il faudra sans doute faire appel à d'autres réactions que celle de l'eau oxygénée et du permanganate au delà de 1 000 kg de poussée. Les Allemands ont montré la voie à suivre, en utilisant sur certains de leurs engins à réaction la combustion d'un mélange d'hydrate d'hydrazine et d'un hydro-

carbure dans l'oxygène fourni par la décomposition de l'eau oxygénée, ou bien en faisant réagir un combustible comme l'aniline et un comburant comme l'acide nitrique fortement concentré. Il n'est pas besoin d'insister sur les difficultés pratiques que soulève la manipulation de tels produits.

Les accélérateurs-fusées à solides

Les fusées auxiliaires à charge solide ont été surtout étudiées par les techniciens anglais et américains. Ce sont essentiellement des engins de courte durée de fonctionnement et d'une réalisation particulièrement simple, offrant une grande sécurité au stockage et à la manutention. Leur construction économique permet d'en envisager le largage en vol sans récupération et, dans les cas les plus favorables, leur robustesse autorise leur récupération sans emploi de parachute.

Les fusées anglaises du *Ministry of Supply* fonctionnent avec de la poudre. Elles comprennent essentiellement un corps cylin-

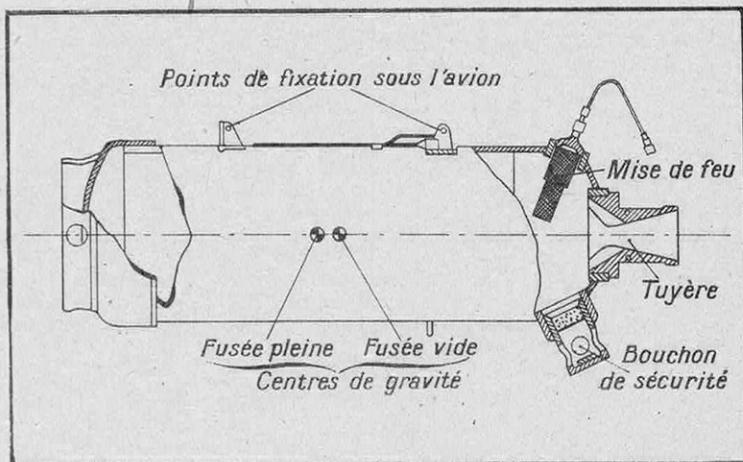


FIG. 6. — UNE FUSÉE J. A. T. O. À COMBUSTIBLE SOLIDE CAPABLE DE DÉVELOPPER 450 KG DE POUSSÉE PENDANT DOUZE SECONDES



FIG. 7. — L'ENVOL D'UN BOMBARDIER TORPILLEUR AMÉRICAIN GRUMMAN TBF « AVENGER » A L'AIDE DE FUSÉES J. A. T. O.

Le Grumman TBF « Avenger », qui a pris part aux batailles navales de Midway et des Philippines, est un appareil fortement armé (deux mitrailleuses synchronisées à l'avant, deux mitrailleuses dans la tourelle supérieure, une dans la tourelle inférieure), portant une bombe de 1 000 kg ou une torpille de 533 mm dans une soude du fuselage. Sa vitesse maximum est de 445 km/h, son rayon d'action de 2 300 km et son plafond de 7 000 m. Il est équipé d'un moteur Wright « Cyclone » de 1 700 ch. Il décolle normalement en 113 m, mais cette longueur est réduite à 63 m par l'emploi de quatre fusées J. A. T. O. à combustibles solides. Il est ainsi possible de réserver sur le pont d'envol d'un porte-avions une large place pour le garage des avions en instance de départ et d'accroître par conséquent le nombre d'appareils prenant l'air à la première alerte. (U. S. I. S.)

drique en acier tréfilé à froid, de 1,04 m de longueur et 0,127 m de diamètre. L'épaisseur de la paroi est de 3 mm seulement. Fermé à une extrémité, ce cylindre porte à l'autre une tuyère de 10 cm de diamètre. Le poids total de la fusée, avec 12 kg de cordite, est de 30 kg. Elle est allumée électriquement et donne un dixième de seconde plus tard une poussée de 500 kg qui demeure constante pendant les 4 secondes que dure la combustion. Ce type de fusées a été utilisé pour le décollage des Vickers Supermarine « Seafire », Fairey « Swordfish » et « Barracuda ». Avec les premiers, le décollage s'effectue à 160 km/h après une course de 60 m. L'accélération appliquée est de 1,7 fois celle de la pesanteur. Les cylindres se fixent sur les ailes et sont largués en vol. Le « Seafire » et le « Barracuda » reçoivent chacun quatre fusées et le « Swordfish », moins chargé au mètre carré de voilure, seulement deux.

Les fusées américaines J. A. T. O., qui semblent de beaucoup les plus employées actuellement, sont fabriquées par l'Aerojet Engineering Corp. et n'utilisent pas la poudre, mais un mélange combustible dérivé du galcitol 53 (appellation

formée par les initiales des mots : Guggenheim Aeronautical Laboratory, California Institute of Technology), constitué essentiellement par du perchlorate de potassium, de l'asphalte et un peu de pétrole brut. Le perchlorate de potassium est une poudre blanche ; mélangé intimement avec de l'asphalte spécial et un peu d'huile lourde, il donne une matière plastique noire d'une excellente conservation et insensible aux chocs. On en constitue des cartouches que l'on glisse dans le cylindre du propulseur au moment de l'emploi et que l'on allume électriquement. La température d'inflammation est de 135° C et le mélange brûle en dégageant une épaisse fumée blanche non corrosive et non toxique.

La fusée J. A. T. O. 12 AS-1 000 D1 est constituée par une bouteille d'acier à parois épaisses, de 20 cm de diamètre, et 0,91 m de long. Elle pèse 50 kg à vide et 100 kg en charge. Elle est munie d'un bouchon de sécurité s'ouvrant lorsque la pression dans la chambre dépasse de 50 % sa valeur normale en fonctionnement. L'allumage est électrique et, en une demi-seconde, la poussée atteint 80 % de sa valeur maximum. Elle se maintient à 450 kg

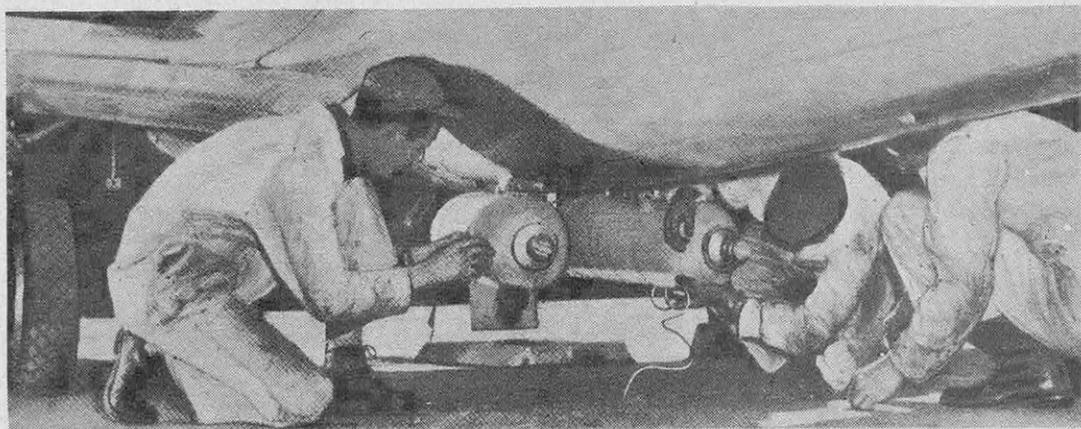


FIG. 8. — MISE EN PLACE DE FUSÉES J. A. T. O. SOUS LE FUSELAGE D'UN CHASSEUR A RÉACTION LOCKHEED P-80 « SHOOTING STAR »

pendant 12 à 15 s. La pression dans la chambre de combustion est de 126 kg/cm^2 et la vitesse d'éjection des gaz de 1600 m/s . La fusée équivalait, à 145 km/h , à un propulseur de 330 ch.

Il existe un modèle plus petit, le « Baby-J. A. T. O. », ne pesant que $14,5 \text{ kg}$ et destiné aux avions légers. Il développerait pendant 25 s une poussée de 70 à 120 kg . Il est utilisé avec le biplace d'entraînement à la chasse Vultee PT-13 « Valiant », et on envisage de l'utiliser avec des hydravions de tourisme tels que le Republic « Seabee » pour permettre leur envol sur des plans d'eau de longueur réduite.

La principale difficulté rencontrée dans la mise au point des propulseurs américains à solides est la même que celle à laquelle on se heurte dans toutes les recherches sur les fusées, c'est-à-dire celle d'obtenir une combustion régulière, par tranches successives, capable de fournir une pression constante dans la chambre de combustion et une éjection régulière de gaz par la tuyère. C'est donc avant tout de la qualité du combustible que dépend le développement des propulseurs de décollage, et de grands progrès devront être faits dans cette voie si l'on veut réaliser des engins beaucoup plus puissants que ceux obtenus jusqu'ici et d'une durée de fonctionnement beaucoup plus grande.

L'emploi des fusées auxiliaires

Le choix d'une fusée de décollage est évidemment fonction de ses conditions d'utilisation. Celles-ci sont très diverses. On peut exiger une très forte poussée pendant un temps très court, 5 à 10 s ; c'est le cas des chasseurs de porte-avions. On peut, au contraire, demander une poussée modérée, mais s'exerçant pendant quelque 40 à 50 s : c'est le cas des appareils commerciaux transportant des passagers que l'on ne peut soumettre à de trop fortes accélérations.

Dans tous les cas, la sécurité de fonctionnement ne paraissant pas absolue dans l'état actuel de la technique, il sera bon d'admettre l'éventualité d'une défaillance de l'un des propulseurs auxiliaires au cours de l'envol. L'effet d'une défaillance peut être comparé à celui d'une baisse de régime de l'un des moteurs d'un multimoteur

et se traduit par l'apparition de couples défavorables que le pilote corrige d'autant plus difficilement que la vitesse acquise à ce moment est plus faible. C'est pourquoi l'on s'efforce, surtout sur les avions légers, de diriger l'axe de poussée des fusées vers le centre de gravité de l'appareil ou de le faire passer à son voisinage. Il sera, d'autre part, prudent de ne provoquer l'allumage des fusées auxiliaires qu'après un certain temps de roulement, afin que l'avion ait pris une vitesse suffisante pour que les gouvernes deviennent « actives » et que le pilote puisse corriger le mouvement de lacet qui peut résulter du non-allumage ou d'une défaillance de l'une des fusées. Avec un avion léger, le pilote attendra par exemple d'avoir atteint 50 km/h avant de provoquer l'allumage des fusées, et sensiblement plus avec un avion commercial lourd.

Il est évident qu'une telle manœuvre ne peut convenir dans le cas d'un décollage sur porte-avions. Il faut alors disposer dès le départ de la poussée maximum et le pilote allumera ses fusées auxiliaires dès avant le début de la course.

Il faut en-

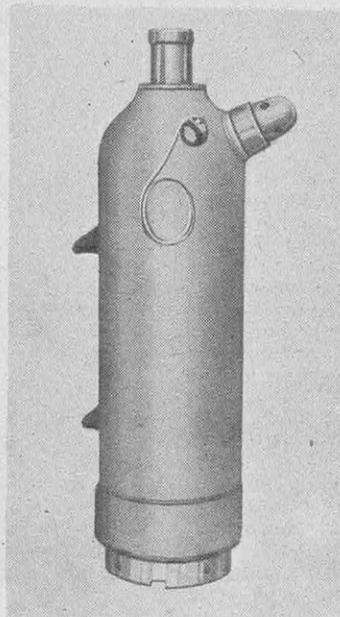


FIG. 9. — LA FUSÉE AMÉRICAINE STANDARD J. A. T. O. A COMBUSTIBLE SOLIDE

fin tenir compte, dans l'installation de la fusée, du fait qu'elle se vide au cours de son fonctionnement, c'est-à-dire que son centre de gravité se déplace. On a indiqué sur les dessins des fusées J. A. T. O. (fig. 4 et 6) les emplacements des centres de gravité à vide et en charge. Avec les fusées à faible poussée, le déplacement du centre de gravité est suffisamment lent pour que le pilote puisse corriger les variations de centrage de l'appareil en agissant sur les gouvernes. Cette manœuvre n'est plus possible avec les fusées à forte poussée et à durée de fonctionnement réduite. Il faut donc étudier avec soin l'emplacement à leur donner pour que les répercussions du déplacement de leur centre de gravité sur le centrage de l'appareil soient faibles au cours du décollage.

Le décollage assisté

L'emploi de fusées auxiliaires est seulement

une des nombreuses solutions qui peuvent être envisagées pour résoudre le problème général du décollage assisté. La plus ancienne et la plus connue est l'utilisation d'une catapulte fonctionnant soit avec de l'air comprimé, soit avec de la poudre, soit encore à l'aide de fusées (des chasseurs Hawker « Hurricane » ont été catapultés fixés à un chariot propulsé par dix-huit fusées à poudre). La catapulte convient surtout aux appareils militaires ou postaux, car elle met en jeu des accélérations élevées (de l'ordre de trois fois l'accélération de la pesanteur) auxquelles on peut difficilement soumettre des passagers civils. Des appareils de 3 à 5 t peuvent ainsi être projetés à 125 km/h à la fin d'une course de 20 m. On étudierait actuellement en France une catapulte à air comprimé (stocké sous 20 kg/cm² dans un réservoir de 15 m³) dont la course sera de 55 m et qui pourrait convenir à des appareils de 30 t. La mise en batterie de la catapulte et le remplissage du réservoir d'air comprimé demanderaient quatre heures.

Rappelons, dans le même ordre d'idées, la rampe de lancement des V-1, gigantesque canon pneumatique de 46 m de long et 30 cm de diamètre, alimenté par les gaz provenant de l'action du permanganate sur l'eau oxygénée. La vitesse atteinte en fin de course était de l'ordre de 180 km/h.

Il faut aussi mentionner les techniques spéciales du ravitaillement en vol et de l'avion « composite » qui ont été mises en œuvre en Angleterre. Avec la première, un appareil à grand rayon d'action décolle avec ses réservoirs vides et fait son plein de combustible après décollage, alimenté par un avion-citerne peu chargé au mètre carré de voilure ou par un planeur-citerne qu'il remorque. C'est ainsi que les *Imperial Airways* ont envisagé, en 1939, d'utiliser des hydravions Short « Empire » pour la traversée de l'Atlantique Nord. Ces appareils ne pouvaient pas décoller à un poids supérieur à 21 t et n'avaient pas, à ce poids, un rayon d'action suffisant. Par un ravitaillement en vol, effectué à partir d'un autre avion aussitôt après le départ, 3 t de combustible devaient être transférées à l'hydravion, ce qui lui donnait une autonomie suffisante.

La technique de l'avion « composite » a été élaborée en Angleterre par le major Mayo. Un appareil double était constitué d'un hydravion quadrimoteur à coque de fort tonnage et de

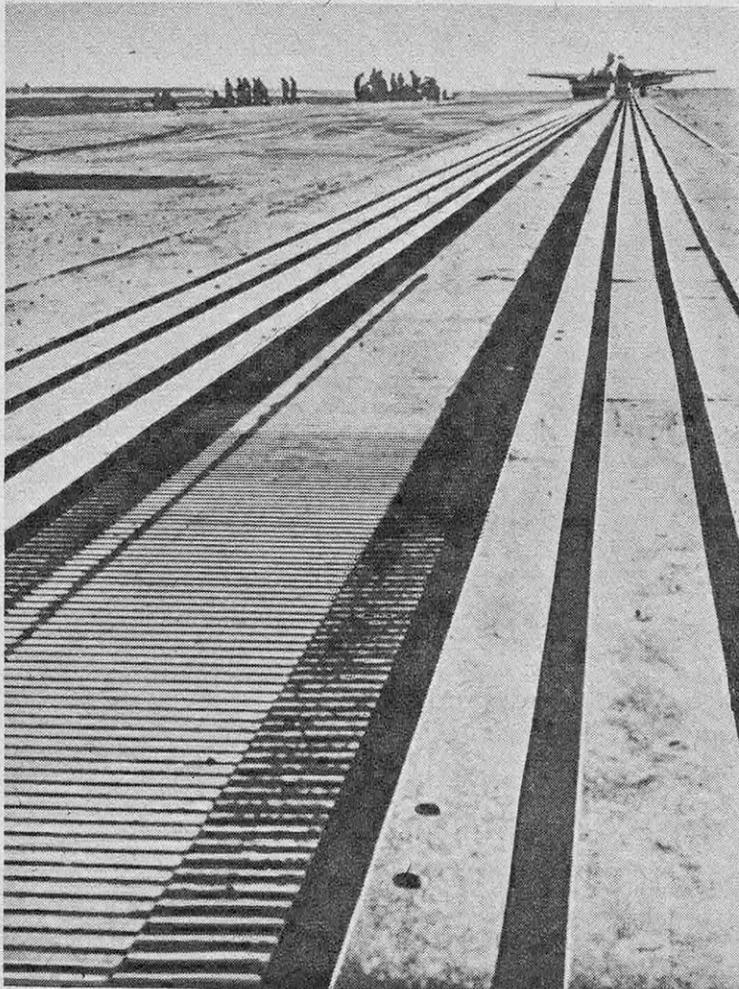


FIG. 10. — L'« ELECTROPULT » SUR LE TERRAIN DE PATUXENT RIVER (MARYLAND, ÉTATS-UNIS)

De part et d'autre de la bande centrale formée de barres de cuivre transversales se trouvent les rails de roulement du chariot remorqueur et, extérieurement, les deux pistes étroites en ciment où courent les roues porteuses de l'avion.

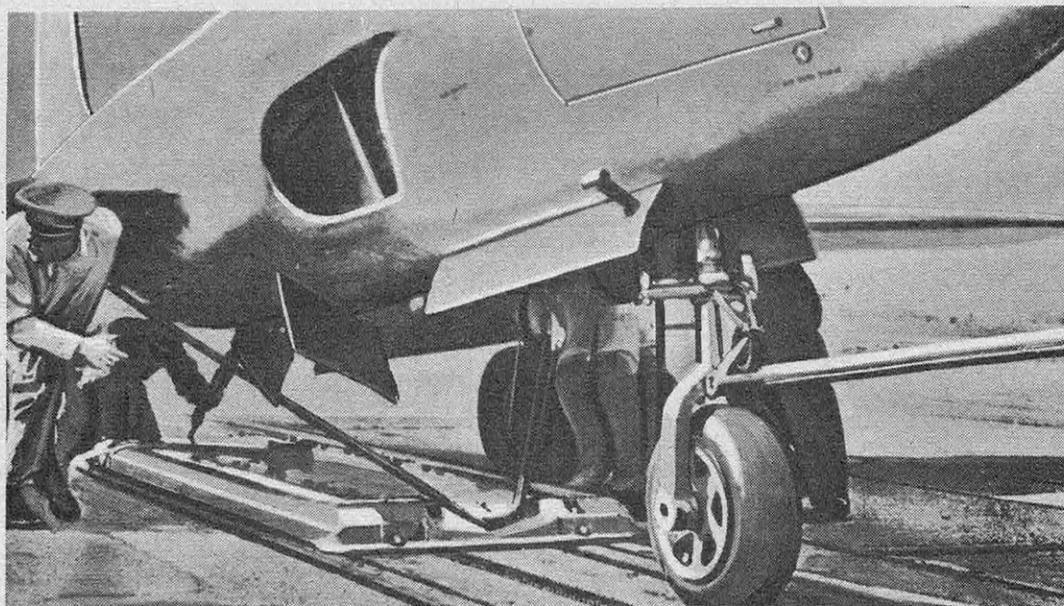


FIG. 11. — UN LOCKHEED P-80 « SHOOTING-STAR » SUR L'« ELECTROPULT »

L'avion est accroché au chariot plat de telle manière qu'il se décroche facilement dès que la vitesse permet l'envol.

grande surface de voilure, portant à sa partie supérieure un hydravion à flotteurs, également quadrimoteur, de beaucoup plus petites dimensions. Le poids total de l'ensemble était calculé pour que l'avion porteur décrochât facilement. La séparation des deux appareils avait lieu en vol. C'est ainsi que l'hydravion porté, le Short « Mercury », quadrimoteur de 9 t, battit en 1938 le record du monde de distance avec 9 728 km.

La technique de l'avion porteur semble appelée à un très grand avenir pour le lancement des appareils à réaction de très grande vitesse. Lors de ses essais, l'avion-fusée supersonique Bell XS-1 était fixé au-dessous d'un Boeing B-29 « Superfortress » et lâché en altitude. Un mode de lancement analogue est envisagé pour d'autres appareils à l'étude ou en construction, l'avion français à réaction Leduc, par exemple.

L'« electropult »

Récemment a été mis au point par la Compagnie Westinghouse, pour le compte de l'U. S. Navy, un genre nouveau de catapulte électrique, baptisé « electropult ». Cet engin fonctionne sur le principe du moteur à induction et consiste en une longue série de barres de cuivre disposées transversalement et alimentées en courant alternatif. Elles représentent le stator d'un gigantesque moteur électrique qui aurait été étendu sur le sol. Le rotor est représenté par un chariot qui remorque l'avion à accélérer. Le champ engendré par les barres impose au chariot un effort propulsif de la même manière que, dans un moteur, le champ de l'inducteur engendre le couple appliqué au rotor. Le chariot roule sur des rails de part et d'autre des barres de cuivre, et les roues de l'avion remorqué se déplacent sur des pistes en ciment. Lorsque la vitesse

désirée est atteinte, le chariot est arrêté, l'avion se décroche et prend son vol.

L'installation est alimentée par un alternateur relié à un volant de 24 t, entraîné par un moteur électrique à courant continu, lui-même connecté à une génératrice mue par un moteur d'aviation Pratt et Whitney de 1100 ch. Le tout est logé sous la piste, dans une chambre en béton. Le volant est accéléré jusqu'à la vitesse de 1 500 t/mn et, le moteur qui l'entraîne étant déconnecté, décharge l'énergie ainsi stockée dans les barres de cuivre de l'« electropult » par l'intermédiaire de l'alternateur qui fournit ainsi une puissance de 12 000 kW pendant quelques secondes.

Deux « electropults » ont été construits, l'un à Mustin Field, près de Philadelphie (Pennsylvanie), l'autre, le plus perfectionné, au centre d'essais de l'aéronautique navale de Patuxent River (Maryland). Ce dernier « electropult » mesure 415 m de long et est installé dans l'axe d'une piste en ciment de 840 m de long et 30 m de large. A vide, le chariot peut atteindre 360 km/h en un peu moins de 150 m. Aux essais, un chasseur à réaction Lockheed P-80 « Shooting Star » a pu décoller sur une distance de 102 m, à une vitesse de 185 km/h, en 4,1 s. Ce type d'avion, normalement, exige une longueur de décollage de 600 m. Les résultats ont paru suffisamment encourageants pour que l'on mette à l'étude un « electropult » capable d'accélérer les avions commerciaux les plus lourds existant actuellement jusqu'à une vitesse de 190 km/h. La longueur de leur course de décollage, qui est normalement de 1 200 m, serait réduite à 500 m, et les passagers n'auraient à supporter qu'une accélération de l'ordre de leur propre poids pendant les deux premières secondes de la course d'envol.

Jacques BRÉDAT

« BULLDOZERS » ET ROUTES STRATÉGIQUES

par E. LEMAIRE

Ingénieur des Arts et Manufactures

Sous leurs différentes formes, les « bulldozers » sont devenus familiers aux Français qui les ont vus à l'œuvre après le débarquement des Alliés en Normandie. Depuis cette époque, ils ont connu des engins du même genre, mais moins puissants, construits et utilisés en France pour la reconstruction. Cependant, les uns et les autres ne répondent pas tout à fait aux mêmes besoins, car les Américains exécutent leurs grands travaux par des méthodes qui ne se justifieraient pas dans nos pays, alors qu'elles sont parfaitement adaptées aux grands espaces libres d'un territoire immense et presque neuf. Pendant la guerre, les bulldozers ont permis la construction rapide de nombreuses routes stratégiques, celle de l'Alaska (1) et celle de Ledo (2), par exemple. Quand les Allemands apprirent qu'on allait ouvrir une route dans l'Alaska, Signal, leur grand organe de propagande, imprima en 1942 : « L'Alaska a été surnommé la Glacière du Monde; c'est un pays impraticable : la construction de cette route demandera au moins dix ans. » Quatre mois plus tard, grâce à la puissance des moyens mis en œuvre, et surtout aux bulldozers, les convois militaires passaient toutes les cinq minutes à 40 kilomètres à l'heure. Depuis, la route a été améliorée, « reconvertie » à l'instar des usines d'armement, et on y peut rouler partout à 80 kilomètres à l'heure. Elle demeure une des pièces maîtresses de la défense du continent américain.

LES bulldozers (3) sont des camions automobiles à chenilles (*caterpillar*: chenille) destinés à exécuter les travaux de défrichage et de terrassement les plus divers. Dans leur conception, on s'est efforcé, comme c'est la règle aux États-Unis, d'économiser la main-d'œuvre, aussi bien pour les conduire que pour les entretenir en bon état.

Selon leur destination, la puissance de leur moteur diesel varie entre 20 et plusieurs centaines de chevaux. Les plus lourds peuvent peser 50 t; cependant, en général, leur poids ne dépasse guère 20 t.

Si lourds et si puissants qu'ils soient, les bulldozers sont d'une conduite, par un seul homme, si facile et si douce qu'elle peut, au dire des constructeurs américains, s'enseigner en une demi-heure à un adulte qui n'est pas déjà mécanicien ou même à un enfant intelligent. Il y a là sans doute quelque exagération, car, pour tirer bon parti d'un bulldozer, il ne faut pas le brutaliser, c'est-à-dire le faire agir par à-coups, cela afin de lui éviter les chocs; il ne faut pas, par exemple, lui faire prendre un élan pour exécuter une tâche

qui serait au-dessus de ses forces; il doit exercer son effort doucement, progressivement, d'une façon continue, comme le fait une presse hydraulique à laquelle on peut demander de casser une noix sans l'écraser.

Les différentes sortes de bulldozers

Tous les bulldozers proprement dits, distincts des simples tracteurs à chenilles, peuvent se ramener aux quatre types suivants selon leur équipement et le travail qu'ils exécutent :

1° Le *pushdozer* ou décapeur-niveleur. Il est pourvu à son avant et par l'intermédiaire d'un châssis rigide, mais articulé, d'une grande cornière en acier dont le dièdre a son arête, arrondie, placée horizontalement et perpendiculairement à l'axe du bulldozer; cette cornière est ou non pourvue de flasques latéraux; sa partie inférieure est démontable et son bord, en acier dur trempé, est tranchant. Ce bulldozer rejette des deux côtés de la route qu'il s'est frayée les matériaux qu'il en a détachés; mais il peut aussi les pousser en avant, les élever, graver un talus et ainsi former un remblai;

2° L'*angledozer*. Il ne diffère du précédent qu'en ce que la cornière peut tourner à droite ou à gauche à volonté d'un angle de 30° au maximum autour d'un axe vertical. Ne rejetant les terres enlevées que d'un seul côté, il sert généralement à former un remblai ou mieux un accotement ou un soulèvement en contre-bas d'une route à flanc de coteau. Dans cet engin comme dans le précédent, la cornière est relevée, abaissée, ou orientée à volonté au moyen d'une commande hydraulique;

3° Le *treedozer*. Il renverse les arbres avec leurs

(1) Voir « La route stratégique Amérique-Asie par l'Alaska » (*Science et Vie*, n° 310, juin 1943).

(2) Voir « La bataille dans la jungle : trois années de lutte pour la route de Birmanie » (*Science et Vie*, n° 334, juillet 1945).

(3) Le terme de *bulldozer* désignait primitivement un agent électoral agissant par intimidation ou violence; par extension, ce mot a fini par désigner un engin de force servant à renverser, à pousser, à emboutir, etc. Par la suite, le suffixe *dozer*, dépourvu de sens à l'origine, a pris celui de *poussoir*, pour se composer avec les mots *push* (poussée), *angle* (cornière), *tree* (arbre), *root* (racine).

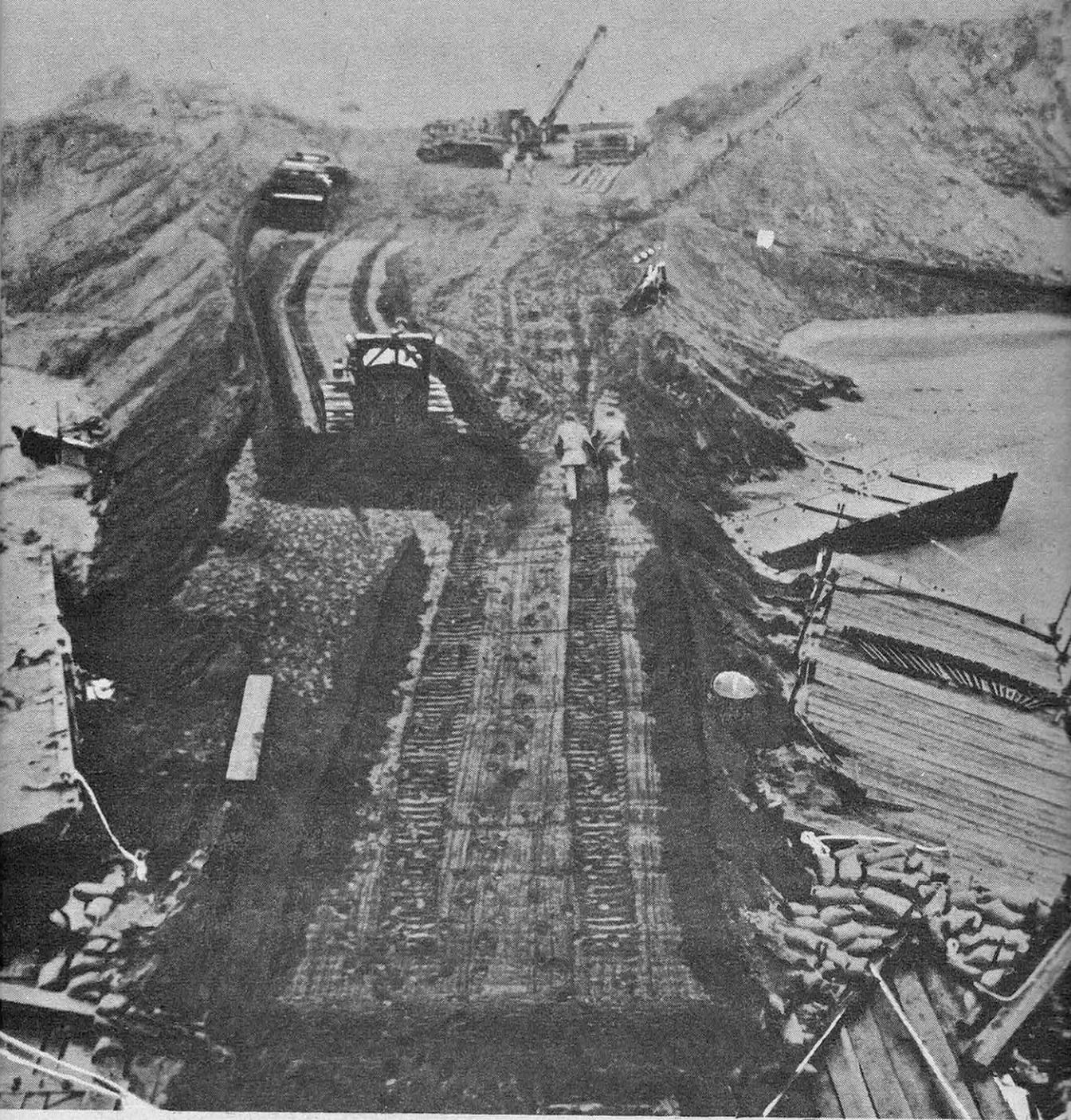


FIG. 1. — LES BULLDOZERS PRÉPARENT LA SUBSTRUCTURE D'UNE PISTE D'ENVOL QUI SERA RECOUVERTE D'UN TAPIS SOUPLE EN ACIER OU EN ALUMINIUM (U. S. INF. S.)

racines par simple poussée exercée à une certaine hauteur sur le tronc (fig. 4). Si l'arbre résiste, l'engin revient en arrière, accumule au pied de l'arbre la terre qu'il a enlevée, monte ensuite sur le talus ou remblai qu'il a ainsi formé et exerce à nouveau une poussée, à l'action de laquelle s'ajoute celle de son propre poids ;

4° Le *rootdozer* ou *rooter* (déracineur). Le bord tranchant inférieur de la cornière est enfoncé sous l'arbre pour en couper les racines. Si l'arbre résiste à la poussée, on recourt à un bulldozer du même type, mais dont la cornière est munie à

sa partie inférieure de trois griffes puissantes à bord tranchant ; elles s'enfoncent dans la terre sous l'arbre, en coupant les racines ou les dégageant, arrachent l'arbre et le renversent (fig. 5). On dégage et arrache de même les grosses pierres à demi-enterrées et les souches des très gros arbres dont il a fallu scier ou couper le tronc à la dynamite ou au moyen d'un appareil fonctionnant comme une cognée de bûcheron et monté sur le rooter. Un *angledozer* reprend pierres ou souches et les rejette sur le côté.

