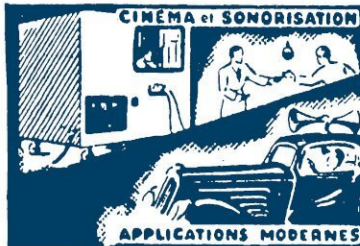
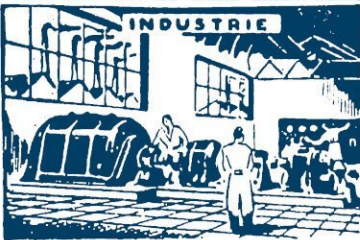


SCIENCE ET VIE





- 24 années de fonctionnement et d'expériences.
- 25 Professeurs-Ingénieurs, parmi lesquels figurent les grands noms de la Radio.
- 24.000 Élèves instruits et placés.
- 1919, depuis cette date, ses Méthodes d'Enseignement, ont classé l'Ecole Centrale de T.S.F., indiscutablement à la 1^{re} Place.

Telles sont quelques-unes des Références que nous vous apportons en zone non-occupée où nous avons créé pour vous une annexe.

Demandez-nous dès aujourd'hui, le "GUIDE GRATUIT DES CARRIÈRES"



ÉCOLE CENTRALE DE T.S.F

12 rue de la Lune PARIS 2^e  Téléphone Central 78-87
"Annexe, 8 rue Porte de France - VICHY (Allier)"

Publicités Réunies

LES COURS PAR CORRESPONDANCE

de

L'ÉCOLE UNIVERSELLE

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

Vous pouvez faire CHEZ VOUS, QUELLE QUE SOIT VOTRE RÉSIDENCE, sans déplacement, sans abandonner l'emploi qui vous fait vivre, en utilisant simplement vos heures de loisirs, avec le MINIMUM DE DÉPENSES, quel que soit votre âge, en toute discrétion si vous le désirez, toutes les études que vous jugerez utiles pour compléter votre culture, pour obtenir un diplôme universitaire, pour vous faire une situation dans un ordre quelconque d'activité, pour améliorer la situation que vous pouvez déjà occuper ou pour changer totalement d'orientation.

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

BROCHURE N° L. 13.209. — ENSEIGNEMENT PRIMAIRE : Classes complètes depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet supérieur, Diplôme d'études primaires préparatoires, Certificat d'études, Bourses, Brevets, Certificat d'aptitude pédagogique, etc.

BROCHURE N° L. 13.210. — ENSEIGNEMENT SECONDAIRE : Classes complètes depuis la onzième jusqu'à la classe de mathématiques spéciales Inclusive, Certificat d'études classiques ou modernes du premier cycle, Diplôme de fin d'études secondaires, Baccalauréats, etc.

BROCHURE N° L. 13.211. — ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : Licences (Lettres, Sciences, Droit), Professorats (Lettres, Sciences, Langues vivantes, Classes élémentaires des Lycées, Collèges, Professorats pratiques), Examens professionnels, etc.

BROCHURE N° L. 13.212. — GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES : Agriculture, Industrie, Travaux publics, Mines, Commerce, Police, Enseignement, Beaux-Arts, Assistance, etc.

BROCHURE N° L. 13.213. — CARRIÈRES DE L'INDUSTRIE, des MINES et des TRAVAUX PUBLICS : Ingénieur (diplôme d'Etat), Sous-Ingénieur, Dessinateur, Conducteur, Chef de chantier, Contremaître, etc.

BROCHURE N° L. 13.214. — CARRIÈRES DE L'AGRICULTURE et du Génie rural, etc.

BROCHURE N° L. 13.215. — CARRIÈRES DU COMMERCE (Administrateur commercial, Secrétaire, Correspondancier, Sténo-dactylo, Représentant, Services de publicité, Teneur de livres), de l'INDUSTRIE HOTELIÈRE, des ASSURANCES, de la BANQUE, de la BOURSE, etc.

BROCHURE N° L. 13.216. — ORTHOGRAPHE, RÉDACTION, VERSIFICATION, CALCUL, DESSIN, ÉCRITURE, etc.

BROCHURE N° L. 13.217. — LANGUES VIVANTES (Anglais, Allemand, Italien, Espagnol, Arabe, Annamite), TOURISME (Interprète), etc.

BROCHURE N° L. 13.218. — AIR, MARINE : Pont, Machine, Commissariat, etc.

BROCHURE N° L. 13.219. — SECRÉTARIATS, BIBLIOTHÈQUES, etc.

BROCHURE N° L. 13.220. — ÉTUDES MUSICALES : Solfège, Harmonie, Composition, Piano, Violon, Flûte, Clarinette, Instruments de jazz, Professorats, etc.

BROCHURE N° L. 13.221. — ARTS DU DESSIN : Dessin pratique, Anatomie artistique, Dessin de Mode, Illustration, Composition décorative, Aquarelle, Gravure, Peinture, Fusain, Pastel, Professorats, Métiers d'art, etc.

BROCHURE N° L. 13.222. — MÉTIERS DE LA COUTURE, de la COUPE, de la MODE, de la LINGERIE, de la BRODERIE : Petite main, Seconde main, Première main, Vendeuse, Retoucheuse, Modéliste, Professorats, etc.

BROCHURE N° L. 13.223. — ARTS DE LA COIFFURE ET DES SOINS DE BEAUTÉ : Coiffeuse, Manucure, Pédicure, Masseur, etc.

BROCHURE N° L. 13.224. — TOUTES LES CARRIÈRES ADMINISTRATIVES : Secrétariats d'Etat, Administrations financières, Inspection du Travail, Banques, Magistrature, Police nationale et régionale, P.T.T. Ponts et Chaussées, Chemins de fer, Préfectures, Mairies, etc.

ÉCOLE UNIVERSELLE

12 place Jules-Ferry, LYON

59 boulevard Exelmans, PARIS



D'ici 3 MOIS

VOUS PARLEREZ

une LANGUE ÉTRANGÈRE

**LINGUAPHONE ENSEIGNE
TOUTES LES LANGUES :**

**ALLEMAND
ANGLAIS
ITALIEN
ESPAGNOL
RUSSE
ARABE
CHINOIS
PORTUGAIS, etc.**

Connaître une langue étrangère est plus que jamais absolument nécessaire. Vous le savez bien et vous avez compris de quelle utilité cela pourrait être pour vous.

Toujours, vous avez eu envie de d'apprendre une autre langue. C'est le moment de vous y mettre : pour cela un seul moyen pratique, rapide, économique et certain : la méthode LINGUAPHONE.

Par la méthode LINGUAPHONE, en quelques mois, vous êtes sûr de savoir une langue étrangère, de la parler couramment avec le bon accent, de l'écrire correctement.

Pour vos affaires et aussi pour votre satisfaction personnelle, savoir au moins une langue étrangère a une importance énorme ...

... et c'est avec LINGUAPHONE, avec cette fameuse méthode par disques, LINGUAPHONE, que vous apprendrez le plus vite et avec le plus de facilité n'importe quelle langue étrangère.

L'institut LINGUAPHONE suit ses élèves pas à pas dans leurs études, corrige les devoirs qu'on lui envoie, guide l'élève s'il le désire, l'aide à apprendre vite sans perte de temps.

LINGUAPHONE

12, rue Lincoln (Champs-Élysées) - PARIS (VIII^e)

Si vous ne connaissez pas encore la merveilleuse méthode d'enseignement par disques de LINGUAPHONE, venez écouter une démonstration dans la langue que vous voudrez. Vous serez émerveillé !

S'il vous est malheureusement impossible de venir, remplissez le bon ci-contre et renvoyez-le aujourd'hui même. Vous recevrez gratuitement et sans aucun engagement de votre part notre brochure de renseignements. Joindre 5 fr. en timbres pour tous frais.

INSTITUT LINGUAPHONE

12, rue Lincoln - PARIS (VIII^e)

Veillez m'envoyer gratuitement et sans engagement de ma part votre brochure de renseignements sur la Méthode LINGUAPHONE. (Joindre 5 fr. en timbres pour tous frais.)

NOM :

ADRESSE :

C B



Croquis
de notre Élève,
Mr. J. GUIRAUD

C'est chez vous

par correspondance, que vous apprendrez
LE DESSIN par la célèbre Méthode

MARC SAUREL

"LE DESSIN FACILE"

Dès 1912, le premier en France, Marc SAUREL a créé un cours de Dessin par correspondance. Il a formé depuis, à leur satisfaction unanime, des milliers d'élèves et sa nouvelle méthode "LE DESSIN FACILE" est le fruit de ces 32 ans de pratique quotidienne.

Réunissant le maximum de clarté et d'efficacité, "LE DESSIN FACILE" méthode jeune, vivante, attrayante, vous permet d'acquérir en moins d'un an une connaissance solide du dessin, et ceci quels que soient votre âge, votre résidence, votre profession et le temps dont vous disposez.

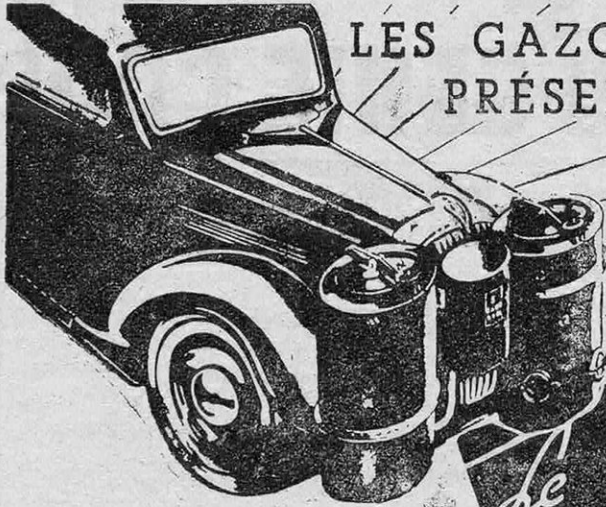
De splendides planches photographiques spécialement établies vous font faire une étude raisonnée des principes du dessin vous préparant au travail d'après nature et d'imagination. A toute heure, en toute saison il vous est ainsi possible de pratiquer le dessin.

Enfin, les corrections effectuées par les éminents professeurs de l'École, constituent, en plus, un cours individuel étroitement adapté à votre personnalité pour développer vos moindres dispositions. Ainsi se justifie cette appréciation de notre Elève Mr. P. R. : « J'ai l'impression d'avoir mon professeur chez moi, à côté de moi! ».

BON pour une documentation illustrée
SV 39 qui vous sera envoyée par
retour, contre 3 francs en timbres-poste. Soulignez le
genre de dessin qui vous intéresse.

CROQUIS	DESSIN DE MODE	DESSIN INDUSTRIEL
PORTRAIT	DESSIN DE PUBLICITE	DESSIN ANIME
PAYSAGE	DESSIN D'ILLUSTRATION	DESSIN DE LETTRES

COURS DE DESSIN POUR LES ENFANTS DE 6 A 12 ANS.
"LE DESSIN FACILE"
11, rue Keppler, 11 Paris (16^e)



LES GAZOGÈNES "BACO"
PRÉSENTENT

leur dernier
NE!

de
BLOC-BACO-BOIS

Fruit et synthèse d'une technique
sans cesse perfectionnée, sera pour
l'usager l'auxiliaire qui permettra
d'assurer pleinement le "service"

Montage simplifié à l'extrême, aucune détérioration
du véhicule

BOISVERT 1970



Générateur, épurateur à bougies filtrantes, refroidisseur, déshydrateur
avec prise d'air de carburation, filtre de ventilateur, ferrures de montage,
le tout monté en un seul "bloc"

Pour recevoir
toute documentation
BOISVERT & ARAN
CAUDÉRAN-BORDEAUX
TEL. : 821-55
MARMANDE (L.-&G.)
TEL. : 135

GRUPE 5



DE L'ECOLE DU GENIE CIVIL

PARIS, 152, Av. Wagram
en zone libre :
NICE, 3, Rue du Lycée

INDUSTRIE

(INSCRIPTIONS A TOUTE ÉPOQUE)

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

COMMERCE - DROIT

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

AGRICULTURE

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

MATHÉMATIQUES

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

Pour les cours ci-dessus, demander le programme n° 7.

Joindre 5 francs en timbres pour frais d'envoi.

MARINE MARCHANDE

Pour la préparation sur place ou par correspondance aux Brevets de la Marine marchande (Pont et Machine), consulter les programmes des Ecoles privées d'Enseignement maritime : Paris, 152, avenue de Wagram; Nice, 21, boulevard Frank-Pilatte. — Joindre 5 fr. pour frais d'envoi.

ADMINISTRATIONS

PONTS ET CHAUSSES ET GENIE RURAL (adjoint technique et ingénieur adjoint); P.T.T. (opérateurs radio, surnuméraires, vérificateurs, dessinateurs, etc.); DIVERS : Tous les concours techniques, géomètres compris, des diverses administrations France et Colonies. Les élèves de nos cours Armée, Air, Marine, pourront se préparer à des Administrations de niveau équivalent.

AVIATION CIVILE

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

LYCÉES - ÉCOLES NATIONALES

Préparation à l'entrée à toutes les Ecoles nationales, secondaires, techniques et supérieures et aux Baccalauréats. Brevets Mathématiques générales. Licences. Préparation à l'entrée aux écoles privées d'Enseignement maritime. Envoi du programme n° 10 contre 5 francs en timbres.

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.

LA CÉLÈBRE MÉTHODE DE CULTURE MENTALE DUNAMIS

... permet à chacun, moyennant vingt à trente minutes par jour d'exercices attrayants de développer au maximum son attention, son intelligence, sa mémoire, son imagination, sa volonté, d'acquérir la confiance en soi et, selon l'expression d'un éminent pédagogue, de **FORCER LE SUCCÈS EN TOUS DOMAINES**. Elle s'adresse à tous ceux, hommes et femmes, qui veulent non seulement conserver intact, mais encore accroître chaque jour, le trésor de leurs facultés mentales. Demandez la notice gratuite numéro R. 121.

LA MÉTHODE PHONOPOLYGLOTTE

... unit les avantages de l'enseignement par correspondance et du phonographe, et surclasse tous les autres systèmes actuellement en usage; professeur impeccable, Phonopolyglotte ne vous fait entendre que des accents parfaitement purs, et vous permet, à la suite d'études agréables, de comprendre, de parler, de lire et d'écrire l'allemand, l'anglais, l'espagnol ou l'italien, selon la langue choisie. Demandez la brochure gratuite numéro R. 122.

LE COURS DE DESSIN

... où, pour la première fois dans l'histoire de l'enseignement des arts graphiques, a été appliqué le principe : « **APPRENDRE A DESSINER, C'EST APPRENDRE A VOIR; QUI SAIT VOIR, SAIT DÉJÀ DESSINER** », vous rendra capable de dessiner paysages, natures mortes et portraits; en outre, il vous permettra, le cas échéant, de vous spécialiser dans une des nombreuses carrières ouvertes aux dessinateurs. Demandez la notice gratuite numéro R. 123.

LE COURS D'ÉLOQUENCE

... vous rendra maître de votre langage, vous affranchira de la funeste timidité, vous donnera le moyen de vous exprimer dans les termes les plus choisis et les plus persuasifs; vous permettra, d'une part, d'improviser compliments, speeches ou allocutions dans toutes les circonstances de la vie familiale ou professionnelle, et, d'autre part, de préparer aisément des conférences, des discours selon les meilleures et les plus sûres traditions de l'art oratoire. Demandez la brochure gratuite n° R. 124.

LE COURS DE PUBLICITÉ

... essentiellement pratique, mettra à votre disposition tous les secrets de la technique publicitaire sous toutes ses formes, et vous permettra soit de vous créer une situation dans la publicité, soit de développer dans des proportions inespérées le volume de vos affaires, qu'elle qu'en soit l'importance actuelle. Demandez la notice gratuite numéro R. 125.

Si vous désirez faire des **ÉTUDES PRIMAIRES OU SECONDAIRES**, n'oubliez pas que l'efficacité de l'enseignement de l'ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS est consacrée par les nombreux et brillants succès que remportent ses élèves au **BREVET ÉLÉMENTAIRE**, au **B.E.P.S.**, au **CERTIFICAT D'ÉTUDES CLASSIQUES** ou **MODERNES** et au **BACCALAURÉAT**. Demandez l'envoi gratuit de la brochure n° R. 126 (études primaires) ou n° R. 127 (études secondaires).

ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS

81, Boulevard des Belges, LYON (Rhône)
16, Rue du Général-Malleterre, PARIS (16^{me})

SACHEZ VOIR PLUS LOIN..

Que le présent

JEUNES GENS

Ne vous laissez pas décourager par les sombres perspectives du moment. Tout n'a qu'un temps, tout passe... Seul capital indestructible, l'instruction demeure.

APPRENEZ DONC un BON MÉTIER dans la RADIO C'EST le PLACEMENT d'AVENIR



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

NOS COURS SPÉCIAUX
— SUR PLACE OU PAR —
CORRESPONDANCE

sous la haute direction du C^o Dupont et d'une élite de professeurs spécialisés, vous donneront le maximum de possibilités de réussite aux examens officiels.

Ils feront de vous des spécialistes compétents et recherchés.



L'ÉCOLE PRÉPARE A TOUTES LES CARRIÈRES INDUSTRIELLES OU ADMINISTRATIVES de la RADIO

JEUNES GENS

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



Documentation illustrée sur la Radio 24 pages, 2 coul., contre 5 fr.

ÉCOLE DE RADIOÉLECTRICITÉ ET DE TÉLÉVISION

15, RUE DU DOCTEUR BERGONIE LIMOGES. (H.V.). C.C.P. 406.05

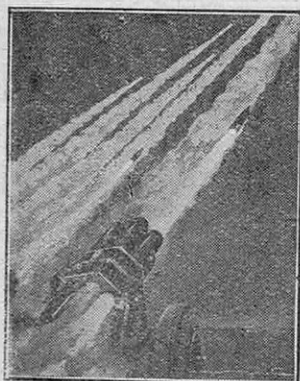
SCIENCE ET VIE

Tome LXIV - N° 315

SOMMAIRE

Novembre 1943

- ★ La fusée, projectile de l'avenir : Les « Nebelwerfer » sur le front de l'Est, par Henri François..... 195
- ★ La vie sociale chez les insectes, par Pierre Beck.... 198
- ★ Pourrons-nous un jour décupler la résistance mécanique des métaux? par André Molès. 208
- ★ Comment accroître la résistance physiologique des aviateurs dans les acrobaties et les piqués, par Pierre Devaux..... 217
- ★ L'alcool est-il un aliment? par Jean Héribert..... 224
- ★ La crise des huiles de graissage et la recherche d'un lubrifiant national, par I. Ginot..... 231
- ★ Les A Côté de la Science, par V. Rubor..... 238

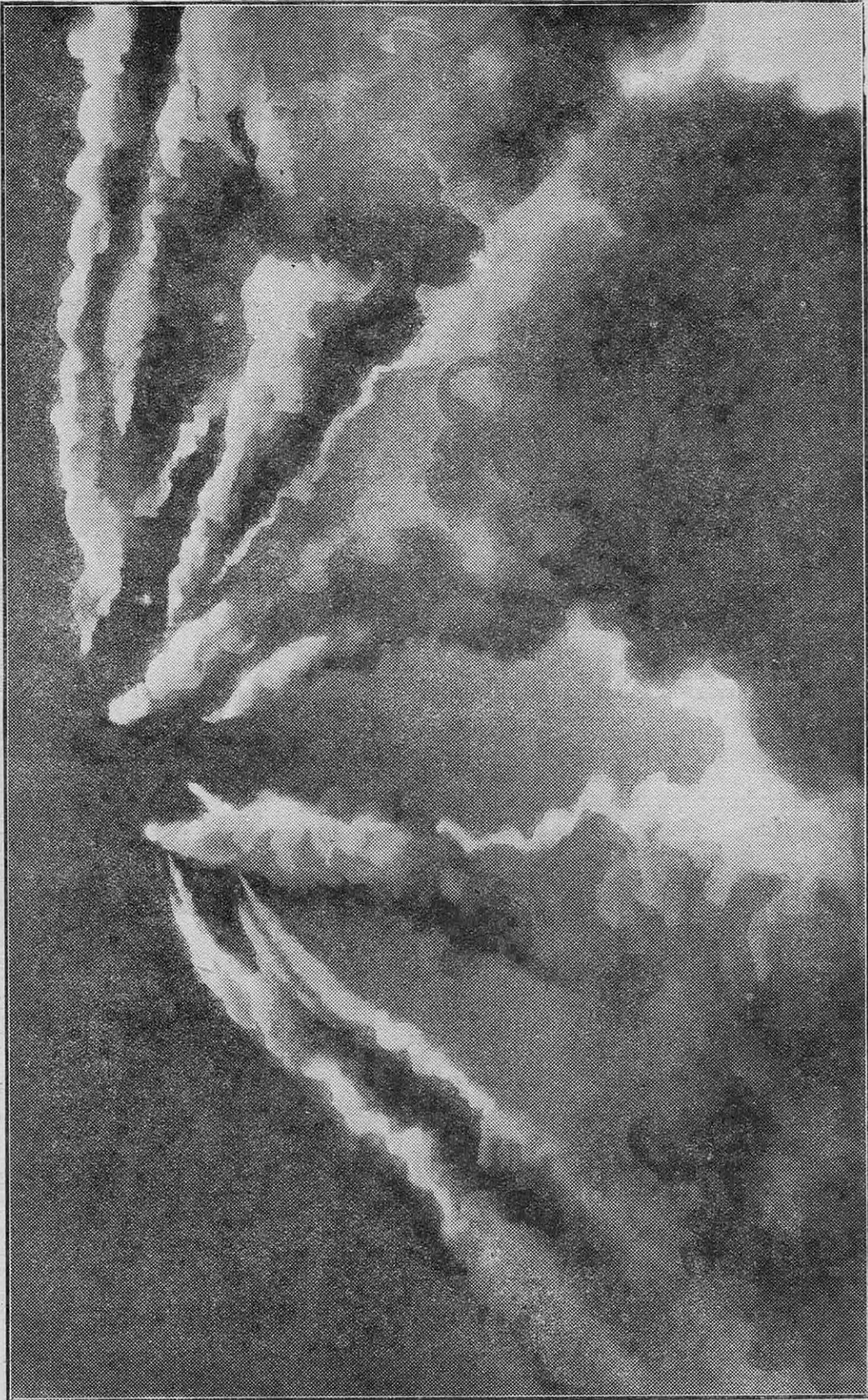


T W 40018

A l'époque de Napoléon l'artillerie intervenait de façon massive à l'endroit et au moment critiques de la bataille. De même, le retour à la guerre de mouvement qui distingue la guerre actuelle de celle de 1914 a rendu nécessaires des concentrations denses et quasi instantanées sur des objectifs extrêmement changeants. On emploie pour les réaliser, à côté des canons classiques, des obusiers à 6 tubes d'un principe entièrement nouveau : les Nebelwerfer, beaucoup plus simples, plus légers, plus maniables et plus puissants que l'artillerie ordinaire. La couverture du présent numéro représente un Nebelwerfer lançant presque simultanément ses six fusées, dont les trajectoires sont matérialisées par les traînées de feu et de fumée des gaz qui les propulsent. (Voir l'article page 195.)

« Science et Vie », magazine mensuel des Sciences et de leurs applications à la vie moderne. Rédaction, Administration, actuellement, 3, rue d'Alsace-Lorraine, Toulouse. - Chèque postal : numéro 184.05 Toulouse. Téléphone : 230-27. Adresse télégraphique : SIENVIE Toulouse. Publicité : 68, rue de Rome, Marseille.

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Copyright by « Science et Vie », novembre mil neuf cent quarante-trois. Registre du Commerce : Toulouse 3235 B. Abonnements : France et Colonies, un an : quatre-vingts francs.



T W 40017

ASPECT DU TIR SIMULTANÉ D'UNE BATTERIE DE « NEBELWERFER » AVEC LES NUAGES DE FUMÉE QUI MATÉRIALISENT LE DÉBUT DES TRAJECTOIRES

LA FUSÉE, PROJECTILE DE L'AVENIR : LES « NEBELWERFER » SUR LE FRONT DE L'EST

par Henri FRANÇOIS

Le canon, sous la forme d'un tube d'acier rayé communiquant en quelques mètres à un projectile toute l'énergie d'une charge de poudre, paraissait, il y a deux ans encore, le terme définitif de plusieurs siècles d'évolution de l'artillerie. L'apparition sur le front de Russie des « Nebelwerfer », lançant des obus-fusées, amènera sans doute une modification profonde de tous les matériels en service.

LES armes nouvelles ne sont souvent pas autre chose que la réalisation d'une idée qui était dans l'air depuis longtemps mais dont la mise au point se heurtait à des difficultés qui l'avaient fait abandonner pendant de longues années. Une belle illustration de ce fait est la renaissance de la fusée, projectile propulsé par réaction, dont l'invention est aussi ancienne que celle de la poudre noire et qui a longtemps soutenu la concurrence de l'obus, projectile dont toute l'énergie est acquise dans le tube du canon. Des fusées d'une portée de 6 000 m furent employées avec succès au siège de Sébastopol, lors de la guerre de Crimée, et il fallut l'apparition des canons d'acier rayés se chargeant par la culasse pour que le canon supplantât « définitivement » la fusée à laquelle il était alors supérieur par la précision, la portée et la puissance de perforation. Il convient de dire que la fusée d'alors était un engin par trop sensible au vent, surtout dans les premiers mètres de sa trajectoire où sa vitesse était faible. La combustion de la poudre noire employée pour sa propulsion était bien difficile à discipliner, ce qui donnait lieu à des accidents quand il lui plaisait de passer de la combustion progressive à la détonation instantanée.

Or, cette guerre a vu renaître la fusée dans deux applications importantes : la bombe-fusée et l'obusier à plusieurs canons appelé « orgue de Sta-

line » par les Russes et « Nebelwerfer » (lanceur de brouillard) par les Allemands.

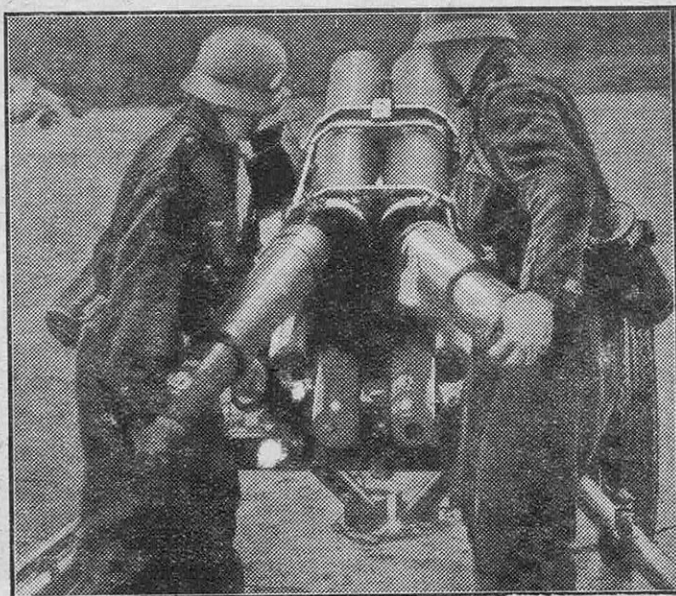
Le principe des « Nebelwerfer »

Dans ces pièces, le canon sert uniquement à guider la fusée pendant les premiers mètres de la course. C'est un simple tube de tôle d'acier de construction très légère qui est complètement dépourvu de culasse. Le projectile y est chargé par l'arrière et la mise de feu se fait électriquement, les servants étant abrités à distance convenable de la pièce.

Les gaz de combustion de la poudre s'échappent alors à l'arrière du tube, tandis que, par réaction, le projectile se met en mouvement vers la bouche et prend une vitesse suffisante pour suivre à la sortie une trajectoire stable. Après avoir quitté le tube, il est encore propulsé pendant plusieurs

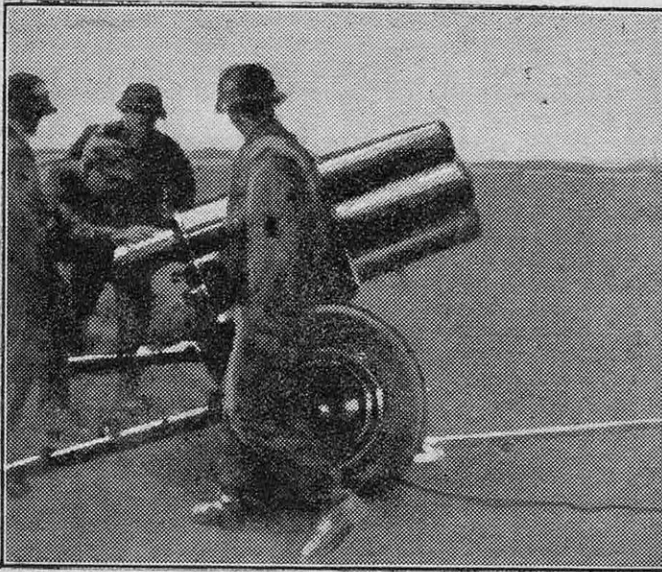
centaines de mètres par l'échappement des gaz de combustion de la poudre, puis il suit sa trajectoire comme un obus ordinaire. La propulsion était au début assurée par une charge de poudre noire. Mais il est difficile, nous l'avons dit, de régler la combustion de cette poudre et celle-ci produit beaucoup de fumée, d'où le nom de « Nebelwerfer » donné à ces nouveaux canons.

Tandis que les fusées lancées par les canons multiples soviétiques sont stabilisées sur leur



T W 40006

FIG. 1. — LE CHARGEMENT D'UNE PIÈCE DE NEBELWERFER
Les canons sont chargés deux par deux et de haut en bas.



T W 40007

FIG. 2. — LA PIÈCE CHARGÉE, QUELQUES INSTANTS AVANT LA MISE DE FEU

Les servants, après avoir chargé et pointé la pièce, se retirent dans leur abri d'où ils effectuent électriquement la mise au feu.

trajectoire par des ailettes, le projectile allemand est stabilisé comme un obus ordinaire par un mouvement de rotation autour de son axe qui est vraisemblablement obtenu par une légère inclinaison des tuyères d'échappement des gaz propulsifs. Le projectile est ainsi beaucoup moins sensible à l'influence du vent, une des principales causes de dispersion dans la balistique des fusées.

Un poids 60 fois moindre pour la même puissance de feu

Nous avons vu que le canon lui-même est un simple tube d'acier sans culasse. Par rapport au canon classique, le « Nebelwerfer » économise donc une grande quantité d'acier spécial à grande résistance mécanique. De plus, le tube ne subit pratiquement pas de recul au départ du coup. Il n'est donc pas nécessaire de le faire glisser sur un berceau muni d'un frein et d'un récupérateur. On le monte directement sur un affût de construction légère, et la résistance de cet affût est même largement suffisante pour qu'on lui fasse porter six tubes, disposés, soit en hexagone autour d'un cylindre central, soit en deux rangées de trois, et assemblés par deux ceintures.

Une seule pièce de « Nebelwerfer » est donc équivalente à une batterie ordinaire puisqu'elle envoie d'une seule salve, pendant un temps très court, les projectiles de ses six canons. L'économie de poids réalisée par la suppression de tous les accessoires du canon classique est telle qu'une seule pièce que l'on peut appeler

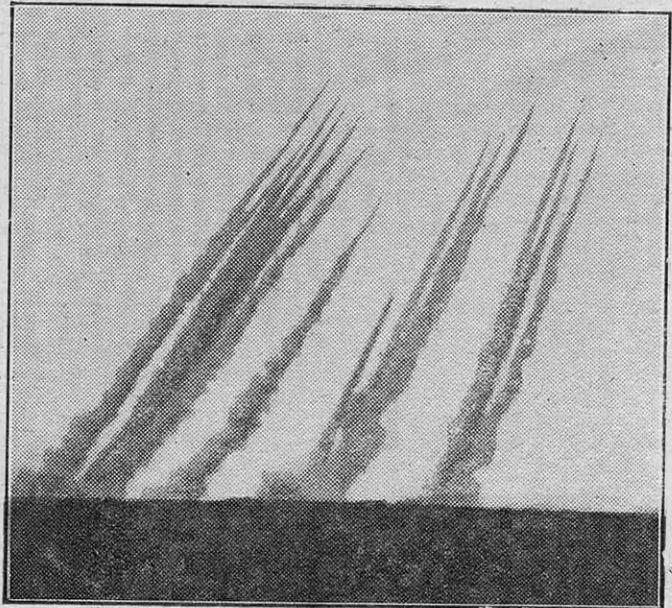
« lourde », si l'on considère le calibre du projectile qu'elle lance, mais dont le poids va de 350 à 800 kg, possède la même puissance de feu que 6 obusiers lourds dont chacun pèserait 6 tonnes! La pièce peut être remorquée par un tracteur de 3 tonnes sur lequel se trouvent les servants et une partie des munitions.