On voit que, selon la nature du travail qui

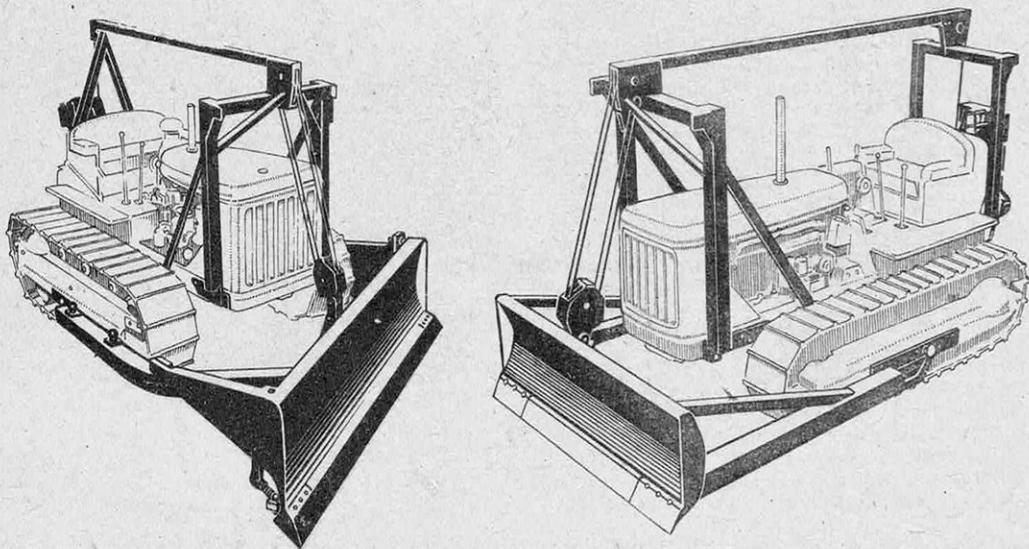


FIG. 2 ET 3. — SHÉMAS INDIQUANT LA STRUCTURE GÉNÉRALE D'UN BULLDOZER (A DROITE) ET D'UN ANGLEDOZER (A GAUCHE)

leur est demandé, les bulldozers des différents types peuvent être employés isolément ou associés à d'autres ou à des tracteurs agissant à tour de rôle.

Il existe encore des grues, des chèvres, des cabestans, des treuils montés sur tracteur à chenilles ou sur bulldozer. Quelques-uns, les *ducks* (canards), sont amphibies. On sait d'autre part que les engins à chenilles peuvent gravir des rampes très raides.

Les travaux exécutés par les bulldozers

Voici les travaux que les bulldozers exécutent en construction routière, en carrière ou en forêt ; cette énumération n'est pas limitative ;

- creuser une tranchée, y poser une canalisation, la combler ; construire un remblai ;
- arracher de grosses pierres à demi-enterrées ou des souches d'arbres et les rejeter sur un des accotements de la route ;

- arracher, abattre ou renverser des arbres en pleine forêt ; ou les séparer de la souche au moyen d'une scie mécanique ou d'un appareil fonctionnant comme la cognée du bûcheron ;
- débiter le tronc en rondins ; débarder les grumes (fig. 6) ;

- frayer un passage à travers les décombres d'une ville bombardée (fig. 9) ;

- établir, puis « régaler » la substructure d'une route, même à flanc de coteau (fig. 7), la niveler, la bétonner, la macadamiser, la goudronner ou l'empierrier ;

- niveler le sol pour faire la piste d'envol ou d'atterrissage d'un aérodrome (1) (fig. 1) ;

- défricher les terres que l'on veut mettre en culture ;

- enfin, on peut aussi les faire fonctionner comme chasse-neige (fig. 8) ou comme rouleau

(1) Voir « Aménagement rapide des aérodromes », (*Science et Vie*, n° 307, mars 1943, p. 144).

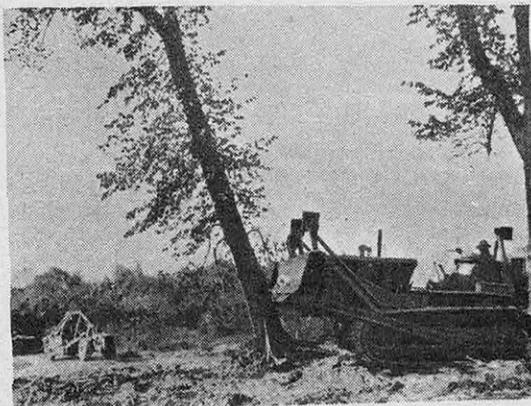


FIG. 4 ET 5. — ABATAGE D'UN ARBRE PAR POUSSÉE (A GAUCHE) ET PAR ARRACHAGE (A DROITE) (PHOTO LE TOURNEAU)

compresseur pour entretenir les routes en bon état, ou encore comme tringueballe ou tracteur, qui est alors attelé à un *scraper* (benne racleuse), à une grande *schlitte* (sorte de traîneau), ou à une grosse grume ; dans ces derniers cas, on utilise la barre de traction dont les bulldozers sont munis à l'arrière, ou un câble souple, attaché directement sur un treuil à l'arrière de l'engin, ce qui permet de passer sans secousses sur les plus grandes inégalités du sol.

Une tâche qu'on ne s'attendait guère à leur demander fut de débarrasser, par exemple, dans le Midi de la France, après le débarquement en Provence, la route nationale n° 7 des milliers de camions démolis ou incendiés par les bombardements aériens et que les colonnes allemandes avaient dû abandonner dans leur retraite vers le nord. Les épaves étaient culbutées dans les fossés ou sur les terrains contigus à la route.

Les Américains se sont servis aussi de bulldozers pour créer leurs plantations d'hévéas au Brésil et pour exploiter les hévéas sauvages des peuplements naturels de la Bolivie et du Pérou, où des ateliers ambulants fabriquent la *totaquine* (1).

Au Kenya, les Anglais emploient le bulldozer comme tringueballe pour débarder à des altitudes de 3 000 m des grumes de plusieurs tonnes. En Australie, il charrie de grands traîneaux chargés de 10 m³ de rondins sur des rampes de 20 %. Aux Pays-Bas, dans l'île de Walcheren, les Hollandais l'ont utilisé pour remblayer les digues de mer qui remplacent celles qui avaient été détruites par les bombardements aériens des Alliés (fig. 10). Ils ont pu ainsi assécher assez tôt pour emblaver, dès l'automne de 1945, 10 000 des 14 600 ha du grand polder qui avait été submergé par l'eau de mer. Selon les parcelles, les récoltes de 1946 ont atteint 30 à 80 % de la normale. A juste raison, les Hollandais sont assez fiers de ce résultat.

Les nouvelles routes stratégiques

C'est surtout dans la construction des routes stratégiques que les bulldozers ont triomphé. Les Alliés en ont construit des milliers et des milliers de kilomètres pendant la guerre, et cela très vite, et dans toutes les parties du monde, non seulement là où ils combattaient, mais aussi là où ils croyaient devoir combattre, comme dans l'Alaska et en Australie. Ce mode de défrichage n'était pas nouveau, car c'est ainsi que, depuis une vingtaine d'années, Canadiens et Américains exploitent leurs forêts dans des régions considérées autrefois comme inaccessibles.

D'aucuns se sont étonnés de cette profusion de travaux gigantesques entrepris à grands frais pendant la guerre. Elle s'explique cependant par le caractère mondial du conflit et l'importance de l'aviation et de la motorisation des armées de terre ; il faut des routes nombreuses, spacieuses et en bon état, non seulement pour transporter rapidement les troupes, mais aussi pour pouvoir ensuite les ravitailler en vivres, en carburant, en munitions et en matériel, quelquefois même en eau potable, comme ce fut le cas en Afrique du Nord.

(1) La *totaquine*, la « quinine du pauvre », est destinée surtout aux travailleurs indigènes et aux troupes en campagne ; elle renferme, outre la quinine, les autres alcaloïdes, moins fébrifuges et moins antimalariques que la quinine, qui l'accompagnent dans l'écorce. Les arbres sont simplement écorcés ; grâce au « moussage », l'écorce se reforme.

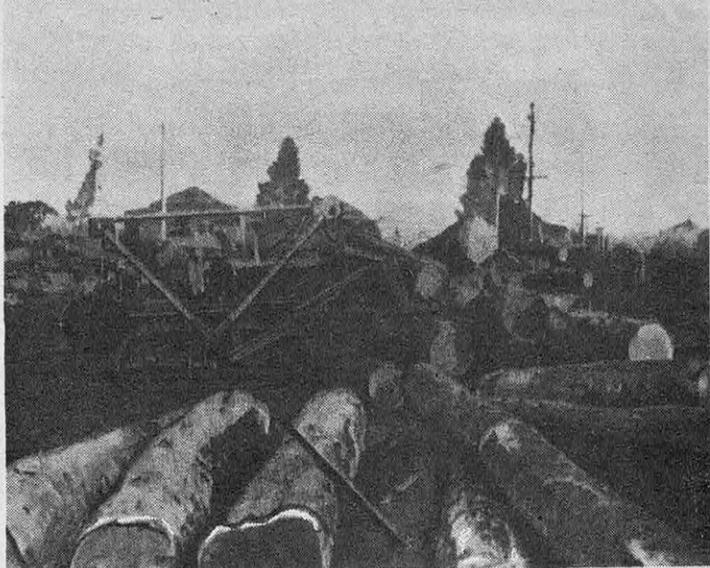


FIG. 6. — DÉBARDAGE DE GRUMES

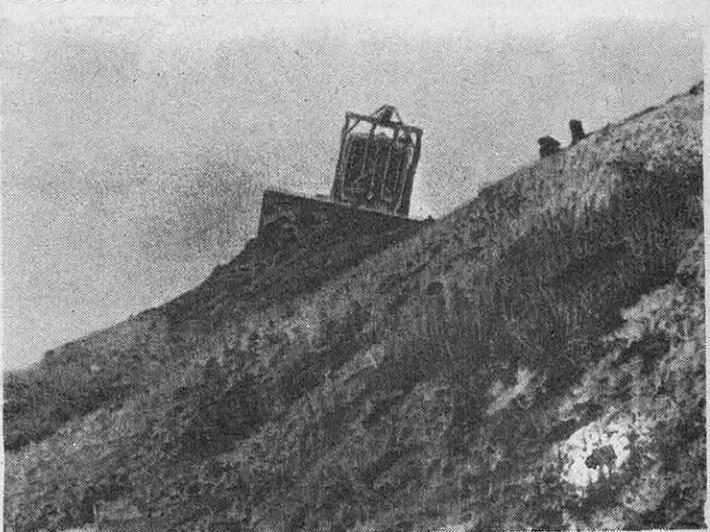


FIG. 7. — CONSTRUCTION D'UNE ROUTE A FLANC DE COTEAU

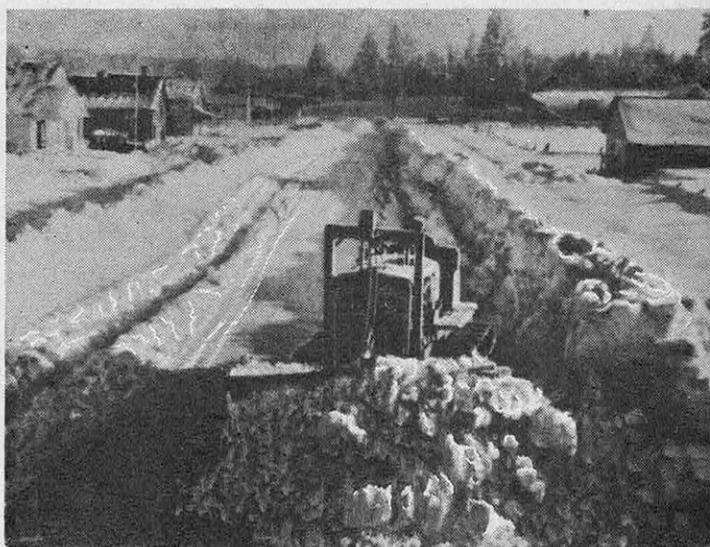


FIG. 8. — DÉBLAIEMENT DE LA NEIGE
(PHOTOS LE TOURNEAU)



FIG. 9. — LES BULLDOZERS ONT FRAYÉ UN PASSAGE A TRAVERS LES DÉCOMBRES DE SAINT-LO (U. S. INF. S.)

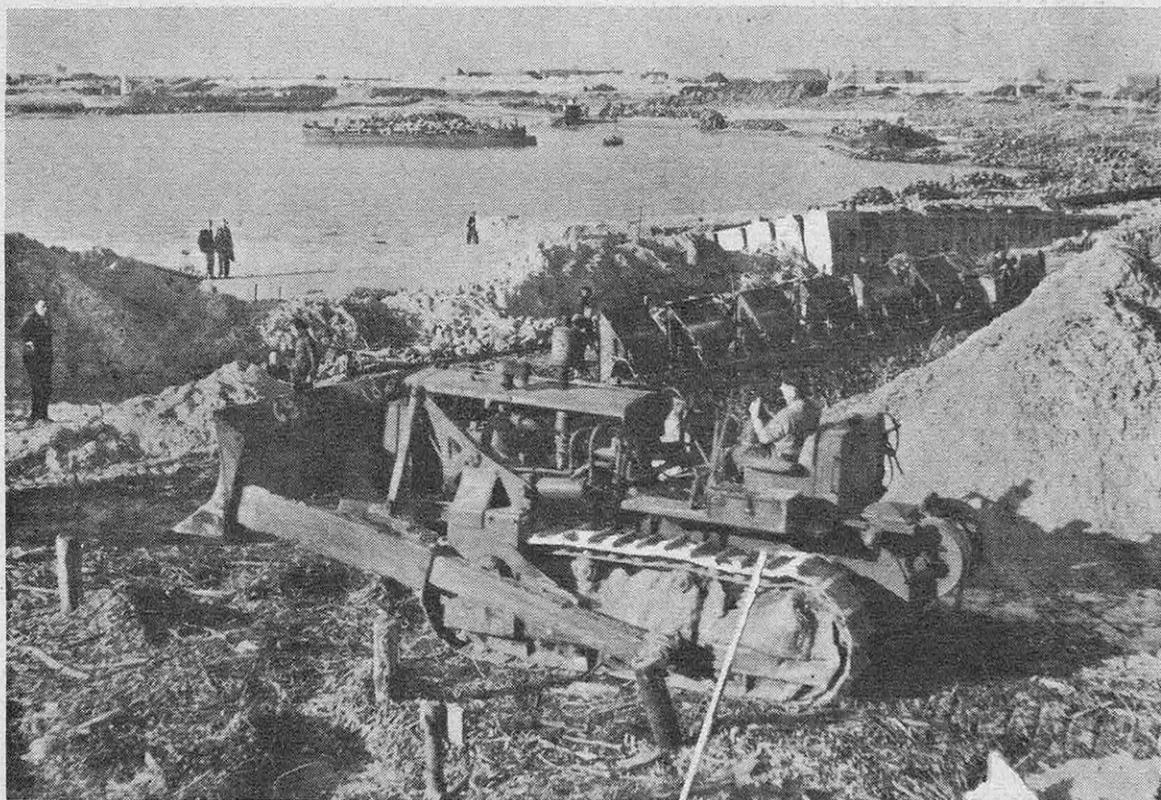


FIG. 10. — LES BULLDOZERS DANS LES POLDERS

Les bulldozers ont été employés pour la construction de la digue établie en arrière de la brèche ouverte par les bombardements dans la digue de mer de Westkapelle (île de Walcheren, Pays-Bas) (Photo Rijkswaterstaat).

Si les Allemands purent envahir si facilement l'Europe occidentale, c'est en grande partie parce que l'organisation Todt avait construit chez eux des autoroutes stratégiques splendides et parce qu'ils trouvèrent au Danemark, en Norvège, aux Pays-Bas, en Belgique et en France un réseau routier vaste et en parfait état.

Lorsque les routes sont détruites ou inexistantes, les bulldozers rendent de très grands services, car ils passent partout en tout temps et travaillent vite ; suivant de près les troupes qui ont conquis le terrain et, les précédant quelquefois, ils remettent en état les routes encombrées et en construisent de nouvelles qui assureront les transports rapides jusqu'à la ligne de feu (fig. 9).

L'aviation et la marine de guerre ont bénéficié aussi des autoroutes toutes les fois que les bases navales ou aériennes étaient trop éloignées des centres d'opérations terrestres. Pour construire un aérodrome dans une région déserte, il faut tout d'abord une énorme quantité de matériel

et un nombreux personnel, puis il faut ravitailler sans arrêt les hommes, ateliers, parcs et dépôts, ce que seule la route permet de faire.

Quelques-unes des nouvelles routes stratégiques construites par les Alliés, comme celle de l'Alaska et celle de Ledo, ont doublé, prolongé ou complété une voie ferrée existante, car celle-ci, avec ses annexes fixes et ses ouvrages d'art, est bien plus vulnérable à l'aviation que la route. De plus, la construction et surtout la réparation et l'entretien des voies ferrées sont beaucoup plus longs et difficiles — les Français en savent quelque chose — et elles ne s'accroissent pas de l'emploi de bulldozers.

Ces routes stratégiques sont aujourd'hui des routes de paix et elles rendent de si grands services que leur avenir commercial est assuré. C'est pourquoi, en Australie notamment, on poursuit la construction de celle qui n'était pas achevée lorsque le Japon capitula, mais qui avait été prévue depuis longtemps.



FIG. 11. — UN BULLDOZER DE 160 CH FRAIE LE PASSAGE DE L'ALCAN A TRAVERS LA FORÊT VIERGE (U. S. INF. S.)

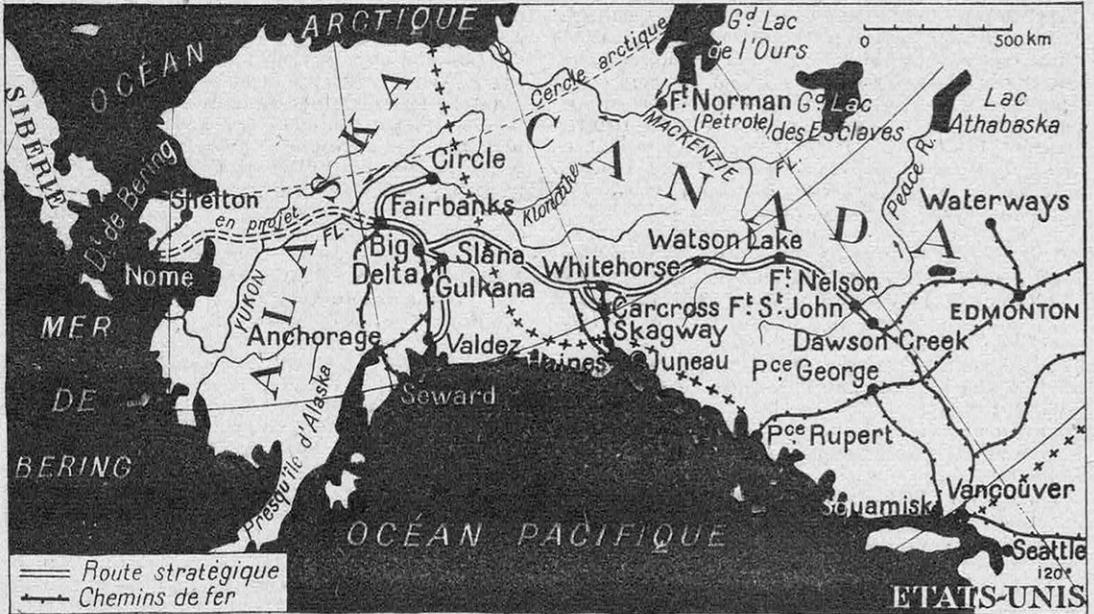


FIG. 12. — L'ALCAN, ROUTE STRATÉGIQUE DE L'ALASKA

Une seule de ces routes fait exception ; c'est celle de Ledo (Assam) à Bahmo, sur l'Irraouaddy, dans la haute Birmanie, route qui, sur la fin de la guerre, assura le ravitaillement de Tchoung-King par Calcutta, lorsque, les Japonais ayant débarqué à Rangoon (mars 1942), le ravitaillement par ce port, par Mandalay et Lashio et par le Yunnan (ancienne route de Birmanie), devint impossible (1). Cette nouvelle route, remarquable à tous égards, a dû être abandonnée, car elle n'a plus d'objet ; son trafic en temps de paix serait insignifiant et son entretien coûterait extrêmement cher ; en effet, impraticable pendant la saison des pluies, elle est envahie en quelques jours par la végétation sur les 450 km de jungle tropicale qu'elle traverse. Sa construction, longue et extrêmement difficile, eût été impossible sans les bulldozers qui là aussi firent merveille.

Une autre route stratégique remarquable est l'Alcan (contraction de Alaska-Canada) qui, sur 2 700 km, relie Dawson Creek (Colombie britannique) à Fairbanks (Alaska) (2). Le Génie américain a réussi à faire passer l'Alcan à travers la forêt vierge (fig. 11), à une vitesse qui a atteint plusieurs fois 12 km par journée de vingt-quatre heures. Cette route a été « reconvertie », c'est-à-dire ouverte à la circulation civile, le 3 avril 1946 ; sa reconversion avait été décidée quarante-huit heures après la capitulation du Japon. Depuis, elle est parcourue en tout temps, à 80 km à l'heure, par un nombre toujours croissant d'automobiles ; elle est parfaitement entretenue (3), ce

qui est un peu moins difficile d'ailleurs qu'en Birmanie, quoiqu'elle soit toute proche du cercle polaire.

L'Alcan, grande route stratégique de l'Alaska

Les Japonais, ayant pratiquement anéanti la flotte américaine du Pacifique à Pearl Harbor (7 décembre 1941), crurent qu'il leur serait facile de porter la guerre sur le continent américain où rien n'avait été prévu pour les arrêter ; ce n'eût été qu'une marche militaire. Il leur suffisait en effet de débarquer dans les îles Aléoutiennes les plus proches de leur base aéronavale avancée de Paramushiro, dans la plus septentrionale des îles Kouriles, dont les Américains, semble-t-il, ignoraient l'existence. De là, en « sautant » d'une île à l'autre et en progressant ainsi d'ouest en est, ils pouvaient aboutir assez vite à la presqu'île d'Alaska.

Le 3 juin 1942, profitant des longs jours de l'été polaire, les Japonais bombardent par avions Dutch Harbour, alors la seule avancée des bases aéronavales américaines et excellent port dans l'île d'Unalaska. Quelque temps après, ils débarquent et occupent successivement, dans les Aléoutiennes, les îles d'Attu, de Kiska et

voit donc ni bas-côtés herbus, ni caniveaux, ni fossés, ni ponceaux. Ils prétendent qu'elles n'en ont pas besoin, car elles sont beaucoup plus solides que les nôtres ; souvent, en effet, l'épaisseur de la substructure en béton dépasse 30 cm. Le mode de construction n'est en défaut que dans des cas très exceptionnels ; par exemple, en palier, si le gel a suivi une grande pluie, on ne peut rétablir la circulation sur la route sans risquer le dérapage qu'après y avoir fait passer un angledozer dont le bord tranchant a été incliné ; il brise la couche de glace qui s'est formée, la soulève et en rejette les morceaux sur le côté. Voir « Comment l'Amérique conçoit la route » (Science et Vie, n° 344, mai 1946).

(1) Voir : « Trois années de lutte pour la route de Birmanie » (Science et vie, n° 334, juillet 1945).

(2) Voir « La route stratégique Amérique-Asie par l'Alaska » (Science et Vie, n° 310, juin 1943). En octobre 1946, elle a reçu le nom, officiel désormais, d'autoroute de l'Alaska et son entretien a été confié au Canada.

(3) En général, les Américains ne drainent pas leurs routes et elles ne sont pas bombées ; on y

d'Agattu. Ils n'allèrent pas plus loin. Les Américains qui, entre temps, s'étaient ressaisis, partant d'une base aéronavale créée de toutes pièces dans l'île d'Amchitka, reprennent une à une celles des Aléoutiennes qui étaient occupées par les Japonais, puis, par avions, détruisent Paramushiro (janvier 1943). Il était temps, l'Alcan venait à peine d'être mis en service (29 octobre 1942) ; grâce aux bulldozers, sa construction n'avait duré que huit mois !

La construction de l'Alcan

Le Génie américain a construit l'Alcan en employant les mêmes procédés et le même matériel perfectionné et puissant qui sont habituels aux États-Unis, avec cette différence que, pressé par le temps, il lui a fallu utiliser un nombre considérable d'engins, et plus puissants encore qu'auparavant.

Le tracé de la route avait été étudié d'après le lever établi dès 1929 par photographies aériennes, de la carte hypsométrique de l'Alaska (on prévoyait déjà à cette époque la construction d'une route panaméricaine allant de Nome, sur la mer de Bering, à Punta Arenas, sur le détroit de Magellan).

On procéda à un piquetage, et les bulldozers entrèrent en scène. Le tracé fut divisé en plusieurs centaines de sections qui furent attaquées en même temps par leurs deux extrémités, soit à partir des terminus des voies ferrées de pénétration déjà existantes qui, partant des cinq ports alaskans (Anchorage, Seward, Valdez, Haines et Skagway), aboutissent à la nouvelle route, soit à partir d'aérodromes avec dépôts et ateliers qui avaient été créés, aménagés et pourvus par l'aviation canadienne (fig. 12).

Dès lors, troupes, travailleurs civils, carburants, vivres, matériel, munitions arrivent à pied-d'œuvre en Alaska en différents points échelonnés sur la route. Ils proviennent par voie

ferrée des cinq ports alaskans ; il en arrive aussi à Dawson Creek, terminus de la nouvelle route du Canada, *via* Edmonton, station importante sur le Grand Transcanadien. Des avions canadiens assurent la liaison permanente et rapide entre les points de la route et de ses abords ; cette ligne aérienne avait doublé d'avance la grande voie terrestre (elle la double encore aujourd'hui par un service régulier). Les produits pétroliers parviennent à la route, en provenance de la raffinerie de Fort Norman sur le Mackenzie. A cet effet, entre temps, les bulldozers ont établi 2 600 km de pipe-lines à travers la forêt vierge.

En dépit des grands froids (-40°C), des fortes chaleurs ($+65^{\circ}\text{C}$), des nuages de poussière impalpable par grand vent, des nuées de moustiques en été, du *blizzard*, la terrible tempête de neige poudreuse qui aveugle et qui couche hommes et choses sur le sol, le climat est sain tout le long de l'Alcan, et la santé des travailleurs civils et militaires fut excellente. Trois équipes travaillaient à tour de rôle pendant huit heures nuit et jour.

L'Alcan traverse une des régions du globe les plus pittoresques et où alternent les paysages les plus variés et les plus grandioses. Ce sont la forêt vierge où la route couvre en plaine des alignements de 50 km sur 15 m de largeur (fig. 13) ; des champs de neiges éternelles, des vallées riantes, des chaînes de montagnes qui ont été traversées par des cols à 1 400 m d'altitude et dont il a fallu tourner les glaciers, des tourbières et le terrible *muskeg* canadien, marais boueux, insondable, où l'homme s'enlise en quelques minutes ; on a traversé ces passes dangereuses en se servant comme premières fondations de la fameuse plateforme hollandaise en fascines chargées de grosses pierres, qui s'enfoncent peu à peu mais finit par s'arrêter. On a traversé des fleuves, presque tous navigables, larges comme des bras de mer. Peu d'imprévu, peu de mécomptes dans



FIG. 13. — LA ROUTE DE L'ALASKA

Un bel alignement de l'Alcan en terrain plat : 15 m de largeur sur 50 km, avec accotements, rigoles et fossés d'écoulements, comme sur les plus belles routes de France (U. S. Inf. S.)



FIG. 14. — L'Océan Arctique et l'opération « Musk Ox »

la construction, et on s'est toujours servi du même matériel, quitte à tourner une courte mauvaise passe par un long détour plutôt que de recourir à un autre matériel, peut-être mieux adapté, mais dont la nouveauté eût entraîné des pertes de temps.

L'Arctique dans la paix et dans la guerre

Tout en rendant hommage aux efforts de l'Organisation des Nations Unies pour assurer la paix du monde, Canadiens et Américains se sont demandé si l'Alcan ne serait pas appelé, un jour, à reprendre son rôle stratégique et, le cas échéant, s'il y suffirait. Quelque cent stations polaires permanentes sont échelonnées, en territoire soviétique, sur le littoral arctique. Il s'agit officiellement de stations météorologiques destinées uniquement à assurer la navigation en été et en automne, grâce à des brise-glaces et à des avions, par ce fameux passage du Nord-Est rêvé par les Russes depuis les recherches du Hollandais Barentz, au xv^e siècle. Avant 1941, les transports y avaient atteint chaque année plusieurs millions de tonnes (1). Ne conviendrait-il pas de créer de semblables stations dans le grand Nord canadien ?

(1) Cette navigation a été rendue difficile pendant la guerre par l'absence de renseignements météorologiques qui, auparavant, étaient envoyés par les stations des pays alors occupés par les Allemands. Elle a cependant été poursuivie même en hiver. Pour suppléer ces renseignements, il a fallu recourir à de nombreux vols de reconnaissance audacieux, périlleux, accomplis par exemple pendant la nuit polaire. Des équipes ont hiverné trois ou quatre années de suite. Avant la guerre, les Russes affirmaient que la plupart de leurs stations polaires étaient dirigées par des femmes.

Les territoires arctiques sont aujourd'hui à l'ordre du jour. L'Alaska, territoire grand comme trois fois la France, en particulier, est encore un pays vide : en 1940, on n'y comptait que 72 000 habitants, dont 32 000 Blancs. Et cependant les richesses de la mer, des fleuves et du sol y sont inépuisables ; celles du sous-sol, variées et nombreuses, sont considérables, et c'est surtout pour atteindre et exploiter les plus faciles d'accès qu'avant 1940 on avait construit quelques voies ferrées de pénétration. Contrairement à ce qu'on croyait autrefois, la culture et l'élevage peuvent y prendre un grand développement.

Les régions polaires semblent devoir jouer un rôle important dans le développement des liaisons aériennes intercontinentales et leur intérêt stratégique pour la défense éventuelle du continent américain est aujourd'hui évident.

Dès 1937, l'U. R. S. S. avait prouvé qu'on peut assurer la liaison aérienne par le pôle entre la Russie et les États-Unis. Des raids récents ont plus que confirmé cette possibilité.

Quoi qu'il en soit, une mission à la fois militaire, technique et scientifique, l'opération « Musk Ox », a été organisée au printemps dernier par le National Defense Department du Canada. Elle comptait quarante-cinq hommes, pour la plupart Canadiens, et était ravitaillée par les avions de la R. A. F. canadienne. Partie le 14 février de Fort-Churchill sur la baie d'Hudson, elle est arrivée à bon port, à Edmonton, à la date prévue, le 6 juin 1946, après avoir décrit un grand U et s'être arrêtée à la Terre Victoria, à Port-Radium et à Fort-Norman, où l'on raffine le pétrole extrait de champs pétrolifères situés à 60 km en aval sur le Mackenzie.

Il s'agissait, disait-on, de savoir comment se comporte sur les champs de neige le nouveau camion à chenilles de 4,5 t, le *snow mobile* qui avait été étudié en vue de la création éventuelle d'un second front en Norvège. Ce camion serait du même type, mais moins lourd, que le *weasel* (belette) de l'armée américaine conçu en 1944, mais dont les premiers exemplaires ne furent construits que peu avant la capitulation du Japon. Le *weasel*, dit-on, peut gravir les rampes de 20 %. Rien n'a encore été publié sur les résultats de l'opération « Musk Ox » (1).

E. LEMAIRE

(1) De grandes manœuvres d'hiver ont également eu lieu cette année dans les régions arctiques ; les détachements Frigid et Frost ont opéré en Alaska, et le détachement Williwaw dans les Aléoutiennes ; ces trois détachements, d'un effectif total de 4 000 hommes, étaient munis d'armements et de véhicules automobiles divers, dont ils devaient étudier les possibilités d'utilisation.

LA DOULEUR ET SES REMÈDES

par le Docteur Paul CHAUCHARD

Directeur adjoint du Laboratoire de Neurophysiologie à l'École des Hautes Études (Sorbonne)

Douleurs physiques, souffrances morales viennent tour à tour nous frapper : notre monde est une vallée de larmes. Devant les lamentations de l'humanité, sorciers et médecins, dès la plus haute antiquité, ont cherché des remèdes à la douleur, tandis que philosophes et religions tentaient de faire comprendre son origine ou son rôle et de justifier sa nécessité. Bien que cela choque notre irrésistible et légitime aspiration vers le bonheur, et tout en reconnaissant que la lutte contre la souffrance est le plus haut devoir des médecins, nous sommes bien forcés de reconnaître, en effet, que cette douleur qui nous révolte par ses excès est cependant utile et que ce n'est pas sans raison que le poète chante que « nul ne se connaît tant qu'il n'a pas souffert ». Le meilleur moyen d'aborder cet éternel problème est de le faire en physiologiste et de présenter la douleur comme une fonction normale de notre organisme. N'est-ce pas elle, en effet, qui nous renseigne en particulier sur le danger du contact destructeur d'un corps tranchant ou brûlant, sur le mauvais fonctionnement de tel ou tel de nos organes ? Nous parvenons ainsi à l'apaisante conclusion que la douleur a sa place dans le plan harmonieux qui préside au fonctionnement de notre organisme. La médecine est de mieux en mieux outillée pour comprendre ce signal d'alarme et s'en servir pour déceler la cause perturbatrice qui lui a donné naissance. A défaut, elle dispose de nombreux moyens pour atténuer ou supprimer les atroces souffrances dont la cause reste inconnue ou en dehors de ses possibilités actuelles.

La douleur physique est une sensation qui, comme tous les autres types de sensations, résulte de l'excitation d'éléments sensitifs périphériques de la peau ou des viscères, de la transmission de cette excitation par les nerfs sensitifs jusqu'aux centres nerveux, et de sa réception par certaines cellules nerveuses du cerveau qui la rendent consciente. Mais, ce qui différencie la douleur physique des autres sensations, c'est qu'elle intéresse toujours notre affectivité ; elle nous est toujours désagréable ; d'autre part, elle ne se produit que dans certaines circonstances, sous l'effet d'excitation d'un type et surtout d'une intensité spéciaux : un effleurement crée la sensation de contact ; l'écrasement d'un doigt provoque la souffrance ; si les contractions de l'intestin, normalement inconscientes, deviennent très violentes, elles sont ressenties comme des douleurs, ce sont les coliques.

La sensibilité douloureuse

Les récepteurs périphériques, sources de messages qui donneront naissance à la sensation de douleur, se répartissent en deux domaines, la peau d'une part, les viscères de l'autre. La sensibilité douloureuse viscérale appartient à une zone normalement dépourvue de sensibilité consciente ; elle apparaît dans des conditions pathologiques dénotant un état maladif de l'organe ; c'est une douleur purement subjective ; seule les réactions du patient montrent sa souffrance ; c'est enfin une douleur difficile à étudier expérimentalement.

Au contraire, la sensibilité douloureuse cutanée, qui n'est qu'une modalité du tact, se manifeste en général en dehors de toute maladie, de tout

trouble organique ; c'est une douleur provoquée par une excitation extérieure nocive ; elle est bien plus objective : si nous voyons quelqu'un saisir un charbon ardent, nous savons qu'il est normal qu'il se brûle. Cette douleur sera mieux connue, car il est facile de la provoquer, donc de l'étudier au laboratoire.

On a souvent insisté sur cette distinction des deux types de douleur, la douleur objective normale, objet des études du physiologiste, douleur que nous acceptons parce que nous pouvons l'éviter et que nous concevons aisément son utilité, et la douleur pathologique, en apparence spontanée, que rencontre le médecin et qui nous laisse souvent désarmés. En fait, la différence n'est pas fondamentale et réside surtout dans le mode d'excitation : les maladies de la peau ou les plaies cutanées sont sources de douleurs cutanées très comparables aux douleurs viscérales ; par contre, des actions mécaniques violentes, un coup de poing par exemple, peuvent déclencher des douleurs viscérales. Les violentes douleurs des contractions utérines de l'accouchement n'ont rien de pathologique, mais le mécanisme de leur production n'est pas très différent de celui des diverses coliques viscérales.

La douleur est-elle propre à la sensibilité cutanée et à la sensibilité interne ? Un son, une lumière, une odeur, etc., peuvent être désagréables, mais il n'y a pas là de douleur. Cependant, un son très intense, une lumière aveuglante font réellement mal ; mais l'élément récepteur spécifique auditif ou visuel n'est pas responsable de cette souffrance ; on a reconnu que la douleur vient, dans un cas, d'un spasme des muscles tenseurs du tympan, dans l'autre d'un spasme de l'iris.

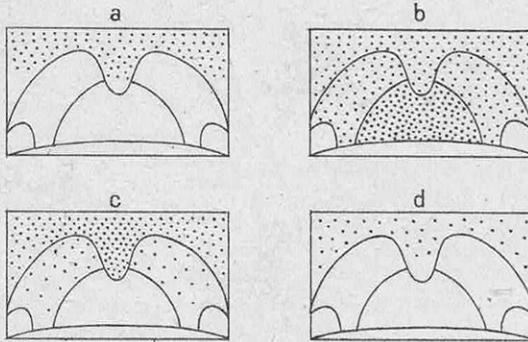


FIG. 1. — LES POINTS SENSIBLES DE LA MUQUEUSE DU PALAIS

a, pression; b, piqûre; c, froid; d, chaud.

La douleur cutanée : piqûre, pincement, brûlure

Quand un objet extérieur vient au contact de notre peau, il peut en résulter trois types de sensation : le tact, la sensation thermique (chaud ou froid), enfin la douleur qui nous renseigne sur un caractère spécial des objets, leur caractère nocif. Trois variétés de sensations douloureuses existent : la sensation de piqûre, la sensation de pincement et la sensation de brûlure.

Dans le cas de la piqûre, il s'agit d'une sensation peu douloureuse, une douleur claire, aiguë, brève et superficielle, bien localisée, en somme une modalité du tact concernant les objets pointus. Si, à l'aide d'un dispositif comportant une pointe fine dont on peut graduer la pression, on recherche la sensibilité cutanée, on s'aperçoit que la sensation n'est provoquée qu'en certains points, dits points de piqûre, correspondant à des récepteurs sensitifs. L'étude de leur répartition montre qu'ils sont différents des points de contact donnant la simple sensation tactile, des points de chaleur donnant la sensation de chaud et de ceux donnant la sensation de froid. Les points de piqûre sont, en général, les plus nombreux, sauf à la pulpe des doigts et à la pointe du nez ; leur densité moyenne est de 170 par centimètre carré. Ils manquent sur la pointe de la lèvre (fig. 1) et une région de la face interne de la joue ; ils sont nombreux sur la cornée, dépourvue de points de tact.

L'indépendance des points de piqûre et des autres points sensibles cutanés apparaît dans de nombreuses circonstances de dissociation : l'application de novocaïne sur la peau abolit la sensibilité au froid, puis à la piqûre, laissant subsister la sensibilité tactile ordinaire, d'où son emploi comme anesthésique local. Par contre, le chlorure d'éthyl-arsine modifie plus le tact que la piqûre. L'arrêt de la circulation dans un membre (garrot) suspend en premier la sensibilité tactile ; par la suite, toute excitation cutanée devient douloureuse.

Le rétablissement de la sensibilité cutanée sur les cicatrices ou les greffes de peau se fait d'abord pour le tact (cicatrices) ou pour la piqûre (greffes). Divers neurologistes se sont fait sectionner de fins rameaux nerveux cutanés et ont étudié le rétablissement de la sensibilité au cours de la régénération. Dans une première phase, la sensibilité reparaît diminuée, mais

modifiée : toute stimulation cause une douleur diffuse, mal localisée, à type de brûlure (sensibilité dite *protopathique*) ; par la suite, la sensation de piqûre localisée, puis, en dernier lieu, le tact reparaissent (ce sont les sensibilités *épicrotiques*).

Cette indépendance des diverses sensibilités cutanées est confirmée, nous le verrons, par le trajet différent des fibres nerveuses correspondantes dans les nerfs et les centres, source de nouvelles dissociations pathologiques ou expérimentales, et par les caractères différents de ces diverses fibres.

L'électricité peut exciter les récepteurs cutanés et donner naissance à des sensations ; on distingue ainsi les sensations de choc, de fourmillement et de chaleur brûlante. Pour les provoquer, il faut des durées d'excitation différentes (on chiffre ces durées en *chronaxies*) (fig. 2) ; on trouve 0,4 à 0,7 millièmes de seconde pour le choc, qui serait la stimulation électrique des récepteurs tactiles ; de 2 à 3,5 pour le fourmillement (piqûre) ; 4 à 7 pour la brûlure, système le plus lent. La mesure du temps de réaction, temps que met le sujet à réagir à une excitation, apporte également la preuve de la rapidité plus grande du tact, puis de la piqûre par rapport à la brûlure.

Dans le cas de la piqûre, l'intensité perçue

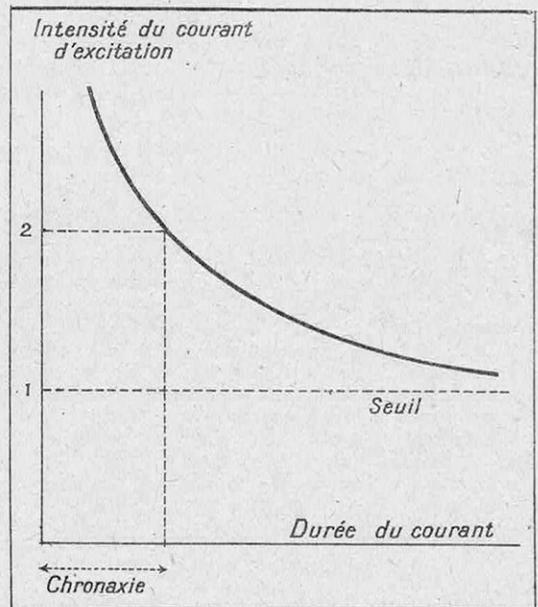


FIG. 2. — COMMENT ON DÉFINIT LA « CHRONAXIE » D'UN NERF

Le professeur Lapique a démontré que la durée minimum d'un courant électrique capable de déclencher l'influx nerveux dans un nerf est fonction de l'intensité de ce courant et de l'organe intéressé ; il existe un minimum d'intensité (seuil d'intensité ou « rhéobase ») en dessous duquel aucun déclenchement n'est possible ; on appelle chronaxie la durée minimum caractéristique de l'organe étudié que doit avoir un courant d'intensité double du seuil pour déclencher le fonctionnement de l'organe. Un influx nerveux ne peut se propager que par l'intermédiaire de neurones ayant tous une chronaxie sensiblement égale, et ne peut exciter des éléments récepteurs que si ceux-ci ont également la même chronaxie (loi de l'isochronisme).

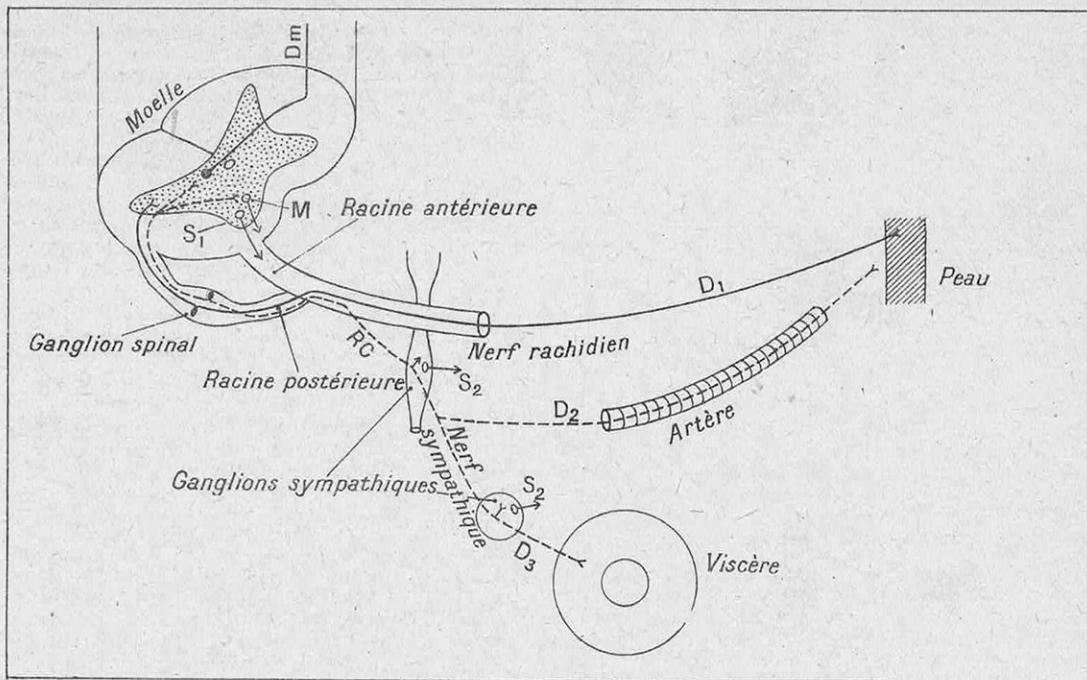


FIG. 3. — SENSIBILITÉ CUTANÉE ET SENSIBILITÉ VISCÉRALE

Les neurones transmetteurs de la douleur cutanée passent soit, comme les fibres du tact, par le nerf rachidien (D_1), soit par les vaisseaux et les nerfs sympathiques (D_2). Le neurone de la douleur viscérale (D_3) et ce dernier neurone (D_2) ont un trajet commun et ont été présentés confondus à partir de leur point de rencontre. Le neurone médullaire (Dm) transmet la douleur vers le thalamus. M, neurone moteur périphérique; S_1 et S_2 , neurones effecteurs sympathiques; Rc, rameau communicant.

croît avec la pression, mais décroît avec la surface excitée; si celle-ci est trop grande, on ne peut exciter les points de piqûre. La valeur de la pression nécessaire dépend de la zone cutanée, spécialement de l'épaisseur de la couche cornée. L'erreur moyenne dans la localisation du point piqué est comparable à celle du tact; on distingue deux piqûres simultanées distantes de 1 à 2 cm. La douleur s'accroît avec la durée de stimulation, persiste légèrement ensuite, s'atténue pour une piqûre prolongée. Alors que les caractères de la stimulation tactile impliquent qu'il s'agit de l'excitation de corpuscules sensitifs (de Meissner), pour la piqûre, il doit s'agir de terminaisons nerveuses libres de la peau.

Quand on augmente la surface stimulée et que la peau est comprimée, apparaît la douleur de pincement, douleur plus sourde et moins localisée, dépendant de la compression des nerfs cutanés; cette douleur peut s'étudier avec des appareils permettant de serrer un pli de peau en mesurant la force de pincement. Sa latence, sa persistance, son temps de réaction sont plus longs que pour la piqûre; cette douleur résiste plus à la cocaïne et persiste ou s'exagère après section des filets nerveux cutanés, car les fibres nerveuses qui la transmettent empruntent d'autres trajets.

La sensation de brûlure est provoquée par des excitations non plus mécaniques, mais par irritation chimique ou action thermique extrême. La sensation de brûlure est souvent précédée, pour les excitations moins intenses, de la sensation de démangeaison. Dans certaines cir-

constances pathologiques (hyperalgésie), toutes les excitations cutanées peuvent causer de la brûlure. Il n'existe aucun rapport entre la sensibilité de brûlure et la sensibilité thermique, comme le montrent de nombreux exemples de dissociation; l'association fréquente avec la sensation de chaleur a seule créé un lien subjectif. A l'inverse de la sensation de chaud, celle de brûlure apparaît pour une température fixe, quelle que soit celle de la peau. C'est un dispo-

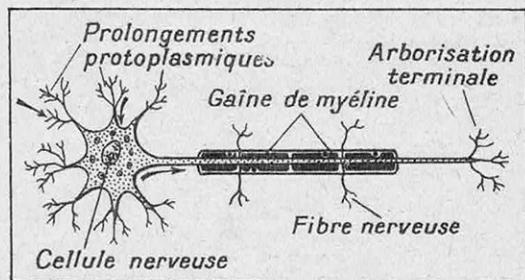


FIG. 4. — STRUCTURE DE LA CELLULE NERVEUSE OU NEURONE

La cellule se prolonge par une « fibre » entourée parfois d'une gaine de myéline aboutissant à l'arborisation terminale. Cette fibre, ou axone, transporte l'influx nerveux. Les neurones, ainsi constitués d'une cellule et d'un axone ramifié, sont les éléments dont est tissé le système nerveux composé de « centres » cellulaires et de « nerfs » transmetteurs.

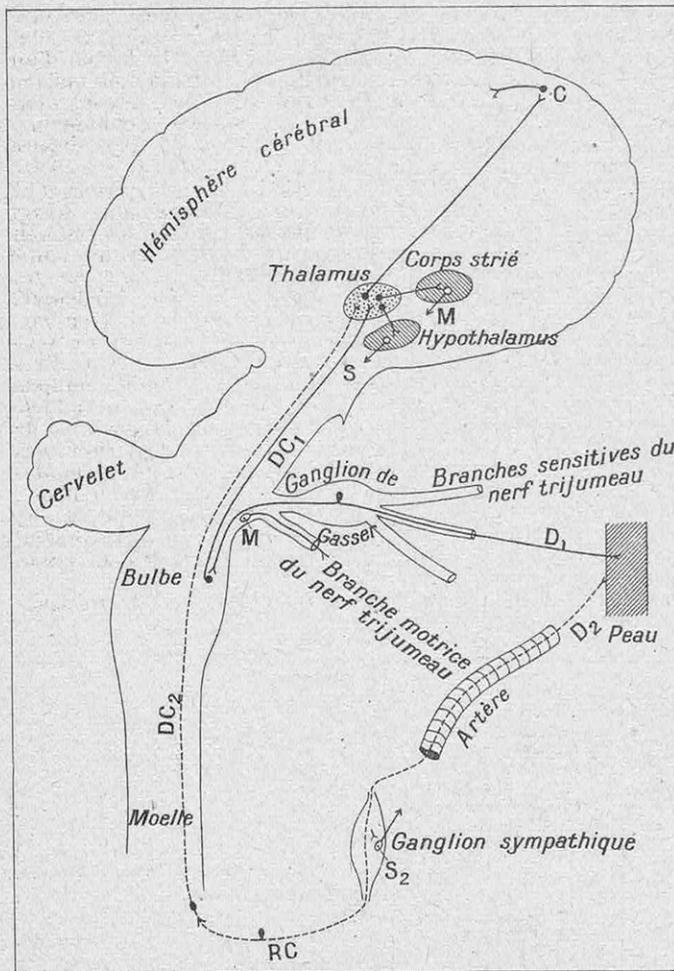


FIG. 5. — LES VOIES DE LA NÉVRALGIE FACIALE ET LES CENTRES DE LA DOULEUR

D_1 , neurone empruntant directement le trijumeau; DC_1 , neurone central correspondant gagnant le thalamus; M , neurone moteur des muscles masticateurs; D_2 , neurone de la douleur empruntant la voie sympathique par la carotide et le ganglion sympathique cervical supérieur; DC_2 , neurone central correspondant, remontant de la moelle vers le thalamus; S_2 , neurone effecteur sympathique. Les neurones du centre thalamique se mettent en rapport avec les corps striés (neurones M moteurs automatiques), l'hypothalamus (neurones S régulateurs sympathiques) et l'écorce cérébrale (neurones C , élaborateurs de la sensation).

sitif d'alarme au bord des zones dangereuses de chaud ($45^{\circ} C$) et de froid ($10^{\circ} C$). Le seuil varie un peu avec la région. Les excitants chimiques, facteurs de démangeaison et de brûlure, peuvent être d'origine externe (application d'un acide sur la peau, piquûre d'insecte, etc.) ou d'origine interne (urticaire, accidents anaphylactiques). Beaucoup de maladies de la peau, les plaies sont autant de douleurs cuisantes. Si certaines substances peuvent exercer une action caustique directe, il semble que, dans de nombreux cas, l'excitant provoque la libération dans la peau d'histamine et que ce soit cette substance qui déclenche l'excitation chimique du nerf.

Les douleurs viscérales

Normalement, il ne semble pas exister de sensibilité viscérale : nous ne savons rien de nos organes ; il existe seulement une obscure sensation d'aise ou de malaise et parfois des besoins, comme celui d'uriner si la vessie est trop distendue. Les viscères sont insensibles aux contacts, aux piqûres, aux excitations thermiques (si l'on excepte la muqueuse de l'œsophage et de l'estomac). Les expérimentateurs, pas plus que les chirurgiens, ne provoquent à ce niveau la douleur par de tels moyens. Cependant, la pathologie est là pour nous révéler qu'il serait faux de conclure à l'insensibilité des viscères : ceux-ci reçoivent une riche innervation appartenant au système nerveux sympathique ; il existe des terminaisons sensibles, et toute l'harmonieuse coordination de la motricité viscérale involontaire dépend de l'utilisation des innombrables messages sensitifs, inconscients, nés dans les récepteurs sensibles viscéraux et sources d'innombrables réflexes (1).

Les excitations ordinaires dans le domaine viscéral ne parviennent jamais jusqu'au cerveau ; il faut des excitations spéciales pour qu'elles deviennent conscientes, et il se produit alors toujours une sensation de douleur. Comme type, nous indiquerons d'abord la contraction spasmodique des muscles lisses : douleurs des coliques intestinales banales, douleurs atroces de l'occlusion intestinale, des coliques hépatiques ou néphrétiques, qui sont des spasmes de la musculature des conduits biliaires ou urinaires sous l'influence des calculs, douleurs des dysménorrhées où souvent il faut incriminer un spasme des trompes, douleurs des contractions utérines de l'accouchement. Ce sont également les douleurs de distension (vessie, dans les lésions de l'urètre, de la prostate), douleurs d'étirement ou de torsion (kystes de l'ovaire), de compression (action des tumeurs, des cicatrices). A côté de ces douleurs, dues plutôt à la traction mécanique

des fibres, il y a aussi des brûlures d'origine chimique : brûlures d'estomac dues à l'hyperacidité gastrique, douleurs des troubles vasculaires. La douleur est particulièrement fréquente dans les lésions des séreuses entourant nos viscères (par exemple la plèvre, alors que le poumon est peu sensible). Les parois vasculaires elles-mêmes sont sensibles : certaines injections intraveineuses ou intra-artérielles sont douloureuses. Le mal de tête dépend en partie de spasmes vasculaires et de l'irritation des récepteurs sensitifs méningés par l'hypertension du

(1) Voir « Du réflexe à l'activité volontaire » (Science et Vie, n° 348, septembre 1946).

liquide céphalo-rachidien. Les toxines et les microbes, par leurs effets inflammatoires d'ordre congestif ou par la distension qu'entraînent les collections purulentes, sont d'importants facteurs de douleur.

Ces mêmes facteurs de douleur se retrouvent au niveau de tous nos tissus : douleurs des crampes, contracture de nos muscles squelettiques, brûlures chimiques (acide lactique de ces mêmes muscles courbaturés), douleurs des articulations malades distendues par la suppuration, etc.

Comme les brûlures cutanées auxquelles elles ressemblent, les douleurs viscérales sont mal localisées, très intenses, persistantes, angoissantes ; elles s'opposent aux faibles douleurs de la sensibilité douloureuse cutanée de piqure.

Douleurs cutanées d'origine interne

Bien ou mal localisée, une douleur nous était, jusqu'ici, toujours apparue comme le signe d'une lésion de la zone douloureuse ; il n'en est pas toujours ainsi. En effet, bien des lésions viscérales se reconnaissent non à une douleur dans la région intéressée, mais par une douleur à distance, une douleur rapportée. Les plus curieuses sont les localisations cutanées des

douleurs internes : une zone cutanée peut être le siège d'une douleur, non par suite d'un effet nocif local, mais par suite de la lésion d'un organe profond, parfois très distant, et qui, en particulier, n'est pas sous-jacent à la zone douloureuse ; au lieu d'une douleur profonde mal localisée, on ressent une douleur très précise dans le domaine de la sensibilité consciente habituelle. On a pu établir des cartes indiquant les zones cutanées correspondant aux divers organes. Rappelons que les maladies du poumon ou de la plèvre débutent souvent par un point de côté ; l'angine de poitrine causée par les troubles circulatoires du muscle cardiaque, outre la sensation angoissante de douleur cardiaque mal localisée, donne des douleurs précises précordiales irradiant dans tout le bras gauche ; dans l'appendicite, la peau abdominale est douloureuse en un point précis de la fosse iliaque, et cela quelle que soit la position de l'appendice, douleur spontanée différant des douleurs de palpation qui, elles, sont profondes et dépendent de l'excitation de l'organe malade ; rappelons encore le point scapulaire de la lithiase biliaire, le point de côté abdominal simulant une appendicite dans certaines pneumonies infantiles.

La connaissance de ces faits est précieuse

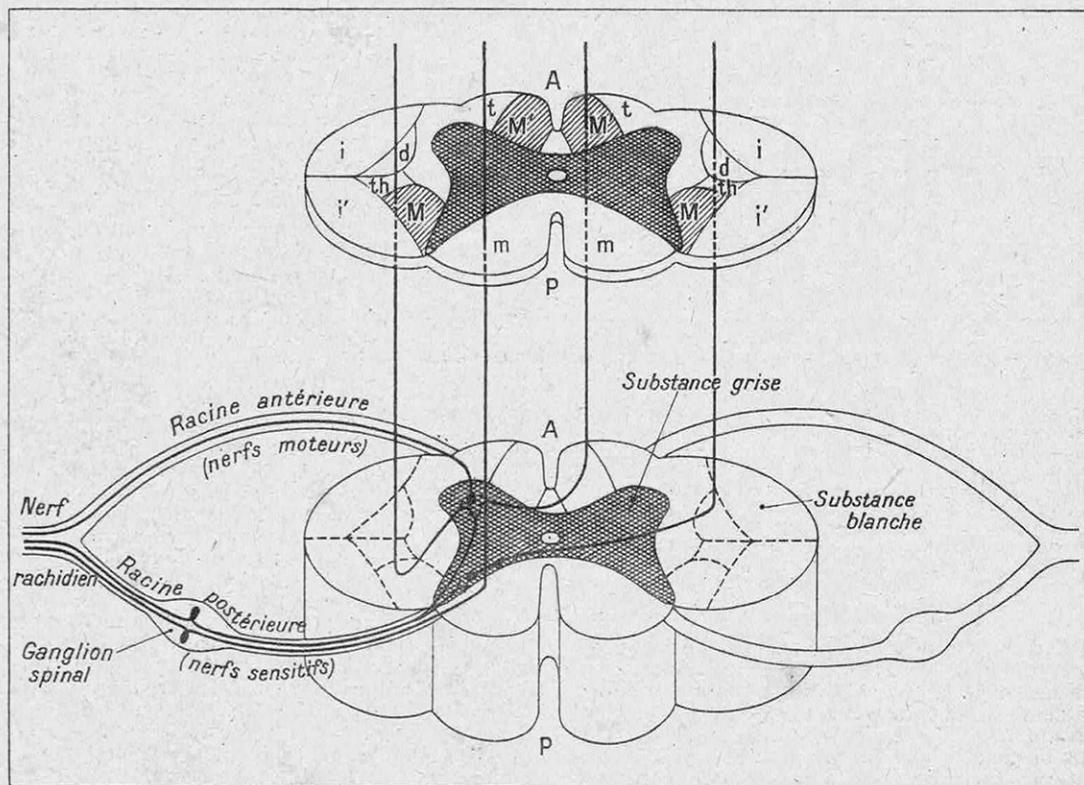


FIG. 6. — CONDUCTION DE LA DOULEUR DANS LA MOELLE

La coupe transversale de la moelle montre la substance grise avec sa corne antérieure renflée, contenant le corps du neurone moteur périphérique, dont la fibre gagne le nerf rachidien par la racine antérieure, et sa corne postérieure effilée, recevant les fibres sensitives par la racine postérieure, les corps de ces fibres étant dans le ganglion spinal. Faisceaux de la substance blanche: t, tact; d, douleur; th, sensibilité thermique; m, sens musculaire; i et i' sensibilités inconscientes destinées au cerveaulet; en hachure, les faisceaux de fibres motrices volontaires M et M'. Deux neurones sensitifs (sens musculaire et douleur) sont figurés.

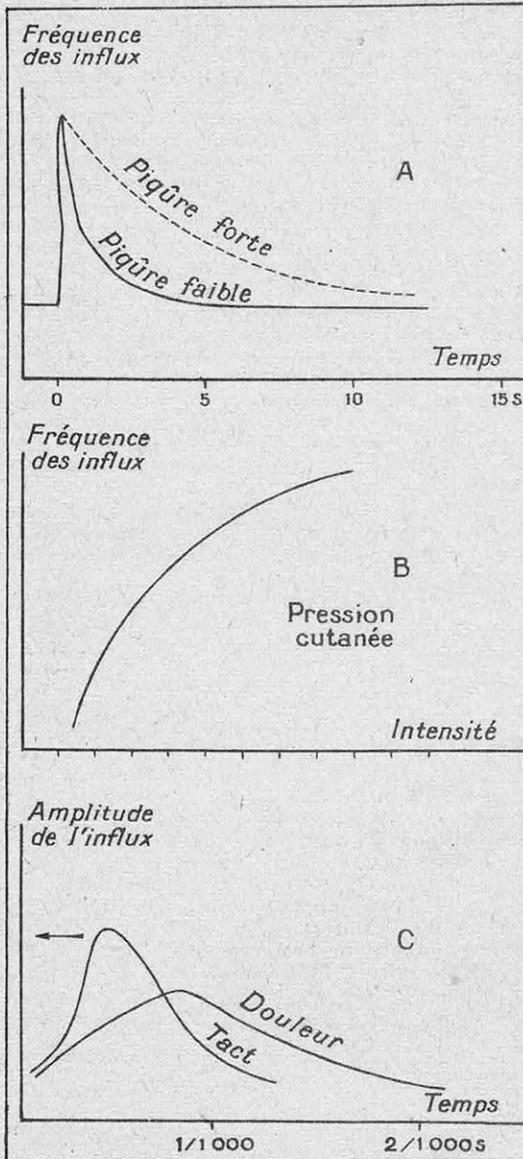


FIG. 7. — MESSAGES SENSORIELS DOULOUREUX

A, diminution de fréquence des influx pour une piqûre plus ou moins forte de la patte d'un chat; B, augmentation de fréquence avec l'intensité de la pression cutanée; C, ondes d'influx du tact et de la douleur; les premières apparaissent plus brèves que les secondes.

pour le diagnostic, mais leur interprétation est délicate. Il est établi que la zone cutanée intéressée est celle dont les fibres sensibles atteignent la moelle au même niveau que les fibres venant du viscère malade (fig. 3); on peut donc supposer que le message de douleur venant de l'organe, message intense inhabituel, est transmis aux cellules nerveuses centrales qui, habituellement, transmettent à ce niveau les messages de douleur de la peau; le cerveau est alors trompé et rapporte à la peau le message anormal, véritable illusion de douleur cutanée.

Une telle explication ne peut être acceptée depuis que Lemaire a observé que, si on insensibilise à la cocaïne la zone cutanée douloureuse, la douleur se calme comme si elle était vraiment cutanée. On peut fonder sur cette base une intéressante méthode thérapeutique. Mais cela prouve que la peau était vraiment le siège de la douleur. Vraisemblablement, il faut faire intervenir ici de véritables réflexes; les messages douloureux du viscère entraînent de la contraction douloureuse des muscles squelettiques de la paroi, des perturbations vasomotrices de la peau, etc. On sait qu'inversement, en agissant sur la vasomotricité superficielle par les pratiques révulsives (sinapismes, ventouses), on peut agir par voie réflexe sur les troubles internes.

Cette guérison de douleurs profondes par action localisée en certains points de la peau semble très analogue à l'*acupuncture* ou à l'*ignipuncture* de la vieille médecine chinoise, puisque, là aussi, en piquant ou brûlant la peau, on agit sur des maladies internes. Mais il n'existe aucun accord entre les localisations révélées par la médecine moderne et celles de la médecine chinoise, basée sur une curieuse conception métaphysique de répartition d'énergies; ses heureux succès semblent dus à des influences réflexes sans spécificité de localisation.

Les nerfs de la douleur

Voici donc, sous l'effet des divers excitants envisagés, soit d'origine externe, soit d'origine interne, des terminaisons nerveuses excitées. Insistons sur le fait qu'il ne s'agit pas de corpuscules sensitifs spécialisés, de cellules sensibles spéciales, mais de terminaisons nerveuses sensibles banales appartenant à des fibres de caractère différent.

Pour causer la sensation, l'excitation doit gagner le lointain cerveau; il nous faut envisager maintenant quel trajet va emprunter le message le long des nerfs et dans les centres d'une part, et en quoi consiste ce message d'autre part.

Les fibres nerveuses, on le sait, sont constituées par les *axones*, longs prolongements des cellules nerveuses ou *neurones* (fig. 4). Celles relatives aux diverses sensations tactiles et douloureuses ont leur corps cellulaire dans les *ganglions spinaux* annexés aux racines postérieures des nerfs rachidiens ou de leurs homologues, les nerfs crâniens (par exemple, le ganglion de Gasser du nerf trijumeau qui donne sa sensibilité à la face).

Alors que les fibres du tact et souvent celles de la piqûre empruntent des filets nerveux cutanés qui aboutissent aux nerfs mixtes crâniens et rachidiens, les fibres des autres types de douleur cutanée empruntent souvent un itinéraire plus compliqué; elles suivent (fig. 3) la paroi des vaisseaux cutanés, y serpentent au sein des plexus sympathiques, puis, toujours le long des vaisseaux, elles gagnent finalement un ganglion sympathique, puis de là, après un trajet plus ou moins long dans les nerfs sympathiques, arrivent au ganglion sensitif par l'intermédiaire du rameau communicant qui met en rapport ce ganglion avec le sympathique. Ainsi s'explique que, souvent, la section du nerf innervant la peau ne supprime pas la sensibilité douloureuse; par exemple, certaines douleurs de la face ne disparaissent pas par ablation du ganglion de Gasser, mais nécessitent d'enlever dans

le cou le ganglion cervical supérieur du sympathique ; ces fibres de la douleur, au lieu de suivre simplement le trijumeau, passent dans la paroi de la carotide, puis le sympathique cervical pour entrer dans la moelle au niveau de la base du cou et rejoindre ensuite, après avoir remonté toute la moelle et la base du cerveau, les fibres venues directement par le trijumeau (fig. 5).