Aussi la nouvelle arme est-elle particulièrement maniable, mobile et apte à appuyer des divisions blindées ou motorisées aux déplacements rapides.

Les régiments de « Nebelwerfer »

Les nouvelles pièces sont, comme les canons classiques, groupées en batteries, groupes et régiments dotés de la même organisation que les régiments d'artillerie ordinaires au point de vue des transmissions et des transports. Les batteries interviennent souvent immédiatement derrière les premières lignes et sont dotées de moyens de défense antichars.

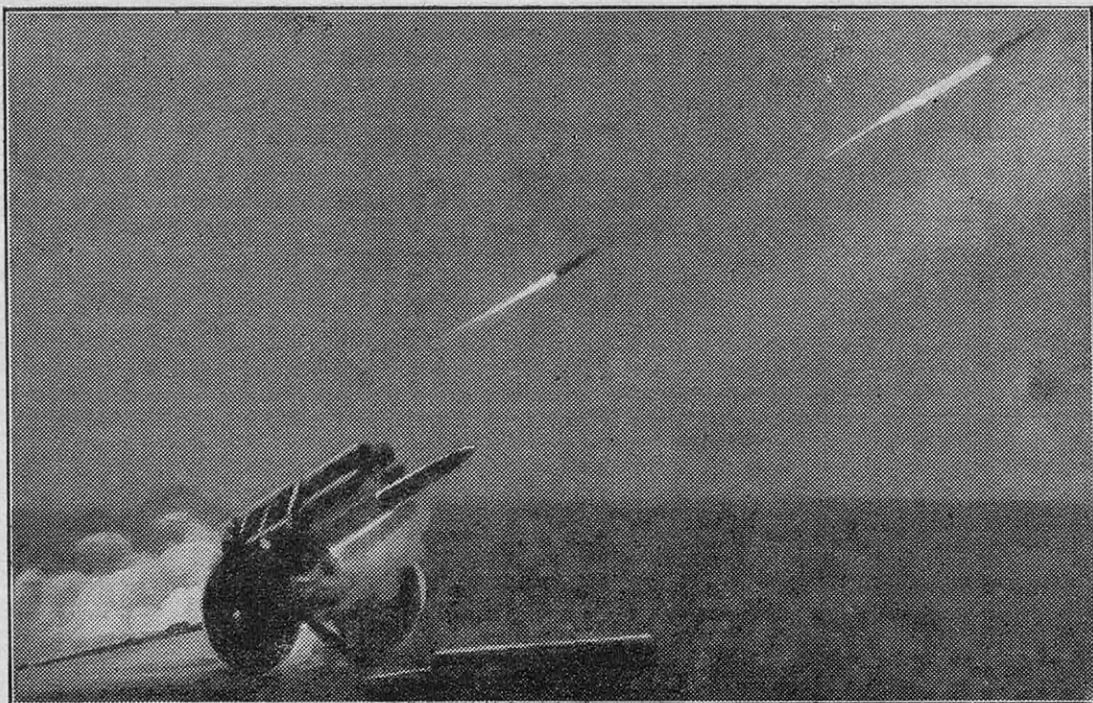
Pour avoir une idée de la puissance de feu de telles unités, il suffira de dire que neuf batteries de pièces moyennes sont équivalentes à 81 batteries d'obusiers lourds. Le hurlement des pièces, les traînées lumineuses de centaines de projectiles constituent un spectacle impressionnant, et les concentrations massives réalisées au point de chute sont particulièrement meurtrières.



T W 40008

FIG. 3. — TRAINÉES DE BROUILLARD LAISSÉES PAR LE DÉPART D'UNE SALVE DE BATTERIES DE NEBELWERFER

La propulsion, qui provoque parfois la formation de traînées de fumée, s'effectue seulement pendant quelques centaines de mètres après la bouche du canon, après quoi le projectile continue sa route comme un obus ordinaire.



T W 40009

FIG. 4. — LE DÉPART D'UNE SALVE DE PROJECTILES

Les projectiles

Les « Nebelwerfer » lancent des projectiles explosifs, incendiaires ou fumigènes. Les projectiles explosifs sont munis de fusées instantanées ou de fusées à retard. Ils servent principalement à attaquer le personnel à découvert ou faiblement protégé, qu'ils mettent hors de combat par leurs éclats et le souffle de leur explosion.

On a souvent trouvé des groupes de soldats russes qui, sans blessure apparente, avaient été tués par le souffle des explosions. Les blockaus eux-mêmes sont souvent démolis et leurs occupants anéantis.

Le projectile incendiaire provoque des brûlures graves au personnel par l'immense jet de flamme qu'il émet. Il met le feu aux maisons et aux forêts.

Enfin le projectile fumigène enveloppe instantanément l'ennemi dans un brouillard épais et neutralise ses moyens de feu, soit qu'on veuille conquérir un terrain particulièrement bien pourvu de moyens de défense, soit au contraire qu'on veuille se dérober sans être pris à parti par les feux adverses.

L'avenir du projectile-fusée

La fusée est désormais parfaitement au point. Réussira-t-elle à supplanter complètement l'obus classique? Nous ne le pensons pas.

Pour certaines de ses applications : tir anti-

chars, tir de D.C.A., le projectile a besoin de posséder sur toute sa trajectoire la plus grande vitesse possible.

On ne peut donc pas accepter d'un projectile qu'il doive parcourir plusieurs centaines de mètres avant de prendre toute sa vitesse.

Le projectile-fusée a d'emblée adopté des calibres assez gros si on les compare aux calibres des canons ordinaires. C'est en effet pour les gros calibres que ses avantages se manifestent. Au contraire, pour les petits calibres (8 mm à 40 mm), le canon classique rachète son poids relativement élevé par une grande cadence de tir due à un automatisme plus ou moins poussé de l'éjection, du chargement et de la mise de feu. Or, si la question de l'éjection ne se pose pas avec un projectile-fusée, le chargement demanderait une source d'énergie capable de faire exécuter à la fusée un mouvement de grande amplitude (chargement par l'arrière du tube) pendant un temps très court.

Il n'est pas impossible que la solution mixte d'un obus lancé par un canon rappelant les canons classiques, puis propulsé par réaction pendant une partie de son parcours soit un jour mise au point.

Mais le triomphe du projectile-fusée sera sans doute acquis pour les très gros calibres où l'énorme économie de poids réalisée sur le devis du canon permettrait de réaliser des engins d'un calibre qui serait plus en rapport avec la solidité des ouvrages d'art.

Henri FRANÇOIS.

Il meurt sur terre une centaine d'êtres humains par seconde. Une demi-douzaine de ces décès sont dus au cancer, et une dizaine à la tuberculose.

LA VIE SOCIALE CHEZ LES INSECTES

par Pierre BECK

Professeur au Lycée de Tarbes

L'intelligence est le lien qui unit les sociétés humaines et qui forge les lois qui les régissent. A l'autre extrémité du règne animal, quelle est la force qui rassemble les membres de la ruche, de la fourmilière ou de la termitière, et qui règle leur organisation sociale minutieuse? Qui gouverne ces empires d'insectes où la division du travail est poussée à l'extrême et qui répartit les tâches de la communauté entre les castes d'ouvriers, de soldats, de couveuses, de gardiens du bétail, réservant à la reine seule la fonction de reproduction? Qui inspire ces lois rigides et cette sorte de conscience collective qui leur permet d'entreprendre des actions concertées de très grande envergure? Les sociétés d'insectes posent au biologiste un grand nombre d'énigmes devant la plupart desquelles il reste encore désarmé. Toutes les analogies que l'on a pu tracer avec les sociétés humaines sont fallacieuses. Le monde des insectes est un monde mystérieux dont nous ne pourrions pénétrer les arcanes qu'en abandonnant résolument toutes les suggestions anthropocentriques de notre imagination.

Insectes grégaires et insectes sociaux

BEAUCOUP d'insectes se rassemblent en bandes plus ou moins nombreuses, tels les criquets (1), mais bien peu méritent le nom d'insectes « sociaux ». Pour qu'il y ait vie sociale, il faut que la femelle pondreuse reste avec ses œufs et ses jeunes, ceux-ci élevant les nichées suivantes. Cela implique pour cette femelle une vie assez longue et des pontes successives, conditions qui peuvent d'ailleurs être réalisées sans que cela entraîne obligatoirement une vie sociale, mais sont indispensables à son établissement. Tous les intermédiaires existent entre un insecte qui dissémine ses œufs dans le milieu où il vit, comme la coccinelle par exemple, qui les dépose au hasard sur des supports variés, généralement des végétaux, et celui qui reste avec ses jeunes. Dans ce dernier cas, nous avons vu qu'il n'y aura société véritable que si la femelle effectue plusieurs pontes successives, et que si les individus nés des premiers œufs contribuent à élever ceux des pontes plus récentes. Sinon on aura à faire à des formes dites « quasi-sociales » dont l'étude n'est pas sans intérêt, car elles représentent des sortes de transitions entre les

espèces individualistes et les véritables sociaux.

Les insectes « quasi-sociaux »

Nous allons en passer en revue quelques types particulièrement curieux :

Le *Minotaure* (*Minotaurus typhoeus*) est un remarquable coléoptère coprophage (1) assez commun en France. Sa taille varie de 12 à 19 millimètres. Le mâle porte trois cornes thoraciques dirigées vers l'avant. Ces appendices manquent à la femelle (fig. 1). La ponte a lieu en mars, au fond d'un terrier creusé l'automne précédent par le couple et qui peut atteindre une profondeur de 1,50 m. Le mâle transporte ensuite en de nombreux voyages du crottin de mouton qu'il fait rouler devant lui à coups de cornes, puis émiette grossièrement dans le terrier. Ces débris sont soigneusement pétris et foulés à coups de pattes par la femelle qui

va en faire une sorte de saucisse de la longueur du doigt. Tout cela demande environ dix jours de travail (fig. 2), au bout desquels le mâle s'éteint épuisé. La mère va survivre et reste dans le terrier, entretenant la miche de crottin, dont se nourrissent les larves. Celles-ci, qui éclosent en juin, se nymphosent en août donnant de jeunes minotaures qui sortiront de terre en automne accompagnés de leur mère à bout de forces (elle n'a presque pas pris de nourriture pendant sa longue claustration). Elle meurt

(1) Qui se nourrit d'excréments.

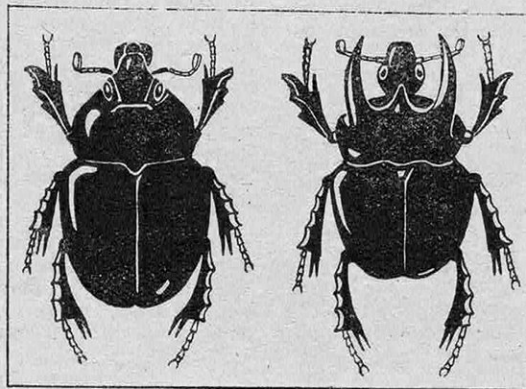


FIG. 1. — LES MINOTAURES TYPHÉES

Ce sont de gros coléoptères coprophages noirs, fréquents en France dans le crottin du mouton et qui prennent grand soin de leurs jeunes. Le mâle (à droite) possède 3 cornes dirigées en avant qui manquent à la femelle (à gauche).

(1) Voir : « Les criquets, plaie de l'Égypte et fléau de l'Afrique du Nord » (*Science et Vie*, n° 311, juillet 1943).

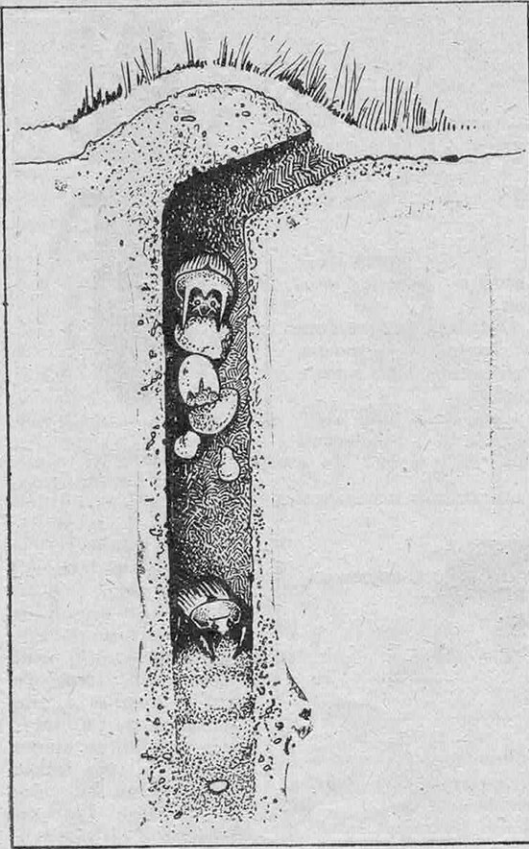


FIG. 2. — UN TERRIER DE MINOTAURES

A la saison de la reproduction, les Minotaures, par couples, creusent de profonds terriers. Le mâle y amène du crottin de mouton qu'il émiette et envoie à la femelle; celle-ci, au fond du terrier, en fait une sorte de saucisse bien triturée qui servira de nourriture à la larve qui sortira de l'œuf, préalablement pondu.

dès son retour à la lumière.

Beaucoup de coprophages préparent soigneusement la nourriture de leurs larves, mais la plupart, tel le célèbre scarabée sacré, abandonnent œufs et provisions. La femelle minotaure, elle, élève véritablement ses jeunes. Il y a là un premier pas vers la vie sociale.

Des instincts analogues s'observent chez le Perce-oreille vulgaire (*Forficula auricularia*) (fig. 3) et la Courtillière (fig. 4) si néfaste à nos jardins (*Gryllotalpa vulgaris*) : la mère conserve ses petits groupés autour d'elle tant

qu'ils ne peuvent se suffire à eux-mêmes et tente même de les défendre en cas de danger. La mère courtillière n'hésite pas, cependant, à avaler de temps à autre un de ses enfants, mais elle en a tellement que le mal n'est pas grand.

C'est parmi les insectes exotiques que les cas les plus remarquables d'ébauches de sociétés se rencontrent :

Les Passales (fig. 5) sont de grands coléoptères allongés, ceux de l'espèce représentée atteignant de 40 à 50 mm. Ils vivent dans tous les pays chauds : Amérique du Sud, Afrique et Asie tropicales. On les rencontre dans le bois en décomposition. Au moment de la reproduction, le mâle et la femelle s'y creusent des galeries où les œufs sont pondus. Il en sort des larves incapables d'attaquer et de digérer le bois; elles sont nourries par les parents de rognures qu'ils ont triturées et imprégnées d'une sécrétion digestive. Nouveau progrès dans la voie de la dépendance mutuelle : les jeunes sont nourris au jour le jour par les parents et ne peuvent vivre sans eux. Cependant, à la métamorphose des larves, l'association cesse d'exister.

Il n'en est pas de même chez le *Coccidotrophus socialis* (fig. 6). Ce petit coléoptère de cinq millimètres a été découvert en Guyane anglaise par Wheeler en 1920. Mâle et femelle creusent des galeries dans la pétiole d'une feuille d'un jeune *Tachigalia* et s'y nourrissent d'un tissu particulier riche en albumine. La femelle y pond, les jeunes restent avec les adultes, même après la métamorphose et bientôt se constituent des colonies importantes comprenant, dans des galeries communes, des adultes et des larves à tous les stades de développement. Nous verrons, dans un instant, qu'il n'y a pas cependant de véritable société, mais simplement un rassemblement, une foule. Des cochenilles blanches pénètrent, presque toujours, dans les galeries par l'orifice initial creusé par le couple de coccidotrophus fondateur de la colonie et sucent le suc de la plante; le plus curieux est que les coléoptères, comparables en cela aux fourmis, caressent ces bêtes de leur demeure pour leur faire exsuder un nectar qu'ils lèchent

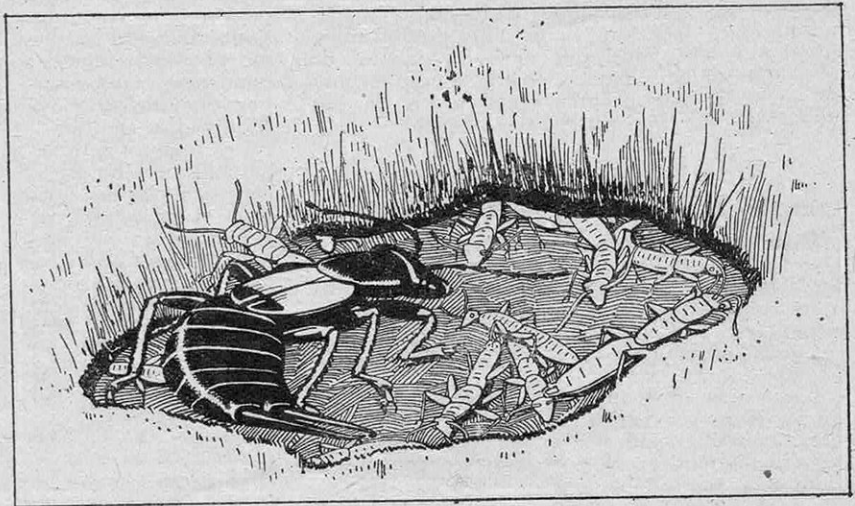


FIG. 3. — FEMELLE DE FORFICULE OU PERCE-OREILLE AVEC SA PROGÉNITURE DANS SON TERRIER

La forficule femelle reste avec ses jeunes dont elle prend le plus grand soin.

avidement. Quand la colonie de *Coccidotrophus* est devenue très prospère et possède un abondant bétail, l'arbre qui a poursuivi sa croissance émerge au-dessus du sous-bois, il est alors envahi par des fourmis (*Pseudomyrma* ou *Azteca*), qui expulsent les coléoptères, s'emparent de leurs galeries et annexent leur blanc troupeau.

Si le *Coccidotrophus* est, à l'instar de nos fourmis noires, un pasteur, un autre petit coléoptère subsocial, le *Pterocylon*, rivalise avec les fourmis coupeuses de feuilles, les célèbres *Atta*, et certains termites par son habileté à cultiver des champignons. Le couple fondateur s'installe dans un arbre malade dont la sève commence à fermenter et y creuse des galeries dont les parois sont percées de niches. Dans chacune de celles-ci un œuf sera pondu. Le jeune sera nourri par les parents de boulettes d'une moisissure spéciale dont la mère avait apporté avec elle la semence prise dans sa galerie natale. Ce champignon est cultivé par les

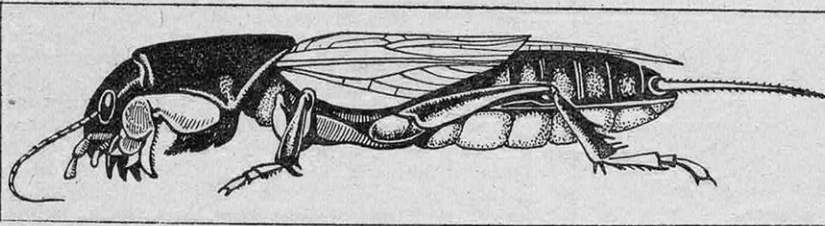


FIG. 4. — LA COURTILLIÈRE OU « TAUPE-GRILLON »

C'est un curieux orthoptère aux pattes antérieures fouisseuses qui commet de très sérieux dégâts dans les jardins. La femelle prend soin de ses œufs et de ses jeunes, de ceux, du moins, qu'elle ne dévore pas.

Pterocylon sur des copeaux arrachés aux parois de leur habitation et enrichis de leurs excréments, puis, plus tard, de ceux des larves soigneusement récoltés. Il y a ici une véritable collaboration entre parents et enfants : les premiers fournissent aux seconds les vivres, ils en reçoivent en échange du fumier.

Aussi complexes que soient ces colonies d'insectes quasi-sociaux, elles ne sont pas de vraies sociétés, car il n'y a jamais de véritable coopération entre individus, mais une simple cohabitation : c'est ainsi que dans les galeries de *Coccidotrophus*, chaque femelle s'occupe uniquement de ses propres œufs. On a là des ébauches, mais qui restent des ébauches.

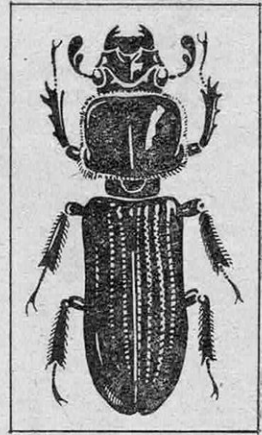
La division du travail, marque des vraies sociétés d'insectes

Chez les vrais sociaux, c'est-à-dire essentiellement les guêpes, les bourdons, les abeilles, les fourmis et les termites, tous les individus vont coopérer à l'œuvre collective et presque toujours se produit dans la société une division du travail, premier caractère visible de ces associations.

C'est ainsi que, dans une ruche, au cours d'une journée, chaque ouvrière ne se livrera qu'à un seul travail spécialisé : les unes (cirières) secréteront de la cire, d'autres couveront. Pour cela, recouvrant de leurs corps les alvéoles où sont enfermées larves ou nymphes, elles accéléreront leur respiration par des mouvements rapides de leur abdomen (120 à la minute), leur circulation et leurs échanges seront accélérés et par suite leur température s'élèvera

FIG. 5. — PASSALE DE L'INDE

Les passales sont de grands coléoptères qui vivent dans les troncs d'arbres malades ou morts de tous les pays tropicaux. L'espèce représentée est originaire de l'Inde. Ces insectes forment des sociétés temporaires.



et elles réchaufferont l'alvéole et son contenu.

D'autres encore sont nourrices, ventileuses, gardiennes ou butineuses.

Ces fonctions, délicates et fatigantes, sont réservées à de jeunes ouvrières, les vieilles sont ou modèleuses d'alvéoles, ou nettoyeuses de la ruche.

Généralement, la division du travail s'accompagne d'un polymorphisme plus ou moins poussé : dès sa naissance, l'individu a une structure qui le destine à une fonction particulière.

Ce polymorphisme peut être très faible (guêpes) ou au contraire bien marqué (abeilles, fourmis, termites).

Le polymorphisme, « déformation professionnelle » des insectes sociaux

Le fait primordial est l'apparition auprès des

reproducteurs d'une caste ouvrière stérile.

On distingue donc, en premier lieu, dans une colonie, un ou plusieurs mâles fertiles, une ou plusieurs femelles pondeuses et un nombre quelquefois élevé d'individus stériles.

Les mâles reproducteurs ne présentent aucune adaptation spéciale et ne participent jamais au travail commun. Ils sont normalement proportionnés et ailés, au moins pendant une période de leur existence. Ils quittent le nid avec les femelles fertiles : c'est le vol



FIG. 6. — LE COCCIDOTROPHUS SOCIALIS

C'est un petit coléoptère de Guyane vivant en société dans des galeries creusées dans les pétioles des feuilles de *Tachigalia*, s'y livrant à l'élevage des cochenilles.

nuptial, pendant ou après lequel s'effectue la fécondation. Les rares survivants ont un destin très différent suivant les groupes. Chez les fourmis, ils ne sont jamais admis à pénétrer à nouveau dans une fourmilière ni à aider une reine isolée à en fonder une nouvelle; après quelques jours d'une vie errante et misérable, ils périssent. Les abeilles, plus tolérantes, semble-t-il, accueillent

trice doit commencer par creuser les premières chambres du futur nid et élever ses premiers jeunes, on peut dire que dans une colonie constituée de n'importe quelle espèce sociale, l'unique rôle de la femelle fertile est de pondre, de pondre sans trêve ni repos. Une reine termitte pond, en moyenne, 30 000 œufs par jour, soit 10 900 000 par an. Elle meurt au bout de quatre ou

cinq ans, alors qu'elle a donné naissance à quelque 50 millions de descendants. Cette ponte incessante jointe à une immobilité presque complète et à une nourriture abondante et particulièrement choisie provoque chez la reine un bel embonpoint: chez certains termites, son volume est 20 000 à 30 000 fois celui d'un ouvrier (fig. 7). Quelques fourmis, comme le *Dorylus helveticus* (fig. 8), ont également d'énormes reines. Celles des abeilles (fig. 9) sont, c'est là connaissance courante, également plus corpulentes que leurs sœurs stériles, mais la différence est beaucoup moins marquée.

La caste ouvrière est formée d'individus dont les glandes reproductrices sont plus ou moins avortées. Ce ne sont que des femelles qui sont ainsi frappées de stérilité chez les guêpes, les abeilles et les fourmis, stérilité toute relative d'ailleurs chez les guêpes, où les ouvrières peuvent être, quelquefois, fécondes. Chez les termites, il y a des ouvrières et des ouvriers, c'est-à-dire que femelles et mâles peuvent être stériles. Souvent ces individus se distin-

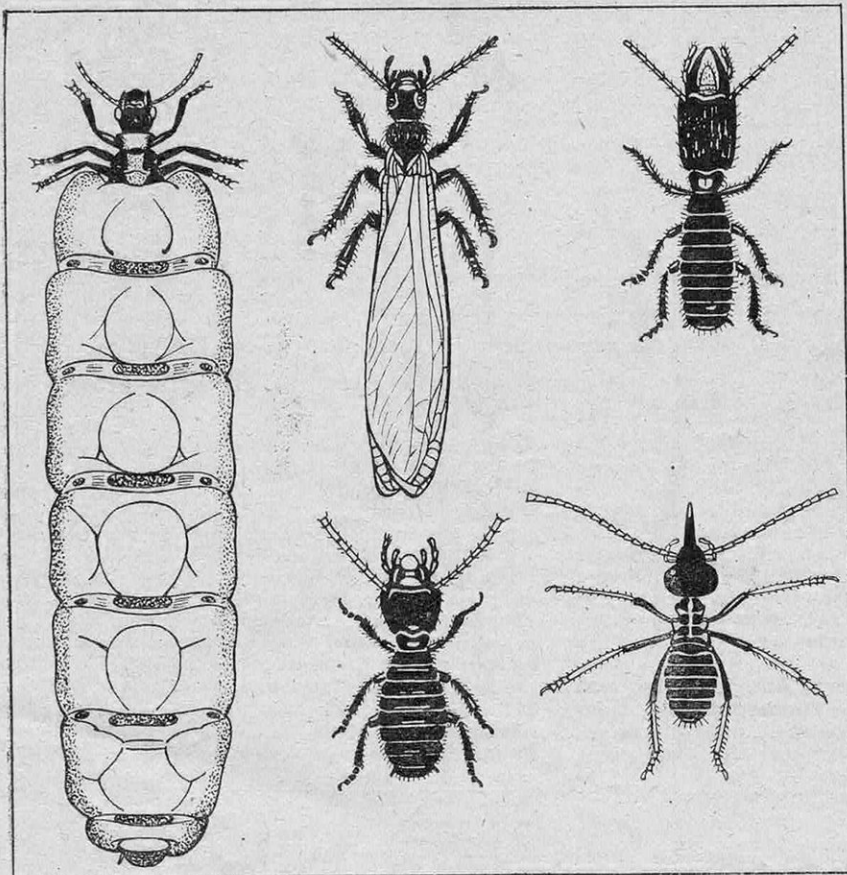


FIG. 7. — LE POLYMORPHISME CHEZ LES TERMITES

C'est chez les Termites que le polymorphisme est poussé le plus loin. Dans une même colonie on rencontre une reine à abdomen distendu (à gauche), un mâle fertile ou roi, ailé lors du vol nuptial (en haut au milieu) mais qui perd ses ailes dans la termitière, de nombreux mâles et de nombreuses femelles stériles constituant la caste ouvrière (en bas au milieu) et des soldats qui, eux aussi, sont stériles et appartiennent aux deux sexes; généralement leur tête énorme porte de grandes mandibules (en haut à droite). Chez quelques espèces ces soldats mandibulés sont remplacés par des soldats nasuti (en bas à droite) à longue corne frontale creuse par laquelle ils projettent un liquide toxique et gluant.

leurs dans la ruche où ils mènent une existence oisive et confortable; mais cela ne dure guère et dès les premiers froids, c'est le massacre froidement décidé et impitoyablement exécuté de toutes ces bouches inutiles. Beaucoup plus enviable est leur sort chez les termites où, en compagnie de leurs épouses, ils fonderont de nouvelles colonies ou regagneront une termitière ancienne. Dans l'un ou l'autre cas, ils vivront dans la paix, la paresse et l'abondance au sein des appartements royaux, choyés par les ouvriers jusqu'à la fin naturelle de leurs jours.

Les femelles pondeuses ou reines sont, généralement, reconnaissables à leur abdomen distendu par les ovules et les œufs. Si, chez les fourmis et les termites, une jeune reine fonda-

guent des reproducteurs par l'absence d'ailes durant toute leur existence: c'est le cas chez les fourmis et les termites. Ils portent souvent des organes adaptés au travail social le plus important. Chez les abeilles où celui-ci est, sans conteste, la récolte du pollen, l'ouvrière a à chacune de ses pattes postérieures un appareil de ramassage très perfectionné. Sur la face externe du premier article du tarse se trouve une brosse de poils raides avec laquelle elle frotte les étamines et en détache le pollen qu'elle prend ensuite dans ses mandibules; elle en fait une boule qu'elle tasse dans une cavité creusée à la face interne du même premier article du tarse: la corbeille, où elle est maintenue par des poils recourbés (fig. 10).

Ce polymorphisme se complique souvent du fait que les ouvrières et ouvrières sont eux-mêmes polymorphes. C'est ainsi que chez les fourmis il y a souvent des ouvrières de tailles différentes qui jouent dans la colonie des rôles différents. Les plus grandes, munies de fortes mandibules, sont des guerrières chargées de la défense du nid.

Chez les fourmis coupeuses de feuilles, telle l'*Acromyrmex disciger* des régions tropicales, il y a de grandes ouvrières qui vont au dehors récolter des feuilles qu'elles rapportent au nid, coupent et réduisent en une bouillie dont elles font une couche. Sur cette bouillie, de petites ouvrières qui, elles, ne quittent jamais la fourmière, cultivent des champignons (*Rosites gongylophora*) qu'elles soignent de telle manière que jamais ils ne fructifient mais portent des renflements, des sortes de tumeurs dont tous les membres de la colonie font leur nourriture presque exclusive.

La *Pheidole militica* d'Amérique du Nord a de grandes guerrières à grosses têtes et à mandibules puissantes qui se livrent, malgré leur farouche apparence, à un travail très pacifique :

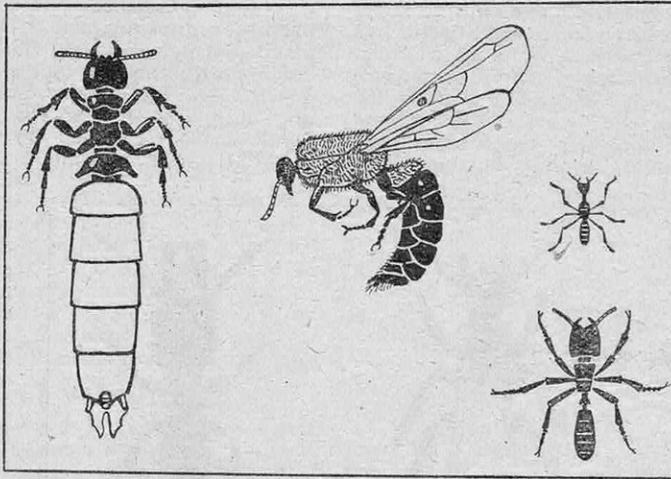


FIG. 8. — LE POLYMORPHISME CHEZ LES FOURMIS

Chez certaines fourmis, le polymorphisme est presque aussi marqué que chez les termites, telles les *Dorylus helveolus* d'Afrique. La figure représente, à la même échelle, la reine (à gauche), le mâle (au milieu), les deux types d'ouvrières (à droite) de cette espèce.

cystus du Mexique, bien qu'elle n'ait pas une fin tragique. Elles ont l'abdomen complètement distendu (fig. 11) par le jabot que d'autres ouvrières, normales celles-là, viennent goutte à goutte remplir de miel récolté sur certaines galles du chêne ondulé (*Quercus undulata*). Obèses, elles ne peuvent bouger et restent suspendues par leurs pattes au plafond d'une chambre spéciale : la chambre à miel (fig. 12). ce sont des autres vivantes dans lesquelles se conservent les provisions de la colonie. Elles peuvent, lorsqu'elles en sont sollicitées, dégorger un peu de miel et c'est à elles que les travailleuses normales retenues au nid par leurs occupations viennent quémander la nourriture.

le broyage des grains de céréales récoltés par de petites ouvrières. Dès que tous les grains ont été moulus, ces pauvres meunières sont décapitées par leurs petites compagnes. Ce sont désormais des bouches inutiles, et l'inflexible loi des insectes sociaux condamne inexorablement tout individu sans travail.