L'importance des voies sympathiques pour la conduction de la douleur est ainsi très grande, et on s'explique, par les rapports qui peuvent s'établir avec les fibres sympathiques effectrices, que la douleur s'accompagne d'importants processus vasomoteurs (rougeur, etc.). Dans le cas des douleurs viscérales, la transmission se fait uniquement par voie sympathique.

Les fibres sensibles se terminent à leur entrée dans la moelle ou l'encéphale au contact d'un second neurone situé entièrement dans les centres nerveux et qui va conduire à son tour le message jusqu'à la base du cerveau. Les fibres de la sensibilité tactile ou celles de la sensibilité thermique ont, dans la moelle, un trajet différent (fig. 6). Ainsi s'explique que certaines maladies médullaires rendent le sujet insensible à la douleur, alors que le tact subsiste : le syringomyélique se brûle les pieds atrocement sans le sentir. Nous verrons qu'on a pu réaliser une chirurgie de la douleur en coupant ce faisceau spécial de la moelle. Finalement, toutes les fibres conductrices de la douleur aboutissent à des neurones situés juste sous le cerveau, dans un centre que l'on appelle le *thalamus*. Ce sont ces neurones qui envoient le message jusqu'à l'écorce cérébrale, siège des neurones récepteurs où s'élabore la sensation. Mais l'importance de la région thalamique est telle qu'elle doit être considérée comme le vrai centre de la douleur.

Les « messages » douloureux

S'il existe des fibres spéciales pour conduire le message, celui-ci n'a rien de caractéristique. Comme toujours, il s'agit d'ondes d'*influx nerveux*. Une excitation, physique ou chimique, consiste toujours en une dépolarisation, une brusque diminution de la charge électrique que la cellule nerveuse entretient autour d'elle par le chimisme vital. C'est au centre qu'il revient d'interpréter ce message. La notion d'intensité est liée au rythme des trains d'influx : une stimulation intense donne des influx fréquents ; une stimulation faible des influx rares. Enfin, plus l'intensité est grande et plus le nombre de fibres intéressées sera grand. Les fibres de la douleur sont fines (0,002 ou 0,003 mm), à influx peu ample se propageant lentement, tandis que les fibres du tact sont grosses (0,01 mm), à influx ample et bref, se propageant rapidement (fig. 7). La vitesse de l'influx est de 30 à 60 m/s pour le tact, 20 à 30 m/s pour la piqure, 8 à 17 m/s pour le pincement, 2 à 5 m/s pour la brûlure.

En un point quelconque de leur trajet, les fibres conductrices de messages de douleur sont excitables soit aux effets mécaniques : traction, compression, soit aux effets chimiques. Il en résulte une douleur rapportée à la périphérie innervée par le nerf ou parfois une douleur en éclair sur le trajet nerveux. (On connaît les effets d'un choc violent du coude sur le nerf cubital.) Toute cause pathologique qui irriterait le nerf causerait une douleur ; il en sera ainsi des compressions tumorales, des brides cicatricielles. La

disposition anatomique prédispose à la compression des racines du nerf sciatique à la sortie de la moelle par les parois vertébrales ; telle sera souvent l'origine des atroces névralgies sciatiques ; une opération permettra de dégager la racine et de supprimer la souffrance. Les moignons des amputés sont souvent le siège de brûlures atroces (*causalgie*) dues à la compression des filets nerveux dans le tissu cicatriciel. Les maladies propres du nerf peuvent intervenir, notamment dans les affections rhumatismales ; les troubles de la vascularisation du nerf entraînent des douleurs et il s'établit souvent un cercle vicieux entre les troubles vasomoteurs et les douleurs qui s'amplifient mutuellement. Le froid peut suffire à causer la douleur sur un nerf sensibilisé. Devant une névralgie, il faudra en chercher la cause, et ce n'est qu'à défaut d'une action extérieure que le médecin pourra conclure à une atteinte propre du nerf ou à une sensibilisation des centres nerveux.

A côté de la névralgie sciatique, signalons encore la névralgie faciale, souffrance du nerf trijumeau, dans bien des cas inexplicables, et qui cause des douleurs atroces par crises déclenchables en appuyant en certains points spéciaux. Tout se passe comme si le centre se chargeait silencieusement sous l'influence des excitations périphériques et que, pour un certain degré de charge, la décharge survienne brusquement. Dans le tabes, il existe des douleurs fulgurantes en éclair dans les nerfs, par suite de lésions siégeant au niveau de la moelle. Expérimentalement, l'attouchement des cordons postérieurs au cours des opérations de neuro-chirurgie cause des douleurs analogues. Parmi les douleurs névralgiques, on distingue les douleurs propres aux nerfs encéphalo-rachidiens, douleurs aiguës, à siège précis, sans troubles vasculaires notables, calmées par la section du nerf, et les douleurs sympathiques, tout aussi atroces, mais plus angoissantes, plus durables, mal localisées, à type de brûlure, s'accompagnant de troubles vasomoteurs, de lésions cutanées variées ; pour agir sur elles, il faut sectionner les fibres sympathiques. Parfois une très minime lésion nerveuse, souvent inaperçue, peut causer des douleurs

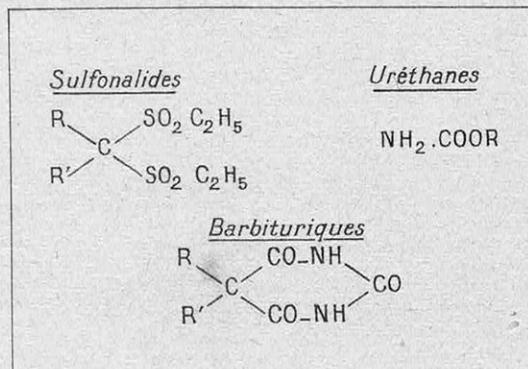


FIG. 8. — FORMULES GÉNÉRALES DE QUELQUES HYPNOTIQUES

R et R' représentent des groupes variés. On trouvera par exemple, parmi les barbituriques, des radicaux éthyl dans le véronal, éthyl et butyl dans le sonéryl, éthyl et phényl dans le gardénal, méthyl-cyclohexényl dans l'évipan, etc.

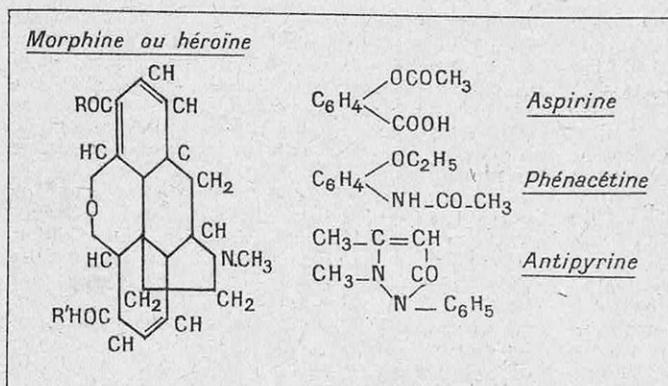


FIG. 9. — QUELQUES FORMULES D'ANALGÉSQUES

La première formule représente la morphine si on remplace les radicaux R et R' chacun par un atome d'hydrogène; elle représente l'héroïne en les remplaçant chacun par le radical CH₂-CO-.

atroces bouleversant la vie et amenant jusqu'au suicide.

Le « thalamus », centre de la douleur

La douleur est une sensation que nous connaissons bien. Mais, pour savoir si quelqu'un souffre réellement, il est des signes variés, certains faciles à imiter, d'autres que le simulateur ne pourra reproduire. Ces signes, nous les retrouvons sur l'animal : ce sont les cris, les larmes, une mimique spéciale avec position particulière des sourcils, des variations du rythme respiratoire, une dilatation de la pupille, des variations du pouls pouvant amener la syncope, de la pâleur, de la diarrhée, la perte des matières ou des urines, la prise d'attitudes diminuant la douleur, la contraction des mâchoires, etc. Le physiologiste américain Cannon a insisté sur la sécrétion d'adrénaline à partir de la glande surrénale, ce qui modifie tout le chimisme interne. Une douleur violente perturbe tout l'organisme, pouvant amener la mort. Les détracteurs de la vivisection ne savent pas que l'expérimentateur ne peut opérer que sous anesthésie, car la douleur empêcherait toute expérience.

Toutes ces réactions semblent bien liées à la sensation consciente de douleur ; or, il n'en est rien ; ce sont des phénomènes réflexes qui n'ont pas besoin de l'écorce cérébrale ; on a pu priver des chiens ou des chats d'écorce cérébrale, et ces animaux manifestaient autant leur souffrance, réagissant même de façon exagérée (1). Toutes ces manifestations sont sous la dépendance du centre coordinateur des messages sensitifs et notamment douloureux qu'est le thalamus, où aboutissent toutes les fibres sensitives. En même temps qu'ils agissent sur l'écorce cérébrale pour élaborer la sensation de douleur, les neurones thalamiques agissent sur les neurones moteurs des corps striés pour commander les réactions automatiques de la motricité squelettique, et ils agissent sur les neurones régulateurs sympathiques de l'hypothalamus pour déclencher les signes viscéraux de la douleur. Rappelons qu'à côté de ces réflexes supé-

rieurs, il est d'autres réflexes de la douleur : par exemple les réflexes plus locaux de vaso-dilatation. Loin d'être un aiguilleur passif, le thalamus peut manifester sa propre sensibilité en diminuant ou augmentant les réactions douloureuses : serrer les dents relève ainsi le seuil de la douleur. Les maladies du thalamus sont effroyablement douloureuses : toutes les sensations arrivent à être perçues comme de la douleur ; c'est un autre type de douleur, la douleur d'origine centrale.

Les centres qui assurent cette régulation automatique de la douleur sont aussi responsables de toute la régulation de notre activité instinctive, et, en particulier, de son côté affectif : le thalamus est le centre de l'émotion, d'où la grande parenté entre les manifestations émotives et les signes de la douleur. La douleur apparaît comme un des types d'émotion causé par les effets désagréables intenses ; en opposition, le plaisir ou la joie sont l'émotion de l'agréable. La plupart des émotions sont causées par n'importe quelle stimulation sensorielle ; seul le désagréable et la douleur possèdent, en outre, des récepteurs spécifiques dont la stimulation est toujours entachée d'affectivité.

De la douleur physique à la douleur morale

La sensation de la douleur n'est pas donnée par le thalamus, mais par l'écorce cérébrale ; des neurones sensitifs coordinateurs intègrent la sensation dans l'image de notre corps, et ce phénomène constitue une des bases de la conscience. Comme l'écrit Leriche, « personne ne sait comment, dans le cerveau, se fait la transformation de l'excitation en sensation... En réalité, c'est le vrai problème, le grand problème. C'est celui de toutes les sensations. » Il faut simplement insister sur le rôle plus grand des neurones corticaux dans le cas de la fine douleur localisée, telle que la piqûre ; les grossières douleurs sont plus thalamiques, le cerveau n'étant soumis qu'à leur répercussion.

Capital va être le rôle de l'écorce dans la psychophysiologie de la douleur ; elle va permettre de passer de la douleur physique à la douleur morale. L'écorce cérébrale jouit éminemment du pouvoir d'inhiber, de retenir les réflexes automatiques de la douleur : impassibilité du sujet maître de lui. Au suprême degré pathologique, on en arrive à une insensibilité qui soustrait totalement le sujet à la douleur ; c'est le cas des anesthésies hystériques résultant d'un trouble fonctionnel cérébral : on a pu faire des opérations chirurgicales sur de tels sujets endormis par simple hypnose. Enfin, et surtout, l'écorce cérébrale, avec ses milliards de neurones, permet d'édifier de nouveaux réflexes, réflexes d'acquisition dits conditionnés : le chien frappé par un bâton a souffert ; la simple vue du bâton le fera souffrir et fuir ; chez l'homme ce sera, grâce à la symbolique du langage, le mot bâton, puis l'idée de châtiement. Si on donne de la viande à un chien en lui brûlant la patte, il finira par se réjouir

(1) Voir « Le retentissement biologique de l'émotion » (Science et Vie, n° 354, mars 1947).

de cette brûlure ainsi liée à une idée agréable (Pavlov). La douleur morale se manifeste comme la douleur physique parce qu'elle est une réaction cérébrale conditionnée reposant sur l'affectivité élémentaire, où la douleur physique joue un rôle prédominant.

A l'inverse des lésions du thalamus, les lésions de l'écorce cérébrale ne sont pas douloureuses ; la pathologie de la douleur, à ce niveau où le psychique s'insère sur le physiologique, est d'un type très spécial : ce sont les troubles du fonctionnement de l'écorce cérébrale qui causent les hallucinations de la douleur, fausses douleurs, notamment celles que les amputés rapportent à leur membre absent, les réactions anormales à la douleur par excès ou défaut (certains aliénés supporteront d'avoir les pieds sur un fer rouge, mais hurleront si on les pince) et les curieuses insensibilités localisées de l'hystérie.

L'utilité de la douleur

Cet exposé de la constitution du système nerveux de la douleur nous montre donc nettement que celle-ci n'est pas une dysharmonie, mais qu'elle fait effectivement partie du plan de notre organisme ; elle possède un rôle avertisseur indéniable, une fonction protectrice, pour, d'une part, déclencher des réflexes protecteurs inconscients, comme celui de retirer sa main d'un objet chaud, d'autre part aviser la conscience que « quelque chose ne va pas » pour l'organisme. Bien souvent, c'est la douleur qui nous conduit chez le médecin, et qui ainsi nous sauve. Cannon a insisté sur l'utilité manifeste des réactions correctrices déclenchées dans notre organisme même par la douleur, notamment la sécrétion d'adrénaline. Ce n'est certes pas faire preuve de partialité philosophique que de reconnaître que notre organisme est une machine bien construite, présentant des réactions hautement finalisées pour le maintien de la vie. Cependant, si ce précieux signal d'alarme devient si insupportable qu'il rend la vie impossible, il dépasse son but, mais c'est là une fatalité liée à l'existence et au mode de fonctionnement du système nerveux de la douleur, et qu'il faut accepter. Cette étude physiologique nous confirme également le rôle de la douleur dans le cours de notre psychisme. Une telle réhabilitation de la douleur ne serait pas possible s'il ne nous était pas loisible d'y remédier.

Les remèdes de la douleur

Que faire devant une douleur pathologique ? En chercher, avec l'aide de spécialistes avertis, la cause pour la supprimer et arrêter par là même la douleur qui aura rempli son but. Mais, si l'état de la science ne révèle pas cette cause, ou si la technique ne permet pas d'y remédier, ou s'il est trop tard, si le remède nécessite une opération source de nouvelles souffrances, si la cause de la souffrance est temporaire et minime quoique celle-ci nous gêne, alors il faudra s'adresser à la thérapeutique propre de la douleur, mais alors seulement, car endormir une douleur dont on n'a pas cherché la cause pourrait être une imprudence fatale.

Nous sommes aujourd'hui remarquablement armés contre la douleur (1) et il nous est ainsi

d'autant plus facile de signaler les abus de ceux qui, refusant toute douleur, si minime soit-elle, s'intoxiquent par des substances calmantes, et spécialement les toxicomanies de la morphine et de la cocaïne qui conduisent l'individu à sa perte, sans oublier les toxicomanies mineures, mais préjudiciables, des barbituriques ou autres hypnotiques.

Il existe d'abord une *thérapeutique physique*, surtout locale, de la douleur. Aux procédés anciens utilisant les massages, la chaleur (révulsifs), le froid, se sont ajoutés des agents plus modernes : irradiation ultraviolette, diathermie, ondes courtes, radiothérapie, qui agissent sur les nerfs et déclenchent des réflexes vasomoteurs. La diélectrolyse permet d'amener des ions médicamenteux actifs au contact du nerf malade.

Les *moyens chimiques* comprennent d'abord les *anesthésiques généraux* qui permettent les opérations sans douleur : éther, chloroforme, chlorure d'éthyle, des gaz comme le protoxyde d'azote, le cyclopropane, tous donnés par voie respiratoire, tandis que l'avertine, des barbituriques, l'évipan, le pentothal permettent la voie intraveineuse. Tous ces corps, agissant par intoxication des centres cérébraux, suppriment conscience et volonté par un sommeil toxique ; une surveillance attentive est nécessaire pour qu'une intoxication plus poussée n'atteigne pas les centres vitaux du bulbe.

Pour calmer des douleurs moindres sans toucher la conscience, on a recours aux *hypnotiques* qui permettent un sommeil presque normal malgré la douleur ; il en existe de nombreux types : chloral, sulfonalides, uréthane, barbituriques (véronal, gardénal, évipan, pentothal) (fig. 8). La chimie moderne s'efforce de réaliser des corps hypnotiques de plus en plus actifs et de moins en moins toxiques ; il existe un rapport entre les propriétés et la constitution chimique ; de faibles modifications peuvent supprimer l'activité hypnotique. Les bromures,

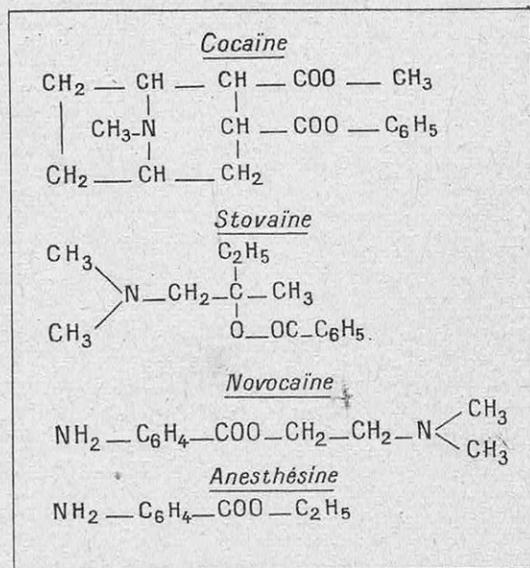


FIG. 10. — QUELQUES FORMULES D'ANESTHÉSIIQUES LOCAUX

(1) Voir « Les techniques modernes de l'anesthésie chirurgicale » (Science et Vie, n° 350, novembre 1946).

la valériane, la belladonne ont une activité hypnotique plus faible. Parmi ces hypnotiques, les uns agissent plus sur le thalamus, les autres sur les centres de l'écorce cérébrale.

Les *analgésiques* agissent plus électivement encore sur les seuls centres de la douleur ; le prototype en est la morphine, alcaloïde principal de l'opium, dont le danger réside dans l'accoutumance et la toxicomanie ; la chimie moderne a fabriqué des analgésiques comme l'héroïne (fig. 9) ; signalons encore le hachisch, le peyotl, la cocaïne. Enfin, pour les petites douleurs courantes, les *analgésiques antithermiques* comme l'aspirine, la phénacétine, le pyramidon sont spécialement efficaces. Le salicylate de soude agit dans les douleurs rhumatismales, l'atophan contre la goutte, l'aconitine contre les névralgies.

Il existe enfin une thérapeutique chimique qui ne vise pas les centres supérieurs, mais s'attaque aux conducteurs périphériques de la douleur, ce sont les *anesthésiques locaux* bloquant les messages des nerfs quand on les met à leur contact ; le type en est la cocaïne ; les chimistes ont réussi à trouver la partie de la molécule qui est active à ce point de vue et ont synthétisé des corps plus actifs et moins toxiques comme la stovaïne, la novocaïne, l'anesthésine, etc. (fig. 10). Dans l'anesthésie régionale, on agit sur les gros troncs nerveux ; on peut anesthésier ainsi toute la partie inférieure du corps en portant l'anesthésique dans le liquide céphalo-rachidien dans la région de la moelle lombaire (*rachianesthésie*). Le salicylate de méthyle, le goménol, les baumes d'huile iodée ont aussi une action calmante locale. La cocaïnisation des ganglions sympathiques est un bon moyen de lutte contre certaines douleurs viscérales ; l'injection autour du nerf d'un mélange alcool-antipyrine est aussi active ; en l'injectant dans le nerf, on provoque sa dégénérescence.

La chirurgie de la douleur

Ces derniers procédés employés dans la thérapeutique des névralgies nous amènent à parler de la *chirurgie de la douleur*. Celle-ci a pour but, devant une douleur insupportable et dont on ne peut supprimer la cause, de sectionner les fibres conductrices de la douleur. On peut ainsi

couper des nerfs craniens ou rachidiens, par exemple sectionner le trijumeau ou ses branches dans la névralgie faciale, ou enlever le ganglion de Gasser ; la destruction au lieu d'être mécanique peut se faire par injection d'alcool dans le nerf. Étant donné l'importance du sympathique pour la conduction de la douleur, on a été amené (Leriche) à sectionner les fibres sympathiques, soit par destruction des plexus contenus dans les parois des artères (*sympathectomie péri-artérielle*), soit par ablation de ganglions sympathiques. Pour s'assurer préalablement des heureux effets de l'opération, on commence par une anesthésie cocaïnique de l'élément à sectionner, dont l'effet doit être semblable à celui de l'opération, mais sera transitoire. Ainsi on pratique l'ablation du ganglion stellaire dans l'angine de poitrine. Enfin, devant de terribles douleurs rendant la vie impossible, notamment dans les cancers inopérables, la chirurgie a osé s'attaquer aux voies centrales de la douleur : on coupe dans l'opération de la *cordotomie* le faisceau antéro-latéral de la moelle ; on sectionne les fibres centrales du trijumeau ; dans les douleurs thalamiques, la section par cordotomie bilatérale des voies de la douleur amène un amendement de la souffrance en mettant le thalamus au repos.

Enfin, étant donné l'importance de l'écorce cérébrale et ses possibilités d'atténuer ou d'exacerber la douleur, il importe de ne pas oublier la psychothérapie : le traitement moral de la douleur est capital ; il faut rassurer celui qui souffre, lui donner confiance et ainsi l'activité des autres thérapeutiques sera accrue. Le fait est encore plus net chez les sujets psychiquement anormaux puisque nous avons vu que la suggestion hypnotique avait pu permettre des opérations chirurgicales sans souffrance. Il faudra convaincre le malade pour l'empêcher de sombrer dans les toxicomanies, lui faire accepter certaines souffrances pour reposer son système nerveux des toxiques. On ne saurait, à ce point de vue, minimiser l'influence des philosophies ou des religions qui donnent un sens à la douleur et permettent par conséquent de s'y résigner ou de l'accepter.

Paul CHAUCHARD

Le professeur Glenn T. Seaborg a annoncé récemment que les Laboratoires métallurgiques de l'Université de Chicago avaient fabriqué artificiellement divers isotopes des éléments portant les numéros 43, 61 et 85 de la classification périodique de Mendéléev, comblant ainsi les dernières cases vides de cette classification. C'est ainsi que Perrier et Segre, en bombardant le molybdène avec des deutons (noyaux d'hydrogène lourd), ont obtenu un isotope radioactif de l'élément 43 (masurium) en quantité suffisante pour montrer que ses propriétés chimiques le rapprochaient plus du rhénium que du manganèse. On a pu différencier, par leurs périodes radioactives, onze isotopes de l'élément 43. L'élément 61 (illinium) est une terre rare dont cinq isotopes radioactifs ont été préparés par Kierbatov et Pool d'une part, Wu et Segre d'autre part. Les propriétés de l'un des trois isotopes radioactifs de l'élément 85 ont été étudiées par Corson, Mackenzie et Segre ; il a été obtenu en bombardant le bismuth par des particules alpha de 32 millions d'électrons-volts. Enfin, l'élément 87 radioactif (actinium K) a été découvert en France, en 1939, par M^{lle} Perey et M. Lecoq, parmi les produits de désintégration de l'actinium.

LE CHAUFFAGE PAR THERMOPOMPE

par Henri FRANÇOIS

Ancien élève de l'École polytechnique

Le début de la civilisation mécanique et chimique, que nous vivons encore actuellement, apparaîtra sans doute aux hommes de l'avenir comme une époque de gaspillage effréné : gaspillage du charbon, des minerais, du pétrole, des terres fertiles, etc. Déjà, à la suite des calamités entraînées par l'imprévoyance de l'homme et des crises provoquées par les guerres, une réaction s'amorce, même dans les pays aux richesses « illimitées », comme les États-Unis. Le progrès technique permet de tirer parti des minerais à faible teneur, des déchets agricoles, des scories des usines, et aussi de ces déchets invisibles que sont les calories rejetées inutilement dans l'air ou dans les rivières. Un des plus importants gaspillages actuels provient en effet de nos méthodes de chauffage défectueuses. La crise de l'énergie que nous subissons aujourd'hui aura au moins l'avantage de stimuler les recherches dans ce domaine où d'énormes économies peuvent être réalisées. Une des solutions les plus séduisantes est sans doute la thermopompe qui, avec une faible dépense d'énergie, élève les calories d'une température à laquelle elles sont sans valeur à une température où elles deviennent utilisables. Cet appareil a, dans certains pays, largement dépassé le stade expérimental, et d'énormes stations de chauffage industriel ou urbain par thermopompe y fonctionnent déjà avec un rendement excellent.

PARMI les restrictions que nous a imposées la deuxième guerre mondiale, une des plus pénibles est sans doute le manque de chauffage. La crise du chauffage, qui n'est qu'un des aspects de la crise de l'énergie, n'a pas épargné les non-belligérants, atteints par la suppression presque complète de leurs importations de charbon, et, à l'heure actuelle, elle s'étend à toute l'Europe.

Mais les remèdes adoptés pour atténuer cette crise diffèrent d'un pays à l'autre. Tandis qu'en Angleterre les combustibles liquides viennent au secours du charbon pour certaines de ses applications, en Suisse, c'est à la houille blanche que l'on fait appel dans toute la mesure du possible pour économiser le combustible, réservé aux industries où il est indispensable, et la guerre a fait se multiplier les installations de chauffage électrique.

Or, le chauffage électrique, sous sa forme classique de dissipation de chaleur par effet Joule dans une résistance, est un procédé qui se révèle, en dernière analyse, désastreux. Sans doute peut-on dire que son rendement, pour l'usager, est égal à 100 %, puisque l'énergie électrique absorbée par la résistance s'y retrouve intégralement sous forme de chaleur. Mais, si l'on tient compte des conditions dans lesquelles l'énergie électrique est produite, on parvient à des conclusions bien différentes. Supposons, en effet, que l'électricité soit d'origine thermique. Le charbon brûlé à la centrale produit une certaine quantité de chaleur dont une partie est transformée en énergie mécanique par les turbines, puis en énergie électrique par les alternateurs. Or, l'ensemble chaudière-turbine-condenseur, comme toutes les machines thermiques, a un

rendement très inférieur à 100 %, dont la limite supérieure théorique est fixée par le principe de Carnot. Bien que le rendement de toutes les autres transformations de l'énergie jusqu'à son utilisation pour le chauffage soit excellent, le rendement pratique global n'atteint certainement pas 20 %.

D'ailleurs, quelle que soit sa provenance, l'énergie électrique est une forme noble de l'énergie, et c'est un gaspillage certain de la transformer directement en une forme dégradée, comme la chaleur. Pour réaliser une solution correcte du chauffage électrique, il faudrait faire subir à l'énergie fournie par le secteur des transformations exactement inverses de celles qu'elle a subies à la centrale thermique, c'est-à-dire chauffer à l'aide d'une machine thermique dont on inverse le fonctionnement.

L'idée n'est d'ailleurs pas nouvelle, puisqu'il y a plus de quatre-vingt-dix ans le grand physicien anglais Lord Kelvin a proposé d'utiliser comme source de chaleur les calories rejetées par les machines frigorifiques, autrement dit de transformer de l'énergie mécanique en chaleur en inversant une machine thermique.

La thermopompe : une machine thermique qui fonctionne à l'envers

Si nous considérons le bilan calorifique d'une machine à vapeur, à piston ou à turbine, nous voyons (en supposant que le rendement de cette machine soit bon) que, pour produire 1 kWh d'énergie mécanique (équivalent à 860 calories), la chaudière devra fournir environ 4 000 calories.

Sur ces 4 000 calories, 3 100 environ seront

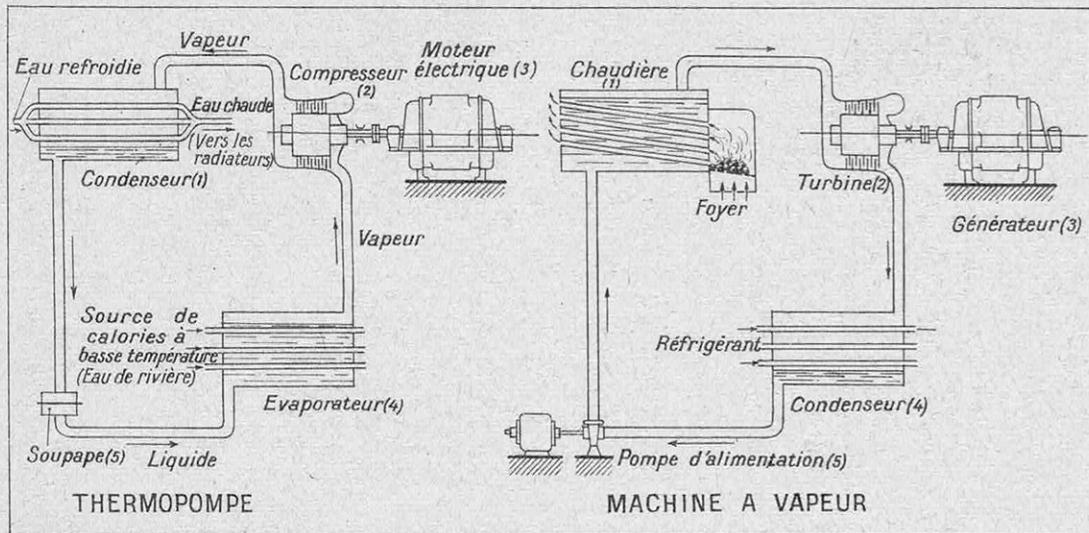


FIG. 1. — LA CORRESPONDANCE DES DIVERS ORGANES D'UNE MACHINE A VAPEUR ET D'UNE THERMOPOMPE

Cette correspondance est indiquée par les chiffres de telle sorte que le chiffre 1 représente dans les deux cas la source « chaude » et le chiffre 4 la source « froide ». Mais, dans la machine à vapeur, la source chaude fournit du travail et la source froide en absorbe, alors que c'est l'inverse qui se produit dans la thermopompe. De même, la machine à vapeur fournit de l'énergie mécanique au générateur électrique 3 sur l'arbre de la turbine 2, tandis que la thermopompe emprunte de l'énergie mécanique au moteur 3 pour actionner le compresseur 2.

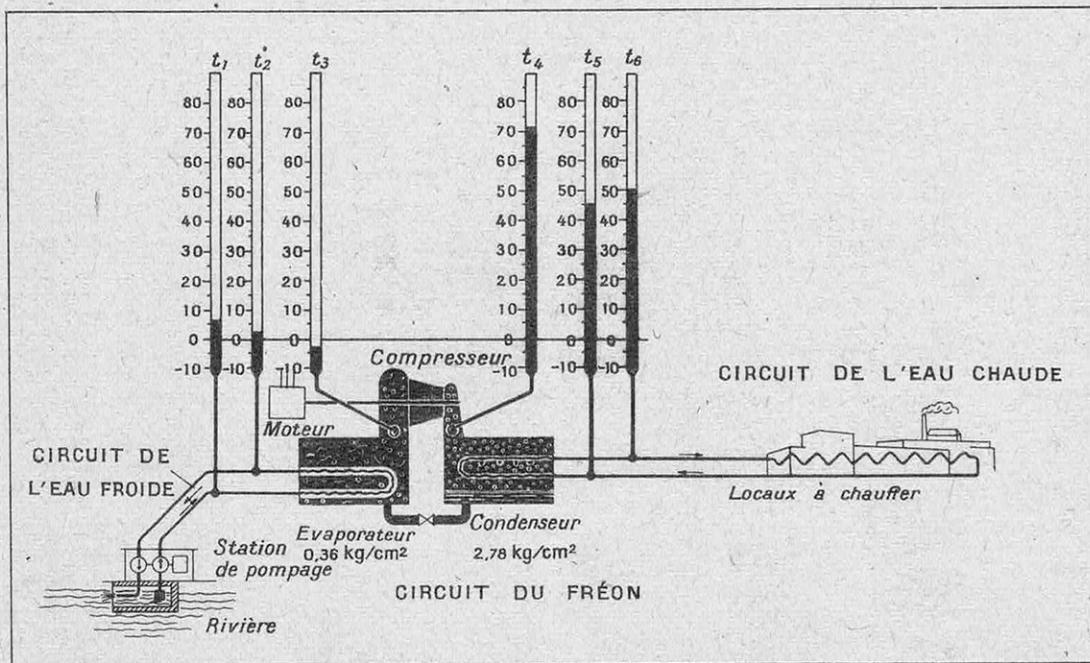


FIG. 2. — SCHÉMA DE L'INSTALLATION DE CHAUFFAGE PAR THERMOPOMPE D'UNE GRANDE USINE SUISSE

L'installation comporte trois circuits indépendants. Le premier fournit de la chaleur à basse température. Il comporte une circulation d'eau de rivière, qui, pompée à 6°C est rejetée à 2°C après avoir cédé des calories à basse température à la thermopompe. Dans la thermopompe circule du « fréon 11 » (de formule CFCl_2). Après s'être vaporisé à basse pression et basse température ($0,36\text{ kg/cm}^2$ et -3°C), le fréon est comprimé jusqu'à $2,78\text{ kg/cm}^2$ et porté à 72° environ. Il cède alors dans le condenseur ses calories au circuit de chauffage de l'usine, constitué par une circulation d'eau qui, partant à 50° , revient à 45° après avoir cédé sa chaleur aux radiateurs. Une soupape ramène le fréon liquéfié à l'évaporateur, et le cycle recommence. Pour le chauffage d'une grande fabrique, réalisé suivant ce schéma, la puissance absorbée par le moteur électrique du compresseur était l'équivalent de 0,5 million de calories/heure; la chaleur fournie par la rivière était de 1,4 million de calories/heure. La chaleur fournie à l'installation de chauffage était la somme des deux, soit 1,9 million de calories/heure, soit près de quatre fois celle dépensée sous forme électrique (d'après Brown Boveri)

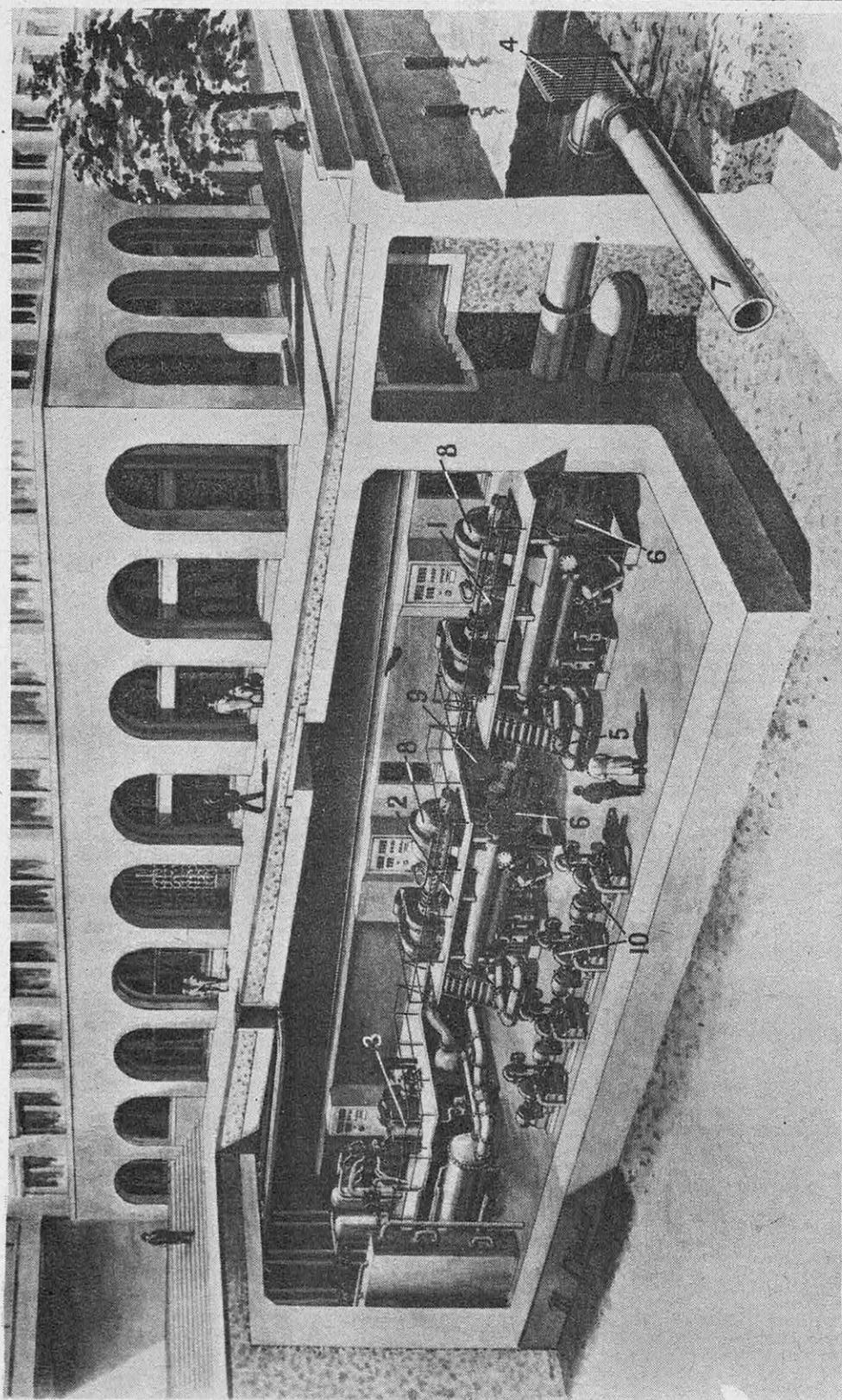


FIG. 3. — VUE DE LA CENTRALE SOUTERRAINE DU RÉSEAU DE CHAUFFAGE PAR THERMOPOMPE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE ZÜRICH. La centrale comporte deux thermopompes à turbines 1 et 2 et une thermopompe à piston 3. L'eau de la rivière est prise en 4 et envoyée par la pompe 5 dans l'évaporateur 6 où elle cède sa chaleur et retourne à la rivière 7. On aperçoit en 8 le compresseur actionné par le moteur 9 d'une thermopompe et en 10 les pompes qui actionnent la circulation d'eau chaude dans le réseau du chauffage. Chaque thermopompe a une puissance maximum de 2 500 000 cal/h et réalise une économie annuelle de 1 200 t de charbon.

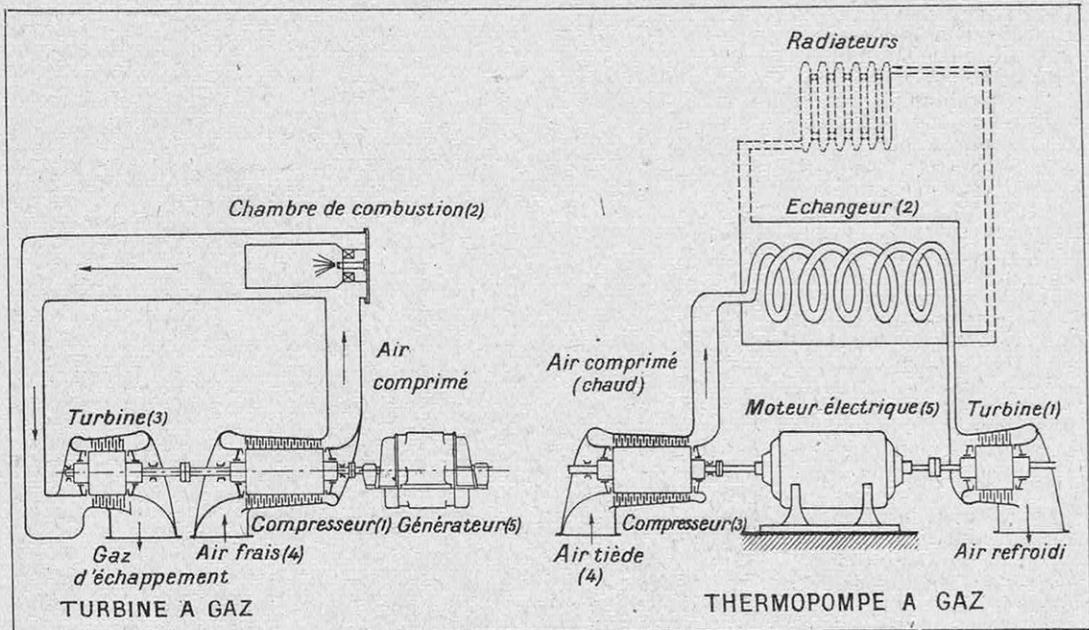
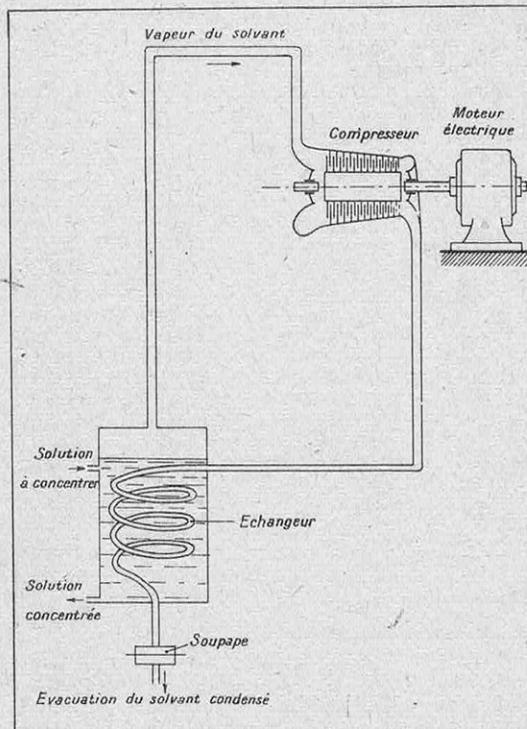


FIG. 4. — LA CORRESPONDANCE ENTRE LES ORGANES D'UNE TURBINE A GAZ ET CEUX D'UNE THERMOPOMPE A GAZ

Cette correspondance est indiquée par les chiffres. Dans les deux cas, c'est l'atmosphère 4 qui est la source « froide », mais elle absorbe de la chaleur dans la turbine à gaz et elle en fournit dans la thermopompe. La source « chaude » 2 fournit la chaleur de combustion du carburant dans la turbine à gaz. Elle absorbe, au contraire, de la chaleur dans la thermopompe. De même, la turbine est remplacée par un compresseur et, réciproquement, et le générateur 5 est remplacé par un moteur électrique qui fournit de l'énergie mécanique à la thermopompe. L'air subit donc les transformations suivantes dans la thermopompe: compression et échauffement dans le compresseur 3, apport de chaleur à l'échangeur 2, détente dans une turbine 1 qui restitue sur l'arbre commun du moteur 5, de la turbine 1 et du compresseur 3 une part de l'énergie employée à comprimer l'air.



fatalement cédées au condenseur, et perdues par conséquent.

On démontre en thermodynamique que, si on réalisait une machine thermique parfaite fonctionnant à l'envers de la première entre les mêmes températures, c'est-à-dire si le fluide employé dans la seconde subissait exactement les transformations inverses de celles qu'il subit dans la première et dans un ordre inverse, on pourrait théoriquement, avec une dépense de 1 kWh, reprendre les calories cédées à la source froide et les restituer à la source chaude, augmentées de l'équivalent du travail fourni à la machine. Dans la pratique, comme le rendement des deux machines n'est pas égal au rendement théorique, la chaleur restituée à la source chaude ne sera, par exemple, que de 3 000 calories, mais elle sera encore trois à quatre fois supérieure à ce que donne la transformation directe du kilowatt-heure en chaleur dans une résistance électrique.

On appellera coefficient de performance le rapport entre la quantité de chaleur fournie à

FIG. 5. — SCHEMA DE PRINCIPE D'UN THERMO COMPRESSEUR

La solution à concentrer est chauffée par un serpentin dans lequel arrive la vapeur chaude du solvant. Elle entre en ébullition, et la vapeur qu'elle laisse échapper est aspirée par le compresseur et portée par sa compression à une température supérieure à la température d'ébullition de la solution. Elle cède à celle-ci sa chaleur de vaporisation et est évacuée à l'état liquide à la partie inférieure de l'échangeur.

la source chaude et l'énergie dépensée pour la produire, exprimée, bien entendu, en calories. Ce coefficient pourra être d'autant plus grand que l'écart de température entre la source chaude et la source froide sera plus petit, car, dans une machine thermique, le nombre de calories déplacées entre la source chaude et la source froide pour une même quantité d'énergie mécanique produite (machine à vapeur) ou consommée (machine inversée) augmente quand l'écart de température entre les deux sources diminue.

On appelle *thermopompe* à vapeur la machine à vapeur inversée qui servira à effectuer cette opération. Dans cette machine, le fluide effectue un circuit en sens inverse de son sens de circulation dans la machine à vapeur et il y subit les transformations inverses, c'est-à-dire que la turbine, ou le cylindre de détente, est remplacée par un compresseur, la chaudière par un condenseur, et le condenseur par un évaporateur.

La figure 1 montre comment la thermopompe est exactement calquée sur la machine à vapeur, et les chiffres indiquent les organes qui se correspondent dans les deux « cycles » inversés parcourus par le fluide. Si l'on voulait pousser la correspondance jusqu'au bout, à la pompe d'alimentation de la machine à vapeur devrait correspondre, dans la thermopompe, une petite turbine utilisant la chute d'énergie au passage du fluide de la pression de la source chaude à celle de la source froide. Cette énergie ne vaut pas la complication qui en résulterait, et le passage s'effectue par une simple soupape.

Dans la thermopompe, c'est la source froide qui fournit des calories à basse température, et la source chaude qui recueille ces calories à une température plus élevée. La machine peut, suivant les températures entre lesquelles elle travaille et la « source » utilisée, servir d'appareil de chauffage ou de machine frigorifique. Dans la thermopompe utilisée pour le chauffage des immeubles, la source chaude cède ses calories à une circulation d'eau du type « chauffage central », qui va distribuer ces calories dans toutes les pièces par des radiateurs. On peut admettre que l'eau de cette circulation soit à une température supérieure à celle d'un chauffage au mazout, si l'on augmente la surface des radiateurs, mais on ne peut descendre au-dessous d'une certaine limite (50 à 60° C). Le fluide qui circule dans la thermopompe devra donc céder ses calories à une température supérieure à cette valeur, de l'ordre de 75° C, par exemple, afin que les échanges de chaleur se fassent à une vitesse suffisante.

Quant à la température de la source froide, elle est déterminée par celle de la source de calories « gratuites » que l'on trouve à utiliser. Cette source pourra être soit de l'eau de rivière,

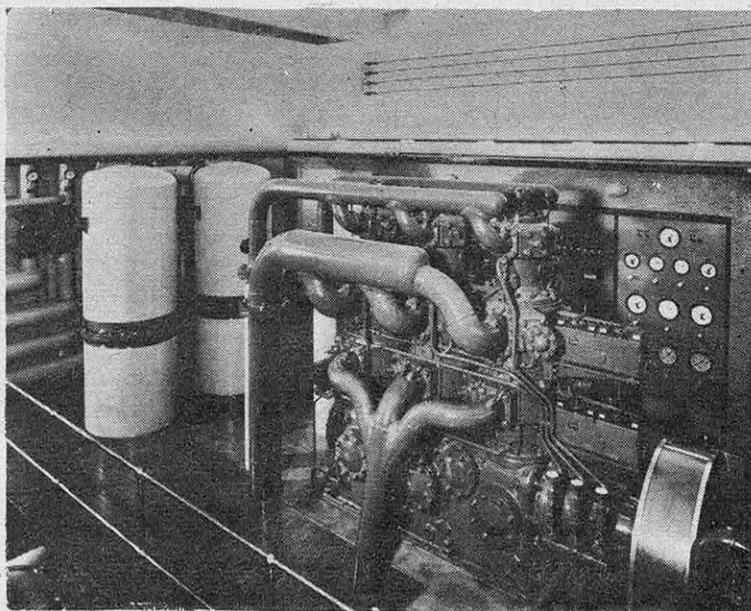


FIG. 6. — UN COMPRESSEUR VERTICAL A TROIS CYLINDRES ET TROIS ÉTAGES DE COMPRESSION A LA CENTRALE COMPLÉMENTAIRE DE POMPES A CHALEUR « WALCHE » DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE ZURICH (SULZER)

qui, en hiver, se refroidit moins vite que l'atmosphère et peut fournir en quantité pratiquement illimitée des calories entre 2° et 15° C par exemple, soit l'eau de la ville (dans la mesure où un prélèvement de calories qui pourra abaisser sa température d'une dizaine de degrés ne présente pas d'inconvénient), ou enfin les eaux usées, mais tièdes, d'un établissement de bains ou d'une piscine.

On peut d'ailleurs augmenter le rendement d'une installation en divisant l'intervalle de température à franchir en plusieurs paliers entre lesquels plusieurs machines fonctionnent en série. Mais le gain ainsi obtenu est évidemment compensé par un accroissement rapidement prohibitif de la complexité des installations.

Le choix des températures extrêmes détermine celui du fluide que l'on fait circuler dans la machine. Les machines frigorifiques exigent des liquides conservant aux basses températures (— 20° C) une tension de vapeur appréciable, par exemple l'ammoniaque liquide. Pour les appareils de chauffage, destinés à fonctionner entre 0° et 70° C par exemple, on utilise généralement des fluides spéciaux tels que les fréons, qui sont des hydrocarbures dans la molécule desquels le fluor est substitué à un certain nombre d'atomes d'hydrogène. Les fréons ont l'avantage d'être remarquablement inertes au point de vue chimique, non toxiques et inodores.

La figure 2 représente le cycle parcouru par un tel fluide dans une installation pratiquement réalisée.

Le thermocompresseur

Il est un cas particulier où l'emploi d'une thermopompe est particulièrement avantageux : c'est celui où l'on doit évaporer de grandes quantités de liquides au cours de la fabrication

industrielle d'un produit chimique ou alimentaire. Si l'on se contente de rejeter dans l'atmosphère la vapeur produite par cette opération, la chaleur latente de vaporisation des liquides, qui est énorme, est entièrement perdue, et cette évaporation est très coûteuse : pour évaporer 1 kg d'eau, il faut 600 calories environ, soit l'équivalent de 1 kWh ou de 1/10 kg de charbon de qualité moyenne. Or, nous sommes ici dans un cas idéal pour l'emploi d'une thermopompe ; la vapeur produite, qui est sensiblement à la température d'ébullition du solvant, pourra, après une élévation de température relativement faible, restituer ses calories à de nouvelles quantités de liquide.

Mais ici l'appareil se simplifie en ce sens qu'au lieu d'avoir trois circuits indépendants, l'un qui amène les calories, l'autre qui les élève d'une température à une autre, et enfin le troisième qui les transporte au point d'utilisation, ces trois circuits sont ici confondus en un seul, et c'est le solvant à évaporer qui sert de fluide de la thermopompe.

La vapeur qui prend naissance dans l'évaporateur est portée par un compresseur à une température et une pression supérieures à celles de l'ébullition dans l'évaporateur, puis vient échanger ses calories avec le liquide à évaporer, tandis qu'elle-même se condense, cédant sa chaleur latente de vaporisation (fig. 5).

Comme une faible élévation de température de cette vapeur suffit pour que l'échange se fasse correctement avec le liquide à évaporer, et que, par conséquent, l'écart des températures de la source chaude et de la source froide est faible, le coefficient de performance sera très satisfaisant : il pourra être de l'ordre de 15, et l'économie de charbon qu'il permet de réaliser comparativement à une installation sans récupération de calories est considérable.

Comme on est libre de régler la pression en amont et en aval du compresseur, on peut également, dans une certaine mesure, régler la

température à laquelle s'effectue la vaporisation du solvant, et en particulier, si la pression avant le compresseur est inférieure à la pression atmosphérique, ce vide partiel permet d'évaporer des solutions à des températures inférieures à la température d'ébullition normale du solvant. Cette propriété est utilisée notamment pour concentrer à basse température et à l'abri de l'air des produits alimentaires fragiles, jus de fruits par exemple.

La thermopompe à air comprimé

La machine à vapeur était, à l'époque où Lord Kelvin eut l'idée du chauffage thermodynamique, la machine thermique par excellence. Depuis, un deuxième type de machine lui a fait une concurrence qui, dans certains domaines, a été victorieuse : c'est la famille des machines qui utilisent comme fluide non plus un liquide et sa vapeur, mais l'air. Cette famille se subdivise à son tour entre les moteurs à explosions ou diesels et les turbines à gaz. Du point de vue thermodynamique, il n'y a d'ailleurs pas de différence entre l'un et l'autre, puisque l'air y parcourt le même cycle : il est d'abord comprimé (par un piston ou par un compresseur), puis porté à une température élevée (par une explosion ou une combustion continue), puis il se détend en produisant du travail (dans un cylindre ou dans une turbine), et enfin il s'échappe et un appel d'air frais recommence le cycle. Dans les deux cas, le travail de compression est emprunté au travail de détente des gaz, soit grâce à l'inertie des pièces tournantes (moteur à explosions ou diesel), soit grâce à l'entraînement du compresseur par la turbine à gaz, et l'énergie mécanique utilisée est la différence entre l'énergie de détente et l'énergie de compression de l'air.

Ici encore le rendement de la machine, rapport entre l'énergie libérée par la combustion du carburant et le travail utilisable, a un maximum théorique qui dépend des températures de la source chaude et de la source froide : une partie seulement de la chaleur fournie par la combustion est transformée en énergie mécanique, l'autre est rejetée dans l'atmosphère et perdue.

Il est possible d'inverser le cycle parcouru par l'air dans de telles machines : la figure 4 représente la correspondance entre les organes d'une turbine à gaz et ceux d'une thermopompe à air comprimé.

On constate expérimentalement, compte tenu de ce que les rendements de la turbine et du compresseur ne sont pas parfaits, que la machine ainsi inversée restitue à la source chaude non seulement l'équivalent de l'énergie mécanique fournie à l'ensemble turbine-compresseur, mais encore des calories prélevées sur la source « froide ».

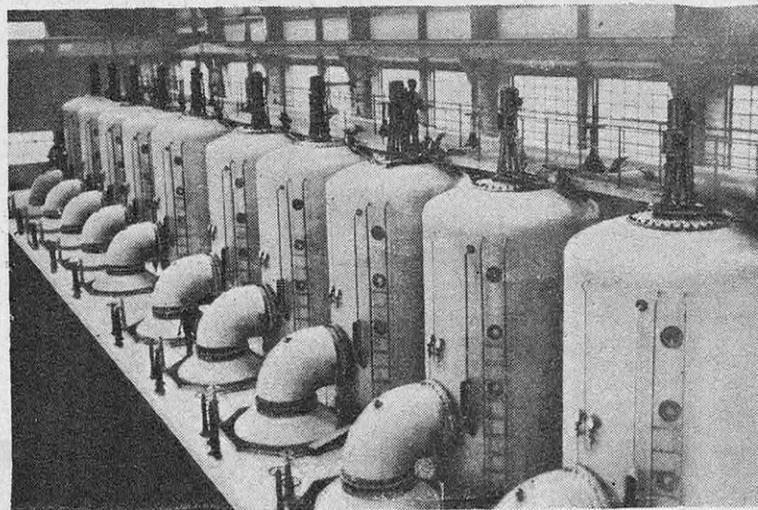


FIG. 7. — UNE GRANDE INSTALLATION DE POMPES THERMIQUES (ESCHER WYSS)
On aperçoit ici les évaporateurs d'une fabrique suisse d'aluminium, qui sont capables d'évaporer 100 000 l d'eau à l'heure.

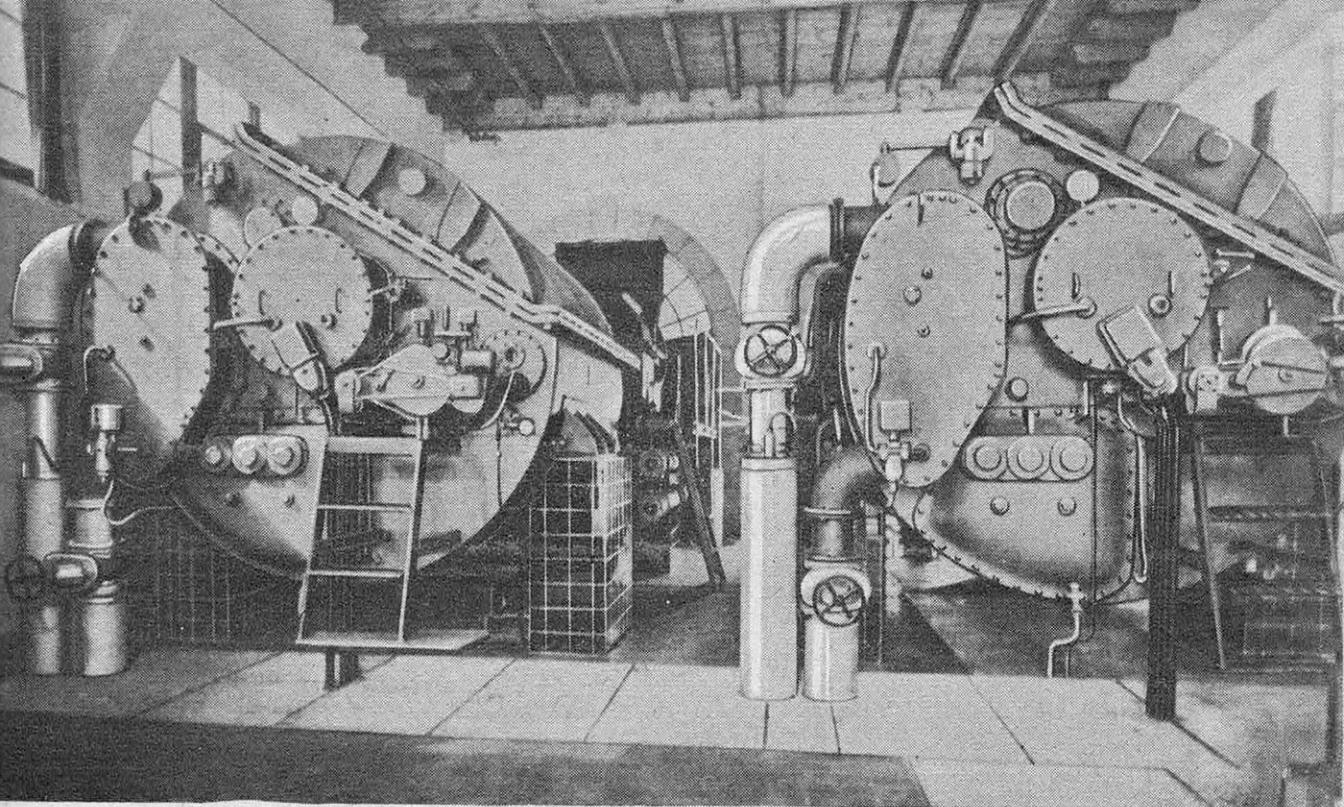


FIG. 8. — DEUX POMPES THERMIQUES PRODUISENT L'EAU CHAUDE DE L'USINE DE SOIE ARTIFICIELLE DE LA STECKBORN S. A. (BROWN BOVERI)

La puissance de chacune de ces deux thermopompes est de 1 à 1,7 million de calories/heure. Une seule de ces deux machines suffit, lorsque l'eau du lac de Constance est à 13° C, à produire de l'eau à une température comprise entre 58° et 70° C en quantité suffisante pour les besoins de l'usine. Leur coefficient de performance est égal à 3, et le fonctionnement d'une seule unité économise 2 100 t de charbon par an.

qui est constituée ici par une certaine masse d'air.

Ici encore le coefficient de performance de l'appareil de chauffage, rapport entre la chaleur recueillie à la source chaude et l'énergie mécanique dépensée, sera d'autant meilleur que l'écart entre les températures extrêmes de l'air au cours de ses transformations sera moins élevé.

Par conséquent, le procédé de chauffage sera d'autant plus intéressant que l'on disposera comme source froide d'une masse d'air aussi tiède que possible. Cette masse d'air sera, par exemple, l'air vicié de l'immeuble qu'on veut chauffer, ou de l'air ayant séjourné dans un souterrain, ou à défaut l'air ambiant.

Dans de nombreux cas, il risque d'être saturé d'humidité et de poussières. Il faudra en tenir compte pour ne pas détériorer la turbine et le compresseur et pour éviter les condensations, voire même le givrage sur les aubes de la turbine.

Les réalisations

La thermopompe était encore, avant la guerre, une curiosité scientifique. On citait quelques exemples de réalisations dont le plus fameux était l'installation de conditionnement d'air du gratte-ciel de la Southern California Edison Co, à Los Angeles, fonctionnant depuis 1931, l'été comme réfrigérateur, et l'hiver comme appareil de chauffage, concurrentement avec un chauffage d'appoint par radiateurs électriques.

Le fluide de la pompe — chlorure de méthyle — y passe par les températures et les pressions extérieures suivantes :

de - 38° C et 1,7 atm à + 77° C et 5,8 atm

quand l'appareil fonctionne comme réfrigérateur ;

de - 36° C et 1,5 atm à + 102° C et 6,44 atm quand l'appareil est employé pour le chauffage.

Nous ne décrirons pas cette installation relativement compliquée ; elle comprend une tour servant aux échanges de chaleur avec l'atmosphère et fournissant des calories l'hiver et des « frigories » l'été, et un circuit d'utilisation qui est constitué par la circulation d'air « conditionné ».

Disons seulement que, dans les meilleures conditions, le coefficient de performance est de 2,32, chiffre assez peu satisfaisant qui s'explique par l'écart considérable des températures extrêmes du cycle (qui peut atteindre 138° C).

La guerre a puissamment stimulé les recherches et les réalisations dans le domaine du chauffage thermodynamique, surtout en Suisse où le charbon était rare et l'électricité abondante. L'une des installations les plus fameuses est constituée par le réseau de chauffage à distance de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich (fig. 3), qui alimentait, en 1943, 17 bâtiments de l'école, 17 bâtiments de l'Hôpital cantonal, 3 grands immeubles et 85 maisons privées.

La source de chaleur utilisée est ici l'eau de la Limmat, dont la température peut varier, durant la période d'utilisation de la thermopompe, entre 2° et 16° C. La centrale de chauffage est construite à proximité de la rivière et elle est constituée par deux thermopompes à turbocompresseur, et une thermopompe à piston. Le fluide employé dans les thermo-

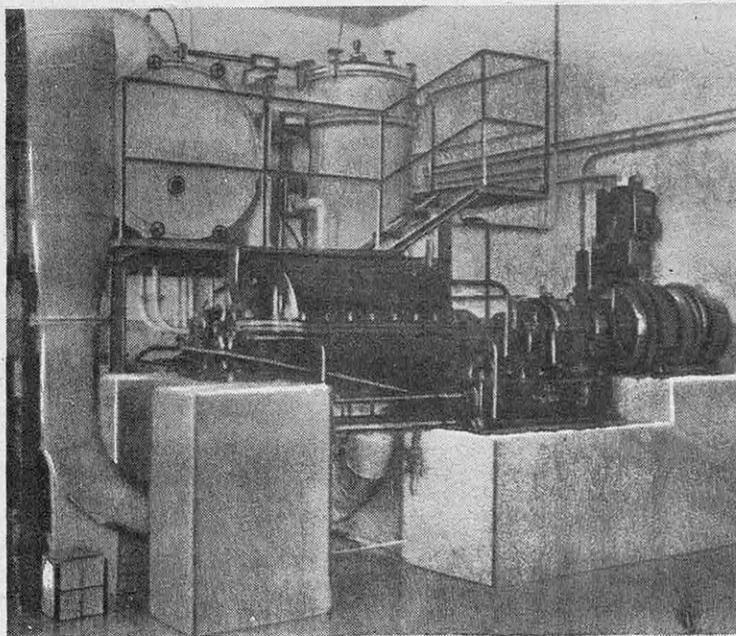


FIG. 9. — UN THERMOCOMPRESSEUR SERVANT A LA FABRICATION DU LAIT CONCENTRÉ A LUCENS (SUISSE) (BROWN BOVERI)

En haut, à droite, l'évaporateur étudié de telle sorte que très peu de gouttelettes de liquide soient entraînées par la vapeur malgré la mousse abondante qui se produit à l'ébullition du lait; à sa gauche, le séparateur centrifuge qui élimine les dernières gouttelettes entraînées, et, en dessous, le thermocompresseur.

pompes est du fréon. Chacun des thermoblocs, dont la puissance de chauffe est d'environ 2,5 millions de calories/heure, pompe jusqu'à 1 200 m³ d'eau de rivière, dont il abaisse la température de 1,7 C. Fonctionnant à puissance maximum, il élève de 37 à 74° C la température de l'eau de chauffage circulant dans les canalisations du réseau à un débit de 100 m³/h. La consommation d'énergie du moteur d'entraînement du compresseur est de 960 kW, et le coefficient de performance est légèrement supérieur à 3. Chaque thermopompe réalise ainsi une économie annuelle de 1 400 t de charbon, soit, pour l'ensemble du réseau, une économie de 4 200 t.

Dans d'autres cas, on a équipé d'une thermopompe des installations de chauffage existantes et le coefficient de performance est moins bon en raison de la température plus élevée à laquelle il faut fournir les calories de chauffage (température qui est imposée par les dimensions réduites des radiateurs).

Où le coefficient de performance devient extrêmement élevé, et l'économie de charbon qui en résulte beaucoup plus considérable, c'est quand on veut récupérer des calories à température très peu différente de la température d'utilisation; c'est le cas, par exemple, où de l'eau ou de l'air chaud est rejeté à la température sensiblement égale à celle où il est utilisé, température qui ne dépasse pas 80°. C'est le cas, par exemple dans un grand nombre d'installations industrielles, en particulier dans l'industrie textile, la fabrication du papier, aux abattoirs, dans les brasseries, les buanderies, les tanneries, le chauffage des piscines, etc. L'emploi

des thermopompes s'est répandu dans ces installations industrielles et a permis d'économiser des quantités de charbon énormes. La figure 8 représente une de ces installations, qui sert à fournir l'eau chaude à une usine de soie artificielle.

Enfin, la thermopompe triomphe dans les installations d'évaporation de grandes quantités de liquide. Les figures 7 et 9 montrent un thermocompresseur servant à la concentration de solutions salines et du lait.