C'est une existence peu enviable, également, que celle des ouvrières « pots à miel » des *Myrmecocystus*

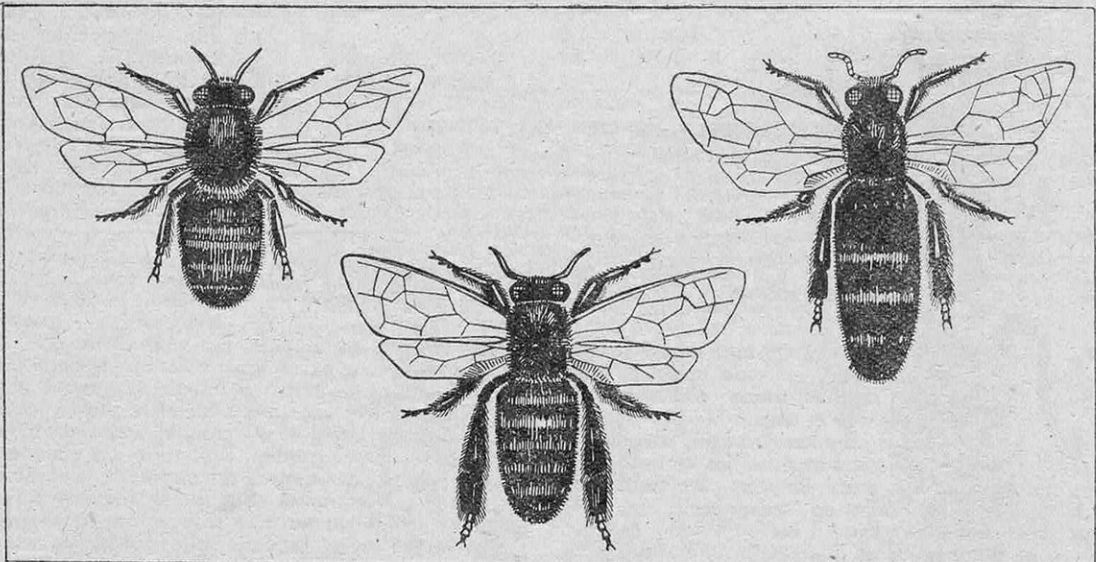


FIG. 9. — FAUX-BOURDON, ABEILLE OUVRIÈRE ET REINE DES ABEILLES

Le polymorphisme, caractère essentiel dans les sociétés d'insectes, s'observe chez les abeilles ou existent deux formes de femelles : une stérile à abdomen court ou ouvrière (au centre), une fertile à abdomen allongé ou reine (à droite) et une forme de mâle ou faux-bourdon (à gauche).

Il en est de même chez les termites où, à côté des ouvrières et ouvriers normaux, il y en a d'autres à très grosse tête et à mandibules puissantes qui constituent la caste militaire : ce sont les soldats (fig. 7) parmi lesquels on trouve des mâles et des femelles stériles. Ces soldats sont bien différenciés dans une espèce que l'on rencontre assez fréquemment dans les Pyrénées-Orientales où elle vit dans les souches de micocoulier : le *Calotermes flavicollis*. Ils peuvent former plusieurs groupes différents par leur taille. Il est intéressant de constater que ces soldats ont apparu dans l'évolution des termites avant les ouvriers. Ces derniers manquent en effet dans les espèces primitives. Le travail courant est alors effectué par les larves qui ne diffèrent des adultes que par leur taille, les termites étant des insectes à métamorphoses incomplètes. Elles aident les ouvriers adultes chez les espèces qui en possèdent. A leur dernière mue, ou bien elles se transformeront soit en sexués ailés, soit en soldats, leur tête devenant énorme et leurs mandibules prenant un développement considérable, ou bien ne présenteront aucun changement appréciable, devenant des ouvriers adultes. Tous les soldats de termites ne sont pas mandibulés, mais chez les *Eutermes* ils portent une fine corne frontale, en réalité tube creux par où peut être projetée la sécrétion gluante et toxique d'une glande frontale : ce sont les soldats « nasuti » (fig. 7). Qu'ils soient mandibulés ou nasuti, les termites de la caste guerrière, incapables de se nourrir eux-mêmes et de travailler à la construction et à l'entretien du nid, ne s'occupent que de la défense de la termitière et de ses habitants. Ils montent une garde vigilante à toutes les entrées, veillent sur la reine et le roi en leur appartement. Lorsque, par hasard, des expéditions à l'air libre, généralement nocturnes, sont décidées pour aller à la recherche d'aliments, les ouvriers sont entourés de soldats qui les protègent. C'est ainsi qu'à Ceylan, Bugnion a observé une colonne de 300 000 ouvriers d'*Eutermes monoceros* se rendant, de nuit, à la récolte de lichens de cocotiers; elle était encadrée et protégée par 70 000 soldats qui, à la moindre alerte, dirigeaient leurs cornes frontales dans la direction du bruit suspect. Les soldats du termite de Haviland, d'Afrique du Sud, au cours des expéditions, qui ici sont diurnes, grimpent de temps à autre sur une éminence et avertissent par des sifflements ceux de leurs camarades restés avec la colonne qui leur répondent et font accélérer la marche des ouvriers.

Les causes du polymorphisme

Comme on le voit par ces quelques exemples, dans une colonie d'insectes sociaux il y a plusieurs catégories d'individus différant morpho-

logiquement et jouant, par suite, dans la société, un rôle distinct. On peut se demander quelles sont les causes de ce polymorphisme. Nous allons examiner, brièvement, quel est l'état actuel de cette question. Laissons de côté les différences morphologiques qui peuvent séparer les mâles et les femelles et qui sont des caractères sexuels secondaires. Rechercher l'origine des caractères différentiels séparant les deux sexes chez les reproducteurs, c'est poser la question du déterminisme des sexes, question qui sort du cadre de cette étude. Indiquons, simplement, que le sexe est déterminé déjà dans l'œuf par suite d'une constitution chromosomique différente chez le mâle et la femelle, et provoquée soit par l'existence de deux sortes de spermatozoïdes ou deux sortes d'ovules, ou par le fait que dans la même espèce des œufs non fécondés ne donnent que des mâles peuvent se développer aussi bien que ceux qui sont fécondés et donnent des femelles. C'est le dernier cas qui est réalisé chez les abeilles.

La seule question qui nous importe ici est celle de l'existence dans un même sexe de formes différentes : reine reproductrice et ouvrière stérile parmi les femelles d'abeilles; reine, ouvrières de divers types, guerrières parmi celles de fourmis et de termites; roi, ouvriers et soldats parmi les mâles des termites. Le problème est en réalité triple; il s'agit d'abord de savoir pourquoi la caste ouvrière est stérile, de déterminer ensuite la cause des différences morphologiques qui séparent reproducteurs et stériles, d'essayer, enfin, d'élucider les causes qui provoquent le polymorphisme de la caste ouvrière.

L'avortement des organes reproducteurs des ouvrières et des ouvriers semble être avant tout une question alimentaire. Question purement quantitative chez les guêpes, où les ouvrières proviennent de larves moins abondamment nourries que celles qui donnent les reines; cette

sous-alimentation peut être corrigée encore chez l'adulte : une ouvrière suralimentée peut pondre des œufs viables.

Dans le cas des abeilles, il s'ajoute une question de qualité : dès le deuxième jour, la majorité des larves reçoit un mélange de pollen et de miel, leurs ovaires avortent, elles donneront des ouvrières; d'autres sont nourries de « gelée royale », c'est-à-dire une sécrétion salivaire des ouvrières; elles mûriront leurs ovules et deviendront des reines. La sécrétion de cette gelée spéciale est déclenchée par la vue des grandes alvéoles, les larves contenues dans celles-ci deviendront donc toujours des reines.

Chez les fourmis, on n'a aucune donnée précise. Pour Wheeler, il ne serait pas impossible que les larves qui donnent des reines aient reçu, outre la nourriture ordinaire, un peu de salive. D'autre part, on a constaté que les reines n'apparaissent que dans des fourmières âgées, où

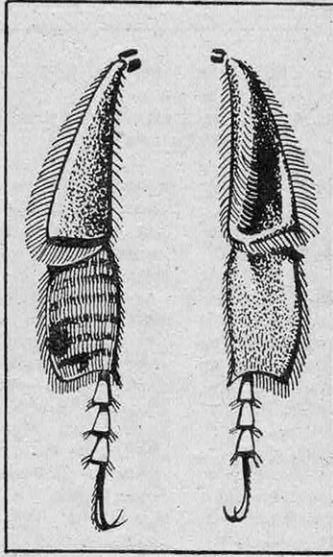


FIG. 10. — LA PATTE POSTÉRIEURE DE L'ABEILLE OUVRIÈRE

La patte postérieure de l'abeille ouvrière est spécialement adaptée à la récolte du pollen. Le premier article du tarse porte du côté interne une brosse de poils raides qui ramasse le pollen en frottant les étamines. Le tibia est creusé à sa face externe d'une cavité : la corbeille où est rassemblé le pollen récolté par la brosse de la patte opposée. A gauche : face interne, à droite : face externe.

le nombre des ouvrières est très élevé. C'est ainsi que chez *Camponotus pennsylvanicus*, la première ponte élevée par la reine fondatrice et les pontes qui vont s'écheloner pendant deux ans ne donneront que de petites ouvrières. A partir de la troisième année, apparaissent de grandes ouvrières et, à partir de la sixième année, des reines et des mâles. D'après cet exemple, il s'agirait plutôt d'une question d'abondance de nourriture que d'une question qualitative : seules les colonies très peuplées pouvant accumuler des réserves sont capables d'élever des reines.

Les termites étant moins étudiés, les causes de la stérilité des ouvrières, ouvriers, soldats mâles et femelles sont mal connues.

Les reproducteurs ne diffèrent pas des individus stériles uniquement par le développement des ovaires ou des testicules, mais également par des caractères morphologiques. Nous avons vu, par exemple, que, chez les abeilles, les pattes postérieures d'une reine et celles d'une ouvrière étaient bien distinctes. De même, point n'est besoin de dissection pour distinguer les reines de fourmis des travailleuses, ou le couple royal des autres termites. Les mêmes causes alimentaires qui provoquent le développement ou l'atrophie des ovaires détermineraient ces différences extérieures dans le cas des abeilles. Les belles expériences de Klein le prouvent : elles consistent à placer dans des cellules royales, où elles seront automatiquement nourries de gelée royale, des larves de divers âges prises dans de petites cellules où elles étaient destinées à devenir ouvrières. Si la larve, ainsi transportée, a moins de deux jours, elle donnera une reine parfaite, une larve plus âgée donnera un individu intermédiaire morphologiquement entre les deux formes de femelles, et qui ressemblera d'autant plus à une ouvrière que le changement

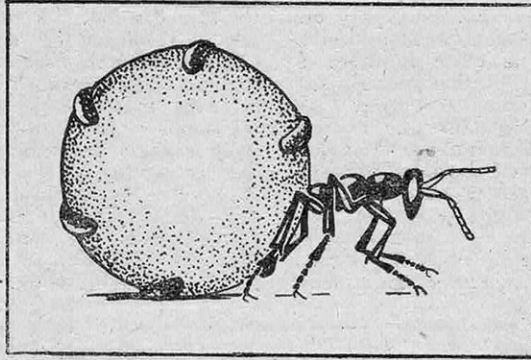


FIG. 11. — FOURMI OUVRIÈRE « POT-A-MIEL »
Chez les *Myrmecocystus* certaines ouvrières ont un abdomen capable de se distendre lorsque le jabot est plein de miel.

a eu lieu à un âge plus avancé. On peut varier à l'infini ces expériences : c'est ainsi qu'une larve transportée à un jour et demi dans une cellule royale où on la laisse quarante-huit heures, puis ramenée dans sa cellule d'origine, donnera une ouvrière présentant quelques traits morphologiques de reines, en particulier dans la pilosité des pattes postérieures.

Pour les fourmis et les termites, la question est un peu plus complexe, et il semble que, chez ces insectes, existe un polymorphisme génétique : reproducteurs d'une part, ouvrières chez les fourmis et soldats chez les termites d'autre part, seraient déterminés dans l'œuf, seul l'avortement des organes reproducteurs aurait une origine alimentaire.

Ceci n'est pas un fait unique chez les insectes : dans un certain nombre de formes non sociales, il existe dans l'un ou l'autre sexe un polymorphisme sans doute génétique. Dans le groupe des papillons exotiques appartenant au genre *Papilio*, les mâles d'une même espèce présentent souvent plusieurs formes tellement distinctes qu'on leur avait donné des noms spécifiques différents. Chez certains grands coléoptères, des faits analogues s'observent. C'est ainsi que chez un beau scarabée d'Asie tropicale : le *Chalcosoma Atlas*, il y a plusieurs types de mâles très distincts entre eux, non seulement par la taille, mais encore par la forme des cornes, particulièrement de la corne céphalique ; la figure 13 en représente deux : la forme typique et la forme *Phidias* ; on conviendra qu'elles diffèrent au moins autant entre elles qu'un roi et un soldat de termites. Dans d'autres cas, ce sont les femelles qui présentent plusieurs types : le dytique (*Dysticus marginalis*) de nos mares a des femelles à élytres lisses et des femelles à élytres cannelés (fig. 14).

Cependant, certains faits tendent à faire pen-

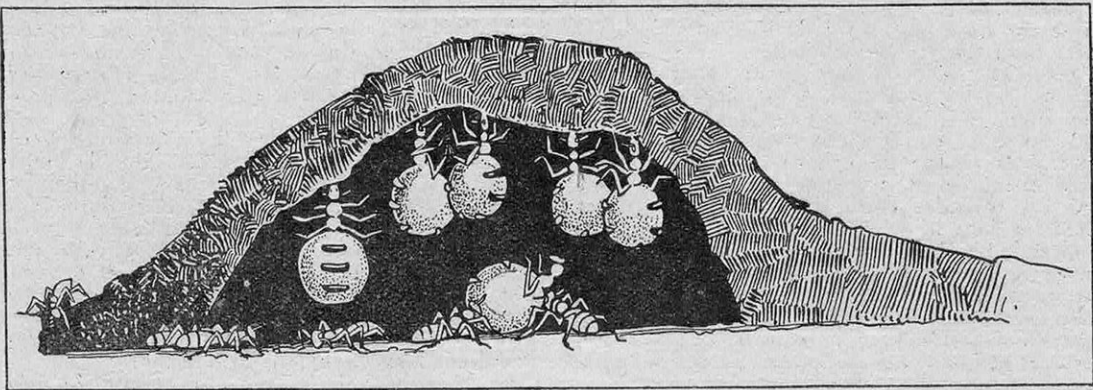


FIG. 12. — CHAMBRE A MIEL DES MYRMECOCYSTUS DU MEXIQUE

Les ouvrières « pot à miel », des *Myrmecocystus* du Mexique sont, lorsqu'elles ont le jabot plein, incapables de se mouvoir. Elles restent suspendues au plafond d'une « chambre à miel » spéciale. Au milieu du dessin, on peut remarquer une de ces ouvrières qui, tombée, ne peut se relever seule.

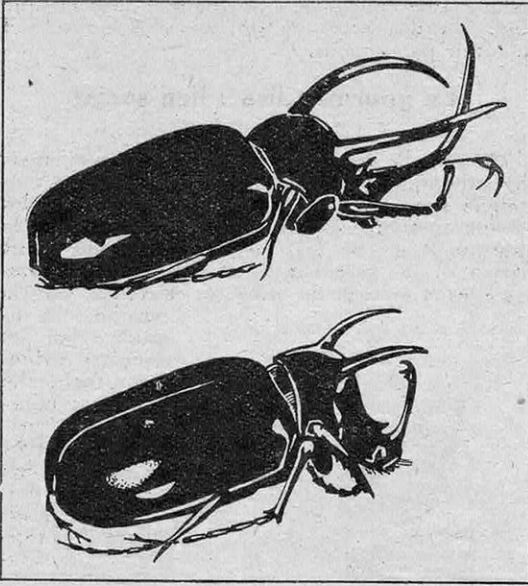


FIG. 13. — MALES DE CHALCOSOMA ATLAS

Le polymorphisme affectant un sexe, ou les deux, n'est pas l'apanage exclusif des insectes sociaux. La figure représente deux types de mâles de *Chalcosoma Atlas*, grand et beau Coléoptère lamellicorne d'Insulinde. On remarquera les grosses différences entre leurs cornes, particulièrement leurs cornes antérieures. L'individu représenté en haut appartient à la forme type, celui du bas à la variété *Phidias* des entomologistes.

ser que, chez les fourmis, le polymorphisme peut être influencé par l'alimentation. Nous en avons vu précédemment un : les reines ne se forment dans les colonies que si la nourriture est abondante. Un second est l'action de certains parasites. Les petites fourmis jaunes du genre *Pheidole* sont souvent infestées par des vers nématodes : les *Mermis*. S'il s'agit d'ouvrières parasitées dès l'état larvaire, elles présenteront certains caractères de reines (fig. 15). Dans les nids des fourmis du genre *Formica*, on voit souvent un coléoptère staphylinide aplati, le *Lomechusa strumosa* (fig. 16), qui sécrète un produit éthéré dont ses hôtes sont très friandes. Pour l'obtenir, elles le choisent, le nourrissent à la becquée. Le temps qu'elles prennent à le soigner pour pouvoir satisfaire leur vice, elles ne peuvent l'utiliser à s'occuper de leurs propres larves qui sont sous-alimentées. Les larves du coléoptère mangent d'ailleurs une partie du couvain de la colonie, diminuant ainsi, petit à petit, le nombre des ouvrières qui ne se renouvellent plus assez vite. Le résultat de tout cela se fait surtout sentir chez les larves de reines. Mal nourries, elles donnent des individus ayant une taille d'ouvrière dont elles possèdent également la tête et l'abdomen, alors que leur thorax est resté celui des reines : ce sont des *pseudogynes*. Donc, même lorsqu'il y a détermination génétique de divers types d'individus, des causes alimentaires peuvent agir pour déterminer l'aspect morphologique.

Le polymorphisme de la caste stérile peut connaître, lui aussi, une cause génétique ou une cause alimentaire. C'est ainsi que, chez les espèces de fourmis ayant plusieurs sortes d'ouvrières, celles-ci, qui diffèrent surtout par la taille, sont déterminées par la quantité de nourriture.

En résumé, nous voyons donc que le polymorphisme si frappant des insectes sociaux a des causes différentes suivant les groupes. Chez les abeilles, où il ne frappe que les femelles, celles-ci sont toutes génétiquement semblables, elles ne sont différenciées en reines et ouvrières que par suite d'une alimentation qualitativement différente. Chez les fourmis, il y a deux sortes de femelles distinctes génétiquement : une forme ailée, une aptère; des causes alimentaires feront avorter les ovaires de la seconde qui pourra être représentée par des formes de taille et d'apparence différentes suivant la quantité de nourriture reçue par les larves. Chez les termites, enfin, mâles et femelles présentent deux types génétiques : un à mandibules normales qui peut, suivant la nourriture reçue, devenir ailé et fertile (roi, reine) ou rester aptère et stérile (ouvrier, ouvrière) et un à mandibules très développées (soldat mâle, soldat femelle). Ce second type est généralement stérilisé par une nourriture insuffisante; cependant on a observé des soldats fertiles de l'un ou l'autre sexe.

Quoi qu'il en soit de ses origines, ce polymorphisme a pour conséquence que chaque individu sera d'emblée amené à jouer un rôle déterminé dans la société. L'existence de cette société implique celle d'un milieu social dans lequel évoluent les individus. Il est entièrement créé par les activités de la caste ouvrière. Son étude pose deux questions : quel est le lien puissant qui unit entre eux les individus d'une même colonie? Quel est l'organe directeur qui règle l'activité de la collectivité?

Monarchisme ou collectivisme?

Le dernier de ces problèmes est, actuellement, insoluble. Il est indiscutable que l'activité d'une colonie est dirigée. L'architecture régulière des gâteaux d'abeilles, des fourmilières, des termitières en sont une preuve. Le massacre des faux-bourdon, des soldats-meuniers de fourmis moissonneuses semble être le résultat d'un ordre, car il se produit brutalement et en tous les points de la colonie en même temps.

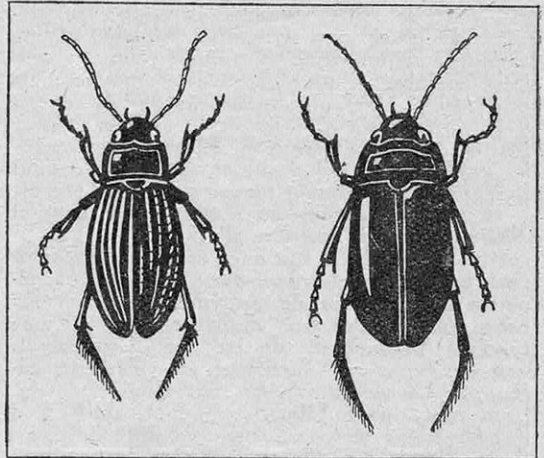


FIG. 14. — FEMELLES DE DYTQUES

Chez les Dytiques bordés de nos mares, ce sont les femelles qui peuvent être de types variés. Les unes ont les élytres cannelés (à gauche), les autres les ont lisses (à droite), comme les mâles.

Quand on parle de reines chez les abeilles ou les fourmis, de rois et de reines chez les termites, ces termes évoquent, parfois, l'idée d'êtres dirigeants. Rien n'est plus inexact. En premier lieu, rien dans leur anatomie n'indique une supériorité psychique sur les asexués; leurs ganglions cérébraux ne sont pas plus développés. Ensuite, une étude attentive de la vie dans le nid montre qu'ils dépendent totalement de la caste ouvrière qui les nourrit. C'est en vain qu'une vieille reine d'abeilles cherche à détruire ses jeunes rivales encore dans les alvéoles, les ouvrières s'y opposent. Une reine termite âgée, dont la fécondité diminue, n'est plus nourrie par ses « sujets » et meurt de faim. Tout cela ne cadre guère avec la notion d'une souveraineté absolue dévolue à la femelle pondreuse. Maeterlinck parle de « l'âme de la ruche », terme vague qui n'arrive pas à masquer notre ignorance.

On a voulu, quelquefois, comparer ces sociétés à des super-organismes, les individus n'étant plus que les éléments solidement liés les uns aux autres d'un tout cohérent. A ce point de vue, on peut avoir tendance à opposer l'éloignement et l'indépendance relative de ces éléments. Ceci n'est pas une critique irréfutable : dans un organisme, tel le nôtre, certains éléments, les globules du sang par exemple, jouissent d'une certaine indépendance et même, pour les globules blancs, d'une liberté de mouvements indiscutable. Un organisme, de plus, considéré à l'échelle de l'atome, est en réalité constitué de particules très éloignées les unes des autres, à tel point que si, par compression, on ramenait au contact toutes celles qui constituent le corps humain on n'aurait pour celui-ci que le volume d'une tête d'épingle.

Admettons donc qu'une société d'insectes n'est qu'un super-organisme. Cela va-t-il résoudre le problème de l'organe directeur? En réalité, on ne fait que déplacer le problème; il s'agit maintenant de trouver l'équivalent, dans cet organisme supérieur, des éléments cérébraux. La solution reste tout aussi éloignée. Il ne faut pas oublier, cependant, qu'il y a peut-être dans un organisme une sorte de conscience diffuse répartie dans toutes les cellules et non localisée dans tels ou tels éléments. Une semblable conscience diffuse peut exister dans la ruche ou la termitière à laquelle participent tous les individus sans qu'il y ait de chefs individualisés. On peut observer dans une foule humaine, à l'état rudimentaire, l'existence d'une

telle « âme collective » provoquant chez chaque individu des actes ou des pensées qu'isolé il n'aurait pas conçus.

La gourmandise : lien social des insectes

Ce sont là des aperçus fort intéressants, mais hypothétiques. On est, par contre, mieux renseigné sur le lien social qui unit entre eux les divers membres d'une société. Ce lien est la gourmandise. Si les guêpes nourrissent leurs larves et les soignent, c'est que celles-ci, lorsqu'elles viennent de manger, sécrètent par la

bouche, un liquide clair et douxâtre avidement recherché par leurs nourrices. De même, les larves de fourmis bien nourries produisent des substances très appréciées des ouvrières qui, de plus, se lèchent les unes les autres pour absorber les matières grasses qu'elles exsudent. Les termites se nourrissent les uns les autres de salive et d'excréments; ils recherchent également les exsudats gras-seux de la reine, ce qui explique les soins dont ils l'entourent. Il arrive quel-

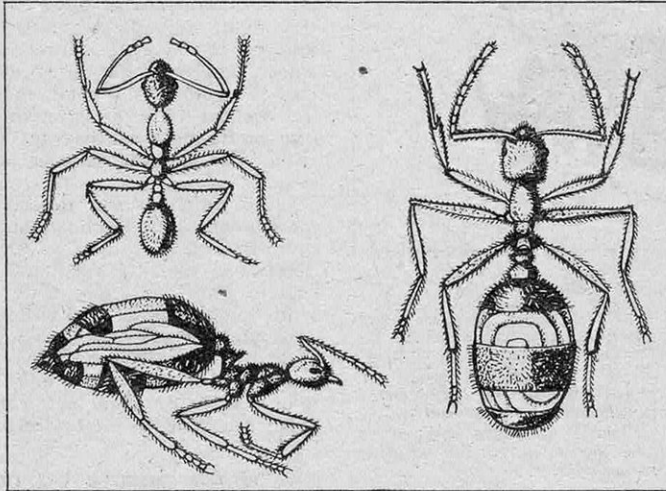


FIG. 15. — OUVRIÈRE NORMALE (EN HAUT, A GAUCHE) ET OUVRIÈRE MERMITHERGATE DE « PHEIDOLE COMMUNATA »

Certains parasites peuvent provoquer chez les fourmis ouvrières des aspects particuliers. C'est ainsi qu'un ver : le Mermis transforme les ouvrières de Pheidole communata (en haut, à gauche) en individus ayant quelque ressemblance avec des reines : les mermithergates (en bas, à gauche, et à droite).

ce recherche s'accompagne d'une certaine brutalité et que des ouvriers arrachent à leur souveraine des lambeaux de peau pour mettre à nu la précieuse graisse.

La gourmandise peut non seulement expliquer la vie en société chez les insectes, mais également certaines activités sociales telles l'élevage de « bétail ». D'autres animaux présentent en effet des exsudats à peu près analogues à ceux des membres de la société; ils sont alors recherchés, soignés, quelquefois introduits dans le nid et consciencieusement et souvent léchés.

Tout le monde peut observer les élevages de pucerons auxquels se livrent les fourmis. Ils peuvent se présenter sous divers aspects : simple garde autour des pucerons laissés en place sur leur plante nourricière où des ouvrières viennent les traire; construction autour d'eux d'abris en terre les protégeant des intempéries et de leurs ennemis, coccinelle par exemple; leur transport dans le nid le soir et sur les plantes nourricières dans la journée.

Si la recherche de satisfactions gastronomiques est à la base de la vie sociale, elle peut aussi causer la perte de la société. Tout insecte capable de fournir aux fourmis ou aux termites une sécrétion de haut goût sera non seulement toléré dans le nid mais sera choyé. Il pourra

impunément se livrer à toutes les déprédations. Nous avons déjà décrit à propos de l'origine du polymorphisme des fourmis, les graves dangers que présente pour ces insectes sociaux leur goût immodéré pour la sécrétion éthérée de *Lomechusa*. De nombreux exemples du même ordre pourraient être cités. Une punaise javanaise (*Ptilocerus ochraceus*) prélève un lourd tribut sur les colonnes d'ouvrières d'une fourmi (*Hypoclinea bituberculata*) en tirant parti de leur attirance pour les sécrétions de glandes qu'elle possède à la face ventrale. Dès qu'elle voit ses futures victimes, elle relève la partie antérieure de son corps découvrant brusquement ses organes sécrétoires. Une fourmi attirée par l'odeur se précipite avidement pour lécher le précieux liquide. La punaise se laisse tranquillement traire. Lorsque la fourmi veut s'en aller, elle titube, ne peut se tenir sur ses pattes, car l'attirant breuvage est un philtre empoisonné; elle s'endort. Le *Ptilocerus* s'en saisit et de sa trompe aspire le contenu de son corps.

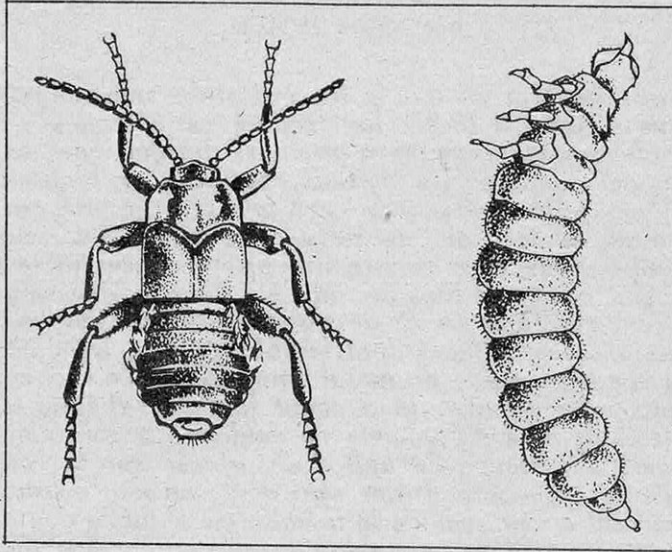


FIG. 16. — « LOMECHUSA STRUMOSA » ET SA LARVE

La gourmandise des fourmis les amène à sotgner des hôtes dangereux, tel le *Lomechusa strumosa* (à gauche), produisant par les touffes de poils bordant son abdomen une sécrétion éthérée qui finit par intoxiquer les fourmis, et dont la larve (à droite) mange celles des fourmis.

France (Cannes, Marseille, Toulon, Saint-Raphaël). On peut même la trouver dans des régions plus froides, mais elle se localise alors dans les maisons (Paris). La lutte, parfois très énergique, engagée contre elle est restée presque toujours sans résultats sensibles.

Une autre espèce : la fourmi des Pharaons (*Monomorium pharaonis*), dont l'origine est inconnue, est installée dans la plupart des grandes villes du monde depuis plus de cent ans. A Paris ou à Toulouse, par exemple, elle vit dans les maisons et y pille et gâte les réserves alimentaires sans que l'on puisse grand-chose contre elle. Le récent procédé du charbon formaldéhyde décrit par le professeur Cépède semble, cependant, produire de bons résultats.

En bien des points du globe, l'homme a dû reculer devant fourmis ou termites. La petite île de Thursday, au large de l'Australie, a dû être entièrement abandonnée aux termites. Ces mêmes insectes ont, en 1840, détruit en grande partie la ville de James-

Les sociétés d'insectes, empires doués d'une prodigieuse force d'expansion

Tout un monde gravite ainsi autour des sociétés d'insectes particulièrement autour de celles de fourmis et de termites, profitant des conditions de vie éminemment favorables créées dans leurs nids par ces industrieux animaux. C'est, d'ailleurs, grâce à ces conditions, qu'ils savent réaliser à la perfection, que la multiplication des insectes sociaux atteint des proportions extraordinaires. Cela, joint à une remarquable faculté de tirer parti des circonstances les plus imprévues, en fait des animaux fort envahissants.

Une des espèces les plus habiles à se plier à toutes les conditions : la fourmi d'Argentine (*Iridomyrmex humilis*) a occupé successivement toutes les régions chaudes et tempérées du continent américain, puis Madère, une grande partie de l'Asie, de l'Afrique, le Midi de la

town dans l'île de Sainte-Hélène.

Les sociétés d'insectes, surtout celles de fourmis ou de termites, se présentent donc à nous comme un monde hallucinant, dangereux pour notre suprématie dans la nature. Il restera toujours pour nous mystérieux et impénétrable, ne serait-ce qu'à cause du manque total d'expression de ses habitants. C'est en vain, en effet, que nous pouvons interroger leurs masques de chitine complètement figés. Ils ne laissent rien deviner du monde de pensées qui, peut-être, s'agite derrière eux. Lorsque Wells voulut décrire d'imaginaires lunaires qu'il désirait mystérieux, il les dota de têtes de fourmis.

Malgré tout, ces animaux sont singulièrement attachants, et leur étude est une de celle qui permet le mieux de se rendre compte que la réalité dépasse souvent les plus riches inventions des imaginations les plus vives.

Pierre BECK.

Le corps d'un être humain se renouvelle entièrement au bout de sept ans. Durant cette période, il a consommé près de cent fois son poids de substances diverses.

POURRONS-NOUS UN JOUR DÉCOUPLER LA RÉSISTANCE MÉCANIQUE DÉS MÉTAUX ?

par André MOLES

Si les matériaux que mettent en œuvre les industries mécaniques étaient seulement dix fois plus résistants, toutes les techniques actuelles s'en trouveraient profondément bouleversées. L'espoir d'atteindre un jour ce résultat n'est pas chimérique en ce qui concerne les métaux, puisque les physiciens ont calculé une valeur théorique de leur résistance cent fois plus grande que celle que l'on constate expérimentalement, ce qui, même si cette valeur théorique est une limite impossible à atteindre, nous laisse encore une marge considérable de progrès possibles. Les physiciens, armés de tous les moyens dont ils disposent pour explorer l'infiniment petit, ont étudié, pour en découvrir les points faibles, la structure des métaux et de leurs alliages, édifices dont les pierres sont les cristaux métalliques et dont le ciment serait constitué de métal amorphe. Ils en recherchent systématiquement les points où s'amorce, bien avant la limite théorique de résistance, la rupture du métal. Et déjà ils ont mis en évidence le rôle joué par des traces de métaux étrangers, l'influence du poli des surfaces sur la résistance du métal, etc... Leurs découvertes permettront sans doute un jour de substituer aux procédés parfois purement empiriques de la métallurgie actuelle des méthodes rationnelles de traitement des métaux, capables de développer aux maximum telle ou telle qualité souhaitée.

Q U'EST-CE qu'un métal? Voilà, certes, une définition difficile à donner et qui suggère bien des réponses différentes.

Un chimiste dira par exemple que c'est un corps d'aspect brillant attaqué par les acides avec dégagement d'hydrogène.

Est-ce un physicien? Il répondra avec la rigueur qui lui est chère que c'est un corps conduisant très bien la chaleur et l'électricité, et c'est là, en effet, la plus scientifique des définitions qu'on puisse donner des métaux, bien qu'elle n'en énonce pas les proprié-

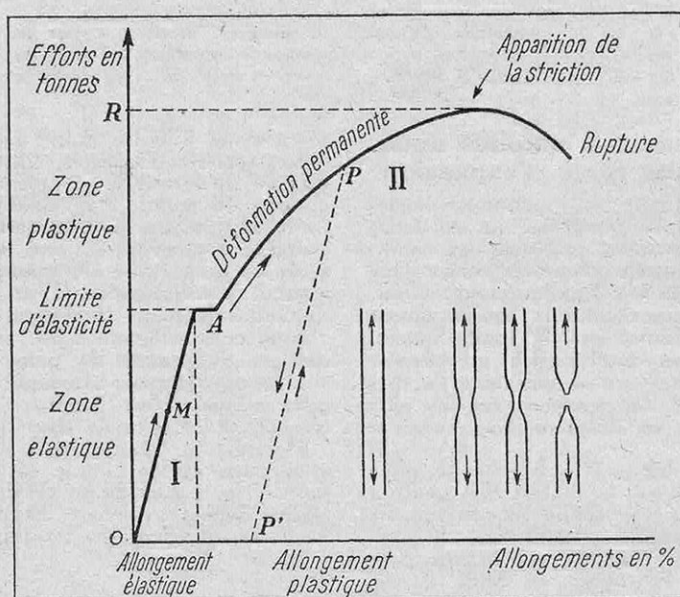


FIG. 1. — UNE COURBE DE TRACTION

Sur cette courbe qui se rapporte, par exemple, à un acier ordinaire, on distingue deux régions : dans la région I, la déformation s'annule avec la charge : c'est la zone élastique. Dans la région II, la déformation subsiste après la charge : si le métal est amené par un effort suffisant en un point tel que P (de la zone plastique), puis relâché, il subsistera un allongement permanent OP'; mais la limite élastique autrefois en A viendra en P : le métal s'est écroui.

tés les plus courantes.

Si c'est un technicien enfin, il insistera sur les propriétés mécaniques en disant que c'est un solide qui, soumis à un effort, résiste d'abord, puis s'allonge et casse, et il le qualifiera de matériau universel de toute construction.

La définition du technicien reste bien insuffisante, voire même erronée devant celle du physicien — le mercure malgré son état liquide n'est-il pas un métal? — mais elle concorde avec l'idée que l'on se fait en général de ces corps. C'est le caractère le plus anciennement connu et qui les

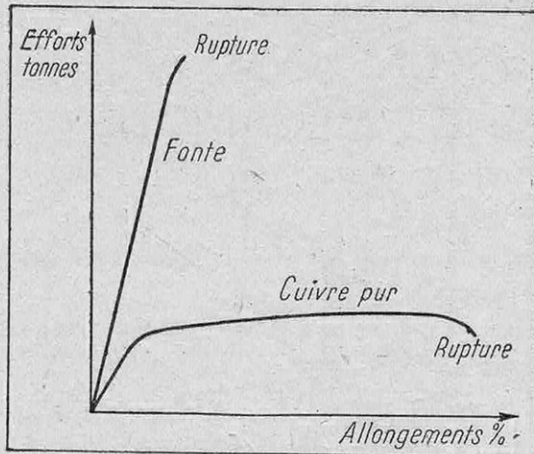


FIG. 2. — LES DEUX TYPES EXTRÊMES DE MÉTAUX

Ces deux courbes, correspondent, l'une à la rupture fragile : fonte, verre, minéraux divers; l'autre à la rupture plastique : métaux purs en général. La plupart des alliages présentent des diagrammes intermédiaires entre ces deux extrêmes.

a fait remarquer dès l'âge le plus reculé que ces propriétés mécaniques, dont la physique résume l'essentiel dans une courbe : la courbe de traction.

L'essai de traction

Prenons une tige de métal, par exemple une éprouvette classique d'essais métallurgiques, et soumettons-la à une traction progressive allant jusqu'à plusieurs tonnes : la tige s'allonge sous l'effort. Traçant la courbe des efforts nécessaires pour obtenir un certain allongement, on obtient un diagramme bien connu des métallurgistes. C'est le diagramme de traction (fig. 1) qui différencie deux modes bien distincts de déformation.

Exerçons, par exemple, un effort correspondant au point M du diagramme. Le métal s'allonge : mais, dès suppression de l'effort il revient à sa longueur primitive, comme le ferait un fil de caoutchouc qui ne conserve pas trace des déformations subies. C'est la *déformation élastique*, mise à profit non seulement dans les ressorts de toute espèce, mais aussi théoriquement dans toute la construction mécanique qui s'impose comme règle de ne jamais donner aux pièces de déformations permanentes. À partir du point A, en effet, appelé pour cela limite élastique, la courbe change d'allure, les allongements subis sont beaucoup plus grands et la tige reste déformée après effort. Si l'on s'arrête au point P, par exemple, le point « figuratif » reviendra non en O mais en P' ; la tige a subi un allongement permanent OP' et la zone de déformation élastique est passée en PP' : on a accru la déformation élastique aux dépens de la déformation permanente. On a, semble-t-il, amélioré les qualités du métal : c'est l'*écrouissage*, et la région du diagramme que nous venons de décrire est celle des *déformations plastiques*.

Cette région se termine par la rupture qui se produit ainsi : arrive un moment où, en un point quelconque de l'éprouvette cylindrique, plus faible que les autres, le métal s'amincit,

présente une « striction ». Un même effort supporté auparavant par toute la section est supporté maintenant par cette section diminuée, et la charge se concentre en cet endroit qui travaille beaucoup plus et continue à s'amincir, alors que la charge totale diminue.

L'importance relative des zones plastique et élastique est très variable avec le corps considéré, ce qui nous amène à distinguer deux types extrêmes de métaux :

Pour les uns, la plupart des métaux purs, aluminium, cuivre, zinc, fer, etc... les déformations plastiques prennent une très grande importance : sous un effort minime, le métal s'allonge ; on a l'impression qu'il coule et se rompt pour un effort très faible. C'est pourquoi la construction mécanique n'utilise jamais les métaux purs.

Pour certains alliages au contraire, tels que les fontes, alliages de fer et de 4 % de carbone, c'est la zone élastique qui est développée ; la rupture se fait avant qu'on l'ait dépassée :

La fonte, l'acier trempé « cassent comme verre » et, en effet, le diagramme se rapproche beaucoup de ceux des substances telles que le verre, les cristaux, les corps fragiles...

Les métaux sont des agrégats cristallins

Ces faits étaient connus depuis longtemps déjà et aucune explication n'en avait été donnée. Les métaux, en effet, font partie de l'immense famille des cristaux et ce n'est que récemment qu'on a pu édifier une théorie satisfaisante de l'état cristallin. C'est aux travaux des Bragg sur les applications des rayons X et à ceux du physicochimiste Born que nous devons l'image que nous nous en faisons actuellement. Que les métaux soient des corps cristallisés, Le Châtelier, il y a un demi-siècle, l'avait prouvé jusqu'à l'évidence en montrant au microscope l'agrégat des petits cristaux orientés au hasard et dont les propriétés

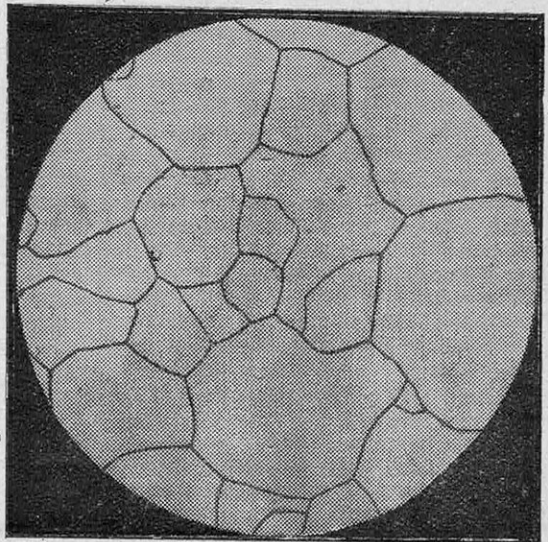


FIG. 3. — MICROGRAPHIE D'UN FER PUR

On y distingue nettement les contours assez irréguliers des grains cristallins orientés dans tous les sens. Ces contours sont formés d'une mince couche de métal non cristallisé qui apparaît en noir.

participent à la fois de celles de ces éléments et de celles d'un ensemble homogène à grande échelle.

Certes cette structure microcristalline expliquait bien des choses, telles que la modification des aciers par la trempe. Elle permettait de relier finesse du grain et résistance mécanique. L'effet de la trempe des aciers se réduisait alors à accroître la finesse du grain en augmentant la rapidité de refroidissement conformément aux principes de la chimie physique.

Mais encore, pourquoi les constituants à grains fins présentaient-ils une plus grande résistance mécanique? Le problème des propriétés des métaux n'était pas résolu. Il était simplement déplacé, il fallait maintenant se demander : qu'est-ce qu'un cristal?

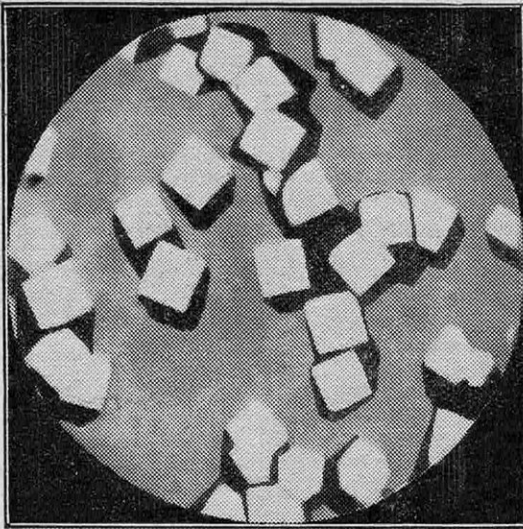


FIG. 4. — CRISTAUX DE FER GROSSIS CINQ CENTS FOIS. Chacun de ces cristaux est composé de la juxtaposition de millions de mailles comme l'indique la figure 5. Il conserve cependant la forme cubique initiale.

L'état cristallin

Un cristal c'est, d'après Bragg, la répétition périodique dans l'espace d'un « motif » géométrique appelé *maille*, généralement cubique dans les cas qui nous intéressent, et constitué d'ions positifs, c'est-à-dire d'atomes métalliques ayant perdu un ou plusieurs électrons et qui, par conséquent, subissent entre eux des forces qui les maintiennent en place, analogues aux forces électrostatiques de Coulomb.

Quant aux électrons libérés, ils restent dans le métal et se dispersent en formant une sorte de gaz électronique imprégnant le réseau et soumis à l'agitation thermique : les électrons animés de mouvements rapides et désordonnés s'entrechoquent et rebondissent au hasard les uns sur les autres, ces mouvements étant d'autant plus rapides que la température est plus élevée.

Born a étudié, en fonction de la distance qui les sépare, les forces d'attraction ou de répulsion entre ions de même signe ou de signes différents, et il a obtenu des courbes de la forme de la figure 6. A des distances très grandes, la force se confond avec la répulsion ou l'attraction électrostatique de Coulomb, crois-

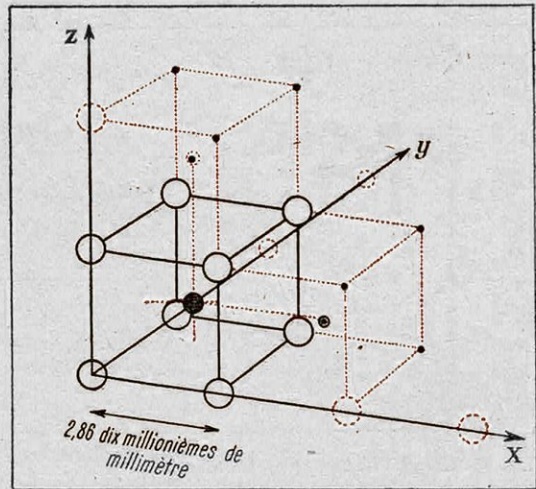


FIG. 5. — LA « MAILLE » DU CRISTAL DE FER

Cette maille, constituée d'atomes de fer ionisés, c'est-à-dire ayant perdu un électron, est du type dit « cube centré ». Elle se répète indéfiniment suivant x , y , z , comme l'empilement de cubes dans une caisse. Elle baigne dans une sorte de gaz formé des électrons libérés par les ions du réseau.

sant comme l'inverse du carré de la distance. Mais elle s'écarte de cette loi pour les faibles distances, présente un maximum et se met à décroître. Pour une certaine valeur critique, elle s'annule : les ions ne sont plus sollicités alors par aucune force. Si l'on veut les rapprocher encore, il faut exercer des efforts rapidement considérables. Cette distance d'équilibre joue un rôle important puisque c'est la distance « réticulaire » qui sépare deux ions dans le cristal. On la déduit facilement de la densité du métal comparée au poids d'un atome, ce qui donne le nombre de cubes élémentaires par unité de volume. Les mesures aux rayons X qui permettent d'atteindre cette quantité par

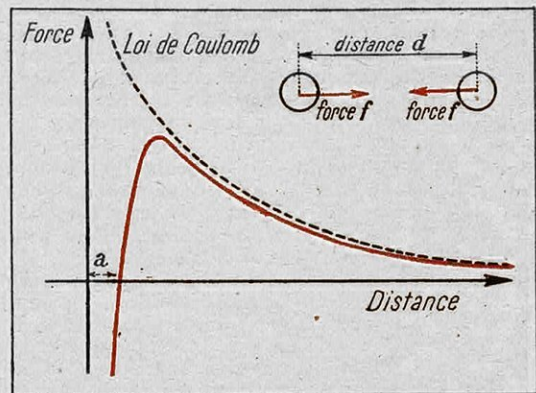


FIG. 6. — LA COURBE DE BORN

Si l'on veut rapprocher l'un de l'autre deux ions A et B, la force f à exercer est donnée en fonction de la distance d par la courbe de Born en trait plein. Cette force croît d'abord quand la distance décroît, comme l'indique la loi de Coulomb, mais pour une certaine distance critique d'équilibre, elle s'annule et change de signe. C'est la distance réticulaire qui sépare deux ions dans un cristal.

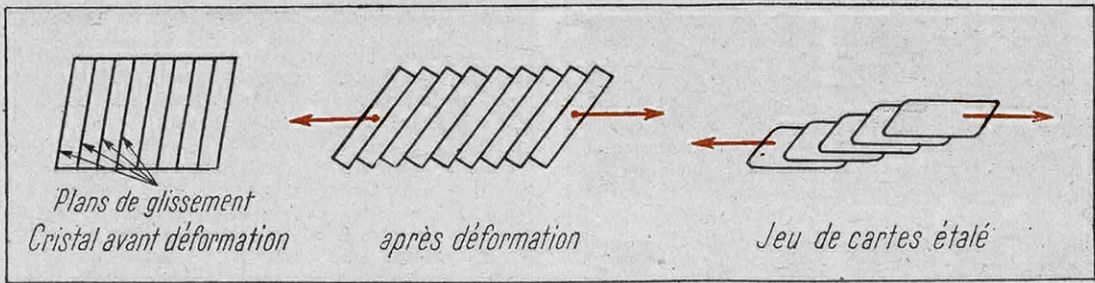


FIG. 7. — LA DÉFORMATION PLASTIQUE DES CRISTAUX PURS

On voit le mécanisme de cette déformation qui correspond à un très grand allongement permanent, puisque les couches juxtaposées n'ont aucun motif de revenir en arrière. Les plans suivant lesquels se font ces séparations entre couches successives d'un monocristal s'appellent « plans de glissement » et la trace qu'ils laissent à la surface est une « bande de glissement ».

une toute autre méthode, apportèrent une éclatante confirmation à la théorie de Bragg et de Born. Malgré des difficultés concernant les signes des ions en présence, difficultés qui ne sont pas toutes résolues dans le cas des métaux, on sait maintenant reconstruire l'architecture interne du cristal avec toute la précision désirable, et c'est à partir de celle-ci qu'on a pu, en particulier, expliquer les propriétés des cristaux métalliques.

Plans de glissement et déformation plastique

Ce réseau n'est pas indéformable : ses plans réticulaires, qui sont les plans géométriques contenant les atomes, peuvent glisser les uns par rapport aux autres sans variation de leur distance, donc sans presque aucun effort. Le cristal unique ressemble alors beaucoup à un jeu de cartes empilé, posé sur une table, et qu'un effort très faible suffit à étaler. C'est le

type de la déformation permanente, et l'on a pu montrer effectivement que les cristaux très purs se déformaient plastiquement sous un effort très faible correspondant au frottement entre couches, analogue à celui entre les cartes du jeu précédent.

C'est là le mécanisme du clivage, bien connu pour certains minéraux tels que le mica.

Les lignes de séparation de deux couches successives se déplaçant l'une par rapport à l'autre sont les plans de glissement et leur intersection avec la surface de l'échantillon donne des bandes de glissement qui apparaissent en noir au microscope. Ce sont des lignes de moindre résistance qui jouent un rôle important dans le mécanisme de la rupture fragile (fig. 7).

Si par contre l'on voulait réellement rompre une couche de glissement, l'effort à fournir serait alors considérable car il se transmet intégralement au réseau cristallin qui doit être déchiré en un de ses points. Cet effort est d'ailleurs aisément calculable à partir de la fameuse courbe de Born (fig. 6) puisqu'il correspond au passage d'un certain nombre d'ions par unité de surface, de la distance réticulaire à l'infini.

Ce calcul, fait plusieurs fois, donna des résultats surprenants : l'effort nécessaire, donc la résistance à la rupture du réseau cristallin lui-même, atteint des milliers de kilogrammes par millimètre carré, valeur plus de cent fois supérieures aux charges de rupture normales des métaux.

C'est, pour les couches de glissement, le même phénomène que dans le jeu de cartes qui nous servait tout à l'heure de modèle. Il fallait, pour déchirer une carte unique, une force considérable alors qu'un effort presque nul suffisait pour vaincre le frottement entre les cartes du jeu, empilées,

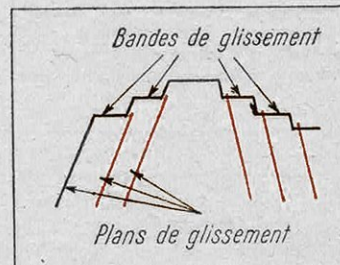
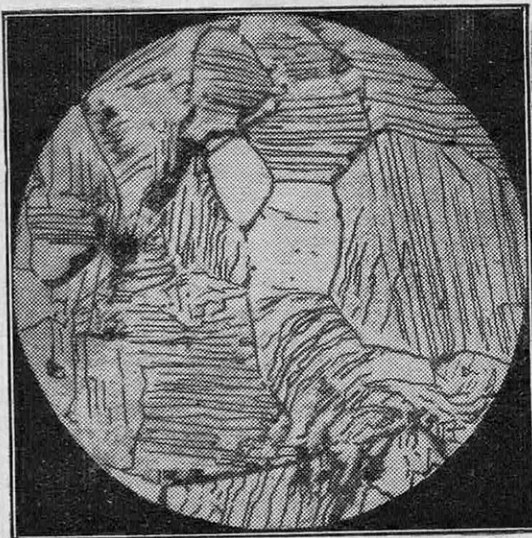


FIG. 8. — LES BANDES DE GLISSEMENT DU FER PUR ET LEUR FORMATION

Sous l'influence de fortes déformations des cristaux purs, des bandes de glissement apparaissent à la surface sous forme de lignes noires visibles au microscope. Dans un échantillon polycristallin de fer étiré, ces bandes de glissement, toutes parallèles entre elles dans un même cristal, sont dans les cristaux juxtaposées, dans des directions différant avec l'axe du grain considéré.

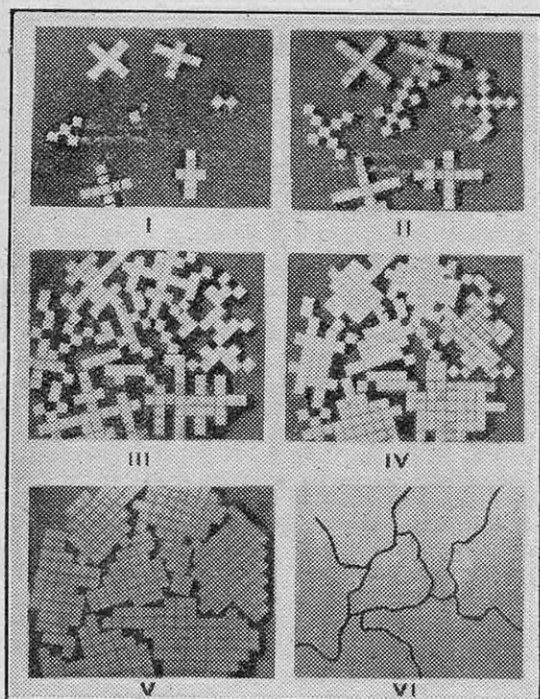


FIG. 9. — LES PHASES DU REFROIDISSEMENT D'UN MÉTAL

On distingue le grossissement progressif des grains à partir de germes dispersés jusqu'à rencontre des limites géométriques des cristaux. Il subsiste alors, dans les interstices, du métal fondu qui, n'ayant pas la possibilité de cristalliser, reste amorphe, et se refroidit en acquérant comme un verre une viscosité considérable. C'est le ciment intercrystallin.

et étirer le jeu dans sa longueur. Quand celui-ci s'est suffisamment étiré, il apparaît de toute évidence en un endroit quelconque une solution de continuité. C'est la rupture du monocristal représenté par le jeu des cartes, qui accompagne naturellement une très grande déformation.

Restait à passer du monocristal étudié par les physiciens à l'agrégat polycristallin, objet des préoccupations du métallurgiste. Comme nous l'avons vu, deux cas extrêmes se présentent : la rupture plastique et la rupture fragile.

Les métaux purs et certains alliages tels que les aciers non trempés, représentent d'abord une déformation élastique qui semble indiquer une variation de distance des ions du réseau eux-mêmes, puis une déformation plastique qui correspond aux propriétés des cristaux constituants. Or, leur charge de rupture très supérieure à celle du monocristal reste cependant des centaines de fois inférieure à celle calculée théoriquement.

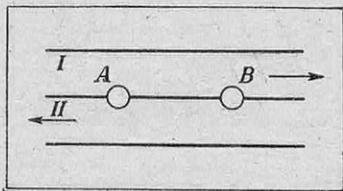


FIG. 10. — L'EFFET D'IMPURETÉS EN FAIBLE QUANTITÉ SUR LA STRUCTURE D'UN MÉTAL
Les clavettes A B solidarisent les deux pièces métalliques I et II. De même les petites inclusions entre les cristaux solidarisent des grains voisins. A droite, microphotographie de cuivre contenant 1 % de métal étranger.

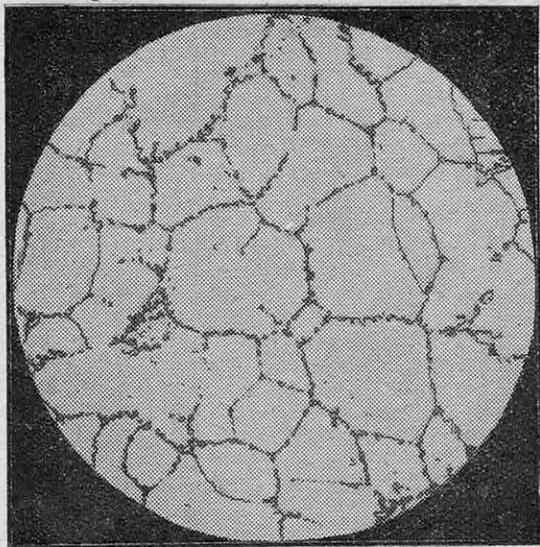
La cohésion de l'ensemble cristallin

D'où vient ce nouveau désaccord? De véhémentes discussions se sont élevées et ont permis de l'attribuer à trois phénomènes distincts mais qui peuvent se superposer.

Tout d'abord, la formation des cristaux à partir de « germes » répartis au hasard dans le métal fondu, cristaux qui se développent jusqu'à ce que leurs limites se rencontrent, comme l'illustre la figure 9, n'utilise pas tout le métal fondu. Entre ces limites, la juxtaposition de cubes orientés différemment laisse des interstices remplis de métal qui ne peut cristalliser. Ainsi, à froid, subsisterait entre les cristaux un ciment de métal amorphe présentant toutes les propriétés d'un liquide surfondu, d'un verre, et particulièrement une viscosité extraordinaire. Ce ciment intercrystallin maintiendrait solidaires les différentes parties du métal qui, soumis à un effort, résistera dans son ensemble mieux qu'un cristal unique, les microcristaux s'appuyant les uns sur les autres et se transmettant les efforts.

Cette théorie fut brillamment soutenue par Beilby qui montra l'existence de cet état amorphe dans diverses circonstances, en particulier lors du polissage d'un métal où le constituant amorphe est entraîné à la surface polie qu'il recouvre d'une pellicule unie et brillante dissimulant les cristaux sous-jacents, d'où la nécessité de l'attaque après polissage des échantillons micrographiques. Elle explique avec une grande cohérence la résistance mécanique des métaux purs polycristallins et leur aptitude au fluage, déformation très lente à chaud sous un effort longtemps maintenu : à chaud, la fluidité du métal vitreux intermédiaire augmente et les cristaux peuvent se déplacer lentement les uns par rapport aux autres.

Dans les alliages métalliques, une autre circonstance vient encore accroître la cohésion de l'édifice des grains et lui donner une résistance encore supérieure. Un alliage, c'est un



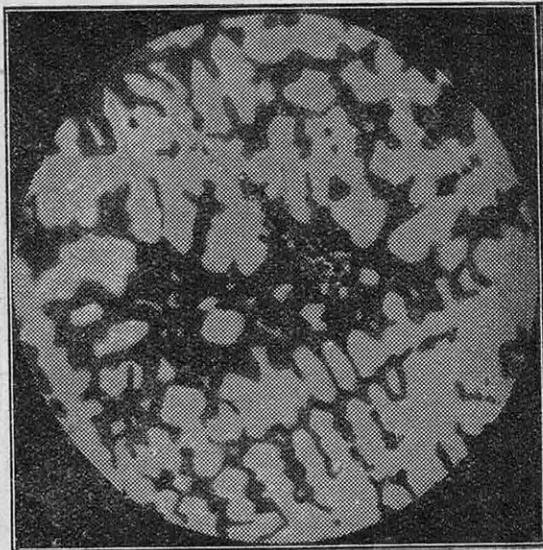


FIG. 11. — UN ALLIAGE A STRUCTURE DENDRIQUE. On conçoit facilement qu'un tel enchevêtrement de cristaux puisse résister comme un seul bloc aux efforts extérieurs (bronze à 16 % d'étain).

métal principal contenant des additions; à ce titre, on peut dire qu'il n'est que des alliages: tout métal, si pur soit-il, contient des impuretés. L'expérience montre alors que, surtout dans le cas des faibles teneurs, ces impuretés, ces cristaux d'un métal étranger, viennent s'insérer dans le domaine limite des deux cristaux voisins, liant ceux-ci l'un à l'autre à la manière de ce que les mécaniciens nomment une *clavette*. Cette conception est justifiée par la figure 10 qui montre un alliage de cuivre avec 1 % de métal étranger.

Enfin, et ceci est vrai surtout dans le cas d'alliages à forte teneur, la forme des cristaux elle-même peut les maintenir accrochés, enchevêtrés, comme, par exemple, les alliages à structure dendritique (du grec *dendron*: arbre) dont les ramifications s'enchevêtrent comme des branches d'arbre (fig. 11).

Déformation et rupture plastique

Que va-t-il donc se passer quand on exerce des efforts sur un composé tel que nous venons de le voir? Les efforts vont, c'est ce que nous avons montré, s'appliquer finalement à chaque cristal particulier, l'ensemble résistant comme un bloc, et ce sont de nouveau les plans de glissement des monocristaux élémentaires qui joueront le rôle principal. Mais si, dans le cas des métaux purs, chaque grain se déforme avec apparition de plans de glissement dès que l'effort atteint la limite de frottement entre couches, dans le cas des alliages, au contraire, il existe en plus entre les plans de glissement ces sortes de clavettes qui les verrouillent les uns aux autres. Les efforts sont transmis au réseau ionique qui se déformera élastiquement jusqu'à ce que — et c'est la limite

élastique dont nous avons parlé à propos de la courbe de traction — ces efforts soient suffisants pour que ces obstacles entre couches se mettent à labourer pour ainsi dire le plan sur lequel ils reposent. Ils se déplaceront tant que l'effort croîtra, mais resteront là où ils sont, si l'on suspend l'effort; c'est la déformation permanente. Il faudra appliquer un effort encore plus grand pour déchirer plus profondément les couches et amener une déformation encore plus grande. Tel est le mécanisme de la déformation plastique.

Pour élucider enfin la rupture elle-même, une remarque s'impose: le diagramme de traction dont nous nous efforçons d'expliquer l'aspect ne donne que des valeurs moyennes des efforts appliqués. Quand la striction, conséquence de la plasticité du métal, commence à se produire, la section diminue et la charge répartie sur la section resserrée continue à augmenter. Si l'on veut connaître les efforts réels subis par le métal et causes de sa rupture, il faut tracer la courbe en portant les charges dans la zone de striction elle-même en fonction des allongements subis dans cette même zone. Le diagramme est alors une courbe toujours croissante qui se confond évidemment avec la courbe moyenne tant qu'il n'y a pas striction. La section géométrique de l'éprouvette diminue ainsi jusqu'à zéro et l'expérience se trouve terminée à ce moment.

Si l'éprouvette casse, ce n'est pas qu'on ait atteint la charge de rupture théorique du métal, c'est tout simplement parce que la section réellement en essai est réduite à zéro par la plasticité.

La rupture fragile

Cette explication ne s'applique pas à la rupture fragile des fontes, des verres et des cristaux qui cependant présentent la même discordante discordance que les métaux entre résistance théorique et expérimentale. Par surcroît, l'expérience donne des charges de rupture très dispersées, variant quelquefois du simple au double pour de petits échantillons. La rupture est ici sans striction et très irrégulière si bien qu'on peut se demander s'il existe une charge de rupture à proprement parler et non pas une valeur *plus probable* que les autres, autour de laquelle se groupent les résultats avec des écarts qui peuvent être appréciables.