L'avenir de la thermopompe

La thermopompe, qui a conquis définitivement son droit de cité dans un pays comme la Suisse, verra-t-elle son emploi se développer dans d'autres pays? On ne pourra juger de l'opportunité du remplacement d'un appareil de chauffage classique, au charbon ou par résistance électrique, qu'après avoir établi un bilan dans lequel entrent bien d'autres facteurs que l'économie de charbon réalisée.

Sans doute, il existe des cas extrêmes où la solution sera toujours en faveur du même mode de chauffage. Par exemple quand le coefficient de performance atteindra, comme dans certaines fabrications industrielles, des valeurs de l'ordre de 15, il sera presque toujours intéressant d'employer une thermopompe. Pour de très faibles valeurs de ce coefficient, on préférera des installations consommant plus de charbon, mais qui ont l'avantage de la simplicité. La limite entre ces cas extrêmes varie d'un pays à l'autre en fonction du prix du combustible et du prix de l'énergie électrique. Les conditions sont infiniment plus favorables à la diffusion de ce mode de chauffage en Suisse, pays de houille blanche, qu'en Belgique, pays dont l'économie repose sur l'exploitation des mines de charbon.

Enfin, l'installation d'un appareillage compliqué et coûteux exige un personnel qualifié pour sa surveillance, son entretien, et il faut l'amortir en un certain nombre d'années. Elle ne se justifie que pour des entreprises importantes: centrales urbaines de chauffage, grandes usines, etc., et dans des endroits où l'on dispose de grandes quantités de chaleur à récupérer, ou d'une grande masse d'eau (rivière, lac, etc.).

Malgré les très beaux résultats obtenus par les ingénieurs dans le domaine du chauffage thermodynamique, il convient donc d'être assez prudent en ce qui concerne le développement de ses applications en France, qui restera sans doute assez longtemps cantonnée dans le domaine des applications industrielles avant de conquérir celui du chauffage domestique.

HENRI FRANÇOIS

L'ÉCLAIRAGE MODERNE PAR LAMPES FLUORESCENTES

par M. DÉRIBÉ

La technique de l'éclairage, qui n'avait pratiquement pas varié dans ses principes depuis la plus haute antiquité — mise à part l'invention de la chandelle, — a subi en moins de deux cents ans une rapide évolution. De la torche, de la lampe à huile et de la chandelle à la lampe à pétrole ou à acétylène, au manchon Auer, à l'arc électrique et à l'ampoule à incandescence, les étapes se sont succédé à un rythme accéléré. Moins rapide peut-être, mais non moins importante est la nouvelle évolution à laquelle nous assistons présentement avec la mise en œuvre des phénomènes de fluorescence (1). On a reconnu, assez récemment à vrai dire, qu'un éclairage rationnel est indispensable au plein développement de notre activité avec le minimum de fatigue et le maximum de confort. La composition spectrale de la lumière joue là un rôle capital : la fluorescence permet de la corriger à volonté afin d'obtenir des teintes proches de la lumière du jour, ou même plus « chaudes » qu'elle. On espère beaucoup actuellement de la généralisation des tubes luminescents, aussi bien dans le domaine industriel, où ils ont déjà pénétré, que pour l'éclairage domestique.

La lampe à fluorescence, bien que déjà largement répandue, n'est pas toujours utilisée de manière à exploiter au maximum ses avantages, et cela parce que la notion même d'éclairage est souvent mal comprise. La science de l'éclairage, en effet, n'est pas une science exacte ; tout comme celle de la couleur, elle fait intervenir le facteur purement physiologique qu'est la vision par l'œil humain, et aussi un facteur psychologique. Ceci explique qu'il soit difficile de répondre à la simple question : de quelle quantité de lumière est-il nécessaire de disposer pour effectuer dans les meilleures conditions un travail donné ?

(1) Voir : « L'incandescence devant la luminescence », « Phosphorescence et fluorescence dans l'éclairage moderne » (*Science et Vie*, n° 223, janvier 1936) et « Le tube luminescent tuera-t-il la lampe à incandescence ? » (*Science et Vie*, n° 268, octobre 1939).

Cependant, à la suite d'études systématiques sur l'éclairage, sur les couleurs et sur la physiologie de l'œil, on a été conduit à poser quelques axiomes bien définis au sujet de l'éclairage.

Il convient, indubitablement, d'assurer le maximum de visibilité des objets à regarder dans les travaux courants, et, en outre, d'assurer le maximum de confort visuel, c'est-à-dire l'absence d'éblouissement, d'efforts d'accommodation, de contrastes fâcheux. Dans la réalisation des éclairages modernes, les nouvelles lampes fluorescentes apportent une très importante contribution.

Principe et fonctionnement

Les lampes fluorescentes modernes mettent en jeu deux effets distincts : la décharge dans la

MATIÈRES	FLUORESCENCE	LONGUEUR d'onde d'excitation	POINTE d'absorption	LONGUEUR d'onde d'émission	POINTE d'émission
Tungstate de calcium ...	bleu	2 200-3 000	2 720	3 800-7 000	4 400
— magnésium.....	bleu ciel	2 200-3 200	2 850	3 800-7 200	4 800
Silicate (O) de zinc.....	vert	2 200-2 960	2 537	4 500-6 200	5 250
— de zinc et gluci- nium	jaune	2 200-3 000	2 557	4 500-7 200	5 950
Silicate de cadmium	jaune rose	2 200-3 200	2 400	4 300-7 200	5 950
Borate de cadmium	rose	2 200-3 600	2 500	4 000-7 000	6 150

FIG. 1. — LES SUBSTANCES UTILISÉES DANS L'ÉCLAIRAGE PAR FLUORESCENCE POUR LE REVÊTEMENT DES PAROIS INTÉRIEURES DES LAMPES

Ces produits, outre leur fluorescence, possèdent des propriétés phosphorescentes qui permettent, dans les conditions d'emploi normales, de réduire les effets stroboscopiques et les scintillements dus à la fréquence du courant. Leur dosage permet l'obtention des couleurs désirées, notamment des « lumière du jour », « blanc » et « blanc chaud ».

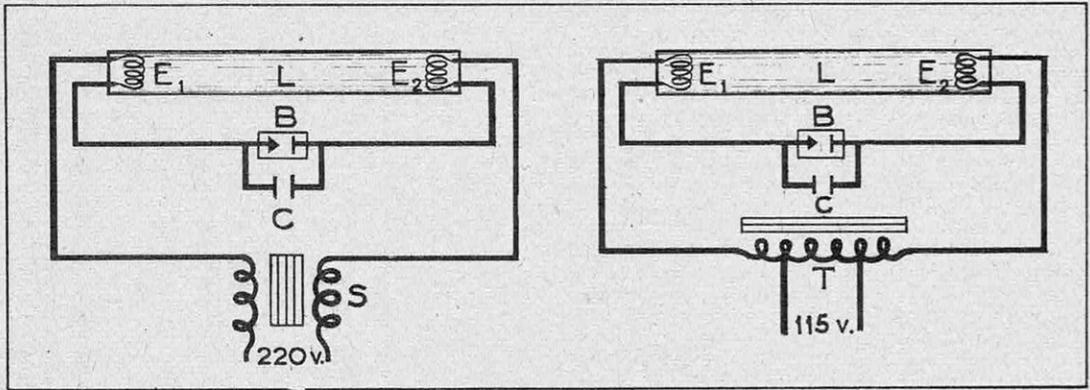


FIG. 2 ET 3. — SCHÉMAS DE MONTAGE D'UNE LAMPE-TUBE POUR 220 V (A GAUCHE) ET 110-115 V (A DROITE)

L, lampe-tube à fluorescence; — E₁, E₂, filaments-électrodes; — B, interrupteur thermique bilame ou « starter »; — C, condensateur antiparasite et d'absorption de rupture; — S, self de stabilisation pour fonctionnement direct sur 220 V; — T, autotransformateur à fuites canalisées pour fonctionnement direct sur 110/115 V.

vapeur de mercure et la fluorescence (1). Ce sont, en effet, des lampes à décharge gazeuse dans une atmosphère de vapeur de mercure (et de gaz rare destiné à faciliter l'amorçage) qui, du fait de leur très faible pression interne en fonctionnement, assurent la production maximum de la raie de longueur d'onde 2 537 angströms (2).

La lampe est formée par un tube de verre revêtu, sur sa paroi interne, de produits fluorescents qui, sous l'action des rayons ultraviolets et notamment de la raie 2 537 angströms, émettent des radiations lumineuses visibles, et ce sont ces dernières qui, seules, constituent la lumière rayonnée par la lampe : les rayons ultraviolets résiduels sont absorbés par le verre ; les radiations visibles émises par la décharge (vertes pour le mercure) sont arrêtées par les substances fluorescentes.

(1) La *luminescence* caractérise le phénomène d'émission lumineuse par un corps à basse température sous diverses influences, le plus souvent sous celle d'un rayonnement de courte longueur d'onde ; la luminescence peut prendre deux formes différentes, qui sont la *fluorescence* (lorsque la durée de l'émission est limitée par celle de l'excitation) et la *phosphorescence* (lorsque l'émission lumineuse persiste un temps appréciable après la cessation de l'excitation). Comme la phosphorescence n'est pas utilisée dans l'éclairage moderne, les mots *luminescence* et *fluorescence* sont ici indifféremment employés.

(2) Le spectre visible s'étendant entre 4 000 et 7 000 angströms (1 angström = 0,0001 micron = 10⁻⁷ mm), la longueur d'onde de 2 537 angströms se trouve donc située dans l'ultraviolet, et, comme telle, a un grand pouvoir d'excitation vis-à-vis des substances fluorescentes. C'est la raison pour laquelle la vapeur de mercure, qui émet cette longueur d'onde avec une grande intensité, est préférable à tout autre gaz pour la fabrication des tubes à fluorescence.

Il existe des produits fluorescents capables de donner toutes les couleurs désirables, comme le montre le tableau de la figure 1, et leur mélange dans des proportions déterminées permet d'obtenir soit une lumière blanche sensiblement analogue à la lumière du jour, soit des nuances plus relevées. Ainsi se sont ajoutées aux lampes « lumière du jour », les « blanc » et « blanc-chaud », ou « lumière du soir » plus rosés.

Le fonctionnement d'une lampe fluorescente moderne est simple. Il consiste essentiellement en une décharge électrique, c'est-à-dire le passage du courant entre deux électrodes situées chacune à une extrémité du tube. Il faut remarquer tout de suite que la tension d'amorçage de la lampe nécessaire pour provoquer le début de la décharge est notablement supérieure à la tension de maintien de la décharge, parce que le fonctionnement même provoque la vaporisation du mercure, ce qui accroît la conductibilité du tube. Il est relativement facile, avec un appareillage simple, de provoquer de telles surtensions d'amorçage lorsqu'on utilise

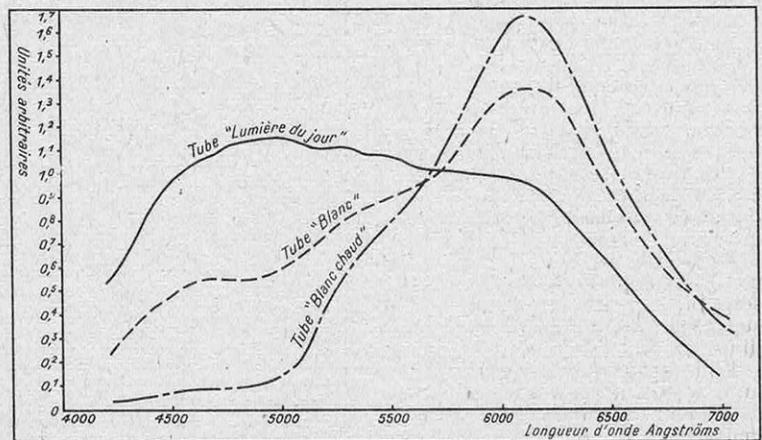


FIG. 4. — COURBES DE DISTRIBUTION SPECTRALE ÉNERGÉTIQUE DE LAMPES FLUORESCENTES (MAZDAFLUOR TF 1 000)

du courant alternatif, et c'est pourquoi généralement les lampes à fluorescence exigent une alimentation alternative. Elles sont alors parcourues, en fonctionnement, alternativement dans un sens et dans l'autre. A chaque extrémité du tube est un filament en tungstène revêtu d'un produit émissif (baryte) qui, porté à l'incandescence lors de l'amorçage, émet des électrons qui provoquent par bombardement l'ionisation de l'atmosphère du tube et la décharge; celle-ci entraîne la vaporisation du mercure à travers lequel l'on se maintient en régime sous une tension réduite. La pression dans la lampe en fonctionnement est de 1/100^e de millimètre de mercure environ.

Les lampes sont montées sur des réglettes, généralement en métal inoxydable, qui portent à leurs extrémités les douilles de fixation des tubes, et renferment l'appareillage réalisant l'amorçage.

Ce dispositif d'amorçage peut être conçu selon diverses modalités. Nous donnerons simplement, à titre d'exemple, le cas d'une lampe Mazdafluor équipée pour marche sur un réseau de 220 V (fig. 2) avec une bobine d'inductance S, un tube d'amorçage bilame automatique B et un condensateur C antiparasites.

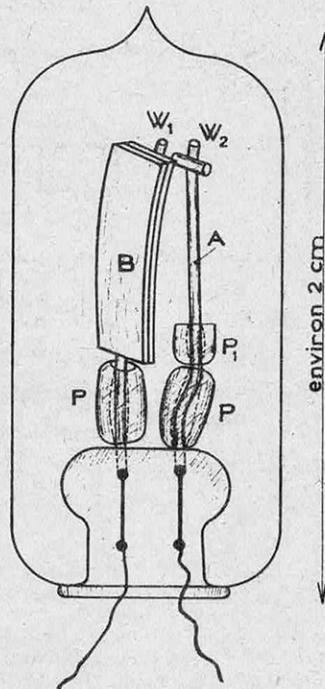
Lorsque cet ensemble est mis sous tension, le courant commence par traverser la bobine S, les électrodes E₁ et E₂ de la lampe fluorescente L et le tube d'amorçage B; il se produit dans ce dernier, qui est une ampoule à gaz raréfié (néon), une décharge auxiliaire entre les deux électrodes, se traduisant par la lueur rouge caractéristique des tubes au néon. Une lame bimétallique incluse s'échauffe et se déforme. Cette lame (fig. 5) est placée de telle sorte que sa déformation établit un contact entre les deux électrodes de cet interrupteur thermique; à ce moment, un court-circuit étant établi dans l'interrupteur, la décharge dans le néon ne s'y manifeste plus, et la lame bimétallique se refroidit en reprenant sa forme initiale et en rompant le contact en B. Cette brusque interruption de courant provoque, du fait de la self S, une surtension d'induction suffisante pour amorcer la décharge entre les deux électrodes E₁, E₂, qui ont été échauffées par le passage du courant. La tension aux bornes de la lampe s'abaisse alors à une valeur insuffisante pour provoquer à nouveau la décharge dans le dispositif d'amorçage B, qui cesse de fonctionner. Si, cependant, pour une raison quelconque, l'amorçage de la lampe-tube ne se fait pas, le bilame rentre à nouveau en service, et le processus décrit se renouvelle jusqu'à amorçage correct.

Dans ce montage, le condensateur C est accessoire. Il a pour seul rôle de supprimer les parasites radiophoniques éventuels.

L'amorçage d'une lampe au moyen d'un tel dispositif à bilame demande entre deux et sept secondes; il est très sûr et ne soumet le tube à aucun à-coup électrique nuisible à sa bonne

FIG. 5. — SCHEMA D'UN INTERRUPTEUR THERMIQUE BILAME D'AMORÇAGE

Cet interrupteur est constitué par une petite ampoule au néon, de 2 cm de hauteur environ, dont la tension d'amorçage est inférieure à 220 V (tension du secteur), mais supérieure à la tension existant aux bornes de la lampe-tube lorsque celle-ci est en fonctionnement. Lorsque la lampe est mise sous tension, la décharge passe d'abord entre les électrodes A et B: la lame bimétallique B s'échauffe et, s'incurvant par suite de la différence entre les coefficients de dilatation de ses constituants, elle établit un court-circuit entre les contacts de tungstène W₁ et W₂. La lame se refroidit alors, se redresse et la rupture du contact provoque, par self induction, une surtension instantanée qui amorçe la décharge dans la lampe-tube. P: perles de verre supports; — P₁: perle de verre d'urane facilitant l'amorçage.



tenue. Le bilame cesse toujours et impérativement de fonctionner lorsque la lampe est allumée.

Lorsque le réseau de distribution est à une tension inférieure à 220 V, le même dispositif est utilisable sous réserve de remplacer la bobine d'inductance S par un autotransformateur à dispersion ou à fuites donnant, avec la tension

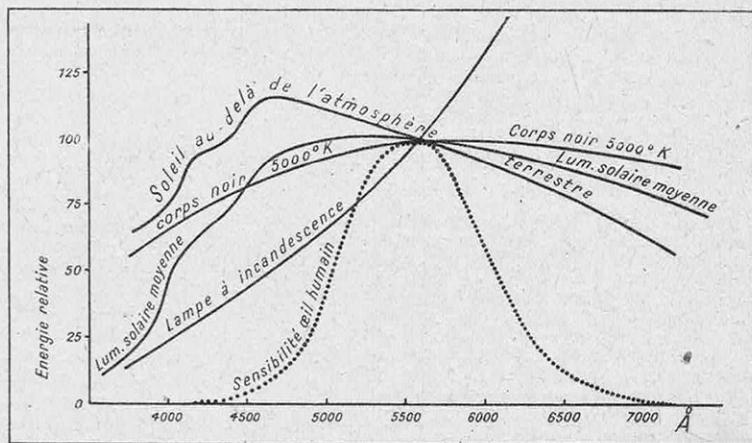


FIG. 6. — DISTRIBUTION SPECTRALE ÉNERGÉTIQUE POUR LA LUMIÈRE SOLAIRE, LE CORPS NOIR, L'INCANDESCENCE ET SENSIBILITÉ DE L'ŒIL HUMAIN NORMAL

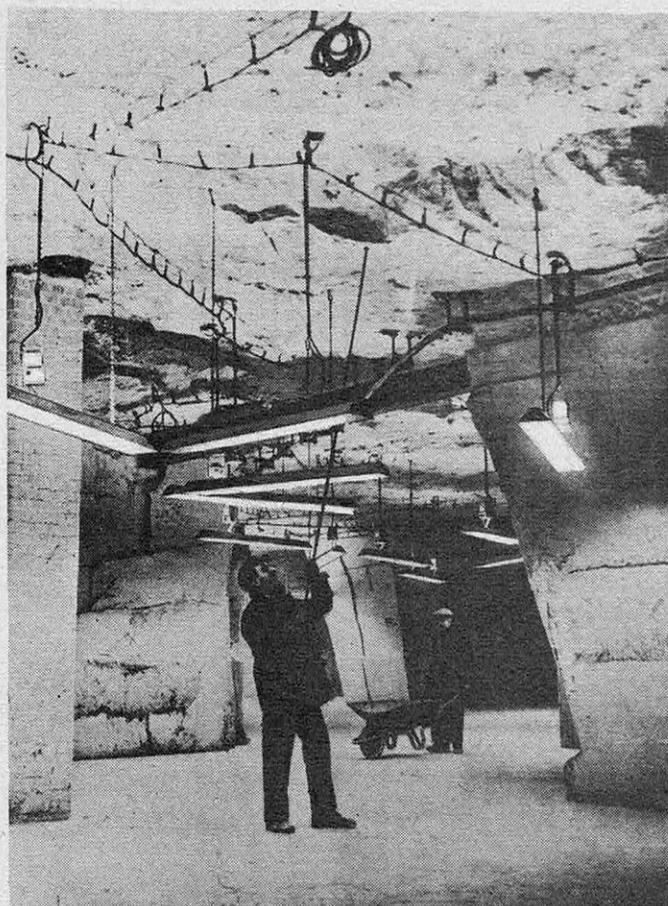


FIG. 7. — ÉCLAIRAGE D'UNE USINE SOUTERRAINE ANGLAISE PENDANT LA GUERRE AVEC LAMPES FLUORESCENTES DE 80 WATTS

primaire de service, une tension secondaire de 220 V sur la lampe (fig. 3).

Les lampes-tubes fluorescentes fonctionnent normalement à basse température ; elles rayonnent, par lumen (1) produit, bien moins de chaleur que des lampes à incandescence, ce qui n'est pas sans intérêt ; ainsi, dans une vitrine où l'éclairage est très poussé, on n'aura pas à craindre les effets de la chaleur et on ne sera pas obligé de ventiler. De plus, l'énergie dissipée sous forme de chaleur par un tube fluorescent est surtout transmise par conduction, c'est-à-

(1) Le *lumen* est l'unité internationale de flux lumineux. C'est le flux émis dans l'angle solide unité par une source ponctuelle uniforme de 1 bougie internationale (l'angle solide unité est la portion d'espace limitée par une surface conique découpant une surface de 1 m^2 dans une sphère de 1 m de rayon). Le flux lumineux total d'une source uniforme de 1 bougie aurait donc pour valeur 4π lumens = 12,57 lumens.

La *bougie*, unité d'intensité lumineuse, qui était autrefois définie comme le dixième du carcel (intensité lumineuse fournie par une lampe Carcel, horloger français qui l'inventa en 1806, dont le bec a 12 mm de diamètre et qui brûle 42 g d'huile de colza épurée à l'heure) est aujourd'hui déterminée au moyen de lampes étalons à incandescence conservées dans les laboratoires nationaux.

dire qu'elle chauffe l'atmosphère à proximité du tube, donc au plafond, au lieu de la rayonner dans l'enceinte éclairée comme une lampe à incandescence dont le spectre d'émission est riche en infrarouges.

La longueur et le diamètre du tube sont choisis pour que le fonctionnement soit assuré, par exemple, à une température de 40°C environ dans la colonne lumineuse sous la tension d'utilisation. Le fonctionnement des tubes est alors correct entre 5 et 45°C . En dehors de ces valeurs, et surtout aux basses températures, le flux lumineux émis diminue, et il peut alors devenir utile de prévoir des dispositifs de protection contre le froid ou le chaud, par chemisage par exemple.

Ajoutons encore que les lampes fluorescentes joignent à leur bon rendement une grande durée d'usage et une bonne stabilité. Elles présentent, par rapport aux lampes à incandescence, l'avantage d'une faible sensibilité aux fluctuations de tension ; dans les limites de fonctionnement normal, une variation de 10 % de la tension, par exemple, conduit à une variation de 10 % dans le même sens du flux lumineux, alors que, dans une lampe à incandescence, la fluctuation correspondante de la lumière serait d'environ 30 à 40 %.

La « lumière du jour » artificielle

Parmi les problèmes nouveaux posés par l'essor des lampes fluorescentes, se pose celui de la couleur et plus particulièrement celui de l'obtention de la lumière blanche.

La lumière du jour naturelle correspond sensiblement à l'émission d'un corps, en l'occurrence le Soleil, porté à $6\,500^\circ$. Mais, en réalité, la lumière du jour varie dans des limites qui peuvent être assez considérables avec l'heure, la saison et l'état de l'atmosphère. On a pu cependant définir un « blanc-lumière du jour » moyen et le reproduire approximativement, soit de façon théoriquement excellente au moyen d'une lampe à incandescence bien étalonnée et de filtres (Davis et Gibson), soit par superposition de diverses lumières sélectionnées et filtrées, soit encore, de façon commode, au moyen des lampes fluorescentes modernes.

Dans l'éclairage, du reste, la lampe fluorescente « lumière du jour » demande un éclairage assez poussé et dépassant 300 lux (1) pour être « confortable ». Sinon, on a des aspects correspondant au crépuscule, c'est-à-dire un peu bleuâtres, froids et tristes.

On y a remédié en créant des lampes « blanc » et « blanc chaud » qui donnent une couleur nuancée vers le jaune et le rouge, plus « chaude »

(1) Le *lux* est l'éclairage d'une surface de 1 m^2 qui reçoit un flux lumineux de 1 lumen uniformément réparti.

et à laquelle s'adaptent des éclairages moyens ou des éclairages de bureaux, d'appartements. Les courbes de répartition de ces types de lampes sont données par la figure 4. La figure 6 permet de comparer ces courbes à celles de la lumière moyenne du jour et de la lampe à incandescence, chargée de jaune et de rouge.

En échantillonnage, dans les prises de vues photographiques ou cinématographiques en couleur, dans les magasins, la lumière du jour des lampes fluorescentes, constante et réglable à volonté en intensité, offre, on le conçoit, bien des avantages.

Effet de la couleur de la lumière sur l'ambiance

Il est évident que la couleur de la lumière est d'une importance fondamentale en ce qui concerne l'aspect pris par les murs d'une salle, les objets et les personnes situés dans cette salle. Sous la lumière rouge, un tissu rouge paraîtra clair et un objet vert paraîtra noir ; sous l'éclairage monochromatique d'une lampe à vapeur de sodium, par exemple, la vision se trouve ramenée à des images jaunes et noires. Dans le cas des lampes fluorescentes, cette notion est importante et des études détaillées ont été faites pour bien la définir. Les conclusions générales ont été les suivantes.

En ce qui concerne les couleurs vives très saturées ou les couleurs foncées, les lampes fluorescentes « lumière du jour » donnent le même aspect qu'un éclairage naturel de plein midi de même éclairage ; les lampes « blanc » et « blanc chaud » nuancent un peu les couleurs blanc, jaune, orangé, et les tons très clairs, mais les couleurs nettes dans les rouge, bleu, vert, brun, ocre... sont très peu modifiées. En ce qui concerne les nuances très pâles, on observe qu'elles sont rendues plus chaudes ou plus vives sous les lampes « blanc chaud », mais qu'elles demeurent pratiquement identiques pour la lumière du jour naturel et pour la lumière des lampes fluorescentes « lumière du jour ».

La lumière d'une lampe type « blanc chaud » ou « lumière du soir », trop rosée, s'harmonisera peu avec une tapisserie verte qu'elle « foncera » et fera paraître grise et terne. Elle sera plus compatible au contraire avec des tons

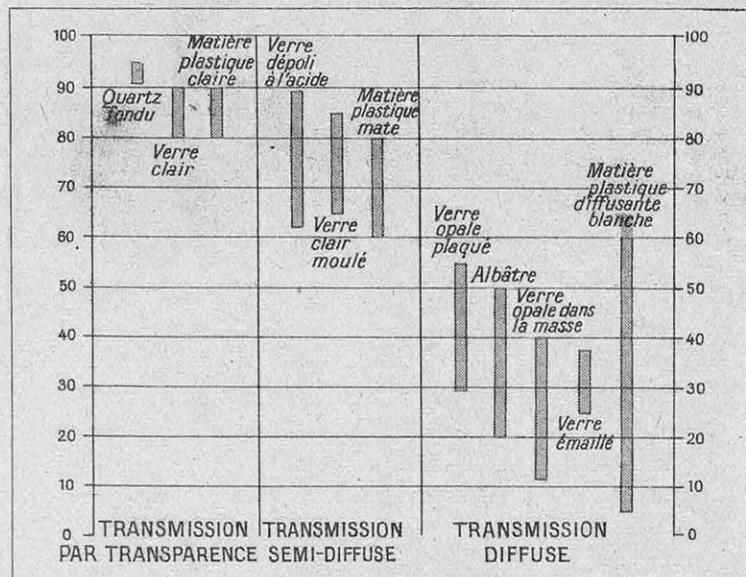
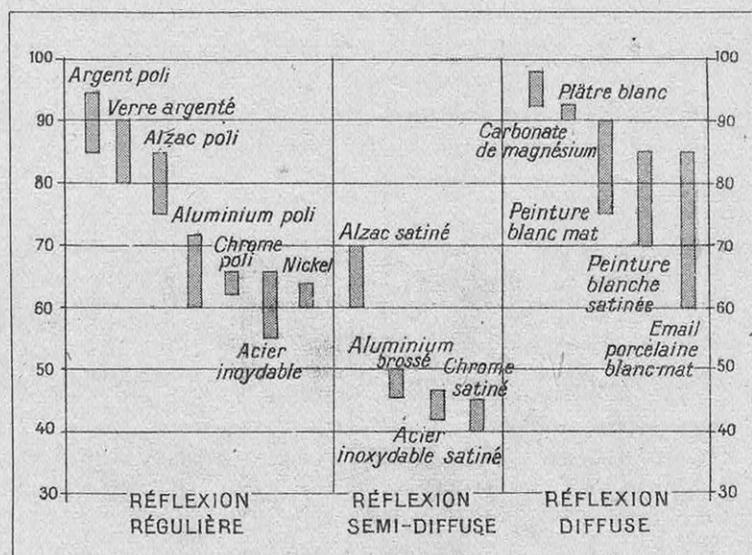


FIG. 8 ET 9. — FACTEURS DE RÉFLEXION ET DE TRANSMISSION DE QUELQUES SURFACES DIFFUSANTES (L'ALZAC EST UN ALUMINIUM TRAITÉ PAR OXYDATION ANODIQUE SPÉCIALE)

eux-mêmes chauds : beige, ocre, rose, rouge.

L'effet des lumières sur l'ambiance est d'ailleurs complexe et nécessite souvent quelques essais, car, en réalité, les couleurs utilisées ne sont jamais pures, et il est parfois difficile de prévoir *a priori* leur comportement.

Si la qualité de la lumière présente une grande importance il ne faut pas non plus, ici encore, négliger la notion de quantité, car le niveau d'éclairage, si important du point de vue de l'acuité visuelle, joue aussi sur la vision des couleurs proprement dite.

Ainsi, M. Toussaint a fait d'intéressantes constatations sur ce changement apparent des couleurs en fonction de l'intensité d'un éclairage

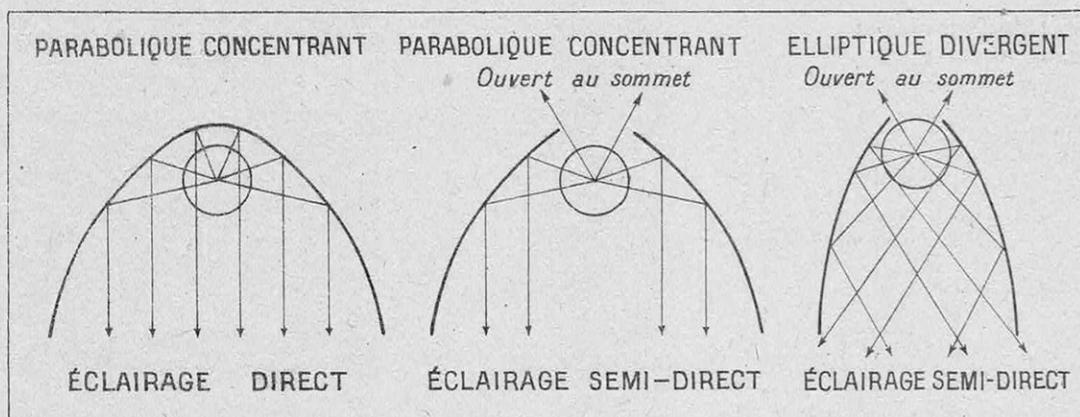


FIG. 10. — QUELQUES EXEMPLES DE RÉFLECTEURS POUR LAMPES-TUBES FLUORESCENTES

de même nature. Plus l'éclairage est intense, plus le spectre perçu s'allonge, ses limites atteignant de nouvelles longueurs d'onde. « Ce phénomène peut être reproduit simplement en clignant des yeux devant un spectre de lumière blanche : avec les yeux presque complètement fermés, on ne voit que le jaune et le vert, puis, avec une ouverture de plus en plus grande des paupières, on voit apparaître l'orangé et le bleu, et enfin le rouge et le violet ». En comparant les courbes déterminées au colorimètre, pour de mêmes échantillons soumis à des éclairages plus ou moins forts, on observe que, lorsque augmente la

puissance de la source, les rouges paraissent un peu plus violets, les orangés et les jaunes changent peu, les verts virent vers le rouge, donc deviennent gris, les bleus paraissent plus violets, et les violets virent au rouge. Il en est de même pour toutes les couleurs lorsque, à éclairage égal, l'ouverture de l'œil augmente en partant de zéro.

Ces résultats, très significatifs, montrent l'importance que les éclairagistes, les architectes, les décorateurs... doivent attacher à la notion de couleur dans l'éclairage, même en lumière blanche.