Griffith montra qu'effectivement la résistance à la traction, bien loin de dépendre des qualités

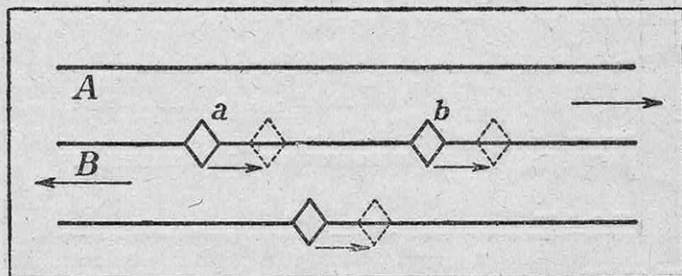


FIG. 12. — L'ÉCROUISSAGE

Sous deux efforts adverses tendant à entraîner les couches A et B en sens contraire, les petits cristaux de métal étranger, d'impuretés ou même les irrégularités du réseau déchirent les plans sur lesquels ils reposent. Si l'on supprime l'effort, les plans A et B restent dans la position acquise, rivés par ces irrégularités.

internes du métal, résultait au contraire d'un élément auquel personne n'avait songé : l'état de la surface, et surtout les fissures microscopiques toujours présentes pour servir d'amorce de rupture.

Que de si petites fissures — l'examen de la surface au microscope montre qu'elles ne dépassent certainement pas quelques dizaines de microns (0,01 mm) — puissent jouer un rôle dans la rupture d'un barreau de plusieurs centimètres de diamètre, voilà qui paraissait bien surprenant.

Griffith convainquit ses contradicteurs par une mémorable expérience : il tailla une éprouvette de traction dans du sel gemme qui, avons-nous dit, présente comme la plupart des minéraux ce même type de rupture fragile, et mesura sa résistance à la traction qu'il trouva de l'ordre de 0,4 kg/mm² alors que le calcul théorique de Born conduisait à prévoir 200 kg/mm².

Il plaça alors une éprouvette identique dans l'eau chaude qui, dissolvant la surface, en faisait disparaître toutes les irrégularités : la charge de rupture passait alors à plusieurs dizaines de kg par mm² alors que la section avait évidemment diminué. Était-il preuve plus concluante de l'influence primordiale de l'état de la surface?

La rupture fragile s'explique alors facilement : si les petites failles superficielles ne réduisent pas sensiblement la section en essai, le calcul montre et l'expérience confirme qu'au fond de ces failles se produit une sorte de concentration des efforts qui y atteignent la valeur théorique de rupture : le réseau des ions se déchire alors et la faille progresse dans le cristal de proche en proche jusqu'à rencontrer une de ces bandes de clivage dont nous avons déjà montré l'existence. L'entaille microscopique du début se propage alors dans toute l'éprouvette suivant un trajet plus ou moins compliqué et le métal se rompt. C'est ce qui explique aussi la dispersion des résultats d'expérience due tout simplement au caractère

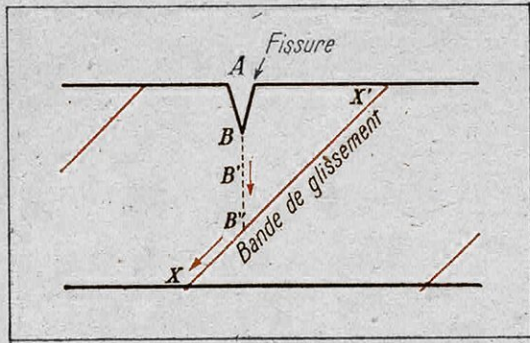


FIG. 14. — LE RÔLE D'UNE ENTAILLE DANS LA RUP-TURE D'UN MÉTAL FRAGILE

Au sommet B de la fissure superficielle, la contrainte à laquelle est soumis le métal est considérable. La fissure se propage de B successivement en B', B'', etc..., dans tout le cristal, jusqu'à rencontrer le plan de glissement xx'.

irrégulier des entailles superficielles. S'il existe une valeur plus probable que les autres, c'est que certaines formes de fissures sont, elles aussi, plus probables et le rôle principal revient alors à cette couche de métal amorphe découverte par Beilby à la surface des grains cristallins, qui se comporte comme une membrane très mince enveloppant le métal. Une telle membrane pénétrerait dans les failles du métal et donnerait aux surfaces de celles-ci une forme toujours identique. C'est de cette forme que dépendrait l'effort critique exercé au fond, qui détermine lui-même la charge de rupture.

Gaz électronique et conductivité électrique

Le gaz électronique qui imprègne le réseau joue lui aussi son rôle dans les propriétés du métal. Les électrons de ce gaz sont animés de mouvements désordonnés, mais qui, en moyenne, s'équilibrent naturellement de façon qu'il rentre dans une région du métal autant d'électrons qu'il en sort, sinon cette accumulation d'électrons y équivaldrait à une charge locale. Si ces mouvements augmentent d'amplitude tout en restant aussi désordonnés, la température augmente et ces mouvements se propagent de proche en proche par chocs réciproques d'autant plus facilement qu'il y a plus d'électrons : c'est le mécanisme de la propagation de la chaleur.

Appliquons maintenant entre deux points du métal une tension électrique, les électrons négatifs vont, en dépit de leurs mouvements désordonnés, avoir tendance à se diriger en moyenne vers le pôle positif, conduisant ainsi un courant électrique d'autant plus facilement que leur nombre est plus grand et que leurs mouvements propres superposés sont moins violents, en d'autres termes que la température est plus basse : la résistance électrique qu'offre le métal au passage du

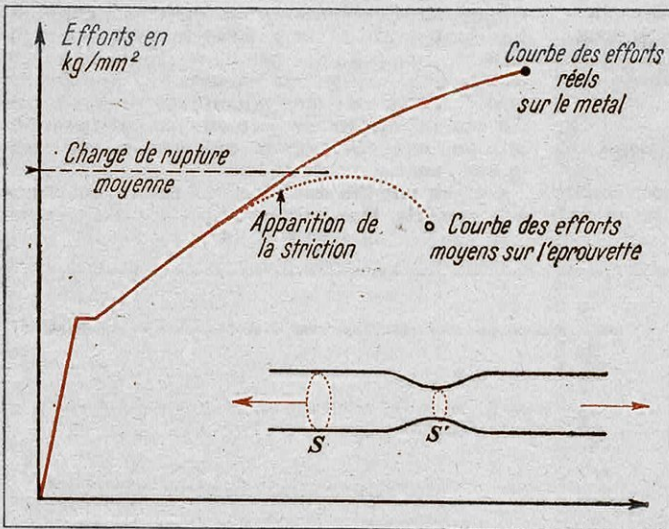


FIG. 13. — LA COURBE DE TRACTION RÉELLE DU MÉTAL

Ce qui intéresse les métallurgistes, c'est évidemment la charge que peut supporter un barreau dans son ensemble : le maximum de la courbe usuelle (en pointillé). Au contraire, le physicien s'intéresse au travail du métal, beaucoup plus grand dans la section diminuée d'où se produit la rupture.

courant sera d'autant plus faible que sa température sera plus faible. Les meilleurs conducteurs, tant de la chaleur que de l'électricité, seront ceux qui auront le plus d'aptitude à libérer les électrons : tels sont l'argent, le cuivre, le sodium, les métaux en général par opposition aux isolants qui sont dépourvus de gaz électronique.

L'état métallique

Telle est la conception actuelle de l'état métallique. Les métallurgistes, estimant que c'était bien moins la façon dont les métaux cassent que la charge à laquelle ils cassent qui les intéressait, ont toujours négligé son étude. La Physique leur a récemment apporté une belle moisson de résultats. Elle leur a montré l'influence insoupçonnée, *a priori*, du poli superficiel des métaux fragiles; le rôle primordial des très faibles impuretés, puisque 0,01 % suffisent à doubler la résistance mécanique du fer pur; enfin, l'action prépondérante dans le mécanisme de la rupture de cette couche superficielle et intercrystalline

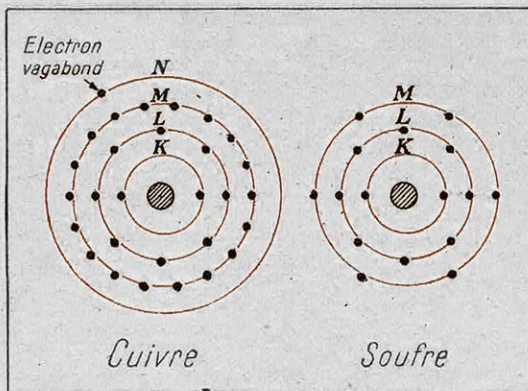


FIG. 15. — CONDUCTEURS ET ISOLANTS

Le cuivre est un bon conducteur parce que le dernier électron de sa couche périphérique se sépare facilement de l'atome : il s'ionise facilement. Dans le soufre, au contraire, les six électrons de la dernière couche restent rigidement attachés à l'atome. On peut ainsi prévoir a priori, d'après la constitution des atomes d'un corps telle que la révèle la table de Mendeleïeff, s'il sera conducteur ou isolant.

feu fixait une valeur limite du rendement des machines thermiques. De même que cette valeur théorique devint le but assigné aux efforts des techniciens, la valeur que nous fournissons les calculs de Born, servira peut-être de but aux recherches des métallurgistes et sa grandeur même ne peut qu'autoriser les plus beaux espoirs.

André MOLES.

de métal amorphe, vitreux, dont des expériences récentes sur la diffraction électronique ont confirmé l'existence pressentie par Beilby. Elle est responsable de la cohésion et du fluage, responsable aussi, semble-t-il, par sa tension superficielle, de la forme des entailles qui provoquent la rupture fragile.

Enfin, la Physique a donné une valeur théorique maximum de la résistance à la rupture. La belle affaire ! dirent les métallurgistes, elle est cent fois plus grande que les résultats de l'expérience.

Carnot, en 1830, dans des réflexions purement spéculatives sur la puissance motrice du

Les légumes et les fruits sont des produits vivants et, comme tels, ils brûlent peu à peu leurs réserves en dégageant du gaz carbonique et en produisant de la chaleur. Le phénomène, insensible sur de petites quantités, devient important dans les locaux où l'on entasse des stocks considérables, et on doit alors évacuer les calories produites, sous peine de voir les salles atteindre une température où les légumes et les fruits se détérioreraient très rapidement. L'évaluation de la quantité de chaleur à dissiper se fait ordinairement par la mesure de la quantité de gaz carbonique dégagée. On a voulu récemment, aux Etats-Unis, vérifier la valeur de cette méthode par des mesures calorimétriques de grande précision. Green, Hukill et Rose ont employé pour cela comme enceintes calorimétriques des vases de Dewar-d'Arsonval parfaitement isolés de 7 litres de capacité, dans lesquels la température était maintenue constante à un millième de degré près. En même temps, on mesurait la quantité de gaz carbonique dégagée par le produit étudié. Ces expériences ont montré que la quantité de gaz carbonique donnait une idée suffisante de la chaleur dégagée, avec cependant des écarts qui peuvent atteindre 10 %. Les pois et les fraises sont les aliments végétaux qui respirent le plus activement : ils dégagent 6 000 à 12 000 grandes calories par tonne et par jour à la température de 18,3°; les pommes et les oranges donnent des valeurs moyennes et les pommes de terre viennent en dernier lieu avec 300 grandes calories par tonne et par jour. Le froid suspend d'ailleurs cette respiration et empêche le fruit de gaspiller ses réserves. A 7,2°, la chaleur de respiration des pommes et des fraises tombe à une valeur cinq fois moindre; cependant, on n'observe pas d'abaissement sensible pour la pomme de terre.



LE JUNKERS JU 87 EFFECTUANT UN LANCEMENT EN PIQUÉ

T W 40016

COMMENT ACCROITRE LA RÉSISTANCE PHYSIOLOGIQUE DES AVIATEURS DANS LES ACROBATIES ET LES PIQUÉS

par Pierre DEVAUX

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

L'aviation de combat exige des appareils des performances (vitesse horizontale et ascensionnelle, plafond) toujours plus élevées, et elle leur impose des manœuvres acrobatiques : piqués, ressources, etc., qui mettent durement à l'épreuve la solidité de leur construction. Mais la recherche des performances élevées n'est pas un problème de technique pure, car l'ingénieur doit tenir compte non seulement de la résistance des matériaux qu'il emploie pour la fabrication de l'avion, mais encore de celle de l'organisme de l'homme qui l'utilise. Il faut faire appel au physiologue pour sélectionner les équipages et vérifier l'intégrité de leurs organes des sens, de leurs réflexes, etc... Il faut aussi étudier les divers malaises auxquels sont exposés les aviateurs et qui peuvent aller jusqu'à la perte de connaissance : mal des décompressions, des recompressions, du manque d'oxygène à grande altitude et enfin mal des accélérations auquel donnent lieu plus particulièrement les manœuvres acrobatiques, les lancements par catapulte et les bombardements en piqué.

LA guerre aérienne, avec l'accroissement constant des accélérations et des vitesses, a complètement renouvelé le problème physiologique de la résistance de l'organisme humain aux efforts mécaniques. A l'acrobatie aérienne proprement dite, nécessitée par les combats aériens, sont venues s'ajouter des manœuvres spéciales, telles que le bombardement en piqué et en semi-piqué, qui occasionnent des forces centrifuges très élevées. Dans ce domaine, il est incontestable que la machine « surclasse » l'homme, la déficience physiologique de l'équipage limitant les performances que les ingénieurs se chargent, dès aujourd'hui, de réaliser.

Aussi voyons-nous se dessiner deux solutions très différentes. D'une part, l'adoption de freins aérodynamiques à « persiennes » (type Junker 88) ou à « queue ouvrante » (type Dornier 217), autorise une réduction de la vitesse de l'avion, donc de l'intensité de la force centrifuge. D'autre part, on s'efforce, par des dispositions relatives au pilote : sangle pneumatique abdominale, bandes molletières, sièges incli-

nés, addition de gaz carbonique dans l'appareil respiratoire, d'améliorer la résistance de celui-ci aux efforts les plus violents de la force centrifuge. Une solution très hardie, la position couchée, aurait permis d'atteindre pour la force centrifuge, le chiffre record de 14 g, soit quatorze fois l'intensité de la pesanteur, que le pilote peut supporter durant deux à trois minutes. Cette performance, encore toute récente, semble appelée à bouleverser les conditions des vols d'acrobatie et de piqué, les problèmes de parachutage — la suppression du parachute pouvant être théoriquement envisagée —, ainsi que les conditions éventuelles de la navigation interplanétaire.

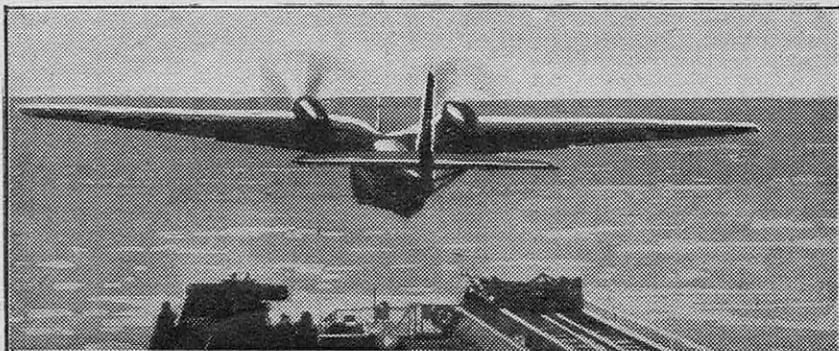


FIG. 1. — LE CATAPULTAGE DE L'HYDRAVION TRANSATLANTIQUE DE 20 TONNES DORNIER DO 26

T W 40011

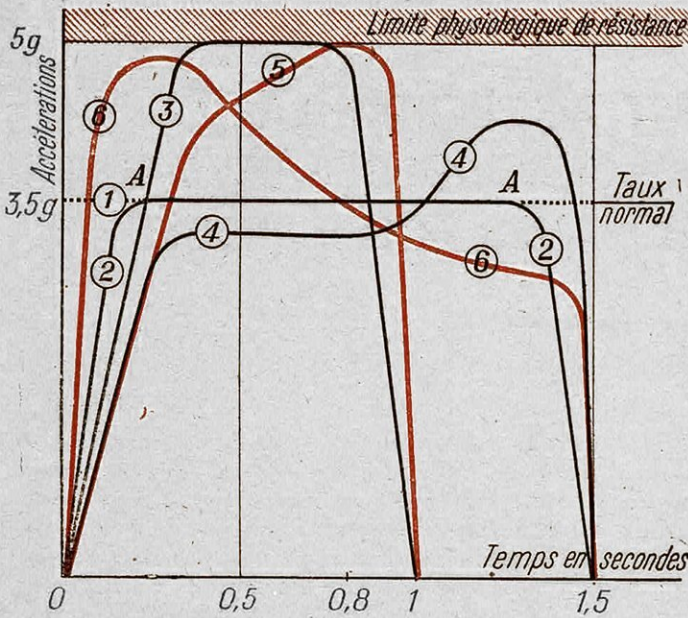


FIG. 2. — LA COURBE OPTIMUM DES ACCÉLÉRATIONS POUR LE CATAPULTEMENT D'UN AVION

La course de l'avion sur la catapulte étant limitée en longueur, on a intérêt à appliquer à l'avion l'accélération la plus élevée possible. L'horizontale AA (courbe 1) correspond à une valeur constante de l'accélération pendant la course, hypothèse simple qui suffit pour les calculs de construction mécanique. Les accélérations ne pouvant s'établir instantanément, une courbe 2 à pentes raccordées se substitue nécessairement en pratique à cette courbe théorique. La courbe 3, représentant une accélération brève et forte, est équivalente au point de vue fatigue de l'organisme à la courbe 2, tout en atteignant 5 g pendant 0,8 seconde; mais elle permet l'emploi d'une catapulte deux fois moins longue. La courbe 4, comportant un maximum final, est particulièrement bien adaptée au mode de résistance de l'organisme. La courbe 5 réunit les avantages des courbes 3 et 4. Malheureusement, la courbe réelle 6, correspondant au fonctionnement des catapultes, est fort différente de cette courbe idéale.

Limites d'accélération au catapultage

Pour le lancement des avions à bord des navires, il est nécessaire de disposer, soit de plateformes très longues, soit de catapultes à forte accélération; la plupart de ces derniers engins fonctionnent à l'air comprimé, parfois par explosifs.

On admet que la vitesse minimum à donner à un avion pour assurer sa sustentation au départ, est d'environ 120 km/h, soit 33 m/s; les catapultes courantes sont réglées pour fournir une vitesse de 35 m/s. Pour obtenir cette vitesse, tout en conservant à la catapulte des dimensions raisonnables, on est conduit à utiliser les accélérations maxima acceptables pour le personnel et le matériel. L'expérience

FIG. 3. — LA COMPOSITION DES FORCES LORS D'UNE « RESSOURCE » APRÈS UN PIQUÉ

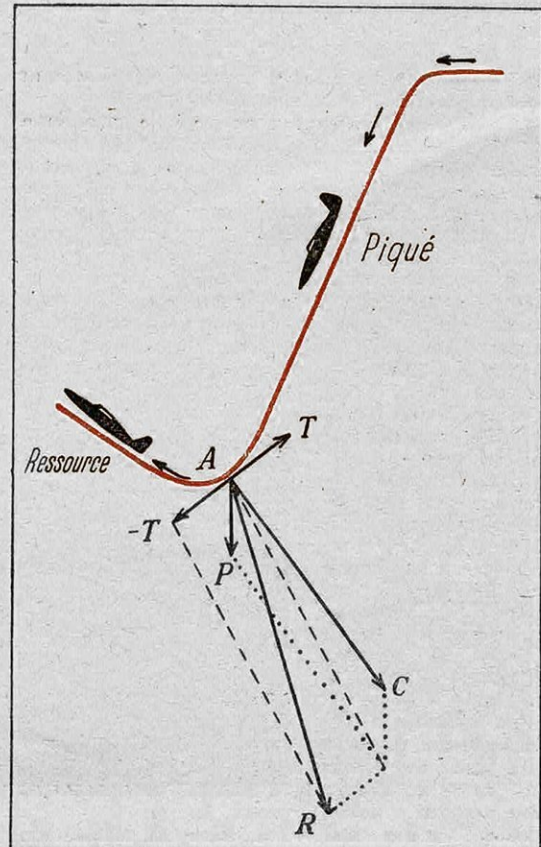
Un corps A situé à bord de l'avion exerce sur son siège une force qui est la composante de son poids P, de la force $-T$ (T étant la force de décélération due au fonctionnement du frein aérodynamique) et de la force centrifuge C, normale à la trajectoire et dirigée vers sa partie convexe. La résultante R des trois forces ne doit pas dépasser 5 à 7 fois le poids normal du corps suivant l'équipement du pilote.

a prouvé que des accélérations de l'ordre de 50 m/s par seconde peuvent être supportées sans dommage par le pilote pendant un temps de l'ordre de la seconde. Cette accélération est sensiblement quintuple de l'intensité de la pesanteur g (9,81 m/s par seconde).

Durant la période d'accélération, les différents corps pesants, situés à bord de l'avion, sont soumis à un effort d'inertie égal à cinq fois leur poids. Un cerveau humain pesant 1 kg doit résister à un effort de 5 kg, exercé par la paroi arrière du crâne; un corps humain pesant 75 kg se trouve soumis à un effort de 375 kg. Il est, par suite, nécessaire de prévoir des dossiers et des appuie-têtes très étudiés. Dans les applications civiles : marine marchande, lancement des avions postaux, on juge prudent, en général, de ne pas dépasser un maximum de l'ordre de 3,5 g.

Formes des courbes d'accélération

En réalité, le problème est beaucoup plus complexe du fait de la forme de la courbe d'accélération. Il est commode, en première approximation, de considérer les efforts d'inertie produits au cours



du catapultage, comme *du* à une accélération constante; on opère alors les calculs d'espace et de vitesse suivant les formules classiques de la chute des corps, en remplaçant g par la valeur constante de l'accélération. Tel est le cas de l'horizontale A (fig. 2).

Si cette simplification introduit peu d'erreurs au point de vue des calculs mécaniques, elle fausse entièrement l'étude du comportement physiologique. Il ne faut pas oublier qu'un organisme vivant est sensible au *maximum* de l'accélération plus qu'à sa valeur moyenne. Ainsi, un avion qui recevrait un choc formidable au début de sa course n'emporterait plus qu'un cadavre.

Un second effet physiologique intervient ici : c'est que l'organisme est sensible, également, à la *variation* de l'accélération, c'est-à-dire à la dérivée troisième de l'espace parcouru. Il est bien connu que nous avons l'habitude, dans la vie quotidienne, d'éviter les efforts intenses brusquement appliqués; les passagers du métro, des voitures ou autobus supportent aisément des efforts centrifuges considérables, alors que la secousse ou *percussion*, brusquement appliquée, devient rapidement intolérable. Ceci conduit à éviter, pour la courbe d'accélération une pente initiale trop raide.

Il existe un troisième effet, assez mal expliqué par les physiologistes, qui se manifeste comme une *fatigue* rapide de l'organisme. Pratique-

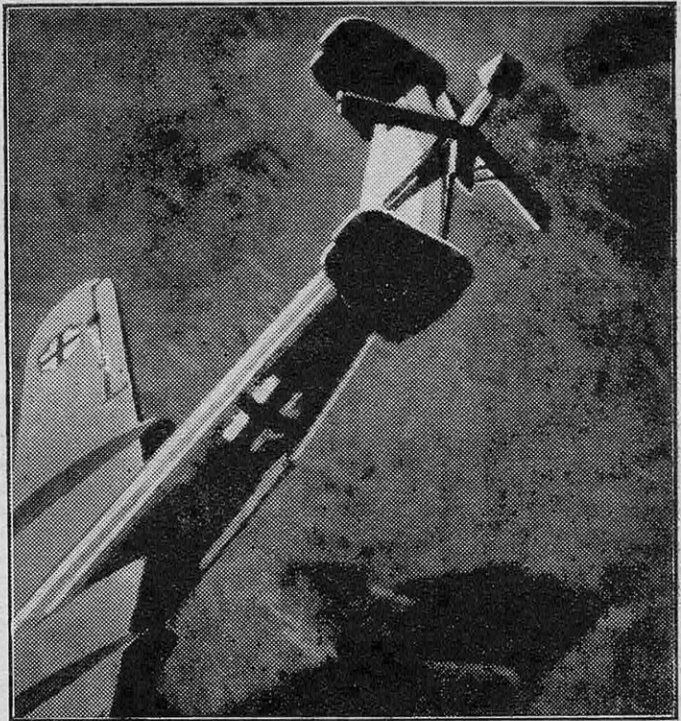


FIG. 5. — LE DORNIER DO 217 EN PIQUÉ AVEC SON FREIN DE QUEUE DÉPLOYÉ

T W 40013

ment, une accélération forte et brève est mieux tolérée qu'une accélération moins forte mais plus longue. Ainsi, la fatigue physiologique produite par une accélération de 5 g, durant 0,8 seconde (courbe 3), équivaudrait à la fatigue produite par une accélération de 3,5 g agissant 1,5 seconde (courbe 2). La première est beaucoup plus avantageuse au point de vue pratique, car elle permet d'utiliser une catapulte deux fois moins longue.

Certaines expériences semblent indiquer que la forme la meilleure serait celle qui fait prédominer l'accélération en fin de course, comme l'indique la courbe 4. La courbe synthétique qui tient compte de ces desiderata très divers est la courbe 5. Elle présente une pente de début raide, sans excès, une partie inclinée avec un maximum égal à 5 g au bout de 0,8 seconde, puis une chute brusque avec retour à 0 au bout d'une seconde. Cette courbe idéale est assez différente de la courbe réelle 6 relevée sur les catapultes en service et qui, pour des raisons constructives, possède une pente au départ très raide et un maximum dans les premiers dixièmes de seconde.

Voici quelques chiffres relatifs à une catapulte de navire de guerre. La longueur de la catapulte (course utile) est de 21 m, l'air de lancement, admis à la pression de 100 atmosphères, agit par un piston sur

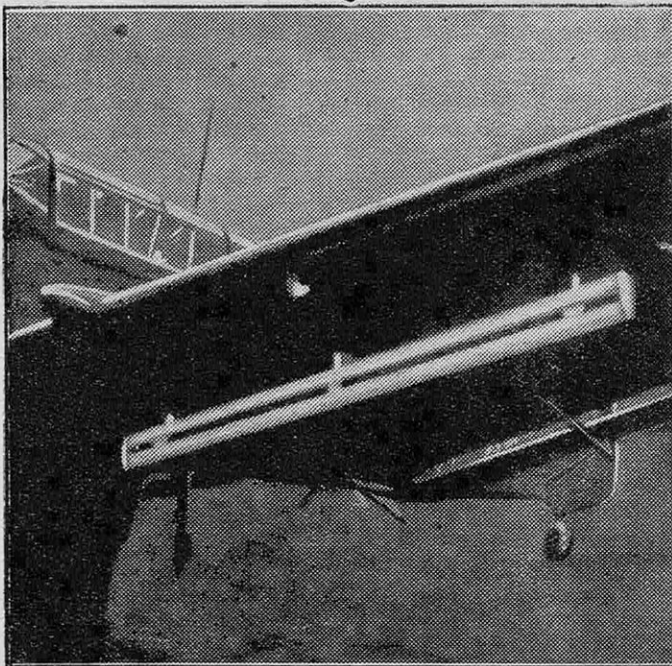


FIG. 4. — LE FREIN DE PIQUÉ DU STUKA JUNKERS JU 87 EN POSITION ABAISSÉE

T W 40012

un palan multiplicateur de vitesse à 6 brins. Cet engin peut lancer des avions de 3 tonnes; le chariot porte-avions est arrêté sur une longueur de 2,5 m par des freins mécaniques et à air.

Des catapultes exceptionnelles, capables de lancer des avions de 15 tonnes, ont été utilisées avant la guerre dans l'Atlantique Sud; la course

rissage fait perdre 50 km/h et si le déploiement des volets d'intrados en fait perdre autant, la « décélération » correspondante semble rarement dépasser 0,5 g.

Il n'en est pas de même pour les accélérations centrifuges, qui peuvent prendre des valeurs énormes dans toute évolution un peu

vive, du fait qu'elles sont proportionnelles au carré de la vitesse.

Les chiffres suivants semblent courants, actuellement, dans les attaques en piqué. L'avion commence par s'approcher de la verticale du but à 500 km/h, puis il pique suivant une trajectoire très inclinée, au cours de laquelle la vitesse peut atteindre 800 km/h. Le pilote lâche sa bombe et redresse son appareil, par une brusque « ressource » ou « chandelle », pour éviter le sol; il décrit un arc de 700 m de rayon (virage vertical), l'accélération centrifuge s'élevant alors à 7 g, ce qui paraît considérable. Les ressources actuelles comportent des arcs de cercles de 90 à 120°, raccordés à des alignements droits inclinés à 45 ou 60°.

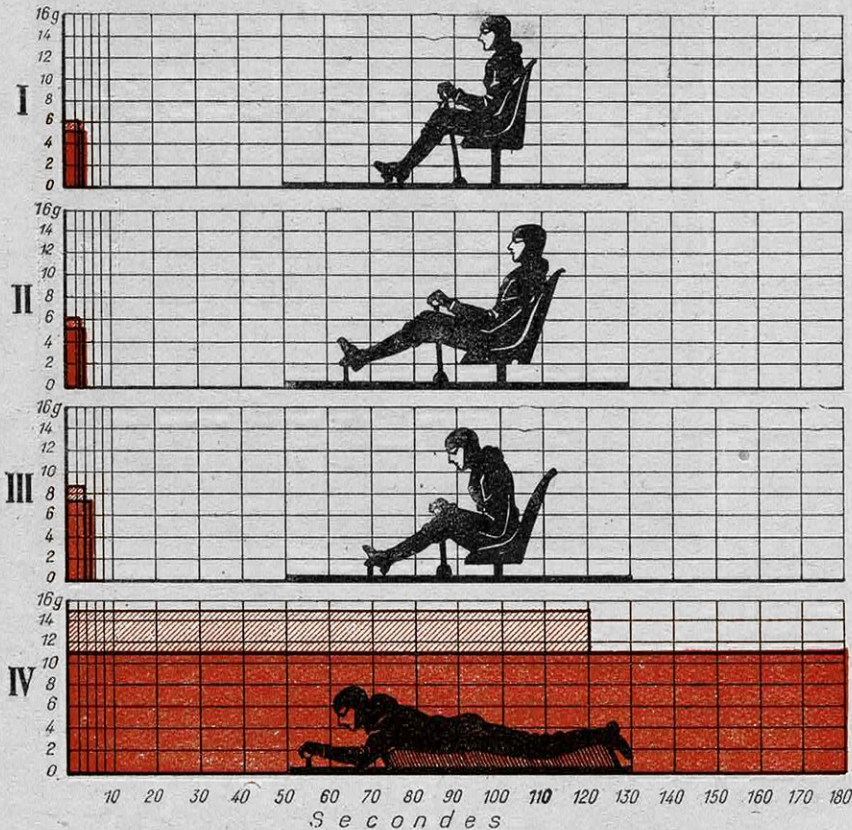


FIG. 6. — LA RÉSISTANCE DU PILOTE AU MAL DES ACCÉLÉRATIONS SUIVANT SA POSITION DANS L'APPAREIL

En I, dans la position assise normale, le pilote supporte une accélération centrifuge de 5 à 6 g pendant 3 à 4 secondes. Avec un siège plus bas et en position légèrement inclinée en arrière (II), il supporte 5,5 à 6,5 g pendant la même durée. En se penchant en avant (III), l'accélération supportée passe entre 7 g et 8,5 g pour une durée de 4 à 5 secondes. Enfin la position couchée IV est incomparablement plus favorable puisque des accélérations de 11 à 15 g sont supportées pendant deux à trois minutes.

du chariot atteignait 42 m, dont 32 pour l'accélération. La vitesse obtenue était de 150 km/h en 1,5 seconde, l'accélération se situant aux environs de 3,5 g.

L'instant critique du « piqué »

Les accélérations en vol sont complexes, et sont régies par les six « degrés de liberté » d'un corps solide isolé dans l'espace, soumis à toutes les réactions de l'atmosphère; l'avion peut recevoir des accélérations faisant un angle quelconque avec sa trajectoire, sans préjudice des rotations brusques.

Lors d'une rafale — « coup de tabac » — les chocs du vent sur les plans se traduisent par des accélérations fort pénibles pour les occupants; les accélérations positives ou négatives dans le sens de la trajectoire sont moins pénibles. Si le fait de sortir le train d'atter-

per plus rapidement aux coups de la D.C.A.

Les freins aérodynamiques à persiennes ont marqué, à ce point de vue, un grand progrès; ces persiennes se présentent comme des volets pivotants, logés sous le corps de l'avion, et qui peuvent se placer perpendiculairement à la marche par le simple jeu d'un levier; la déflexion de l'air se traduit par la formation d'un énorme « sac de vide » situé à l'arrière de l'avion, et qui exerce un puissant effort de freinage.

La « queue ouvrante » intervient dès le début de la plongée en piqué; son rôle est double, à la fois freineur et stabilisateur. Mais c'est principalement du côté de la protection du pilote que s'exercent actuellement les recherches.

Dans la position considérée jusqu'ici comme normale, assis avec les cuisses presque horizontales, le pilote est soumis à la force centrifuge qui s'exerce parallèlement aux gros

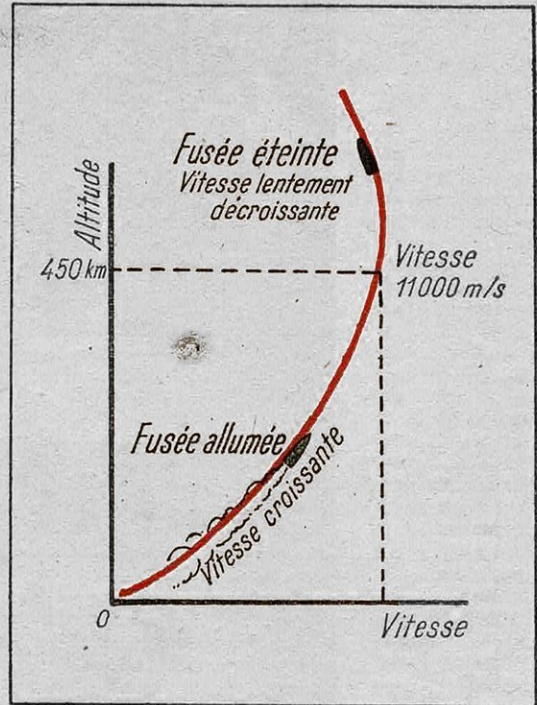
FIG. 8. — LE LANCEMENT D'UN PROJECTILE INTERPLANÉTAIRE AU MOYEN D'UNE FUSÉE FONCTIONNANT UNIQUEMENT AU DÉPART

L'accélération de 14 g, que l'homme en position couchée supporte pendant 120 s, permettrait à une fusée d'atteindre une vitesse dépassant la valeur nécessaire pour qu'un projectile échappe au champ d'attraction terrestre. En 80 secondes, une fusée communiquerait au projectile une vitesse de 11 000 m/s si on fait abstraction de la résistance de l'air, et cette vitesse est suffisante pour le libérer du champ terrestre.

vaisseaux du cou, du corps, et des jambes; ce sont là des conditions très défavorables, qui se traduisent par une irrigation excessive de l'abdomen et des jambes, aux dépens du cerveau et des organes des sens.

Comme les capillaires et les veines sont mous, et que les artères sont élastiques, 1 à 2 litres de sang, sur les 5 litres que contient normalement l'organisme, peuvent se trouver refoulés rapidement aux extrémités inférieures, où ils forment une stase variqueuse, tandis qu'il y a raréfaction du liquide nourricier dans le cœur et dans la tête.

La pression maximum — pression systolique — aux ventricules baisse, et le pouls diminue. L'organisme assurément réagit, notamment par une accélération du cœur, vraisemblablement due à une décharge d'adrénaline. Mais cette réaction de défense est tardive, elle n'apparaît qu'au bout de 15 à 20 secondes; elle est donc sans utilité, car les troubles surviennent au bout de 3 à 4 secondes, sauf si le sujet est particulièrement jeune et robuste. Une ressource, au surplus, dure rarement plus de 10 secondes.



Si l'accélération dépasse 4 g, on constate successivement, au bout de 3 à 4 secondes, les troubles suivants : le champ visuel s'obscurcit progressivement jusqu'à cécité complète, la rétine n'étant plus suffisamment irriguée; puis les muscles des membres se refusent à tout service sans qu'il y ait encore perte de connaissance : c'est le collapsus, bientôt suivi d'une perte complète de connaissance, constituant la syncope proprement dite, celle-ci serait rapidement suivie de mort si elle persistait.

La rapidité de ces manifestations ne doit pas surprendre. Il ne faut pas oublier que le cœur battant normalement au moins une fois par seconde débite 175 grammes de sang à chaque pulsation; le sang circule très vite, à 45 cm par seconde environ dans les gros vaisseaux. Des recherches récentes indiquent qu'il suffit de 30 secondes, en moyenne, à un même globule sanguin pour revenir au cœur; ce chiffre s'abaisserait à 8 secondes pour des circuits de faible longueur, par exemple, pour le retour au cœur du sang qui a irrigué l'œil.

Pratiquement, cette soudaineté des troubles est dangereuse, surtout par sa répétition, car le pilote doit souvent exécuter cinq à six manœuvres consécutives.

Comment on protège le pilote

Actuellement, on cherche à atteindre des accélérations de 7 g de

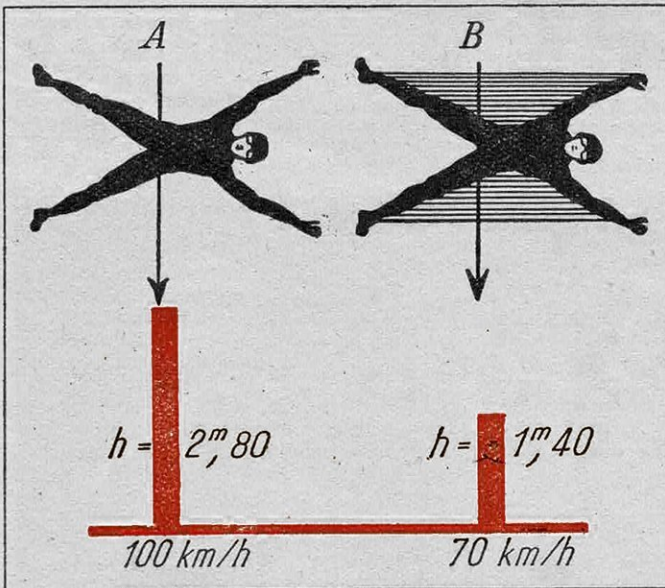


FIG. 7. — COURSE NÉCESSAIRE POUR AMORTIR LA CHUTE D'UN HOMME TOMBANT D'UNE HAUTEUR QUELCONQUE

L'homme atteint au bout d'une certaine distance de chute libre une vitesse limite qui dépend de la résistance de l'air. S'il tombe à plat, bras et jambes étendus, cette vitesse est de 100 km/h. S'il freine sa chute par une surface portante minime, la vitesse limite s'abaisse à 70 km/h. Dans le premier cas il faut 2,80 m pour amortir la chute avec la décélération limite (14 g) que l'homme peut supporter en position couchée. Dans le second cas, la course nécessaire s'abaisse à 1,40 m.

façon courante. Voici quelques-uns des moyens qui ont été préconisés.

Il est utile d'entourer les jambes du pilote de bandes serrées et de sangler l'abdomen à l'aide d'une ceinture à double enveloppe que l'on gonfle à l'air comprimé. Le gain ainsi obtenu peut atteindre 0,5 à 1 g.

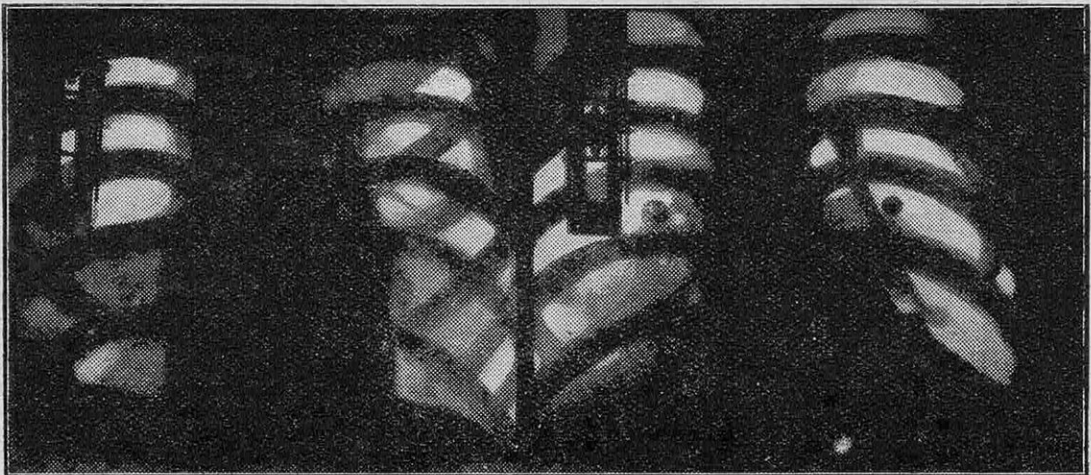
Dans l'appareil respiratoire, il est utile de remplacer une fraction de l'oxygène par du gaz carbonique : ce gaz, dont le stimulus respiratoire est



FIG. 9. — UNE INSTALLATION RADIOGRAPHIQUE A BORD D'UN BOMBARDIER ALLEMAND JUNKERS 87 POUR L'ÉTUDE DES EFFETS PHYSIOLOGIQUES DES ACCÉLÉRATIONS

T W 40014

Le sujet à observer se trouve assis sur le siège arrière de l'appareil, normalement occupé par l'observateur. La lampe à rayons X est placée derrière son siège et irradie la plaque sensible qu'il porte devant lui à travers le dossier du siège, transparent aux rayons X. Le médecin expérimentateur est placé sur un siège tournant le dos au sens de la marche et placé entre le pilote et le sujet examiné.



T W 40015

FIG. 10. — RADIOGRAPHIE D'UN THORAX HUMAIN PENDANT LE VOL HORIZONTAL (A GAUCHE) ET PENDANT UNE RESSOURCE APRÈS PIQUÉ (A DROITE)

La tache noire qui correspond au cœur diminue de volume, le sang descend vers l'abdomen et les jambes sous l'effet de l'accélération de 6,5 g correspondant à la ressource. Le sujet, peu résistant, est tombé en syncope. En haut et à gauche de la radiographie on aperçoit en silhouette un accéléromètre de construction très simple constitué par une masse suspendue à un ressort et se déplaçant dans un manchon de verre.

bien connu, provoque une réaction de défense avec circulation rapide. Le cerveau et les organes des sens se trouvent, par suite, mieux irrigués, ce qui retarde l'établissement du fameux « voile noir » ; le gain est encore de 0,5 à 1 g.

Mais c'est dans de nouvelles dispositions du siège de l'aviateur que l'on peut espérer les bénéfices les plus importants. Il est essentiel de placer les genoux au moins à la hauteur du bassin, et d'incliner le buste en avant de 90°, si possible. On diminue ainsi la distance — comptée dans le sens de la force centrifuge, perpendiculairement à la trajectoire de l'a-

vion — qui sépare le cœur des extrémités inférieures des gros vaisseaux d'une part, du cerveau d'autre part. En outre, les gros vaisseaux ne sont plus parallèles à la direction de la force centrifuge. Cette disposition oblige à modifier, non seulement la place et la forme du siège, mais aussi certaines commandes. La transformation a été faite sur quelques types d'avions; on a gagné ainsi de 2 à 2,5 g. En cumulant ces différents artifices, on peut atteindre des accélérations centrifuges de 6 g.

Des essais récents ont permis de préciser que la meilleure attitude est l'attitude *couchée* sur le dos ou sur le ventre. Dans ces conditions, le pilote peut supporter sans troubles visuels de 11 à 12 g sur le ventre, et jusqu'à 14 g sur le dos, durant des temps considérables : 120 secondes pour des pilotes normaux, 180 secondes pour des sujets exceptionnels. On est uniquement limité dans cette voie par la gêne de la respiration, la difficulté d'une vision suffisamment dégagée et d'une exécution correcte des manœuvres, ainsi que par la nécessité de bouleverser les commandes.

La digestion, qui exige un afflux de sang aux viscères du tronc, retarde également les troubles et permet de gagner 1,5 à 2 g. Un déjeuner confortable, précédant le départ, semble peu à conseiller aux pilotes de guerre; il est, au contraire, tout indiqué pour les passagers des lignes civiles sur avions rapides.

Vers la suppression du parachute

La possibilité de soumettre l'organisme humain, sans dommages excessifs, à des accélérations aussi élevées, paraît susceptible de modifier profondément les idées que l'on s'est faites jusqu'ici sur les possibilités du parachutage et du lancement par fusées. Un corps humain abandonné dans l'espace « en chute libre » ne dépasse pas une vitesse limite de 250 km/h, du fait de la résistance de l'air. Clem Sohn

avait montré qu'en s'équipant de petites ailes et d'une queue en toile triangulaire, il est possible de réduire considérablement cette vitesse et de « nager sur l'air » durant de longues minutes; parti d'un avion, il s'en alla planer à plus d'un kilomètre de son point de départ. Pour un homme totalement dépourvu de parachute et d'ailes, il est encore possible de « faire la planche sur l'air » en étendant bras et jambes. La vitesse limite, dans ces conditions, ne dépasse pas 100 km/h.

Tout le problème consiste à savoir si l'on peut freiner, sans accidents graves, un corps humain arrivant à 100 km/h. Dans la position optimum, qui est précisément la position couchée, et qui permet de supporter une accélération négative de 14 g, un homme arrivant à 100 km/h, pourrait être arrêté en 1/5 de seconde, c'est-à-dire sur un parcours de 3 m. Théoriquement, le parachute pourra donc être supprimé, dès que nous saurons construire des amortisseurs capables de réaliser ces conditions.

Pour la *navigation interplanétaire*, les conséquences ne sont pas moins surprenantes. On a toujours admis que l'équipage et les passagers d'un véhicule astronautique ne devraient être soumis qu'à des accélérations très faibles; par suite, la tuyère propulsive devrait fonctionner durant une partie importante du voyage.

La possibilité de soumettre l'organisme humain à des accélérations de 14 g pendant 120 secondes, montre qu'il sera possible de lancer l'astronef, avec ses occupants, à une vitesse très supérieure à la fameuse « vitesse d'évasion planétaire » de 11 000 m/s, nécessaire pour atteindre la lune et les planètes du système solaire. La tuyère pourra ensuite être stoppée... La fantaisiste anticipation de Jules Verne : un projectile cylindro-conique contenant 3 voyageurs, et lancé vers la Lune par un canon, n'était point aussi absurde qu'on l'avait supposé jusqu'ici!

Pierre DEVAUX.

Certains pays possèdent des gisements de tourbe beaucoup plus considérables que les gisements français et dont l'exploitation exige un matériel puissant et moderne. Dans la région de Pernau, en Estonie, la construction d'une grande fabrique de briquettes de tourbe a été achevée en 1939 pour mettre en valeur un gisement de 2 500 ha sur une profondeur moyenne de 2 à 3 m. Cette fabrique est entièrement mécanisée. Le terrain marécageux est asséché par un système de rigoles dont la longueur atteint actuellement 220 km. Puis la couche supérieure est attaquée sur une profondeur de 15 cm par une sorte de fraise et elle est réduite en une masse finement divisée, puis exposée à l'air et retournée jusqu'à ce que sa teneur en eau s'abaisse à 50 %. Elle est alors ramassée mécaniquement. La récolte, qui dure de la fin du printemps à la fin de septembre, produit 400 000 m³ de tourbe broyée, dont un tiers est traité sur-le-champ et les deux tiers sont emmagasinés pour l'hiver. La tourbe, purifiée, tamisée et séchée jusqu'à 10 % d'humidité, est agglomérée en briquettes sous une pression de 1 500 kg/cm² à la température de 100°. La valeur calorifique de ces briquettes varie entre 4 000 et 4 200 calories/kg. L'usine est assurée de pouvoir fonctionner pendant 70 ans au rythme actuel de l'exploitation.

L'ACCOOL EST-IL UN ALIMENT ?

por Jean HÉRIBERT

La querelle des partisans et des adversaires des boissons alcooliques est fort ancienne, et nous ne sommes pas près de la voir s'éteindre : à présent que les problèmes alimentaires sont, par la force des choses, au premier plan de nos préoccupations, les restrictions diverses apportées à la consommation des boissons alcooliques rendent même plus actuelle que jamais la question du rôle qu'elles jouent dans notre ration alimentaire. Mais si les arguments d'ordre moral et social, ainsi que ceux tirés de quelques expériences physiologiques devenues classiques, continuent à fournir des armes aux polémistes de l'un et l'autre parti, il semble que les travaux scientifiques plus modernes aient échappé à leur connaissance. Leurs résultats sont pourtant de nature à trancher définitivement certains points du différend et — sans pour cela négliger l'importance des facteurs autres que ceux d'ordre purement physiologique — c'est à leur lumière qu'il faut aujourd'hui considérer la question de l'alcool-aliment.

LA question de savoir si, oui ou non, les boissons alcooliques en général et le vin en particulier possèdent une valeur alimentaire due à leur teneur en alcool (1) est restée irrésolue jusqu'au début de notre siècle.

On avait bien tenté dans divers pays un certain nombre d'expériences, mais l'imprécision des moyens de mesure mis en œuvre empêchait de tirer de leurs résultats contradictoires une conclusion définitive. Des observations accidentelles avaient même précédé l'expérimentation directe, et Liebig écrivait dès 1852 : « Depuis l'établissement des sociétés de tempérance on croit équitable, dans beaucoup de ménages anglais, de compenser en argent la bière que recevaient tous les jours les domestiques, et dont ils s'abstenaient une fois membres de ces sociétés. Mais on s'aperçut bientôt que la consommation du pain augmentait dans une proportion surprenante, de telle sorte qu'on payait la bière deux fois : une fois en argent, une autre fois en équivalent en pain ».

On rapporte également des observations faites par des paysans, telle celle d'un mulet à qui l'addition de vin à sa ration alimentaire permettait de déplacer une charge sensiblement supérieure à ses possibilités habituelles. Quant aux expériences proprement dites, citons celles de l'œnologue Ch. Roos, qui opéra, en 1901, avec des cobayes pour montrer la valeur alimentaire du vin. Mais c'est à Atwater et Benedict que revient l'honneur d'avoir démontré pour la première fois que l'alcool est un aliment en se servant d'appareils de mesure suffisamment précis pour obtenir des résultats incontestables (1904). Trois savants furent les sujets de ces expériences, dont chacune dura 24 heures. Ils pénétrèrent successivement dans le grand calorimètre d'Atwater-Rosa (fig. 1), où ils se livrèrent à l'activité restreinte que permettaient les dimensions de la chambre calorimétrique. Ils reçurent une ration d'entretien de 2300

(1) Il ne s'agit pas ici de la valeur nutritive que ces boissons peuvent devoir aux autres éléments qu'elles contiennent (glycérine, sucre, gommés, vitamines, etc...), mais uniquement de celle de leur constituant alcoolique.

calories dépassant de beaucoup les 1600 à 1800 calories du métabolisme de base (1), notion non encore dégagée à l'époque, et les expériences montrèrent que si on remplaçait 500 calories de cette ration par une quantité *isodynamique* (c'est-à-dire équivalente au point de vue énergétique) d'alcool éthylique — 72 grammes donnés en plusieurs fractions — la substitution n'entraînait ni perte ni gain d'azote ou de carbone, et la calorification totale restait inchangée.

Les études d'Atwater et Benedict prouvent donc que l'alcool est brûlé par l'organisme humain et qu'il remplace *isodynamiquement* les aliments énergétiques pour la couverture d'une partie de nos besoins alimentaires. Ces expériences ont été confirmées en 1907 par celles de Gréhaut, qui prouva que l'alcool absorbé par un animal ne se retrouvait au bout d'un certain temps, ni dans le sang, ni dans les tissus, ni dans les produits d'excrétion et qu'il fallait en conclure à une oxydation totale. Mais s'il était dès lors définitivement établi que l'alcool était un aliment, son mode d'utilisation par l'organisme restait encore inconnu et devait faire pendant un quart de siècle l'objet de nombreux travaux de résultats contradictoires.

Comment l'alcool-aliment est-il utilisé par l'organisme ?

On sait que l'organisme utilise les aliments énergétiques à trois fins différentes :

1° Ils fournissent les calories nécessaires au maintien de l'homéothermie quand la température ambiante est inférieure à celle de neutralité thermique (1) (*aliments thermogènes*).

2° Ils fournissent l'énergie nécessaire au travail musculaire volontaire (*aliments de travail*).

(1) On appelle *métabolisme de base* l'activité physiologique minimum de l'organisme en l'absence de tout travail musculaire volontaire et au point de *neutralité thermique*; à cette température (environ 25° pour l'individu habillé) les calories dégagées par cette activité minimum suffisent à maintenir l'*homéothermie*, ou constance de la température de l'organisme, en compensant les pertes de chaleur.

3° Ils subviennent aux besoins du métabolisme de base (*métabolites cellulaires*).

Le problème qui nous occupe à présent est de savoir si, comme les autres aliments énergétiques, l'alcool peut servir indifféremment à satisfaire ces trois ordres de besoins. Il n'a pas été facile à résoudre, et une certaine incertitude a longtemps entaché les résultats obtenus, en raison de la toxicité de l'alcool, qui obligeait les expérimentateurs à n'opérer qu'avec des doses relativement faibles pour éviter toute perturbation due à l'état d'ébriété : la quantité d'alcool administrée étant peu élevée, ne saurait modifier d'une façon importante les échanges chimiques et énergétiques de l'organisme, et les méthodes indirectes basées sur la mesure de la variation de ces échanges n'ont pas une précision suffisante pour mettre en évidence la participation de l'alcool au métabolisme. C'est pourquoi des résultats définitifs n'ont pu être obtenus que depuis la mise au point par Nicloux en 1931 de techniques assez précises pour permettre des dosages à un milligramme près de l'alcool contenu dans le sang ou les tissus d'un animal. La détermination de l'alcool encore présent dans l'organisme après un temps déterminé donne en effet, par simple différence, la quantité d'alcool métabolisé :

Alcool oxydé dans l'organisme = alcool introduit — (alcool retrouvé dans le corps + alcool éliminé par les poumons et par l'urine).

On peut aussi étudier dans des conditions diverses la disparition progressive de l'alcool ingéré et en tirer des conclusions sur son mode d'utilisation par l'organisme.

L'alcool n'est pas un aliment thermogène

Pour étudier l'oxydation de l'alcool dans les tissus, il est commode d'introduire la notion de *coefficient d'éthyloxydation* : on nomme ainsi la quantité d'alcool brûlée par heure et par kilogramme de poids de l'animal. Si l'alcool est un aliment thermogène, c'est-à-dire s'il peut être utilisé pour couvrir les dépenses supplémentaires de calories imposées à l'organisme par un abaissement de la température ambiante, il s'en suit nécessairement qu'un tel abaissement doit entraîner une accélération de la combustion de l'alcool ingéré, et par conséquent, une aug-

mentation du coefficient en question. Or des expériences réalisées par M^{lle} Le Breton en 1936 sur des animaux homéothermes divers (lapins, cobayes, souris, rats) ont montré qu'il n'en est rien : le coefficient d'éthyloxydation est constant pour un individu donné, et *indépendant de la température extérieure*.

Contrairement à un préjugé presque universellement répandu, l'alcool est donc le type de l'aliment *non thermogène*, nullement utilisé dans la lutte contre le froid. La sensation

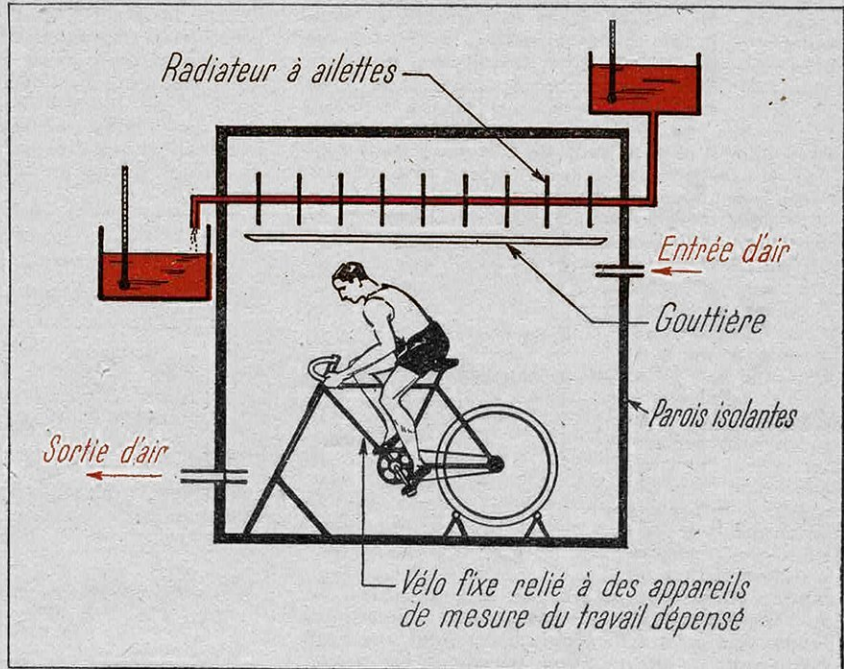


FIG. 1. — CALORIMÈTRE D'ATWATER

Dans cette chambre, parfaitement isolée au point de vue thermique, le sujet de l'expérience peut vivre et travailler pendant plusieurs heures, voire plusieurs jours. Le travail mécanique fourni est mesuré par des appareils enregistreurs. La chaleur produite est recueillie par de l'eau froide circulant dans un radiateur à ailettes de cuivre, et dont on mesure la température à l'entrée et à la sortie. Les aliments absorbés, les produits éliminés et l'air respiré pendant le séjour dans le calorimètre sont analysés très exactement. De plus l'état du sujet (condition physique, poids, etc...) doit être le même au début et à la fin de l'expérience. Grâce à ce dispositif, on peut étudier la transformation de l'énergie chimique des aliments en travail mécanique et en chaleur.

illusoire de chaleur ressentie par les buveurs est due à une vasodilatation périphérique qui provoque, en intensifiant la circulation sanguine, l'échauffement des terminaisons cutanées des nerfs thermiques. Il s'en suit que la sensation de froid n'est pas perçue, et que les réflexes vasoconstricteurs cutanés qui permettraient au sujet de limiter sa perte de chaleur ne se déclenchent point. L'effet réel de l'alcool est donc finalement d'augmenter le refroidissement de l'organisme.

Ces expériences, qui confirment d'ailleurs plusieurs travaux antérieurs exécutés par divers savants, ont mis hors de doute la nécessité d'une révision des résultats obtenus en 1929 par Terroine et Bonnet qui, attribuant à l'alcool une action dynamique spécifique (1) de 100 %, en

(1) L'action dynamique spécifique d'un aliment est la proportion minimum de son énergie que l'organisme transforme nécessairement en chaleur, qu'il ait ou non besoin de cette chaleur.

faisaient donc un aliment purement thermogène. En réalité, l'action dynamique spécifique de l'alcool est nulle, ainsi que l'ont par ailleurs prouvé des expériences directes.

L'alcool n'est pas un aliment de travail

En 1933 encore, l'un des meilleurs spécialistes des problèmes de nutrition, Thorne M. Carpenter, de Boston, aboutissait à la conclusion que la question de savoir si l'alcool peut ou ne peut pas être utilisé pour la contraction musculaire était loin d'être tranchée. Ici encore, ce sont les travaux de M^{lle} Le Breton qui sont venus apporter la lumière, après que de nombreux expérimentateurs n'aient abouti, pendant trente ans de recherches, qu'à des résultats contradictoires dont ceux mêmes qui furent confirmés par la suite étaient sujets à critiques en raison de l'imprécision des méthodes employées, directes ou indirectes.

Lorsqu'on étudie l'utilisation de l'alcool chez un sujet soumis à un travail musculaire, l'élimination d'alcool en nature par les émonctoires, notamment par les poumons, augmente sensiblement, introduisant ainsi une cause d'erreur non négligeable dont il faut tenir compte. Cette élimination, qui est, au repos, de 3 % de l'alcool ingéré, est accrue de quelques points par un travail modéré, et peut atteindre jusqu'à 15 % chez le chien soumis à un travail intensif, ainsi que l'ont montré Völtz et Baudrexel en 1911.

Les expériences de M^{lle} Le Breton portèrent sur des rats blancs, animaux se prêtant par leur taille à des déterminations précises et directes (1) de l'alcool consommé et susceptibles de fournir du travail en marchant dans une roue semblable à une cage d'écureuil : cette roue était étanche afin de recueillir l'alcool éliminé par l'urine et les poumons. Les rats employés étaient de souche pure, du Wistar Institute, afin d'obtenir des réponses physiologiquement uniformes d'un individu à l'autre. Les expériences furent menées sur des groupes de 8 rats, dont 4 restaient au repos et 4 étaient soumis au travail dans la roue. On détermina, puis compara les coefficients d'éthyloxydation des deux groupes de sujets, et cela en faisant varier leur régime alimentaire. La dose d'alcool était d'environ 1,5 g par kilogramme de poids vif. Les moyennes de ces expériences sont groupées dans le tableau 1, qui montre que le coefficient étudié reste constant dans la limite des erreurs expérimentales (2).

(1) Ces déterminations se font au moyen de la technique de Nicloux, déjà mentionnée plus haut, qui consiste à réduire l'animal en bouillie et à le distiller quantitativement.

(2) Au lieu de comparer les résultats obtenus avec des sujets différents soumis les uns au travail, les autres au repos, on a pu, par des déterminations de l'alcoolémie (taux de l'alcool dans le sang) éviter de sacrifier les sujets et calculer sur les mé-

Or, si l'alcool avait été utilisé dans le travail musculaire, les rats soumis au travail auraient nécessairement dû le brûler plus vite, et par conséquent avoir un coefficient supérieur. Ici encore, la constance du coefficient permet donc d'affirmer que, contrairement à l'opinion généralement répandue, l'énergie chimique de l'alcool ne peut être transformée dans l'organisme en travail mécanique. Ce résultat n'a d'ailleurs rien de surprenant pour les physiologistes, car la contraction musculaire se fait uniquement à partir du glycogène, et rien ne permet d'admettre la possibilité d'une synthèse alcool — glucose — glycogène.

Il est donc inexact que les travailleurs manuels des grandes villes et les ouvriers agricoles puissent boire impunément d'importantes quantités de boissons alcooliques sous prétexte que le travail musculaire qu'ils exécutent leur permet de brûler beaucoup d'alcool. Pas plus que les

Coefficient d'éthyloxydation	Régime alimentaire			
	Hydrates de carbone	Viande	Graisses	Jeune
Rats au repos (moyenne)	305	380	307	312
Rats au travail (moyenne)	315	382	310	300
Différence relative	+ 3 %	+ 0,5 %	+ 1 %	- 3 %

TABLEAU 1. — CONSTANCE DU COEFFICIENT D'ÉTHYLOXYDATION DES RATS SOUMIS AU REPOS ET AU TRAVAIL. (MILLIGRAMMES D'ALCOOL BRULÉS PAR HEURE ET PAR KILOGRAMME DE POIDS DE L'ANIMAL)

individus moins actifs, ou non actifs, ils ne sont à l'abri de l'intoxication alcoolique.

L'alcool est un métabolite cellulaire

Nous avons vu successivement que l'alcool possède indubitablement une valeur alimentaire, et que les travaux de M^{lle} Le Breton l'excluent sans appel des deux premières catégories d'aliments énergétiques (1). Il ne saurait donc appartenir qu'à la troisième, et nous devons par conséquent le ranger parmi les aliments capables uniquement de subvenir aux besoins du métabolisme basal. Ces derniers eux-mêmes relèvent de trois modes différents de dépense d'énergie :

1° Les résidus de thermorégulation hormonale (la thermorégulation, ou maintien de l'homéothermie, est commandée par certaines hormones comme l'adrénaline, la cortine, la thyroxine, dont le taux dans le sang, qui devrait être nul au point de neutralité thermique, garde cependant une valeur très faible, mais suffisante pour maintenir les mécanismes thermorégulateurs à un certain degré d'activité).

2° La contraction des muscles dont le fonctionnement ne peut pas s'interrompre (muscles lisses, cardiaques, respiratoires, tonus musculaire, etc...).

3° L'ensemble des oxydoréductions respon-

des individus le coefficient d'éthyloxydation au travail et au repos. Les résultats de ces expériences ont parfaitement concorde avec ceux des précédentes.

(1) Les conclusions de ces travaux, effectués sur des animaux, sont, sans aucun doute possible, applicables à l'homme, étant donnée l'identité des processus du métabolisme chez tous les homéothermes.

sables des synthèses qui s'exécutent de façon ininterrompue pour assurer la croissance de l'organisme jeune ou l'équilibre de l'adulte, et des oxydations indépendantes impliquées dans la respiration élémentaire des cellules du fait même qu'elles vivent.

Puisque l'alcool, on l'a vu, ne saurait participer à la thermogénèse, il est impossible de lui attribuer un rôle dans la thermogénèse résiduelle. De même, puisqu'il ne sert pas à la contraction musculaire volontaire, il ne peut évidemment pas intervenir dans la contraction des muscles en activité permanente, puisque dans les deux cas elle suit un processus identique. Le seul rôle que l'alcool est en mesure de jouer est donc d'assurer la respiration élémentaire des cellules. On possède d'ailleurs de ce fait des preuves indirectes tirées de la considération de la proportion maximum dans laquelle l'alcool peut assurer la couverture de dépenses énergétiques du métabolisme de base.