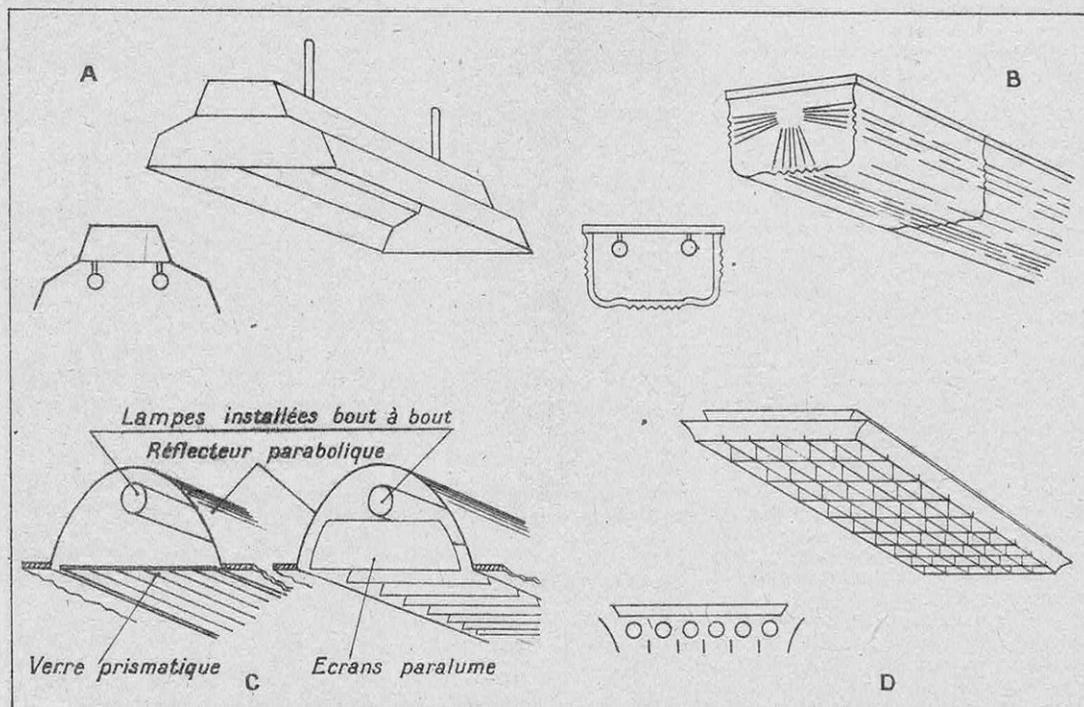


FIG. 11. — QUELQUES EXEMPLES DE MONTAGE DE LAMPES-TUBES FLUORESCENTES EN RÉFLECTEURS ET EN DIFFUSEURS (COMPAGNIE DES LAMPES)

A, éclairage direct; B, éclairage semi-direct; C, tubes installés dans un faux plafond; D, plafonnier semi-direct.

Effet de l'ambiance sur la lumière

Si la lumière a un effet marqué sur l'ambiance, il ne faut pas oublier non plus, comme on a trop souvent tendance à le faire, que l'ambiance a aussi un effet sur la lumière.

Une réclamation fut faite un jour à propos de lampes fluorescentes « lumière du jour » ou « blanc » utilisées en certain lieu public, où les femmes se plaignaient amèrement de montrer un visage dont le teint n'était pas à leur avantage. L'explication de ce phénomène était des plus simple : l'enceinte, au reste de petite dimension puisqu'il s'agissait d'un wagon-restaurant, était peinte en... vert brillant. On conçoit sans peine l'effet résultant ; la lumière diffuse qui régnait en cette enceinte n'était pas celle des lampes, mais celle de la réflexion d'une lumière blanche sur une surface verte qui absorbait le rouge, le bleu, le violet et renvoyait seulement du vert, couleur évidemment peu indiquée pour la beauté du teint des visages féminins.

Si certains effets sont à éviter, d'autres, par contre, pourront être recherchés. Ainsi la lumière des lampes « lumière du jour » peut se trouver rehaussée par une ambiance chaude avec tentures ou peintures nuancées de rouge ou de jaune. Il sera sage cependant, dans les problèmes d'éclairage, de ne manier la couleur qu'avec beaucoup de précautions. L'abus, des couleurs a été cause de tant de fautes de goût, même venant de gens qui se croient volontiers hautement qualifiés, que cette recommandation ne sera jamais trop souvent faite. Jadis, M^{me} Chevreul, épouse du grand chimiste français connu pour ses études sur le chromatisme, qui avait en son mari un critique sévère, mais combien qualifié, en était arrivée à proscrire presque complètement la couleur de ses vêtements, à tel titre qu'on l'avait surnommée M^{me} Legris.

Dans les nouveaux modes d'éclairage par lampes fluorescentes, il convient donc d'examiner avec attention ces problèmes de « coloristique » (1). Ils prennent une importance nouvelle et très grande.

C'est à la faveur d'éclairages bien étudiés, tant en quantité qu'en qualité, que ces moyens nouveaux donneront aux usagers le maximum de « confort » et contribueront ainsi pleinement à faciliter nos tâches et à accroître notre bien-être.

(1) Les spécialistes de l'éclairage désignent sous ce vocable l'étude générale de la couleur sous ses divers aspects, le terme colorimétrie étant beaucoup plus restreint dans sa signification exacte.

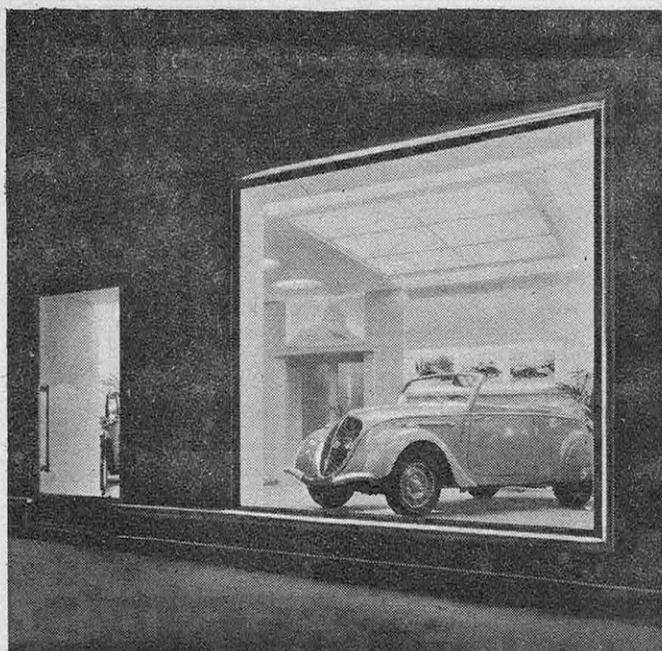
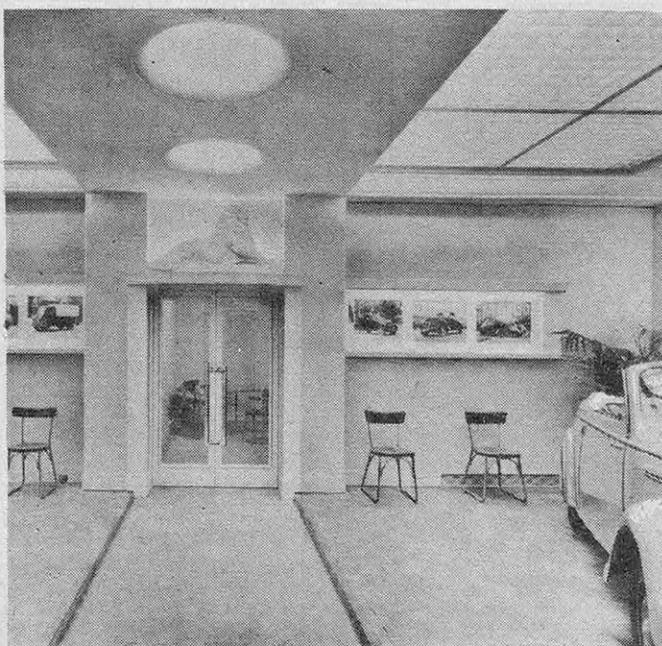


FIG. 12 ET 13. — ÉCLAIRAGE DE MAGASINS AU MOYEN DE LAMPES FLUORESCENTES SOUS CLOISONNEMENT (COMPAGNIE DES LAMPES)

Conditions d'emploi

Grâce à leur forme simple et nette, les lampes fluorescentes s'harmonisent fort bien avec l'architecture moderne. Des réalisations heureuses en offrent déjà de nombreux exemples.

Éclairages de bureaux et d'administrations avec lampes disposées symétriquement au plafond, éclairages de homes modernes où les

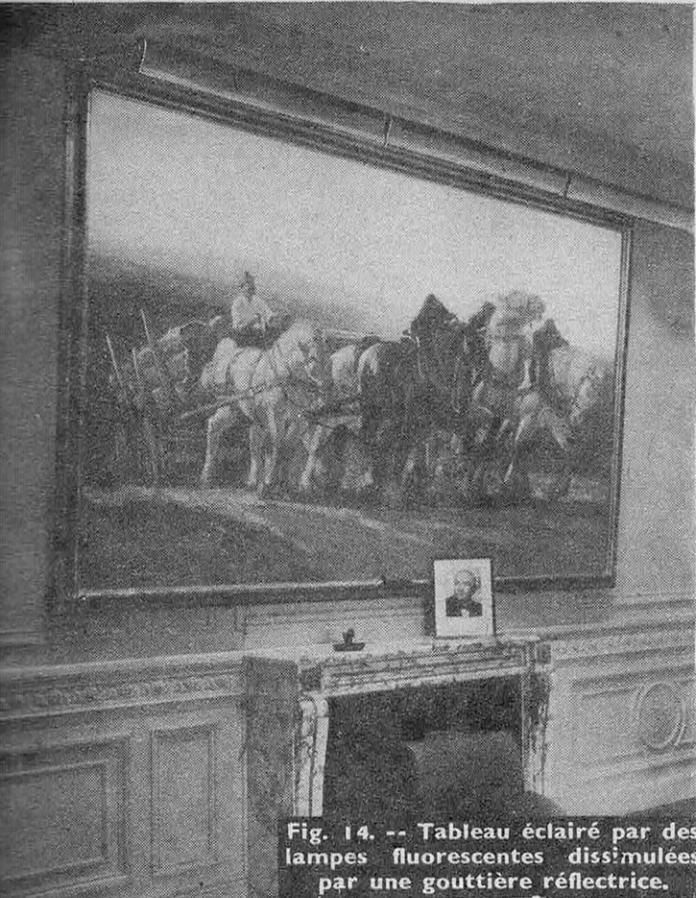


Fig. 14. -- Tableau éclairé par des lampes fluorescentes dissimulées par une gouttière réflectrice.



Fig. 15. — Éclairage fluorescent dans une voiture américaine voyageurs. (B. and O. Railroad)



Fig. 16. — Éclairage de bureau par lampes fluorescentes sous écran paralume.

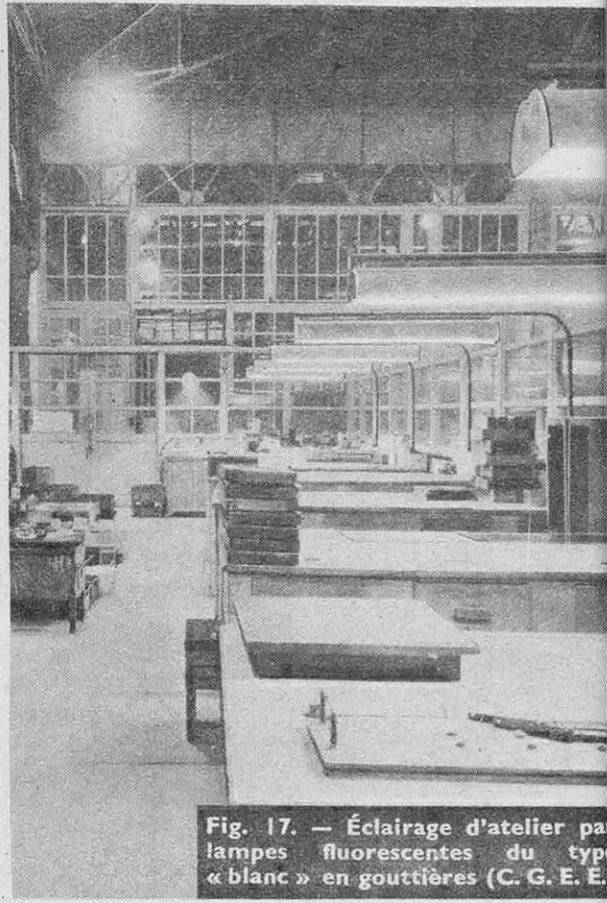


Fig. 17. — Éclairage d'atelier par lampes fluorescentes du type « blanc » en gouttières (C. G. E. E.)

lampes surmontent ou entourent les baies et fenêtres, fausses fenêtres éclairées, etc. Il n'est pas douteux que le goût français ne sache tirer des lampes fluorescentes des effets très artistiques. Les fabricants de luminaires peuvent réaliser au moyen de ces tubes des appareils très intéressants. Dans les magasins, les salles de dessin, des lampes seront disposées au plafond sous écran et une grande densité de flux lumineux pourra être fournie, avec profit pour le travail réalisé dans cette ambiance. Dans les ateliers, des augmentations sensibles de rendement ont été obtenues par un éclairage amélioré en qualité comme en quantité grâce aux lampes fluorescentes. Dans l'effort de guerre réalisé aux États-Unis et en Grande-Bretagne (1), cette évolution a été particulièrement marquée. Les niveaux d'éclairage ont été en règle générale très augmentés et l'on a vu s'installer des usines aveugles, sans fenêtres, dans lesquelles un éclairage régulier et bien contrôlé était uniquement réalisé par lampes fluorescentes. Les mêmes principes servirent aussi, bien entendu, pour les usines souterraines de guerre (fig. 7).

Dans les débuts, constructeurs et utilisateurs commirent généralement une erreur qui doit maintenant être redressée : ce fut d'utiliser les lampes nues, ce qui, lorsqu'elles sont groupées, peut provoquer, malgré leur excellente diffusion de la lumière, un éblouissement ou tout au moins une gêne pour l'œil, et diminue les conditions de « confort » dans leur emploi.

Il a donc fallu envisager, lorsque les progrès dans les produits fluorescents et l'usage de lampes plus fortes se sont développés et ont porté nettement au-dessus de 0,3 bougie par centimètre carré la brillance (2) des tubes, d'utiliser ces lampes dans des réflecteurs ou des diffuseurs. Or la lumière de ces lampes, très diffuse, est par suite difficile à « contrôler » de façon rigoureuse.

On peut cependant concevoir sans difficulté des réflecteurs pour lampes fluorescentes. Ils seront de forme longue, en gouttière et dessinés de telle sorte que le flux lumineux ne repasse pas par la lampe qui, du fait de son revêtement, ne se laisserait pas traverser. En outre, il suffit que le réflecteur assure une réflexion diffuse et non

directe : des peintures blanches ou un émail blanc mat conviendront. L'examen des facteurs de réflexion et de transmission donnés par les figures 8 et 9 pourront guider dans le choix du matériel à utiliser.

En d'autres cas, on profitera des travées d'un plafond pour y situer les rangées de lampes, ou bien on placera celles-ci au-dessus de cloisonnements (grilles *paralumes*) qui dissimulent les lampes aux regards, tout en assurant un éclairage bien diffusé et bien réparti. Les figures 10 et 11 montrent quelques dispositifs étudiés pour lampes Mazdafluor et les figures 12 à 17 d'intéressantes réalisations. L'éclairage sur les voitures (fig. 12 et 13) est de 450 lux et il est très régulier ; de jour, des images parasites apparaissent par réflexion dans les glaces ; il serait possible de les supprimer par un éclairage intense et c'est le moyen qu'emploieront certainement les commerçants avisés lorsque le courant ne sera plus soumis aux restrictions actuelles.

La brillance des lampes-tubes actuellement sur le marché va de 0,4 à 0,7 bougie par centimètre carré ; elle est donc faible, mais cependant supérieure à la valeur de 0,3 bougie par centimètre carré admise pour un bon diffuseur. Il est facile, en enfermant les lampes derrière des écrans diffusants en plastique translucide, d'obtenir les brillances admissibles.

Dans les pièces courantes : bureaux, salons, salles à manger... les lampes pourront ainsi être en corniches sous écrans translucides, en plexiglas, par exemple ; on utilisera le « blanc » ou le « blanc chaud ». Dans un couloir élevé et étroit, une ligne de tubes au centre du plafond sera toute indiquée. Dans la cuisine, on recherchera souvent des éclairages localisés, et de petits tubes sous appliques translucides plastiques, « lumière du jour » de préférence, seront recommandés.

Le type de lampe le plus courant est actuellement en France celui de 22,5 W mesurant 1 m de longueur, mais on prévoit aussi des lampes plus courtes et d'autres plus fortes au contraire, telle par exemple une lampe de 40 W sur 1,20 m environ. En certains pays existent déjà des types différents, telles des lampes de 80 W en Grande-Bretagne et de 100 W aux États-Unis. Les utilisateurs disposeront donc bientôt d'une gamme capable de satisfaire les besoins les plus divers.

M. DÉRIBÉRÉ

AUX U. S. A.

- La construction des lampes de radio a battu, en décembre dernier, tous les records, ayant dépassé de 40 % le chiffre le plus élevé enregistré jusqu'ici, en 1941.
- On compte 30 000 voitures automobiles munies de la radiotéléphonie.
- Au cours de l'année 1947, on fabriquera quatre millions de postes récepteurs de radiophonie, permettant la réception non seulement des émissions ordinaires modulées en amplitude, mais aussi celles modulées en fréquence, soit 25 % environ des postes fabriqués. On pense que ce pourcentage atteindra 90 % en 1948.
- La production des récepteurs de télévision s'élèvera à 325 000 au cours de la présente année.

A CÔTÉ DE LA SCIENCE

INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

PESONS NOS RUCHES

LES variations de poids, d'un être vivant permettent de déceler ses troubles physiologiques. De même, les variations de poids d'une société d'insectes, telle que celle que forment les abeilles d'une ruche, doivent donner des indications précieuses sur son développement et son activité. C'est du moins ce qu'affirme un apiculteur, M. Appert-Collin, qui a

nectar), le poids de la ruche accuse une augmentation régulière, coupée de deux montées rapides pendant deux courtes périodes de huit à dix jours appelées «miellées». Elles correspondent à des floraisons importantes dans la région où est installé le rucher et se traduisent, dans les années favorables, par des apports de 4 à 5 kg par jour et par ruche. Le nombre d'œufs pondus par la reine (jusqu'à trois mille par jour) est fonction de l'apport de

différents âges du couvain (œufs, larves de un à vingt et un jours), la quantité de miel, etc., ces visites, assez longues, dérangent les abeilles.

La méthode de la pesée permet, sinon de les supprimer, du moins de n'effectuer que celles reconnues nécessaires à la suite d'une diminution anormale de poids. D'ailleurs, des pesées effectuées régulièrement au cours d'une journée donnent d'intéressantes précisions sur la vie de la ruche. Ainsi, une ruche pesant 55 kg le soir ne pèsera que 53,5 kg le lendemain matin par suite de l'évaporation de l'eau du miel emmagasiné, accélérée par les battements d'ailes continus des ventileuses rangées toute la nuit à l'entrée de la ruche. De même, les différences de poids dans la journée correspondent au nombre de butineuses qui sont sorties (dix abeilles pour 1 g). Enfin, le soir, à la rentrée des abeilles, le poids montera à environ 58 kg, accusant ainsi un apport de 3 kg dans les vingt-quatre heures.

Enfin la pesée des ruches fait connaître les possibilités de bon ou de mauvais hivernage et permet de remédier aux défauts constatés, par exemple par un échange de caisses pleines et vides entre les ruches. Au printemps, elle fait connaître l'utilité du nourrissage, que l'on peut d'ailleurs éviter en s'imposant un poids de ruche à l'hivernage.

Ces multiples pesées ne peuvent évidemment être effectuées par le transport constant d'une bascule sous chaque ruche, ce qui d'ailleurs dérangerait les abeilles.

Un dispositif simple surmonte cette difficulté (fig. 1). Il comprend uniquement un levier formé par l'ensemble de la ruche et un fléau amovible dont le point d'appui, ou charnière, est constitué par la partie avant de la ruche posant sur le sol. Le fléau passe dans un collier fixé sur un pied avant de la ruche. Enfin, un dynamomètre permet de mesurer l'effort juste nécessaire pour décoller du sol, à la main,

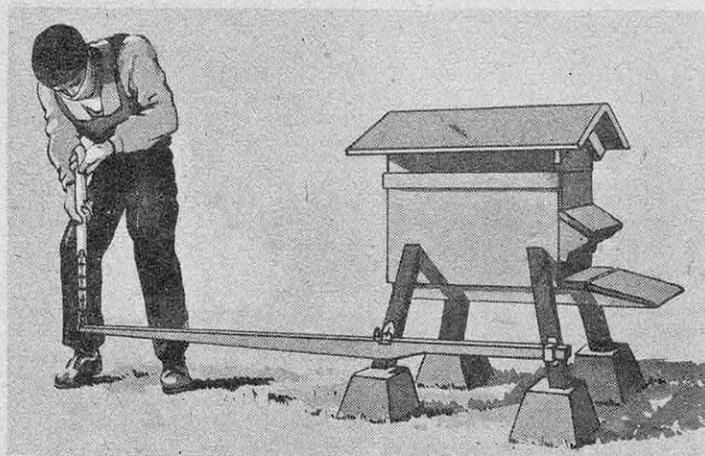


FIG. 1. — LE FLÉAU ÉTANT ENGAGÉ DANS LE COLLIER FIXÉ SUR LE PIED AVANT DE LA RUCHE ET S'APPUYANT SUR UNE BUTÉE DU PIED ARRIÈRE, ON LIT SUR LE DYNAMOMÈTRE LA FORCE NÉCESSAIRE POUR DÉCOLLER LA RUCHE DU SOL

étudié de près les variations de poids d'une ruche et leur rapport avec l'état de santé de sa population.

L'augmentation de poids d'une ruche provient exclusivement des apports de miel, de pollen, et même d'eau, servant d'une part à la nourriture des abeilles et des larves, d'autre part au stockage des provisions pour passer l'hiver. L'excédent de ces provisions constitue la récolte prélevée par l'apiculteur.

Ainsi, normalement, après une régression durant les premiers mois de l'année (les plantes ne donnant aucun

miel. Le développement de la colonie, par suite du nombre des butineuses et de l'apport de miel, se traduit donc par une augmentation de son poids.

Les anomalies constatées dans la courbe du poids ne peuvent donc provenir que de phénomènes indésirables dans l'évolution de la société de la ruche : maladies des abeilles, reine morte ou disparue, reine devenue mauvaise pondeuse par vieillissement, etc.

Si, grâce à des visites périodiques, l'apiculteur averti sait apprécier la quantité d'abeilles, la quantité de couvain (pontes et larves en évolution), les

la partie arrière de la ruche par l'intermédiaire de la butée fixée sur un pied arrière. Le même fléau peut servir à toutes les ruches d'un même rucher, grâce à un repérage de la longueur du bras de levier du fléau que l'on peut engager plus ou moins dans le collier. Ainsi, la profondeur d'emmanchement du fléau détermine la longueur du bras du levier qui est propre à chaque ruche. Cet emmanchement est limité par une équerre fixe du fléau qui vient porter sur la vis de réglage de la butée fixée sur la ruche.

Évidemment, l'effort mesuré au dynamomètre ne donne pas le poids exact de la ruche, mais cela est sans importance, puisque seules importent les différences de poids constatées. L'écartement des graduations du dynamomètre étant de 3 mm par kg, on voit que l'on peut apprécier aisément des variations de poids d'environ 200 g.

Enfin, un système de notation conventionnel, correspondant aux divers stades de la vie de la ruche, permet d'indiquer sur le tracé de la courbe de poids des phénomènes correspondant aux variations constatées. Ainsi, l'apiculteur peut-il suivre d'un seul coup d'œil la vie de son rucher.

PLANTATION MÉCANIQUE

La mise en place des plants d'arbres fruitiers est une opération simple dans un petit jardin. Lorsqu'il s'agit de plusieurs centaines d'arbres dans une exploitation importante, le problème est infiniment plus difficile à résoudre. Il exige une main-d'œuvre importante qui doit travailler dans un temps relativement court et n'est plus utilisable par la suite. Parmi les solutions proposées, nous citerons seulement l'emploi d'explosifs qui creusent rapidement les trous de plantation et provoquent accessoirement la fissuration irrégulière des terrains voisins, circonstance favorable pour le développement des plants.

La figure 2 montre un engin spécialisé mis au point en Amérique. Il consiste en une grosse mèche hélicoïdale qui se fixe à un tracteur et fore les trous au diamètre et à la profondeur voulus. C'est le moteur même du tracteur qui fait tourner la mèche, laquelle

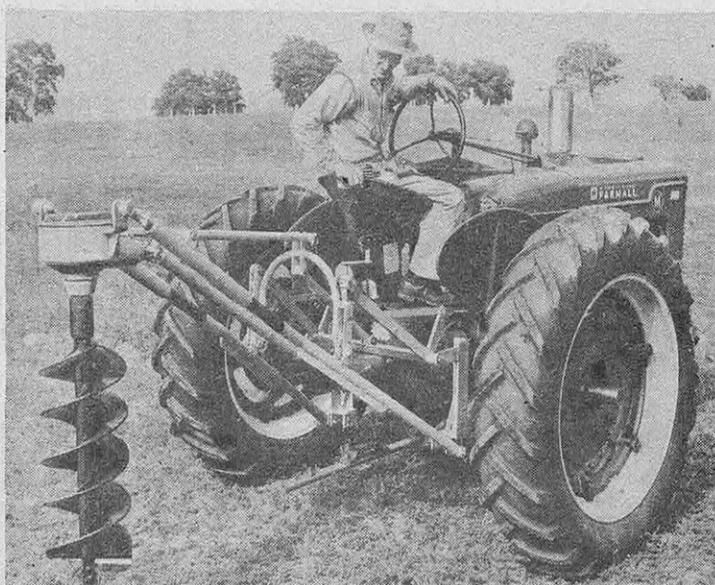


FIG. 2. — FOREUSE POUR PLANTATIONS D'ARBRES (DANUSER DIGGER).

s'enfonce sous le seul effet de son poids. On peut creuser ainsi plusieurs centaines de trous par jour sans autre main-d'œuvre que le conducteur du tracteur ; ils serviront à la plantation d'arbres ou tout simplement à la pose de piquets de clôture.

RADAR SUR GRAND ÉCRAN

Dès la mise en œuvre sur une grande échelle, au cours de la guerre, du radar appliqué à la surveillance du ciel, les opérateurs de P. P. I. (Plan Position Indicator) souhaitaient disposer d'un écran beaucoup plus large sur lequel ils pussent matérialiser les impressions successives données par les réflexions radar afin d'en déduire la route des avions repérés. On sait que, dans la technique du P. P. I., le rayon explorateur décrit circulairement tout l'horizon et que, sur l'écran de l'oscillographe cathodique, la position des obstacles donnant naissance aux échos radar est marquée par des points brillants dont la distance au centre de l'écran est proportionnelle à la distance réelle de ces obstacles, tandis que les azimuts se correspondent exactement ; ainsi est tracée une véritable carte de l'espace environnant, seule-

ment limitée par la portée des ondes et de leurs échos.

La faible luminosité des écrans d'oscillographes ne permet pas d'agrandir optiquement l'image qui s'y inscrit et que les opérateurs souhaitaient dix fois plus grande. On tournait la difficulté en mettant sur pied une organisation complexe de report à la main avec liaison téléphonique entre les observateurs des oscillographes et les agents tenant l'écran de travail à jour ; de fréquents erreurs étaient ainsi inévitables.

Parmi les méthodes proposées pour résoudre ce problème, une des plus intéressantes est sans doute celle mise au point par les laboratoires de recherches Kodak, qui réalisent cet agrandissement par des procédés photographiques. Chaque image de l'écran P. P. I., correspondant à une rotation complète du faisceau explorateur, est photographiée ; le film est traité complètement en quelques secondes, et l'image négative est projetée sur le grand écran. L'ensemble de l'appareillage porte le nom de « Plan Position Photographic Projector », en abrégé P⁴I, et est représenté schématiquement par la figure 3.

Toutes les opérations sont automatiques. Le film (de 16 mm) se déroule d'une manière intermittente ; une image stationne devant l'objectif, l'émulsion tournée vers le haut, et elle est

SCIENCE ET VIE

publiera prochainement un important
NUMÉRO HORS SÉRIE

LES CHEMINS DE FER EN FRANCE ET DANS LE MONDE

CARACTÉRISTIQUES, DESSINS, PHOTOGRAPHIES EN NOIR OU EN COULEURS
DU MATÉRIEL ROULANT EN SERVICE SUR LES RÉSEAUX DU MONDE ENTIER

- L'équipement de la voie
- La locomotive à vapeur moderne
- Locomotives Diesel-électriques et autorails
- La locomotive à turbine à gaz
- La traction électrique de l'avenir
- Sous-stations, automotrices, locomotives électriques
- La voiture à voyageurs et le confort
- Gares de triage et engins rail-route
- L'exploitation : le service des trains
- La sécurité : signalisation et aiguillages
- Les grandes vitesses : vers les 200 kilomètres/heure

PLUS DE 150 PAGES

RETENEZ AUJOURD'HUI CE NUMÉRO A TIRAGE LIMITÉ QUI VOUS SERA ADRESSÉ FRANCO DÈS SA PARUTION CONTRE LA SOMME DE 100 FRANCS (80 francs si vous êtes abonné). Indiquez le numéro de votre abonnement sur le talon du chèque postal. Compte chèque postal : PARIS 125863.

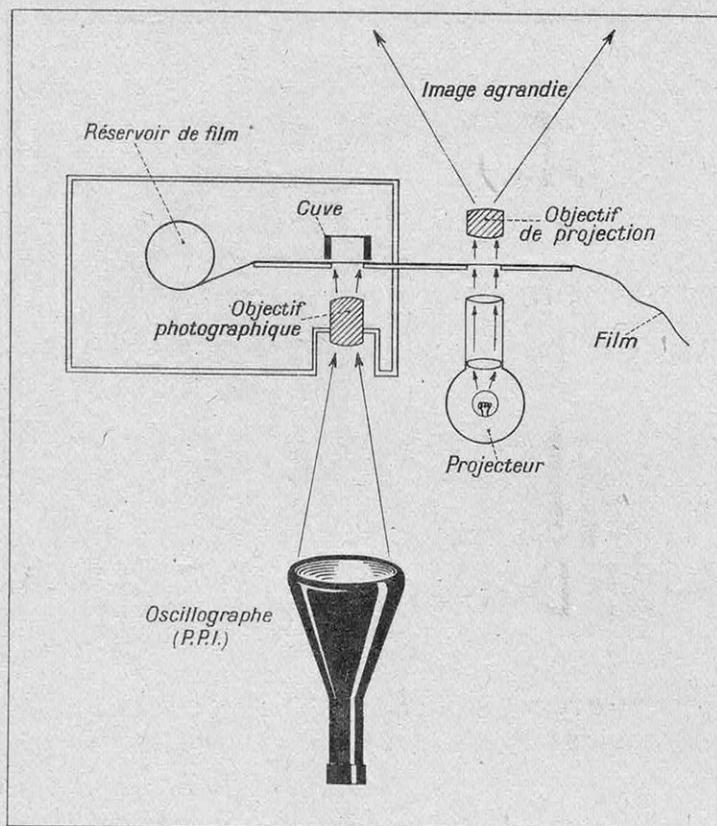


FIG. 3. — ENSEMBLE DE L'INSTALLATION DE PROJECTION SUR GRAND ÉCRAN DES IMAGES DU RADAR

successivement impressionnée, développée, fixée, lavée et séchée. Le traitement ne prend que 15 s au total. Le film avance alors de 30 mm et l'image se trouve ainsi devant le projecteur, tandis qu'une nouvelle prend sa place. Le tout est commandé par un arbre à cames. La partie la plus remarquable de l'opération est le traitement du film qui s'opère à l'aide d'une petite cuve miniature, en matière plastique, qui vient s'appliquer sur le film. Cette cuve, que représente le figure 4, est constituée par deux cylindres concentriques sans fonds. L'espace annulaire est fermé à la partie supérieure et peut être mis en communication avec une chambre à vide. La cuve est portée par un bras oscillant qui vient l'appliquer au moment voulu sur le film qui en constitue alors le fond. Les produits de développement, de fixage et de lavage sont envoyés successivement (à 60° C, pour que leur action soit plus rapide)

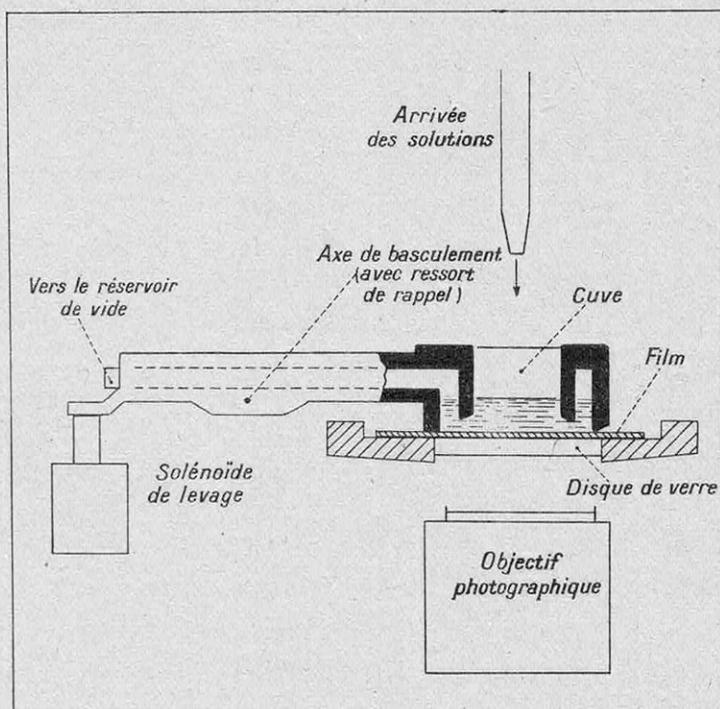


FIG. 4. — DÉTAIL DE LA CUVE DE DÉVELOPPEMENT

dans la partie centrale de la cuve et évacués l'un après l'autre par l'espace annulaire sous l'action du vide (le cylindre intérieur est légèrement plus court que le cylindre extérieur). Le courant d'air aspiré après le lavage assure le séchage. La cuve reçoit chaque fois environ 0,3 cm³ de liquide. Le développement prend 4 s, le fixage 6,5 s et le lavage 1 s.