En premier lieu le fait que cette proportion n'atteigne en aucun cas 100 % montre bien qu'une partie des dépenses s'effectue toujours selon des processus physiologiques auxquels l'alcool ne saurait participer (thermogénèse résiduelle, contraction musculaire irréductible).

D'autre part, on voit cette proportion maximum varier d'une espèce animale à une autre en fonction de la thermorégulation résiduelle : chez le rat, où cette dernière est très importante, l'alcool ne peut couvrir que 50 % des échanges basaux. Chez le lapin et le coq, qui sont beaucoup mieux isolés thermiquement du milieu ambiant, la régulation chimique de l'homéothermie est beaucoup moins importante, ce qui permet à l'alcool de couvrir jusqu'à 75 % des échanges du métabolisme de base. Enfin chez les animaux poïkilothermes (1) comme la tortue, où la régulation thermique ne joue pas, cette proportion peut atteindre 90 %.

Comment l'alcool participe à la respiration cellulaire

L'oxydation de l'alcool en anhydride carbonique et eau dégage 7,1 calories par gramme. Comme toutes les oxydations qui ont pour siège l'organisme vivant, celle-ci se réalise par une série d'étapes intermédiaires dirigées chacune par un système enzymatique déterminé (Tableau II). C'est tout d'abord l'alcooldéhydrase qui a pour effet de rendre mobiles deux atomes d'hydrogène de la molécule d'alcool (ou d'aldéhyde), et de leur permettre ainsi d'être fixés par un transporteur d'hydrogène. L'hydrogène est cédé par ce dernier à d'autres transporteurs intermédiaires, et finalement se combine à l'oxygène du sang. Quant à la dismutation de l'aldéhyde, elle a lieu grâce à la présence d'aldéhydémutase, diastase qui, comme l'alcooldéhydrase, se trouve dans les cellules de tous les animaux supérieurs.

Le fait que, d'autre part, l'oxydation enzymatique de l'alcool selon le processus précédent a pu être réalisée *in vitro* (par Battelli et Stern dès 1910), et que, enfin, les diastases qui la dirigent soient présentes dans toutes les cellules de l'organisme et soient les mêmes qui interviennent dans d'autres processus fondamentaux, comme le métabolisme glucidique, con-

firme que l'alcool peut facilement être utilisé dans la respiration cellulaire. Il est légitime d'en inférer que l'alcool (ou au moins l'aldéhyde acétique qui en dérive) est un des termes intermédiaires normaux de l'oxydation du glucose par le système qui assure cette respiration élémentaire. C'est ainsi que s'expliquerait la présence dans l'organisme d'un alcool endogène : on trouve dans le sang 30 à 50 milligrammes d'alcool par litre, même à défaut de toute absorption de boisson alcoolique, et on a prouvé que cet alcool ne peut pas provenir des fermentations intestinales (Englebert-Taylor, 1913). La faible valeur numérique de cette alcoolémie ne signifie pas que son importance physiologique soit négligeable : elle exprime simplement que l'alcool se forme dans les tissus un peu plus lentement qu'il n'y est détruit.

Quant à la constance que présente le coefficient d'éthylxydation, pour un individu et un régime alimentaire donnés, dès que la concentration d'alcool dans le sang atteint une valeur quelque peu notable, elle peut facilement s'expliquer par la saturation de la totalité de l'alcooldéhydrase des tissus : lorsque toute la substance diastasique est en activité, elle ne transforme pas plus de matière première si on lui en apporte un surcroît.

On voit donc que les preuves directes et indirectes de la participation de l'alcool à la respiration élémentaire des cellules ne manquent pas et que l'on est entièrement fondé à lui attribuer le rôle de *métabolite cellulaire*. La valeur calorique élevée de l'alcool en ferait donc un aliment de choix (1), plus concentré que les sucres et presque autant que les graisses, n'était le danger que présente son absorption en quantités importantes.

Pourquoi et comment l'alcool peut-il être toxique ?

Il importe en premier lieu de préciser que la notion de toxicité est toute relative : la toxicité d'une substance dépend toujours de la dose absorbée, et il n'en est point qui, à dose suffisamment élevée, ne manifeste de propriétés toxiques : il existe toujours un seuil, variable pour chacune, au delà duquel ces propriétés apparaissent. C'est ainsi que, même le glucose, aliment cellulaire par excellence, devient toxique lorsque par suite d'une maladie spéciale, le diabète, sa concentration dans le sang dépasse la limite normalement maintenue par le système glycorégulateur dont l'activité est réglée par des sécrétions hormonales. Mais, dans le cas du glucose, un effet toxique ne peut se manifester qu'à la suite de troubles de la glycorégulation, quelle que soit la quantité ingérée. L'alcool au contraire manifeste sa toxicité chez tous les individus aussitôt que la dose absorbée est suffisante, car il n'existe point de système régulateur de l'alcoolémie.

Ce défaut de régulation se justifie à la fois de deux manières : D'une part, la constitution chimique de l'alcool ne lui permet pas de se transformer facilement en un composé insoluble susceptible de stockage (comme il arrive au glucose, qui se polymérise en glycogène). D'autre part, bien que l'alcool soit probablement

(1) Par opposition aux animaux homéothermes, dont l'organisme se maintient à une température constante, on appelle poïkilothermes les animaux dont la température interne varie avec celle du milieu ambiant (reptiles, poissons, etc...).

(1) L'alcool serait cependant un aliment cher, et il n'est pour s'en rendre compte que de considérer l'équivalence calorique suivante : 625 g sucre = 1 kg pain = 1 litre eau de vie = 5 litres vin (approximativement).

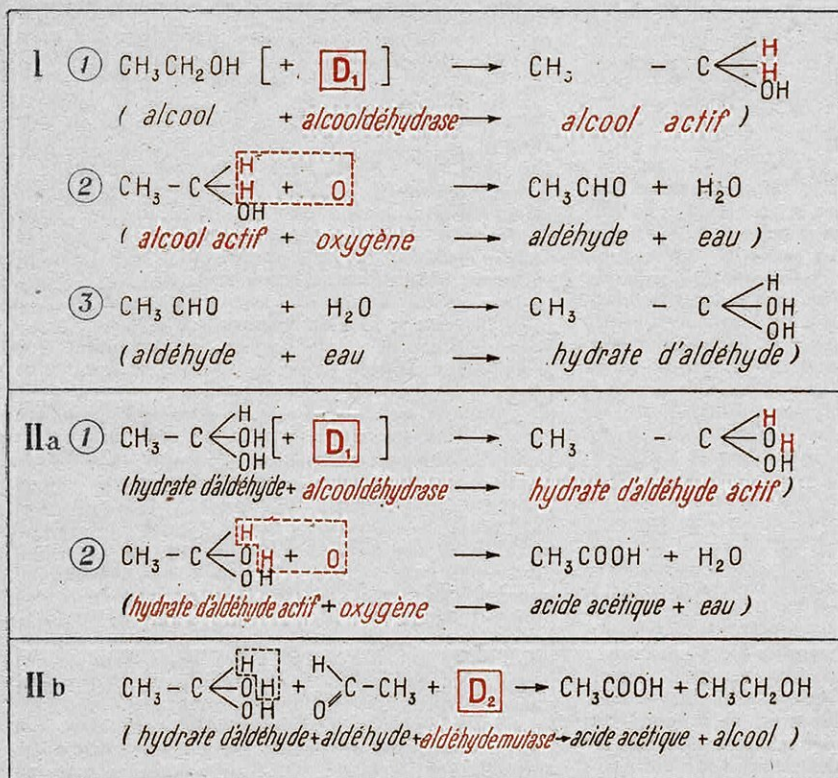


TABLEAU II. — LES RÉACTIONS D'OXYDATION DE L'ALCOOL DANS L'ORGANISME

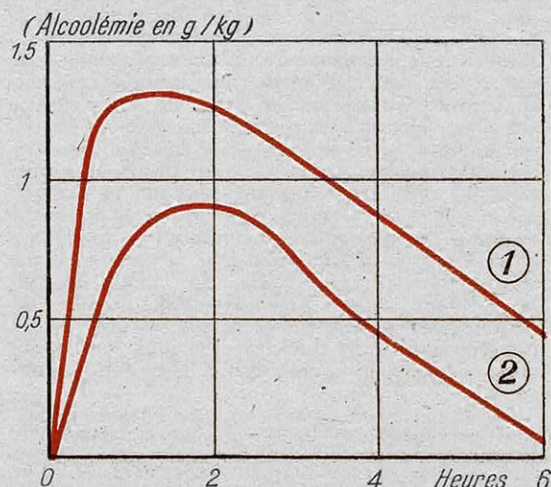
I. Dans la molécule d'alcool, deux atomes d'hydrogène sont activés par le système enzymatique (1) et fixés par un accepteur d'hydrogène, représenté ici par un atome d'oxygène (2). L'aldéhyde acétique produit passe à l'état d'hydrate d'aldéhyde (3). — IIa. Deux atomes d'hydrogène de la molécule d'hydrate d'aldéhyde sont à leur tour activés par le même système enzymatique (1), puis fixés par un accepteur d'hydrogène avec formation d'acide acétique (2). Dans la plupart des cas, l'accepteur d'hydrogène est l'aldéhyde lui-même et l'on a une réaction de dismutation aboutissant à la formation d'acide acétique et d'alcool, lequel rentre dans le cycle en I (IIb). — III. L'acide acétique est à son tour oxydé en gaz carbonique et eau en passant par une série de stades intermédiaires non représentés.

un intermédiaire normal du métabolisme, nous avons vu pourquoi sa teneur normale dans l'organisme reste faible, de telle manière que les animaux n'ont pas eu à s'organiser en prévision d'une alcoolémie importante, d'autant plus que l'alcool n'est présent dans aucun des aliments que nous fournit directement la nature.

L'alcool absorbé par voie stomacale passe tel quel dans le sang et de là gagne rapidement toutes les cellules de l'organisme grâce à sa grande diffusibilité et à sa solubilité dans l'eau. Son effet toxique sur ces cellules au-delà d'une certaine concentration peut être attribué à l'action coagulante qu'il exerce sur les pro-

FIG. 2. — ÉVOLUTION DES COURBES D'ALCOOLÉMIE CHEZ UN LAPIN DANS DES CONDITIONS NUTRITIVES VARIABLES

La courbe 1 correspond à l'absorption d'alcool à jeun, la courbe 2 à l'absorption simultanée d'alcool et de peptone, la dose d'alcool étant la même dans les deux cas. Tandis que l'alcoolémie atteint rapidement 1,3 gramme par kg de sang dans le premier cas, elle ne dépasse pas 0,9 dans le second : une même dose d'alcool passe donc beaucoup plus lentement dans le sang en présence d'un autre aliment qu'à jeun.



téines (1). C'est de cette façon qu'on peut expliquer les scléroses bien connues que produit l'alcool sur les glandes endocrines, spécialement le foie, ainsi que la diminution qu'il amène dans le rendement du travail musculaire.

S'il est vrai que l'alcool est toxique pour la moyenne des individus dès qu'on en absorbe à jeun et en une fois des doses supérieures à environ 1,5 g par kilogramme de poids (2) (ce qui correspond, pour un homme de 60 kg, à 1 litre de vin à 11°), la toxicité de la plupart des boissons alcooliques s'accroît encore du fait de leur teneur en autres produits toxiques : même lorsque de telles substances n'ont pas été introduites après coup, comme il arrive dans la préparation de certains spiritueux (l'absinthe par exemple), il est inévitable que la fermentation alcoolique s'accompagne de petites quantités d'alcools supérieurs (3), aldéhydes, esters, etc.

(1) Voir : « Les Protéines » (Science et Vie, n° 312, sept. 1943).

(2) Au delà de cette dose la toxicité s'accroît rapidement, et des expériences précises ont montré que 8 g d'alcool peuvent tuer 1 kg de matière vivante.

(3) La toxicité des divers alcools augmente rapidement avec leur condensation en carbone; c'est

Enfin à l'effet toxique exercé par l'alcool éthylique sur toutes les cellules de l'organisme s'ajoute son action sur les muqueuses buccale et stomacale quand il est ingéré sous forme concentrée (spiritueux de fort degré alcoolique); cette action produit une sensation de brûlure qui correspond bien à un effet réel, puisqu'à la longue on arrive à une véritable désagrégation du tissu de ces muqueuses.

L'action toxique générale de l'alcool s'exerce, on l'a vu, par le truchement du sang, c'est-à-dire qu'elle dépend de l'alcoolémie. Or, la vitesse du passage de l'alcool du tube digestif au sang diminue considérablement lorsque l'alcool se trouve accompagné d'autres aliments (fig. 2). C'est ce qui explique que les doses tolérées impunément puissent être plus fortes au cours d'un repas qu'à jeun.

Le coefficient d'éthyloxydation lui-même se voit augmenté en présence de certains aliments, notamment des protides (tableau I) : une alimentation carnée permet à l'organisme de supporter sans dommage des quantités d'alcool légèrement supérieures à celles ordinairement tolérées. On

peut expliquer ce fait par une intervention de l'alcool dans la synthèse du glucose à partir de l'acide pyruvique provenant de la désamination de constituants protidiques (1). On a également voulu le mettre en relation avec l'augmentation de l'élimination urinaire d'azote consécutive à l'absorption d'alcool, qu'on croyait due à une intensification anormale de la dégradation protidique. Les travaux de Melka ont montré récemment (1940) qu'il n'en est rien et qu'il s'agit en réalité d'une action purement physique due à l'accélération de l'élimination de l'urée préformée.

Bien que la tolérance de l'organisme soit légèrement variable avec l'alimentation, l'alcool ainsi que les alcools propylique, butylique et amylique sont respectivement environ 3, 6 et 8 fois plus toxiques que l'alcool éthylique.

(1) Voir : « Les Protéines » (*Science et Vie*, n° 312, septembre 1943).

commence toujours à manifester sa toxicité à une dose inférieure à celle qui produit l'ivresse, et c'est pourquoi l'on peut être alcoolique sans être ivrogne. Quant à l'hérédité des tares alcooliques, elle s'explique par la diffusion de l'alcool dans tout l'organisme maternel d'une part (notamment dans le lait des nourrices et dans le sang qui alimente le fœtus chez la femme enceinte) et dans l'organisme paternel d'autre part (présence dans le sperme d'alcool pouvant exercer sur les cellules germinales une action dégénérative (1)).

L'action stimulante de l'alcool

L'alcool n'est pas seulement pour l'organisme un aliment et un toxique. Il partage avec d'autres substances la propriété de stimuler l'organisme et de lui permettre de poursuivre son activité en absence de toute alimentation, en supprimant ou atténuant la sensation de fatigue qui serait normalement ressentie. Tels sont le kola, le coca, le thé, le maté, le café, le bouillon, etc...

L'action de ces substances n'aboutit pas, comme on avait d'abord cru, à une augmentation du rendement de l'orga-

nisme, mais est simplement d'ordre nerveux : elles dominent et même suppriment la sensation de faim et les phénomènes d'inhibition que celle-ci entraîne, permettant ainsi à l'organisme d'utiliser les réserves abondantes dont il dispose. L'effet est identique à celui d'un bon repas avant la digestion, sitôt la réplétion stomacale complète.

C'est l'action stimulante de l'alcool qui explique que les conclusions des travaux de M^{lle} Le Breton soient, comme on l'a vu, en contradiction apparente avec les données de l'expérience courante. Il sera en effet très difficile de déraciner le préjugé quasi universel selon lequel l'alcool facilite le travail musculaire et « réchauffe » l'organisme. La sensation qui suit immédiatement son absorption semble justifier cette croyance, et c'est pourquoi il faudra,

(1) Cf. les anticipations d'A. Huxley dans son roman « Le meilleur des mondes ».

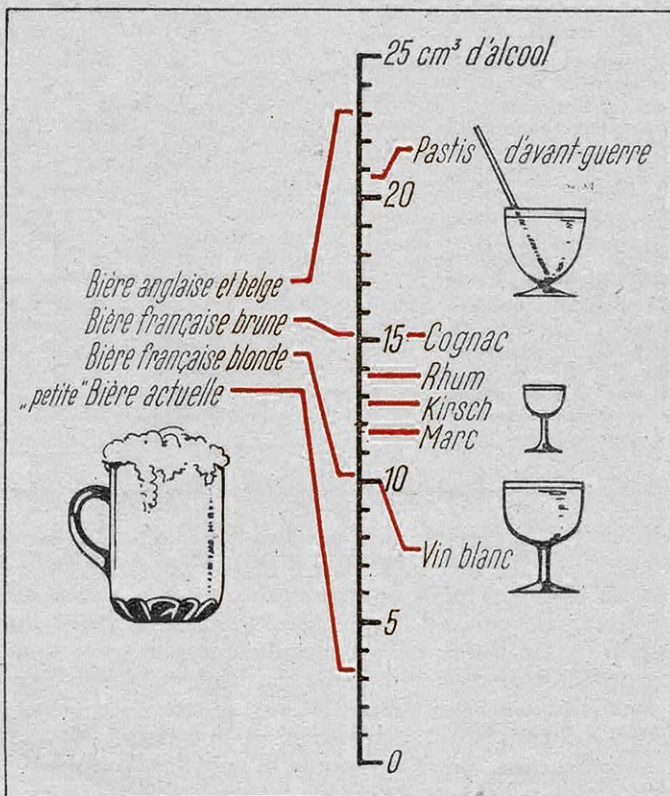


FIG. 3. — TENEUR EN ALCOOL DES BOISSONS USUELLES

Ce graphique montre la quantité d'alcool contenue dans les diverses consommations usuelles et rapportée aux contenances actuellement imposées par la loi aux récipients respectifs. On voit que la consommation d'un « pastis » équivaut à l'absorption d'une vingtaine de centimètres cubes d'alcool pur; un « petit verre » en contient dix à quinze centimètres cubes. Un « demi » de bière renferme des quantités d'alcool très variables selon sa provenance.

pour faire abandonner cette dernière, autant d'efforts que pour faire reconnaître la rotondité de la terre ou son mouvement autour du soleil, qui sont également en contradiction apparente avec les faits.

D'ailleurs le problème se complique du fait que, si l'énergie apportée par l'alcool ne peut être utilisée directement dans le travail musculaire, elle peut cependant y contribuer indirectement en remplaçant une quantité isodynamique de glucides dans la respiration cellulaire. Ces glucides ainsi économisés se trouvent en effet disponibles pour le travail et la thermogénèse. Mais il ne faut pas perdre de vue que la portée de ce phénomène reste réduite, étant limitée par la valeur constante et relativement faible de la vitesse d'oxydation de l'alcool (coefficient d'éthyloxydation), ni que cette économie, qui a lieu d'une façon progressive à mesure de la lente oxydation de l'alcool ne saurait expliquer la mobilisation rapide de grandes quantités de glucides immédiatement disponibles pour le travail musculaire ou la thermorégulation. C'est l'action stimulante de l'alcool, non sa valeur alimentaire, qui cause la libération immédiate des réserves organiques. Si la dépense dépasse l'énergie apportée par l'alcool, il en résultera nécessairement tôt ou tard une sensation accrue de fatigue, à moins que les réserves n'aient été reconstituées entre temps.

Ordinairement, l'action stimulante de l'alcool a donc un effet néfaste, car l'alcool « promet » en quelque sorte au système nerveux plus d'énergie qu'il n'est capable d'en fournir à l'organisme. Dans certains cas cependant, cette action peut être favorable, et, mieux, trouver une application thérapeutique lorsqu'il s'agit de provoquer une réaction rapide de l'organisme : chacun connaît l'effet bienfaisant de l'absorption d'alcool sur les personnes évanouies, celles qui ont pris un coup de froid, etc...

Mais cette action stimulante, que l'on ne recherche à des fins thérapeutiques que dans des cas exceptionnels, ne doit pas faire oublier, lorsqu'il s'agit de la consommation courante de l'alcool, que la quantité de ce dernier que l'organisme peut oxyder est rigoureusement indépendante du travail accompli et des pertes de chaleur subies par l'organisme. Aucun prétexte ne saurait donc être invoqué du point de vue physiologique pour dépasser les doses reconnues toxiques pour des sujets à l'état normal. C'est ce résultat, en général méconnu, qu'il importait de faire connaître à tous ceux qui se préoccupent du problème de l'alcoolisme, ou tout simplement de celui du rôle joué par l'alcool dans l'alimentation humaine.

Jean HÉRIBERT.

On a signalé ici (1) le parti que l'on peut tirer des substances organiques possédant des molécules de très grandes dimensions pour la préparation de fibres textiles, et les résultats déjà remarquables obtenus dans cette voie par la synthèse polymérique. De tels édifices existent en abondance dans la nature, non seulement sous forme de textiles naturels, mais encore dans des produits dépourvus de propriétés textiles immédiates. Entre la synthèse polymérique d'une part et l'utilisation traditionnelle des fibres naturelles d'autre part, se placent donc les industries qui demandent à la nature des « produits demi-finis » déjà fort complexes, mais auxquels il reste à conférer les propriétés voulues par modifications chimico-physiques plus ou moins profondes. C'est dans cette catégorie qu'il faut classer les industries des textiles dits artificiels (rayonne et lanital), qui transforment en fibres textiles des corps organiques tels que la cellulose et la caséine. Si, cependant, ces deux substances jouissent d'une situation privilégiée que la première au moins, par l'abondance et la rapidité de sa production dans la nature, semble appelée à conserver longtemps, il s'en faut qu'elles épuisent la liste des « matériaux » possibles, et les recherches visant à créer de nouvelles fabrications analogues connaissent, du fait de la guerre, une ampleur nouvelle. C'est ainsi qu'en Allemagne, les propriétés textiles de la *fibrine du sang* ont fait l'objet d'études approfondies. Rappelons qu'au point de vue chimique la fibrine appartient à la classe des globulines et contient un nombre important d'acides aminés. La fabrication serait relativement simple et comporterait surtout des traitements destinés à diminuer la grande fragilité de la fibre « brute » ; l'action de la glycérine ou de la formaldéhyde donnerait dans ce sens des résultats satisfaisants. Pour le moment, rien ne permet de juger si ce textile « nouveau » est appelé à un avenir pratiqué, ni même si cette utilisation du sang est la meilleure que ce produit puisse recevoir. Mais tous les travaux de cet ordre méritent d'être suivis avec intérêt, car certains vont donner le jour, sans doute possible, à toute une famille d'industries dont celles de la rayonne et du lanital ne sont que les aînées.

(1) Voir : « Les nouvelles fibres de synthèse » (*Science et Vie*, n° 296, avril 1942), et « Les molécules géantes » (*Science et Vie*, n° 303, novembre 1942).

LA CRISE DES HUILES DE GRAISSAGE ET LA RECHERCHE D'UN LUBRIFIANT NATIONAL

par I. GINOT

L'approvisionnement en lubrifiant des moteurs, des machines et, de la manière la plus générale, des mécanismes de tous ordres, constitue un des problèmes les plus angoissants de l'heure présente. Alors que pour les carburants dérivés du pétrole on a trouvé assez facilement une gamme étendue d' « Ersatz » solides, liquides ou gazeux, les huiles minérales ne peuvent être remplacées utilement que par des corps gras qui font déjà défaut pour l'alimentation ou l'industrie du savon. Le plafond de la circulation routière et ferroviaire et, partant, l'intensité de la vie économique se trouvent ainsi fixés par les quantités de lubrifiant provenant des stocks que la rationalisation de l'emploi des huiles, combinée avec leur récupération, a permis de ménager depuis trois ans. Mais la prolongation du conflit amène à l'ordre du jour les lubrifiants de remplacement : émulsions, solutions de corps gras divers, graphite colloïdal, etc., solutions de pis aller vers lesquelles il faut bien se tourner, puisque ces huiles de synthèse et celles provenant de la distillation des schistes ne sont encore produites qu'en quantité insuffisante. Parmi les corps gras d'origine végétale, c'est le ricin qui semble offrir les perspectives d'avenir les plus intéressantes, au moins après la guerre, lorsque sa culture sur une grande échelle dans notre Empire libérera notre pays de la dépendance totale où il s'est trouvé jusqu'ici vis-à-vis de l'étranger.

Le principe de la lubrification

TOUT le monde sait qu'on lubrifie les surfaces métalliques en mouvement pour atténuer les frottements. Définissons ce qu'on entend par là. Lorsqu'on fait glisser une pièce métallique sur une autre, il faut dépenser de l'énergie pour vaincre une certaine résistance; quel que soit le poli des surfaces en contact, il y a du frottement. En même temps, il y a un dégagement de chaleur qui peut devenir très appréciable et même provoquer la fusion des pièces. Le frottement est dû, dans le domaine du visible, aux aspérités superficielles et, à une échelle beaucoup plus petite, à l'irrégularité moléculaire. En effet, à cette échelle, où la constitution granulaire de la matière devient une réalité palpable, la surface du miroir le plus poli est tout à fait comparable à une éponge.

On détermine expérimentalement les « coefficients de frottement » entre les divers matériaux. Par exemple, pour déplacer un bloc d'acier d'un kilogramme sur un miroir d'acier, il faut appliquer une force de 0,16 kg. On dira alors que le coefficient de frottement de l'acier sur l'acier est égal à 0,16.

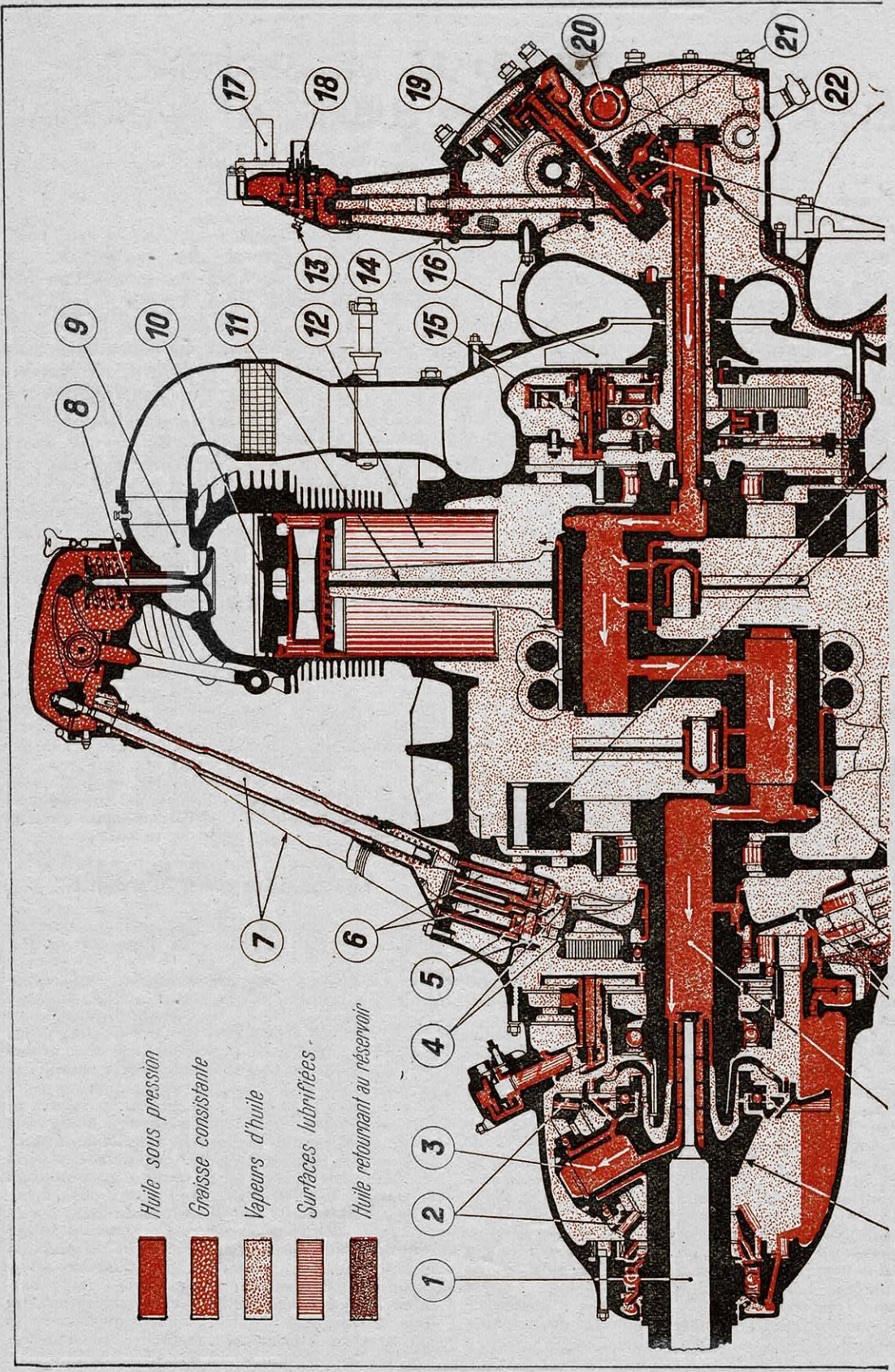
Les mêmes phénomènes de frottement et de résistance aux déplacements relatifs se retrouvent aussi dans les fluides, gazeux ou liquides. Toutefois, les effets sont beaucoup moins considérables, par suite d'une moindre cohésion entre les molécules, qui fait que les liquides sont très peu rigides, c'est-à-dire très déformables. Les frottements liquides (ou gazeux) sont beaucoup moins importants, absorbent beaucoup moins d'énergie que les frottements solides.

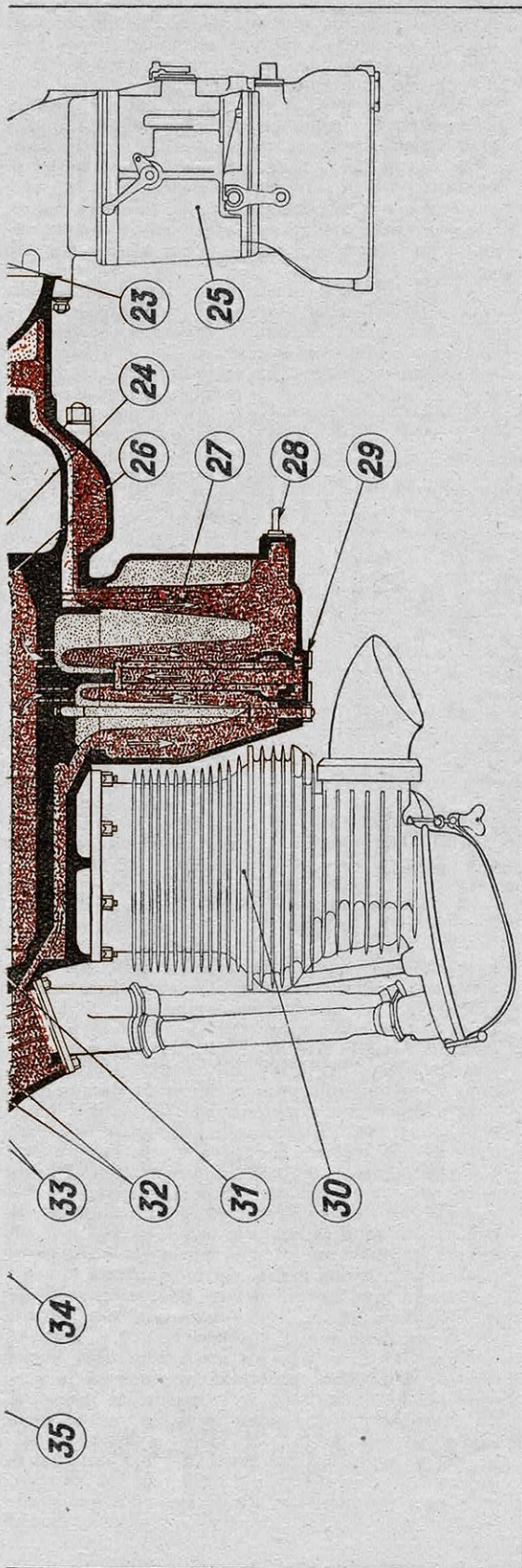
Afin de réduire les frottements et d'empêcher le contact réel des pièces mobiles dans les mécanismes, ainsi que dans le but de neutraliser les forces émanant des molécules superficielles des solides, on s'efforce d'interposer une couche liquide entre les surfaces frottantes, c'est-à-dire de substituer le frottement liquide au frottement solide. C'est précisément le rôle du lubrifiant de former cette couche liquide.

Les qualités d'un lubrifiant

Pour remplir son rôle, le lubrifiant doit répondre à certaines conditions physiques et chimiques.