Il est évident que cet appareil entièrement automatique est susceptible de nombreuses applications autres que militaires, en particulier dans la recherche scientifique, pour l'étude des phénomènes transitoires dont il est intéressant de conserver des enregistrements photographiques.

UN DÉTECTEUR D'OXYDE DE CARBONE ULTRASENSIBLE

DE très nombreux détecteurs de gaz nocifs ont été proposés jusqu'ici, mais la plupart d'entre eux sont d'une mise en œuvre délicate pour les très faibles teneurs et exigent un ap-

pareillage encombrant. Pendant la guerre, le National Bureau of Standards américain en a développé un nouveau modèle qui serait sensible à une teneur en oxyde de carbone de une partie en 500 millions. Il consiste essentiellement, d'après le *Journal of the Franklin Institute*, en un tube contenant du gel de silice imprégné d'un silico-molybdate complexe, avec du sulfate de palladium comme catalyseur. Cet ensemble de couleur jaune vire au vert ou au bleu vert lorsque des traces d'oxyde de carbone traversent le tube.

On opère très facilement à l'aide d'une poire en caoutchouc que l'on adapte à une des extrémités du tube après qu'on les a brisées. Les changements de couleur sont appréciés par comparaison avec des échantillons fixes. Plus de 500 000 de ces indicateurs ont été fournis aux troupes alliées pendant la guerre.

CHALUMEAUX AIR-GAZ ET AIR-ACÉTYLÈNE

La température atteinte par la flamme d'un chalumeau dépend essentiellement de trois facteurs : la nature du gaz combustible (carburant) et du gaz chargé d'entretenir la combustion (comburant); le dosage de ces deux gaz; leur mélange plus ou moins intime.

Le gaz carburant le plus communément employé est

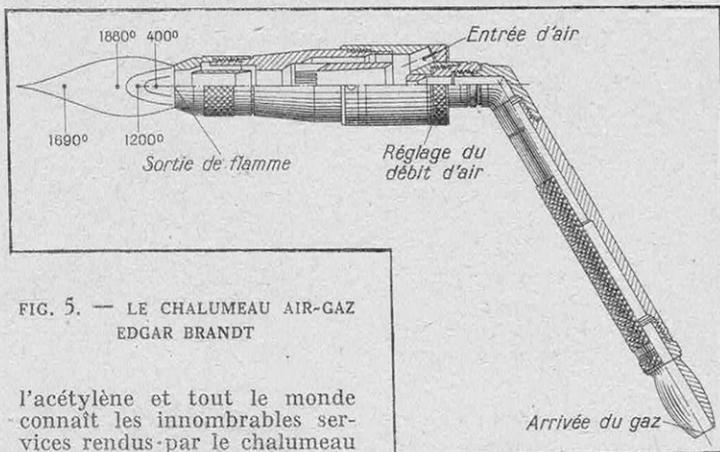


FIG. 5. — LE CHALUMEAU AIR-GAZ
EDGAR BRANDT

l'acétylène et tout le monde connaît les innombrables services rendus par le chalumeau oxy-acétylénique. Toutefois ses utilisations sont limitées par les conditions mêmes de son emploi, puisqu'il faut disposer à la fois d'acétylène et d'oxygène sous pression. Aussi a-t-on cherché à simplifier cette installation, d'une part en faisant appel comme carburant au vulgaire gaz d'éclairage, actuellement diffusé partout, d'autre part à l'air non comprimé comme comburant. C'est ainsi qu'on est parvenu à créer l'appareil simple représenté figure 5 qui, branché sur une canalisation de gaz ordinaire, aspire automatiquement dans l'atmosphère l'air nécessaire à la combustion du gaz et permet d'atteindre, au point optimum d'utilisation de la flamme, à la pointe du dard, une température de 1800°, soit 300° de plus qu'avec un bec Bunsen. Cette température élevée est obtenue d'abord par une proportion conven-

ablement calculée des volumes de gaz et d'air qui circulent dans le chalumeau, ensuite par un brassage énergique du carburant et du comburant avant leur arrivée à l'ajutage final.

Cet appareil suffit, suivant son calibre, à réaliser de nombreux travaux de brasure depuis ceux qui intéressent le bijoutier, les électriciens, jusqu'à ceux de mécanique générale, de couverture, du cycle, en passant par l'armurerie, la plomberie, etc.

Signalons d'ailleurs qu'un autre type de chalumeau, basé sur le même principe, peut être alimenté par de l'acétylène provenant soit d'une bouteille d'acétylène dissous, soit d'un générateur d'acétylène sous pression, mais toujours sans air comprimé. La température atteinte est alors de 2300° avec l'acétylène sous pression de 150 g. V. RUBOR.

NUMÉROS DISPONIBLES

Nous pouvons fournir à nos lecteurs les numéros suivants :

1945	: 337, 338, 339.	à 20	» l'exemplaire.
1946	: 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348.	à 20	» —
	349, 350, 351.	à 30	» —
1947	: 352, 353, 354, 355, 356.	à 28	50 —
	Numéro hors série « Aviation 1946 »	à 120	» —

Adresser le montant de toutes les commandes au

C. C. Postal 91-07 Paris.

Tarif des abonnements : France et Colonies, 300 fr. ; recommandé, 400 fr.
Étranger, 450 fr. ; recommandé, 600 fr.

L'ESSENCE EST RARE...

chère et surtout de mauvaise qualité.

Elle provoque un calaminage rapide, le moteur « cliquette », les reprises sont médiocres.

Pour remédier à ces inconvénients et assurer le graissage rationnel et la protection des hauts de cylindre, il suffit d'ajouter :

UN COMPRIMÉ STICOÏDS à 5 litres d'essence.

STICOÏDS : le fortifiant des moteurs fatigués. La boîte de 40 comprimés (pour 200 litres) : 40 francs. Baisse générale assurée.

Vente en gros aux commissionnaires. S. T. I. C., 36, boulevard de la Bastille, Paris (12^e). Tél. : Dor. 70-30.

LA RADIOÉLECTRICITÉ RÉVOLUTIONNE LA VIE MODERNE, ELLE VOUS PERMETTRA DE GAGNER D'AVANTAGE

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 de-

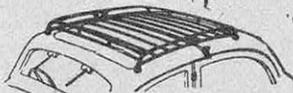
mandée. Vous deviendrez ainsi facilement et rapidement radiotechnicien diplômé, artisan patenté, spécialiste militaire, chef monteur industriel et rural. Nous avons été les premiers à fournir à nos élèves du matériel électro-mécanique en réduction et TOUT le matériel de T. S. F. leur permettant de construire, 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

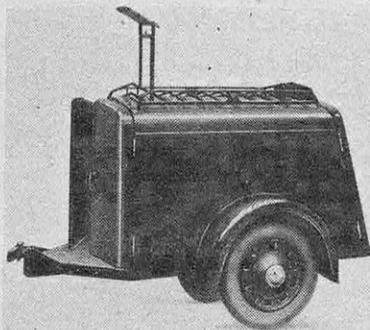
L'INSTITUT NATIONAL D'ÉLECTRICITÉ ET DE RADIO
3, rue Lafitte, à Paris (IX^e).

LE PROBLÈME DU TRANSPORT

...a toujours été à l'ordre du jour, et actuellement il est nécessaire d'obtenir plus que jamais la meilleure utilisation des moyens existants. La galerie de toit amovible O. L. D. se fixe instantanément aux carrosseries.



Cette maison construit également des porte-bagages, des malles de toit, porte-vélos, porte-skis arrière, des



remorques-fourgons métalliques de 400 et 600 kg et des marchepieds adaptables aux Citroën.

O. LECANU, D, 51, rue Raspail, à Levallois (Seine). Tél. : Per. 01-29.

VOUS AVEZ BESOIN DE SAVOIR RÉDIGER

Savoir bien rédiger est une condition essentielle de réussite, non seulement dans la Presse et l'illustration, mais dans l'Administration, les Affaires, la Publicité.

Vous qui avez toujours eu le goût d'écrire, qu'attendez-vous pour devenir reporters, journalistes, romanciers ?

Ingénieurs, techniciens, rédacteurs, employés ou chefs d'atelier, vous avez besoin de mettre de la précision, de la chaleur, de la vigueur, dans vos rapports, vos mémoires, vos lettres, vos articles techniques.

L'ÉCOLE A. B. C. de RÉDACTION vient de créer à votre intention des branches de spécialisation toutes nouvelles parmi lesquelles vous pouvez choisir celle qui correspond à vos besoins ou à vos projets :

ROMAN, NOUVELLE, CONTE, POÉSIE, COMPOSITION THÉÂTRALE, SCÉNARIO, JOURNALISME, ART DE PARLER, REDACTION PUBLICITAIRE, COURRIER COMMERCIAL.

Renseignez-vous et demandez la brochure « L'Art d'écrire », offerte gratuitement, vous y trouverez une documentation très complète sur l'École A. B. C. et sa méthode éprouvée. (Joindre 9 fr. pour frais d'envoi.) ÉCOLE A. B. C. (RÉDACTION Y-4)
12, rue Lincoln, PARIS (VIII^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 :

Échauffement 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.

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.

TOUTES LES CARRIÈRES DE L'AUTOMOBILE

Motoriste, mécanicien - chauffeur, électricien - réparateur, employé ou magasinier de garage, vendeur-représentant en automobiles, etc., vous seront ouvertes en suivant nos cours par correspondance qui feront de vous des techniciens et mécaniciens de premier ordre.

- Préparation au service militaire dans l'armée motorisée ;
- Conduite, entretien et dépannage de tracteurs agricoles ;
- Autorails, chemin de fer de France et des Colonies ;
- Mécanicien - dépanneur des P. T. T.

COURS TECHNIQUES AUTO
rue du Docteur-Cordier,
Saint-Quentin (Aisne).

Renseignements gratuits sur demande.

LA DIFFUSION SCIENTIFIQUE

3, rue de Londres, Paris (9^e).

vous présente :

son intéressante collection de livres sur l'automobile, l'électricité, la radio, les diverses professions, le dessin, la formation professionnelle, le commerce, la comptabilité, les connaissances scientifiques nouvelles, la médecine, les sports, les danses, la cuisine, la pâtisserie, le jardinage, le bricolage, la culture humaine, la graphologie, l'occultisme, la radiesthésie, etc... Catalogue général « SCIENCES 47 » de 32 pages contre 10 francs en timbres.

RÉUSSIR !

Pour obtenir une situation lucrative ou améliorer votre emploi actuel, votre intérêt est de suivre les cours par correspondance de l'ENEC basés sur des méthodes d'enseignement modernes et rationnelles. Demandez l'envoi gratuit de la brochure que vous désirez (précisez le n°).

Broch. 2.320 : Orthographe Rédaction.

Broch. 2.321 : Calcul, Mathématiques.

Broch. 2.322 : Physique.

Broch. 2.323 : Chimie.

Broch. 2.324 : Électricité.

Broch. 2.325 : Radio.

Broch. 2.326 : Mécanique.

Broch. 2.327 : Automobile.

Broch. 2.328 : Aviation.

Broch. 2.329 : Marine.

Broch. 2.330 : Dessin industriel.

Broch. 2.331 : C. A. P. - B. P. Industrie.

Broch. 2.332 : Carrières industrielles.

Broch. 2.333 : Sténo-dactylographie.

Broch. 2.334 : Secrétariat.

Broch. 2.335 : Comptabilité.

Broch. 2.336 : Langues.

Broch. 2.337 : C. A. P. - B. P. Commerce.

Broch. 2.338 : Carrières commerciales.

Broch. 2.339 : Enseignement ménager (C. A. P. - B. P.)

Broch. 2.340 : Carrières administratives.

Broch. 2.341 : B. E. et Baccalauréats. Baccalauréat Technique (2^e session).

ÉCOLE NORMALE
D'ENSEIGNEMENT
PAR CORRESPONDANCE
28, rue d'Assas, Paris (VI^e).

20 A 25.000 FRANCS PAR MOIS



Salaire actuel 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'École Préparatoire d'Administration, 4, r. des Petits-Champs, Paris.

MÉCANICIENS AUTO
RATTRAPEZ LE TEMPS PERDU

Gagnez plus, améliorez votre situation ou votre affaire, soyez prêts à bénéficier de la « Reprise » en mettant à jour vos connaissances.

Perfectionnez-vous, devenez un vrai spécialiste hautement qualifié et « à la page », rapidement, chez vous, sans déranger vos occupations.

Vous le pouvez par un enseignement très sérieux, ultra-récent et essentiellement pratique, servi par de grands professionnels « actifs », et traitant de toute l'automobile actuelle : marques françaises et étrangères, tourisme, poids lourds, tracteurs agricoles, mécanique, électricité, réparations, entretien, organisation du garage, etc.

Demandez la notice M-6 à l'École des Techniques Nouvelles, AUTO-AVIATION-RADIO, 65, Champs-Élysées, Paris ; 20, rue Charles-Martel, Bruxelles ; Gorge 8, Neuchâtel.

ÊTES-VOUS PRATIQUE ?



Être pratique dans la vie courante ne consiste pas seulement à employer des procédés ingénieux permettant de surmonter aisément les difficultés matérielles.

Être pratique, c'est être capable de tirer parti de la réalité telle qu'elle se présente ; c'est avoir un esprit ordonné, accordant à chaque chose l'importance qu'elle mérite ; c'est savoir économiser ses efforts pour en prolonger l'effet.

Demandez à l'Institut PELMAN sa documentation n° VI-3-D.

En essayant sa méthode, vous serez stupéfait des résultats que vous obtiendrez sur vous-même.

INSTITUT PELMAN

176, boulevard Haussmann, Paris.

PARENTS, VOICI DU NOUVEAU
POUR VOS ENFANTS

L'ÉCOLE A. B. C. vient de créer un cours de dessin par correspondance, spécial pour les enfants de huit à treize ans. Enfin, une méthode amusante et réellement pratique qui guidera votre enfant, l'aidera à préciser ses impressions, formera et affinera son goût.

Apprendre le dessin n'est pas seulement un passe-temps agréable, c'est un devoir de prévoyance, car, en plus de l'agrément qu'il procure, il peut ouvrir la voie vers maintes carrières intéressantes et lucratives.

Si votre enfant ne devient pas un artiste et quelle que soit sa carrière, la pratique du dessin enrichira sa personnalité et sera pour lui une source de supériorité et de satisfaction.

Renseignez-vous : demandez l'album illustré envoyé gratuitement et sans engagement de votre part.

ÉCOLE A. B. C. DE DESSIN

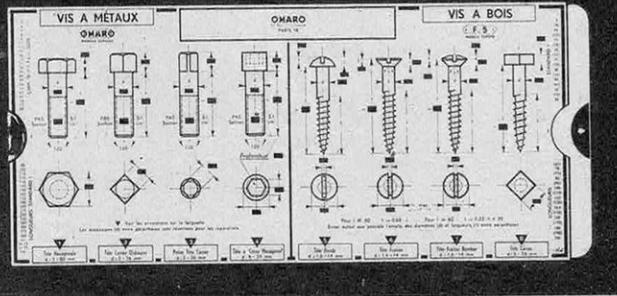
(Enfants 68),

12, rue Lincoln, Paris (VIII^e).

95 PHOTOS RÉUSSIES
SUR 100

Vous réussirez couramment des photos artistiques si, au lieu de vous fier au hasard, vous apprenez à vous servir de votre appareil. Plus de pellicules gâchées, plus de souvenirs de réunions ou d'excursions irrémédiablement perdus si vous suivez le passionnant cours « LA PHOTO FACILE » qui vous enseignera par correspondance cet art qui vous donnera tant de joies. Demandez aujourd'hui la belle brochure illustrée de 16 pages S.V.3 à « LA PHOTO FACILE », 11, rue Keppler, Paris (17^e) (joindre 15 francs en timbres).

VIS A MÉTAUX
ET A BOIS F.5
PRIX : 100 Fr.
BAISSE 7% + PORT

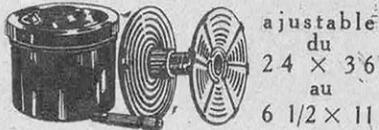


PROBLÈME POSÉ : LECTURE DIRECTE DE SA SOLUTION
Les curseurs OMARO sont des règles à barèmes ou à calcul à lecture objective. De nombreux modèles concernant l'industrie, les mathématiques ont été réalisés. Plus de 25 modèles OMARO, 13, rue de la Nation, PARIS (XVIII^e). - (MONtmartre 21.65.)

LE DÉVELOPPEMENT AUTOMATIQUE DES FILMS SANS LABORATOIRE

Les appareils que nous présentons ci-dessous ont été soigneusement étudiés pour permettre à tout amateur d'effectuer AUTOMATIQUEMENT le développement des films photo sans le secours d'un laboratoire. Ces cuves développent, fixent, lavent sans taches ni rayures. Elles permettent de réaliser une grosse économie de temps et d'argent avec 100 % de réussites.

Le SUPERINOX cuve universelle



ajustable du 24 x 36 au 6 1/2 x 11

Le SOUPLINOX à bande souple gaufree.



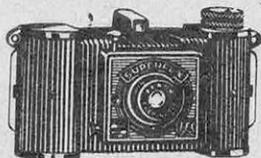
Modèle spécial pour 24 x 36 LEICA CONTAX FOCA, etc.

En vente chez tous les détaillants photo. Les NOUVEAUTÉS, PHOTO, 83, faubourg Saint-Martin, PARIS (X^e).

LE SUPERFEX

le plus simple des appareils précis.

Voici un appareil de classe, en matière moulée, fabriqué en série et qui met les joies de la photo à la portée de tous.



CARACTÉRISTIQUES :

- Son boîtier entièrement en matière plastique, léger et indéformable.
- Son obturateur à fonctionnement très sûr pour pose et instantané (1/30 de seconde).
- Son ménisque à foyer fixe supprimant toute mise au point. Profondeur du champ 1,50 m à l'infini.
- Son déclencheur sur le boîtier.
- Son viseur spécial ultra-net et lumineux.

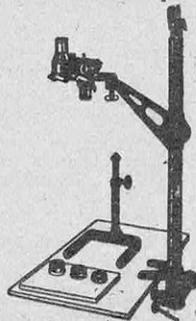
Prix avec étui : 950 francs. En vente tous magasins photo. Autres spécialités : les posomètres optiques TEMPOR et IRIS. Établissements KAFTA, fabricant, 44, rue Damrémont, Paris (18^e).

REPRODUCTEUR P. M. P.

Le nombre des personnes s'intéressant à la reproduction des documents et des petits objets s'accroît sans cesse. Le reproducteur P. M. P. résout magnifiquement le problème en utilisant l'appareil Leica. Mise au point des objets ou documents à partir de 10 cm.

Le P. M. P. comprend :

- 1° Un verre dépoli et une loupe de mise au point auxquels se substitue l'appareil photographique. Ces accessoires peuvent être fixés sur un pied ordinaire.
 - 2° Une colonne en deux pièces démontables sur laquelle peut coulisser un bras.
 - 3° Une rotule du bras.
 - 4° Un pied muni d'une petite colonne coulissante sur laquelle se fixe l'appareil reproducteur.
 - 5° Une bague hélicoïdale et 3 bagues donnant les rapports de 1/1 à 1/18.
- Disponible complet : 18 300 fr. ; malette, environ : 4 000 fr. Vente en gros, P. M. P., rue Navoiseau, Montreuil-sur-Seine (Seine).



VUE MODERNE SUR LA PHOTO D'AMATEUR CHRONIQUE GRENIER

C'est seulement aujourd'hui que l'ensemble des connaissances optiques que nous avons acquises nous prouve que cette science comble de ses faveurs tout ce qui est petit ; elle copie en cela la nature qui nous avait démontré ce fait depuis longtemps déjà : voyez plutôt l'extraordinaire petit œil du gros éléphant !

Nous pratiquons et apprécions le cinéma 8 mm, c'est pourquoi nous sommes partisans en photographie du format aussi petit que possible : le 24 x 36 actuellement. La très courte focale des objectifs prévus pour ce format leur donne une très grande profondeur de champ ; donc un réglage facile. Leur grande ouverture permet la photographie en instantané dans les conditions d'éclairage les plus difficiles.

Appareils. — Signalons le « Superfex » de Kafta, format 4 x 6 1/2 qui, sans être un « vrai » petit format, possède des avantages marqués sur les appareils classiques 6 x 9 et 6 1/2 x 11 ; Coûte seulement : 950 frs.

Dès avant guerre, le petit « Eljy » Lumière (8 vues 24 x 36) avait rencontré un succès très justifié. Malgré son prix raisonnable (3 000 fr), donne même aux débutants des résultats étonnants.

Pour les amateurs plus aisés, nous

signalerons : le « Sem-Kim », 6 640 fr, l'« Ontobloc », 9 440 fr. et enfin l'appareil français, le « Foca » qui concurrence les premières productions étrangères. « Foca 1 » : 16 155 fr ; « Foca 2 » : 22 400 fr.

Films. — Vous pouvez réaliser une économie importante sur le prix de la surface sensible en achetant le film non plus en cartouche de 36 vues, mais au mètre (par boîte de 5 ou 10 mètres Gevaert et Kodak 28 fr le m) ; chaque cliché revient à 1 fr. 40 (en cartouche le cliché revient à 2 fr. 20 et 1 cliché 6 x 9 à 4 fr.). L'emploi d'une bobineuse et d'un magasin « Sommor » rend l'utilisation du film au mètre aussi simple que celui en cartouche et même beaucoup plus pratique puisque vous pouvez ainsi garnir les chargeurs du nombre de vues désirées (bobineuse : 550 fr. Magasin de 10 m, 120 fr (notice sur demande).

Mais c'est surtout en exécutant vos travaux vous-mêmes que vous réaliserez les économies les plus sensibles. Or le matériel de développement pour amateur est très bien conçu et vous permettra d'obtenir sans difficulté de très bons résultats.

Le travail d'agrandissement vous procurera des joies insoupçonnées. Un 6 x 9 revient alors à 1 fr. 20.

Nous avons disponible toute la gamme des cuves « Inox » (Inox 1,

prix : 550 fr. Super-Inox, prix : 695 fr. Souplinox, prix : 735 fr. Eljynox, prix : 464 fr).

Produits. — Révélateur grain fin 600 cc : 25 fr. 70. Fixage acide : 1 l, 20 fr.

L'agrandissement est chose très simple : quelques bons principes au départ suffisent. Voir notre revue périodique *Petits Formats* (20 fr le numéro, remboursable).

Nous pouvons livrer les agrandisseurs « Lynxa », spécialement conçus pour le petit format, prix : 5 470 fr à 7 750 fr suivant optique.

Révé. génol-hydroquinone : 21, 40 fr. Fixage acide : 1 l, 20 fr.

Le fameux révélateur le « Lazuton », très puissant et compensateur : en dose de 5 l seulement : 120 fr.

Accessoires. — Presse à coller, simple mais bonne p^r 8 et 9,5 mm. Prix : 150 fr. Loupe spéciale pour examiner les films 8 mm. Prix : 857 fr.

Le reproducteur P. M. P. 18 300 frs. GRENIER, 27, rue du Cherche-Midi (métro Sèvres-Babylone), magasin ouvert de 9 h. à 12 h. 30 et de 14 h. à 18 h. 30. C. P. 1526-49, Paris. Notices et renseignements contre timbre 4,50 fr.

Nous expédions contre remboursement. Emballage et port facturés au juste prix. FRANCO TOTAL pour commande supérieure à 3 000 fr. Pour les colonies, nous préférons le paiement par virement postal.

L'ÉLECTRICITÉ

...est un métier scientifique, moderne, lucratif, qui donne du prestige à celui qui l'exerce et lui permet d'espérer le plus brillant avenir.

Les Ingénieurs-Spécialistes de notre Institut vous y prépareront, sans que vous ayez à quitter vos occupations.

En fin d'études l'Institut délivre un certificat, document précieux qui facilite l'accès aux carrières d'État.

Pour être complètement renseigné, demandez-nous tout de suite (contre 10 Fr.) l'album SVI "L'Électricité et ses applications, métier d'avenir".



INSTITUT ELECTRO-RADIO
6, RUE DE TÉHÉRAN, PARIS 8^e



*vague de
baisse*



*vague
d'assaut à la
conquête de votre
bien-être*

10%

VOICI VOTRE ÉCOLE

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° 33100. Classes secondaires complètes :
Baccalauréats. | N° 33110. Dunamis (Culture mentale). |
| N° 33101. Classes primaires complètes :
Brevets. | N° 33111. Phonopolyglotte (Anglais, Allemand, Italien, Espagnol). |
| N° 33102. Enseignement supérieur :
Licence ès Lettres. | N° 33112. Dessin artistique. |
| N° 33103. Cours d'orthographe. | N° 33113. Cours d'éloquence. |
| N° 33104. Cours de rédaction. | N° 33114. Cours de poésie. |
| N° 33105. Formation scientifique : (Math., Physique, Chimie). | N° 33115. Formation musicale. |
| N° 33106. Dessin industriel. | N° 33116. Initiation aux grands problèmes philosophiques. |
| N° 33107. Industrie : Certificats d'aptitude professionnelle. | N° 33117. Cours de publicité. |
| N° 33108. Radio, certificats de radio de bord (1 ^{re} et 2 ^e classes). | N° 33118. Carrières des P. T. T. et des Travaux publics. |
| N° 33109. Commerce et comptabilité : Certificats d'aptitude professionnelle. | N° 33119. 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-Malleterre, PARIS (16^e).



Pour vaincre l'adversité

La vie devient chaque jour plus difficile. Il faut, de plus en plus, se débattre pour arriver à une situation enviable. C'est une erreur de croire que, seule, l'expérience technique acquise par les études et sanctionnée par les diplômes suffit pour arriver.

Il importe de posséder en outre, les qualités intellectuelles et morales indispensables. Celles-ci ne s'acquièrent que par un entraînement quotidien rationnel. A cet égard, la MÉTHODE PELMAN, consacrée par cinquante-six ans de pratique dans le monde entier, est le plus sûr moyen d'éduquer la volonté, source de toute action efficace et de développer cet esprit de méthode et d'initiative, ce jugement sûr, cette mémoire fidèle qui sont à la base de l'utilisation rationnelle et, par conséquent, profitable des connaissances.

Demandez, ne serait-ce que pour vous documenter utilement, la brochure n° VI-26-C, à l'Institut PELMAN, 176, boulevard Haussmann, Paris.

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



JEUNES GENS III
sans quitter votre emploi actuel
ASSUREZ VOTRE AVENIR !
CHOISISSEZ UNE CARRIÈRE REMUNÉRATRICE !

LA RADIO manque de spécialistes dans
L'ARMÉE, L'AVIATION, LA MARINE
L'INDUSTRIE, LE COMMERCE, L'ARTISANAT
SUIVEZ NOS COURS PAR CORRESPONDANCE

DEMANDEZ NOTRE DOCUMENTATION GRATUITE N° 45. COURS TOUS DEGRÉS. Préparation aux DIPLOMES OFFICIELS PLACEMENT ASSURÉ

VOUS RECEVREZ GRATUITEMENT LE MATÉRIEL nécessaire au montage d'un RECEPTEUR MODERNE QUI RESTERA VOTRE PROPRIÉTÉ

JEUNES GENS ! devenez comptables agréés
COURS DE TOUS LES DEGRÉS
PRÉPARATION AUX DIPLOMES OFFICIELS
DEMANDEZ notre DOCUMENTATION GRATUITE N° 48

ÉCOLE PRATIQUE D'APPLICATIONS SCIENTIFIQUES
39. RUE DE BABYLONE — PARIS-VII^e



Monsieur le Directeur,

Veuillez me faire parvenir votre documentation sur la méthode Linguaphone, ainsi que tous renseignements sur votre offre d'essai gratuit, sans engagement. (Ci-joint 9 francs pour frais d'envoi).

NOM

ADRESSE

Langue qui vous intéresse.....

Avez-vous lu la nouvelle brochure "LES LANGUES ÉTRANGÈRES PAR LINGUAPHONE" ?

Qui de vous ne connaît le nom de Linguaphone? Mais connaissez-vous le secret de cette méthode qui a révolutionné l'enseignement des langues? Il ne tient qu'à vous de le savoir.

Ne tardez pas un jour de plus. Avec un cours de conversation Linguaphone et votre phono chez vous, vous apprenez à parler la langue de votre choix de la manière la plus intéressante possible, car Linguaphone vous apporte les professeurs les plus éminents de chaque pays.

● ANGLAIS
● ESPAGNOL
● ALLEMAND
● RUSSE

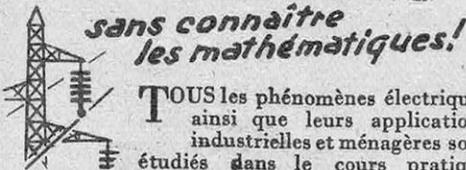
Demandez la brochure illustrée qui vous apportera des renseignements détaillés sur la méthode, sa description complète, le plan, le programme des cours, la liste des principales universités, des lycées et des collèges (plus de 11.000 dans le monde entier) qui l'ont adoptée. C'est un document que vous devez posséder et lire. Envoyez de suite le coupon ci-contre.

INSTITUT LINGUAPHONE
(Département A. 47) 12, Rue Lincoln, PARIS (8^e)

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 10 E

**COURS
PRATIQUE
D'ÉLECTRICITÉ**
222, Bd. Péreire - Paris 17^e

**UN BON
PLACEMENT**

**pour vos
disponibilités**

toutes échéances
et toutes coupures

**BONS
DU TRÉSOR**



MONACO

Apprenez
chez vous

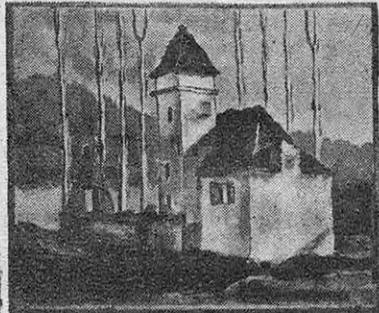
Le Dessin

ET **L'APRINTURE**



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

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. 76), Principauté de Monaco. Joignez simplement à votre demande vos noms et adresse, ainsi que 10 francs, à votre gré, pour frais de poste.



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



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.

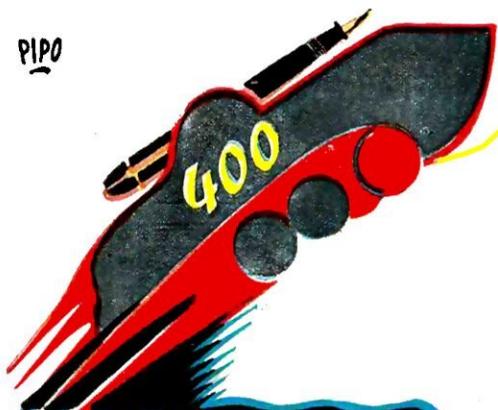
MARINE MILITAIRE Préparation aux Écoles de Maistrance et d'Élèves Ingénieurs Mécaniciens.

T. S. F. Préparation aux carrières de la Radio : P. T. T., Aviation, Marine, Colonies. Construction industrielle, Dépannage.

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

PIPO

aucun obstacle n'est insurmontable...



Surpassant tout...

Supprimant l'encrier et la panne d'encre, voici un stylo 100 % français, breveté, capable d'écrire des mois sans arrêt...

...ET GARANTI A VIE

Il a été conçu et mis au point par monsieur PIERRE BAINOL spécialiste du stylo.

Le TANK 400 ne comporte aucun mécanisme. Le corps du stylo forme une cartouche d'encre, interchangeable, à niveau d'encre visible, utilisant la capacité totale du réservoir.

Le TANK 400 est muni d'un clip de sûreté et d'une plume cylindrique assurant le parfait écoulement de l'encre sous le contrôle d'un régulateur de pression.



1 le CAPUCHON avec son clip de sûreté, véritable pièce de mécanique de précision.



2 la CARTOUCHE interchangeable formant le corps du stylo à niveau d'encre visible.



3 la SECTION PLUME, qui, avec ses perfectionnements, constitue l'âme du stylo le plus moderne.

Autres avantages

Entièrement en PLEXIGLAS, donc INCASSABLE. Clip, Jones et plume en métal doré à l'or fin INALTERABLES.
Cartouches d'encre garnies de BLEU RADIO ou BLEU NOIR "Stephens", encres extra-fluides, de réputation mondiale.



400

gouttes d'encre
LA CAPACITÉ DE 10 STYLOS

TANK-400

*Le STYLO à grande contenance
garanti pour l'existence.*

Livré en écrin de luxe avec quatre cartouches de recharge, il permet d'écrire plus d'un an.

C'est le stylo moderne et chic, outil de travail sérieux pour hommes de lettres, journalistes, hommes d'affaires, comptables, étudiants.

TRÈS IMPORTANT. OU QUE VOUS SOYEZ SI LE TANK 400 NE VOUS DONNE PAS SATISFACTION ENTÈRE, PRÉSENTEZ VOTRE BON DE GARANTIE AU PAPETIER DE LA VILLE; IL VOUS SERA ÉCHANGÉ IMMÉDIATEMENT ET SANS FRAIS.

Pierre BAINOL & C^o

USINES & BUREAUX : 19, rue de SARTORIS
LA GARENNE-COLOMBES (SEINE)