L'adhésion à la surface solide, ou l'étalement parfait du liquide sur le solide, suppose l'existence de certaines conditions bien définies de tension superficielle et de forces capillaires. Certains groupements chimiques (centres attractifs doués de valences résiduelles particulièrement intenses) influent favorablement sur ce phénomène. Dès qu'il y a absorption sous l'effet des forces moléculaires superficielles, une pellicule continue se forme, comblant les orifices et les aspérités. Cette pellicule doit être suffisamment épaisse pour réduire au minimum le danger de disrupure qui aurait des conséquences fâcheuses sur l'endurance des pièces frottantes. Il est donc nécessaire que les forces intermoléculaires de cohésion qui assemblent les molécules en donnant au liquide sa « viscosité » soient suffisamment élevées, sans toutefois dépasser une certaine valeur optimum, au delà de laquelle les frottements internes entre les couches lubrifiantes deviendraient considé-





T W 40010

14 K

FIG. 1. — LE GRAISSAGE SOUS PRESSION DU MOTEUR GNOME ET RHÔNE 14 K

L'huile venant du réservoir et filtrée à son arrivée au moteur est envoyée sous pression dans la partie centrale creuse du vilebrequin, d'où elle passe par des trous graisseurs dans les organes à lubrifier : pieds de bielles, poussoirs de soupapes, engrenages du réducteur. Le glissement du piston dans le cylindre est lubrifié par des gouttes d'huile qui jaillissent au niveau des pieds de bielles et que la force centrifuge envoie sur le piston, le film d'huile qui s'interpose entre les deux surfaces étant pratiquement monomoléculaire. Une circulation accessoire permet de lubrifier les organes annexes, telle la commande de génératrice. Enfin certains organes sont graissés à la graisse consistante. A l'intérieur du carter le mouvement rapide du vilebrequin et des bielles pulvérisent les gouttes d'huile qui jaillissent des divers trous de graissage, et, dans toute l'atmosphère intérieure, flotte un fin brouillard d'huile qu'une ouverture du carter, le « reniflard », permet de maintenir à la pression extérieure. Les gouttelettes qui retombent à la partie inférieure du carter forment une émulsion d'huile et d'air. Quand l'huile et l'air se sont séparés, l'huile est ramenée par une pompe au réservoir. — 1. Arbre porte-hélice; 2. planétaires; 3. satellite; 4. cames; 5. galets; 6. poussoirs; 7. tiges de poussoirs; 8. soupape; 9. admission; 10. piston; 11. bielle; 12. cylindre; 13. graisseur à graisse consistante; 14. reniflard; 15. commande de mitrailleuse; 16. compresseur; 17. commande de mitrailleuse; 18. commande de compte-tours; 19. commande de génératrice; 20. filtre à huile; 21. huile sous pression; 22. commande des pompes à essence; 23. commande de la pompe à huile; 24. contrepois; 25. carburateur; 26. bielle; 27. émulsion d'huile; 28. thermomètre; 29. bouchon de vidange; 30. cylindre muni de ses ailettes de refroidissement; 31. vilebrequin; 32. galets; 33. vilebrequin; 34. galets; 35. réducteur.

rables et absorberaient trop d'énergie mécanique. Dans la pratique, on considère plutôt la « fluidité » de l'huile qui est, par définition, l'inverse de la viscosité. On indique bien par là que la détermination de cette grandeur physique s'effectue par la mesure du temps d'écoulement au travers d'un orifice calibré. Un bon lubrifiant aura une fluidité moyenne, compatible avec des qualités d'adhérence et de cohésion convenables, et n'offrant pas trop de résistance interne. Le rendement mécanique d'un moteur dépend directement du frottement, donc de la fluidité du lubrifiant. On serait tenté d'augmenter celle-ci, l'huile la plus fluide dans les limites d'utilisation (10° - 100°) donnant évidemment le rendement maximum. Il est cependant très dangereux pour la vie du moteur d'exagérer la fluidité; la pellicule absorbée n'ayant alors plus suffisamment d'élasticité ni surtout assez de ténacité à la rupture, l'usure des pièces frottantes devient excessive, alors que le gain de puissance réalisé ne dépasse guère 3 %, ce qui est tout à fait insignifiant. Il vaut mieux utiliser une huile trop visqueuse que trop fluide. Mais au cours du fonctionnement, l'huile s'échauffe et subit des variations de température. Or, la fluidité de tous les liquides croît avec la température, la loi de croissance différant toutefois d'un liquide à l'autre. Etant donné le danger d'une fluidité exagérée et d'une brusque variation de celle-ci — la lubrification bonne à

basse température devenant alors insuffisante à température plus élevée — on exige d'un bon lubrifiant une augmentation lente de la fluidité avec la température. C'est alors seulement qu'il présente des garanties suffisantes de sécurité et de fonctionnement dans le cas d'une hausse anormale de la température.

Le graphique comparatif (fig. 2) montre, sous ce rapport, la supériorité nette de l'huile de ricin sur les huiles minérales.

Le point d'inflammation doit être aussi élevé que possible. Pour les huiles courantes, il se place entre 200° et 300°. La résistance du lubrifiant à l'élévation de température évite une consommation excessive et surtout, dans les moteurs à explosions, l'encrassement des cylindres et des bougies par des dépôts carbonneux provenant de la combustion incomplète des huiles. A ce point de vue, les huiles végétales, et notamment l'huile de ricin, sont nettement supérieures aux huiles minérales. En effet, ces dernières présentent un point d'inflammation compris entre 200 et 280°, alors que l'huile de ricin dépasse 300°. Les huiles minérales présentent en outre le grave inconvénient de dissoudre l'essence et celle-ci abaisse encore considérablement le point d'inflammation, tout en augmentant de façon dangereuse la fluidité. L'huile de ricin, par contre, ne dissout pratiquement pas l'essence. Toutefois, les huiles minérales présentent sur les huiles végétales l'avantage de produire moins de résidus carbonneux en cas de combustion.

Enfin, un bon lubrifiant doit être chimiquement neutre. Sinon il attaque les surfaces lubrifiées en formant des composés intermédiaires, finalement décomposés en oxydes métalliques qui sont d'excellents rodants. Les huiles végétales, qui n'ont pas l'inertie chimique des huiles d'origine minérale, perdent plus rapidement leur neutralité.

Le frottement gras et l'onctuosité des bons lubrifiants

Si l'on n'envisageait que les qualités que nous venons d'énumérer, un grand nombre de liquides présentant une viscosité, un point d'ébullition et une inertie chimique convenables, pourraient être employés comme lubrifiants. Et l'eau, que pourtant on n'a pas l'habitude de considérer comme un lubrifiant, joue néanmoins ce rôle dans certains cas : le piston d'une pompe est graissé par l'eau qu'il est chargé de soulever. Mais les bons lubrifiants : huiles et graisses minérales, végétales ou animales présentent une propriété particulière que nous ne savons encore apprécier qu'en frottant l'un contre l'autre les doigts trempés dans le produit à étudier : c'est l'onctuosité. Si nous frottons en effet l'un contre l'autre les doigts hu-

mectés d'eau, ils glissent assez facilement tant que la pression n'est pas excessive ni la friction trop prolongée, puis brusquement le coefficient de frottement prend une valeur très grande. Cela tient à ce que la couche liquide interposée n'a plus, en certains points, l'épaisseur nécessaire pour empêcher les doigts d'arriver au contact. Avec un corps onctueux, la sensation de glissement doux résiste à la pression et à une friction prolongée. C'est ce qu'on observe, non seulement avec les huiles minérales ou végétales, mais encore avec l'eau de savon.

La parenté qui existe entre les carbures aliphatiques (qui sont, parmi les hydrocarbures, les seuls qui soient de bons lubrifiants), et les acides gras, dont les esters sont les graisses animales ou végétales et dont les sels sont les savons, laisse à penser que c'est dans la structure en longues chaînes que possèdent en commun ces trois catégories de corps, que réside la cause de l'onctuosité.

Que se passe-t-il quand une huile de graissage est mise au contact d'un corps solide? Elle est absorbée par les surfaces, y adhère par suite de certaines forces physicochimiques et nivelle les aspérités et les irrégularités moléculaires. Elle se substitue à la surface solide sur laquelle elle forme une pellicule continue et tenace.

Si le jeu des pièces métalliques en présence est considérable et si on n'a pas regardé

à la dépense de lubrifiant, cette pellicule peut avoir une épaisseur de deux ou trois dixièmes de millimètre, et rien ne distingue alors le frottement « gras » d'un frottement « liquide » quelconque. Mais la couche d'huile est capable, si le jeu des pièces est faible, de constituer une pellicule beaucoup plus mince, d'une épaisseur pouvant s'abaisser à quelques millièmes de micron.

Dans le cas, par exemple, du graissage d'un cylindre de moteur à explosion, la combustion brûle à chaque temps moteur le film d'huile laissé par le piston qui cède à la poussée des gaz. Si l'on calcule sur un grand nombre de cycles la combustion qui en résulte, on est amené à considérer que le film d'huile est composé d'une seule assise de molécules.

L'étude par la diffraction des rayons X de la structure de la couche liquide au contact de la surface solide montre que les longues chaînes formées par les molécules des corps gras se disposent perpendiculairement à la surface et « s'accrochent » à la surface par une de leurs extrémités pour constituer une première couche protectrice. Des groupes chimiquement actifs à l'extrémité de la chaîne augmentent l'adhérence de l'huile sur la surface, et à ce point de vue l'huile de ricin est supérieure aux huiles minérales, chimiquement inertes.

Le liquide qui se trouve au contact de cette

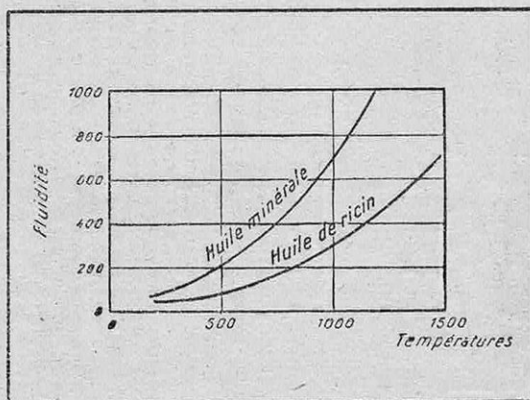


FIG. 2. — LA VARIATION DE LA FLUIDITÉ DES HUILES DE GRAISSAGE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Les huiles de graissage doivent présenter de faibles variations de leur fluidité quand la température varie. A ce point de vue l'huile de ricin est supérieure aux huiles minérales.

première couche présente, lui aussi, une anisotropie optique, ses molécules sont orientées perpendiculairement à la surface et présentent une structure stratifiée. On a pu évaluer dans certains cas à deux cents le nombre des couches superposées qui glissent les unes sur les autres (fig. 3).

L'épaisseur minimum de la pellicule de lubrifiant est atteinte quand chacune des deux surfaces à lubrifier est protégée par une seule couche de molécules.

Les divers facteurs que nous venons d'examiner succinctement ont des influences encore mal connues sur l'ensemble des qualités d'un lubrifiant. Autrement dit, la considération d'une seule propriété, comme par exemple la viscosité, l'onctuosité, la tension superficielle ou même l'architecture moléculaire, ne permet pas de conclure *a priori* à la qualité de l'échantillon examiné. Il est tout au plus possible de prévoir des ingénierances favorables. Seuls de longs essais, comprenant notamment des mesures précises de l'usure, permettent de se rendre compte de l'efficacité d'un lubrifiant. Dans ces essais, il faut prendre en considération les particularités de chaque moteur. Une huile donnant d'excellents résultats sur un moteur pourra très bien marquer certaines insuffisances sur un autre. Ceci se comprend, puisque tous les moteurs n'offrent pas le même jeu entre les pièces frottantes. Les pellicules de lubrifiant sont donc soumises à des efforts et pressions très différents.

La connaissance du mécanisme du graissage va nous aider dans notre recherche des diverses mesures qui peuvent être prises pour lutter contre la crise des lubrifiants. Tout d'abord, puisque actuellement nous vivons en grande partie sur les stocks d'avant guerre, il importe de faire durer ceux-ci le plus longtemps possible.

La récupération des huiles usées

Un décret du 1^{er} septembre 1940 a rendu obligatoire la régénération des huiles usagées. Il est, en effet, parfaitement possible de faire subir à une huile usagée et altérée certains traitements chimiques et physiques qui lui font retrouver ses qualités lubrifiantes initiales (1). Examinons donc brièvement quelles sont ces altérations que l'huile subit en cours de fonctionnement. Extérieurement, elle devient plus foncée, plus dense et plus visqueuse. Elle dépose des substances solides. C'est qu'à température élevée le lubrifiant subit des modifications profondes de ses qualités physiques et chimiques. Il y a formation de produits d'oxy-

datation, de polymérisation et de condensation à grosses molécules, donnant des dépôts très gênants et dangereux. De plus, ces produits engendrent des émulsions très visqueuses avec l'eau et l'huile. Dans les cylindres des moteurs, où on atteint des températures excessives, il se forme même des produits asphaltés qui se mélangent à l'huile non altérée et aux particules métalliques arrachées des parois, pour former une masse agglomérée. La présence de substances solides, comme du sable et des sels minéraux, accélère encore la décomposition de l'huile par voie de catalyse.

Les produits d'altération diffèrent selon la nature chimique du lubrifiant. Pour les huiles minérales, il y a formation de particules carbonneuses par suite de combustion incomplète; les hydrocarbures à chaîne plus longue donnent par oxydation et polymérisation, suivie de pyrogénéation, de la calamine, alors que les hydrocarbures non saturés s'oxydent déjà à basse température pour former des produits acides.

Les éléments constitutifs des huiles végétales, les éthers-sels, s'altèrent facilement en don-

nant des produits à caractère acide, mais peuvent, en outre, former des dépôts à calamine.

Lors de la régénération, il faut tenir compte de ces facteurs. Il faut avant tout (et le mieux pendant l'usage même) éliminer au fur et à mesure les impuretés mécaniques (particules solides, humidité, saletés) qui catalysent l'altération chimique. Ceci s'effectue facilement par centrifugation, filtration et tout autre procédé de séparation mécanique. Il est plus difficile de neutraliser les effets nuisibles de l'altération chimique.

On effectue pour cela un raffinage physique et chimique à l'aide de terres absorbantes, par traitement électrique, et par distillation sous vide partiel. D'autres fois, on traite les huiles usagées par des agents de condensation (comme le chlorure d'aluminium, par exemple) pour provoquer la polymérisation et la précipitation complètes des impuretés goudroneuses ou asphaltiques qu'il est facile de séparer alors par centrifugation. Dans d'autres cas, on préférera les dissoudre dans l'acide sulfurique pour les séparer ensuite par décantation.

Convenablement traitée, une huile régénérée conserve toutes ses qualités physiques. Chimiquement, elle est moins sensible à l'action oxydante de l'air. Lors de la régénération, il faut compter avec une perte de 30 %, c'est-à-dire que 100 litres d'huile usagée ne fournissent que 70 litres d'huile régénérée. Ce résultat est très appréciable.

Economiser et « allonger la sauce »

En période de prospérité, l'huile de graissage était assez abondante pour qu'on pût l'uti-

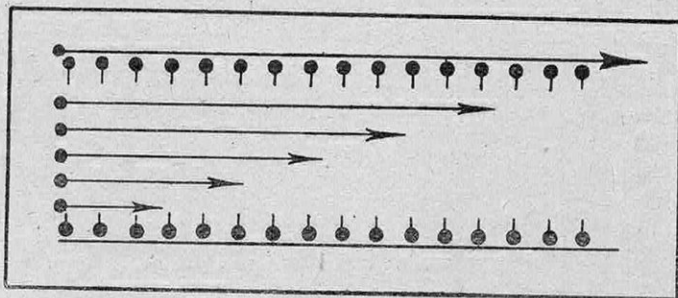


FIG. 3. — LE PRINCIPE DU FROTTEMENT LUBRIFIÉ

Un certain nombre de couches de molécules du liquide s'interposent entre les deux surfaces solides. Le frottement du solide sur le solide est remplacé par la résultante des frottements de chaque couche liquide sur la voisine. Ce frottement qui dépend de la viscosité du liquide est beaucoup plus faible que le frottement solide.

(1) Voir : « La récupération des huiles de graissage » (*Science et Vie*, n° 289, septembre 1941).

liser assez largement en excès, et assurer ainsi un graissage d'une sécurité parfaite. La pénurie a forcé les usagers à en limiter la dépense au strict minimum. Nous citerons à ce point de vue l'effort de la S.N.C.F. qui a conduit à des résultats remarquables. Le chemin de fer est actuellement le mode de transport qu'il est le plus important de maintenir en fonctionnement. Or, la dépense d'huile de graissage de son matériel est considérable et s'est élevée en 1938 à 28 000 tonnes. Pour déterminer à quelle limite l'économie de graissage peut devenir dangereuse pour le matériel, un certain nombre de locomotives de types divers ont servi de sujets d'expérience, et l'on a constaté qu'on pouvait réaliser, suivant les organes de ces machines, des économies de graissage pouvant aller de 40 à 60 %.

Quel que soit l'avenir de ces solutions, tous les modes de graissage ne pourront sans doute pas s'accommoder des lubrifiants de remplacement, et il faudra pourvoir les moteurs de lubrifiants de choix.

Les huiles de schistes bitumineux

On extrait les huiles minérales du pétrole brut, de l'huile de schiste brute ou de l'huile de lignite. Ces trois industries usent de méthodes très similaires. Comme les pétroles bruts, les schistes bitumineux ou les lignites donnent, par un traitement thermique convenable (distillation sèche), des gazolines, des huiles lampantes, des huiles lourdes et des résidus paraffineux. On recueille et condense les diverses fractions gazeuses qui s'échappent des vases

Pays	1922	1925	1924	1923	1928	1927	1926
Ecosse	2 945	2 906	2 905	2 504	1 991	2 080	2 070
Australie	23	2	2	0,8	2	3	2
Estonie	138	214	233	288	431	397	446
France	61	62	70	67	69	Pas de chiffres	
Italie	5	5	2	2	10	12	7
U.R.S.S.	18	24	11	1	4	9	54
Espagne	—	—	—	67	—	54	1
U.S.A.	—	9	21	—	5	7	

TABLEAU I. — PRODUCTION DES SCHISTES BITUMINEUX DANS LE MONDE (EN MILLIERS DE TONNES)

En particulier, pour le graissage des cylindres qui s'effectue sur les machines, on a été conduit à employer des émulsions d'huile et d'eau. Pour une moindre dépense d'huile, le volume de liquide qui passe dans le graisseur reste suffisant pour le fonctionnement correct de l'appareil.

Ce procédé qui consiste à « allonger » le lubrifiant peut être généralisé, et il semble que de telles émulsions sont susceptibles de donner des résultats satisfaisants.

L'eau savonneuse nous suggère un autre moyen d'économiser les précieuses molécules en chaînes des corps gras. Les savons, sels des acides gras, présentent, comme nous l'avons vu, une certaine onctuosité. Cela tient au fait que la surface de séparation du liquide est toujours tapissée d'une couche de molécules du savon dissous. Cette couche a été observée à l'aide de la diffraction des rayons X, en particulier sur les deux faces interne et externe de la paroi des bulles de savon. On aura donc entre deux surfaces humectées d'eau savonneuse une couche liquide où des molécules sont plus ou moins concentrées et, au contact des solides, un pavage de molécules grasses qui assure le frottement onctueux.

Enfin, on peut encore imaginer une autre sorte de lubrifiant, dans laquelle le frottement visqueux du film épais sera assuré par un liquide quelconque, tandis que le frottement onctueux sera plus ou moins bien réalisé par le dépôt sur les surfaces solides d'une couche de graphite colloïdal. Le graphite, qui se présente sous la forme de cristaux plats, est capable, quand il est soumis à un faible effort mécanique, de constituer à la surface des solides une couche protectrice qui en remplit toutes les irrégularités et atténue considérablement leur frottement.

et on les soumet à un triage par distillations fractionnées et rectifications chimiques.

L'industrie du pétrole est de loin plus importante que celle des schistes. Mais pour des raisons d'économie nationale, cette dernière industrie jouissait d'une protection douanière spéciale.

L'industrie de la distillation des schistes est assez importante en France. La « Société des schistes bitumineux d'Autun » traitait annuellement 100 000 tonnes de schistes. A Buxières (Allier), on traiterait 28 000 tonnes et à la Société des Mines de Bourbon-Saint-Hilaire (Allier) environ 30 000 tonnes.

La France est un des gros producteurs de schistes bitumineux.

Pour bien saisir l'importance de ces chiffres, il faut savoir qu'une tonne de schiste est susceptible de fournir entre 9 et 10 litres d'essence, entre 15 et 16 litres d'huiles lampantes, entre 32 et 35 litres d'huile d'éclairage et de chauffage, de 5 à 6 litres d'huile de graissage et de 6 à 8 kg de paraffine.

La carbonisation du lignite s'effectue selon les mêmes principes. On obtient du goudron de lignite, des gaz et comme résidu du coke. Le goudron distille entre 150 et 400° et renferme des paraffines et des oléfines (hydrocarbures non saturés).

Les goudrons de lignite sont fractionnés à leur tour et fournissent des produits dont certains, après raffinage chimique à l'acide sulfurique et à la soude et après purification, présentent des propriétés d'adhérence et de viscosité telles qu'on peut les utiliser comme lubrifiants. Les huiles de graissage obtenues à partir des goudrons de lignite (ou de houille) sont toutefois d'une qualité inférieure à celles obtenues par la distillation du pétrole. On les emploie en mélanges.

La synthèse des huiles de graissage

En raison de la cherté ou du manque de produits naturels, on a essayé de préparer par synthèse des huiles lubrifiantes à partir de produits de moindre valeur. Il s'agissait de créer de toutes pièces des substances ayant les qualités requises de viscosité, d'onctuosité, etc... Des considérations de structure moléculaire ont tout naturellement conduit à des réactions d'hydrogénation (introduction d'atomes d'hydrogène dans une molécule moins hydrogénée, en vue d'en accentuer le caractère « paraffinique »), de condensation et de polymérisation (pour augmenter la viscosité des produits). Sachant, d'autre part, que l'introduction dans une molécule d'un enchaînement d'atomes de carbone en cycle (comme celui réalisé dans la molécule de benzène et qu'on appelle « noyau aromatique ») est susceptible d'augmenter la viscosité d'un produit, un nouveau mode de synthèse consistera donc dans l'introduction, par condensation moléculaire, de tels noyaux dans les molécules d'hydrocarbures non saturés.

Enfin, en soumettant des hydrocarbures simples, non saturés, à l'action de la chaleur, de la pression, des décharges électriques, ou de certains catalyseurs chimiques, les molécules simples se scellent entre elles, se polymérisent et forment des produits à viscosité convenable qu'on peut utiliser alors comme lubrifiants.

Comme nous l'avons déjà dit, la connaissance des propriétés moléculaires est un guide très précieux. Ce sont des hydrocarbures paraffiniques, c'est-à-dire à longs enchaînements carbonés qui ont la meilleure stabilité de viscosité en fonction de la température, alors que les hydrocarbures cycliques ont les plus hautes viscosités. Les hydrocarbures dont la molécule renferme plus d'un cycle d'atomes de carbone (polycycliques) ont une faible viscosité et sont impropres au graissage.

Dans la synthèse, on cherche donc à créer des molécules cycliques et paraffiniques. Ce sont ces connaissances qui ont permis d'augmenter toujours le rendement en produits de qualité. C'est ainsi qu'actuellement, dans la préparation d'huiles de graissage à partir de charbon (ou de lignite), on a recours à un procédé indirect, le simple traitement thermique fournissant des produits polycycliques qui sont reconnus de qualité inférieure.

On soumet la houille ou les lignites à la carbonisation, mais c'est à partir de l'éthylène (hydrocarbure simple, non saturé, gazeux à température ordinaire) contenu dans les gaz qui se dégagent, qu'on édifie, par polymérisation, hydrogénation et condensation moléculaire, des molécules plus complexes à caractère lubrifiant. Ainsi 1 000 tonnes de lignite fournissent : 100 tonnes de paraffine, 115 tonnes d'huile lubrifiante et 285 tonnes d'essence synthétique.

Dans certains cas, on se contente d'ajouter à des huiles naturelles des « inhibiteurs » qui ont comme fonction de diminuer l'oxydation aux températures élevées. Certaines huiles ne peuvent être utilisées qu'à cette condition.

Les huiles végétales

On les extrait, par compression ou dissolution, des graines ou des fruits de certains végétaux. Elles se distinguent essentiellement des huiles minérales par leur composition chimique :

ce sont des éthers-sels d'acides gras (palmitique, stéarique, arachidique, oléique, ricinoléique, etc...) avec la glycérine. L'oxygène de l'air, presque sans action sur les huiles minérales, les attaque facilement. Leurs molécules, beaucoup moins inactives ou saturées que celles des hydrocarbures, adhèrent de façon excellente aux surfaces métalliques. Donc, au point de vue adhérence et lubrification proprement dite, elles sont supérieures aux huiles minérales. Mais, par suite de leur pouvoir oxydant élevé, seules parmi toutes, les huiles de colza, d'olive et de ricin peuvent être utilisées. Là encore, l'emploi d'inhibiteurs d'oxydation est des plus indiqués.

L'huile d'olive a un emploi restreint en horlogerie. L'huile de palme (fondant vers 35°) sert dans la fabrication des graisses pour wagons. L'huile de colza s'extrait de la graine des plantes. Raffinée avec soin à l'acide sulfurique chaud et par une lessive de chaux, elle est susceptible d'être utilisée au graissage des moteurs, à condition d'être « stabilisée » par inhibiteurs d'oxydation.

L'huile de ricin est la plus importante de ces huiles. Son pouvoir lubrifiant, dû à une bonne adhérence et à une excellente onctuosité, en fait la meilleure de toutes les huiles de graissage. Sa molécule renferme, en effet, plusieurs centres attractifs. Sa fluidité ne varie qu'assez faiblement entre les températures de régime, ce qui procure un large coefficient de sécurité et d'endurance; en plus, elle ne dissout presque pas l'essence. C'est pour cela que pendant longtemps on utilisait presque exclusivement de l'huile de ricin pour le graissage des moteurs d'aviation.

C'est principalement pour des raisons économiques que l'huile de ricin n'a pas pu s'imposer. Jusqu'à l'armistice, la France était tributaire de l'étranger pour ses huiles de graissage. Les huiles minérales nous arrivaient d'Amérique, et les graines de ricin des Indes anglaises. Et pourtant, en ce qui concerne la culture du ricin, les colonies françaises en Afrique et l'Indochine étaient merveilleusement bien placées pour concurrencer l'Inde anglaise par suite du prix très bas de la main-d'œuvre.

Si nous faisons un jour de nouveau appel à l'huile de ricin, il ne s'agira pas d'un palliatif, d'un Ersatz de qualité inférieure, puisqu'il est reconnu qu'aucune huile ne peut rivaliser avec l'huile de ricin pour le graissage des moteurs d'aviation. La question du prix de revient sera résolue par une intensification de la culture.

D'ailleurs, des méthodes électriques ou catalytiques permettent de transformer presque à volonté une huile de graissage et d'obtenir des produits à grandes molécules polymérisées et condensées. A partir d'un produit de départ, ayant, au point de vue viscosité, adhérence et onctuosité, des qualités aussi précieuses que l'huile de ricin, il est donc parfaitement possible de préparer toute la gamme des produits, allant des plus fluides aux plus visqueux.

Dans les années à venir, il faudra forcément adopter une politique économique très prudente pour ménager nos réserves de devises. Pour parer à la pénurie de lubrifiant, il faut développer au maximum la culture du ricin dans nos colonies. Tout comme le carburant national, le « lubrifiant national » sera tiré des richesses mêmes de notre sol.

LES A COTÉ DE LA SCIENCE

INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

Nouveau servomoteur de régulateur

LA régulation a pour but de maintenir constante, ou plus exactement entre deux limites aussi voisines que possible, une grandeur physique quelconque (vitesse, pression, tension ou intensité d'un courant électrique, température, etc.). Un régulateur comprend donc essentiellement un instrument de mesure, cerveau de l'installation, commandant dans le sens voulu l'organe ramenant à la valeur convenable

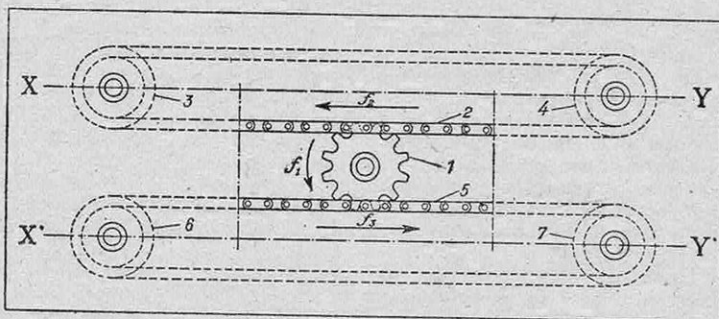


FIG. 2. — SCHÉMA DU SERVOMOTEUR A CHAINES

la grandeur à régler. Si, par exemple, sur une machine à vapeur, le manchon de l'appareil à boules bien connu (tachymètre de Watt) agit

par un simple levier sur le tiroir d'admission de la vapeur aux cylindres, nous avons affaire à un « régulateur direct ». Mais ce n'est là qu'un cas particulier, car, en général, l'instrument de mesure n'a pas une puissance suffisante pour actionner l'organe de réglage de la machine. Ainsi, l'aiguille d'un voltmètre est incapable d'entraîner un rhéostat. On demande alors à l'instrument de mesure de mettre simplement en action, dans le sens voulu, un moteur auxiliaire commandant à son tour le rhéostat. On a affaire à un « régulateur indirect » (fig. 1).

Toutefois, par suite des frottements et de l'inertie, il est évident qu'un tel régulateur n'obéit pas instantanément aux variations de la grandeur à maintenir constante. Si, par exemple, cette grandeur a pris une valeur trop faible, non seulement le régulateur n'entrera pas en action immédiatement, mais encore il ne cessera pas d'agir au moment précis où la grandeur considérée aura repris la valeur voulue. Elle dépassera donc cette valeur; le régulateur agira en sens inverse, trop longtemps; la grandeur décroîtra trop, etc. De sorte que notre régulateur aura créé une suite de fluctuations à grande période qui peuvent être plus gênantes que le faible écart

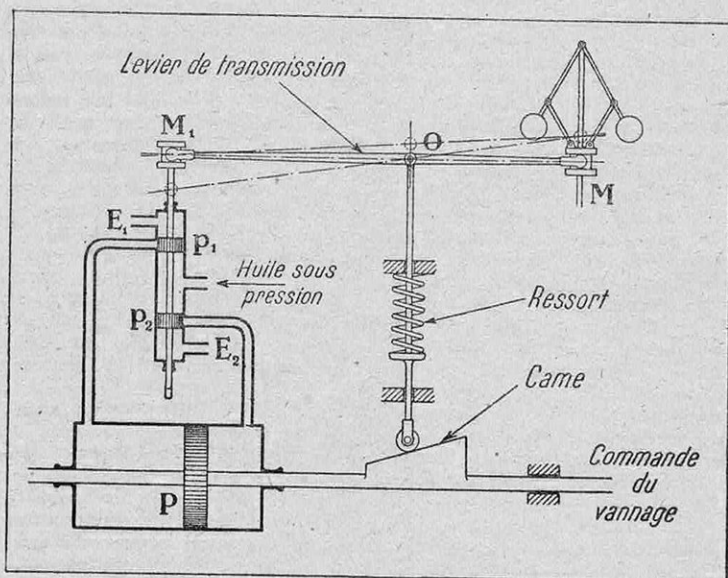


FIG. 1. — SCHÉMA D'UN RÉGULATEUR INDIRECT A SERVOMOTEUR HYDRAULIQUE ASSERVI

Supposons qu'il s'agisse de la régulation de la vitesse d'une machine et que sa valeur dépasse sa valeur normale. M s'élève, M₁ s'abaisse et entraîne les petits pistons p₁ et p₂; p₁ ouvre l'échappement E₁, p₂ ferme E₂ et l'huile sous pression pousse le piston P dans le sens de la fermeture du vannage de la machine. (Cas d'un régulateur indirect simple.) Mais la came fixée à la tige de P soulève dans son mouvement de translation la tige supportant le point fixe O du levier de transmission, de sorte que les pistons p₁ et p₂ reprennent leur position neutre plus tôt qu'ils ne le feraient s'il n'y avait pas la came d'asservissement. L'ensemble régulateur-machine est plus stable.

qu'il s'agissait de corriger.

Un remède, l'« asservissement », permet heureusement de corriger ce défaut (fig. 1).

Dû à Joseph Farcot, il a pour but de faire correspondre à chaque variation de position du tachymètre un déplacement proportionnel de l'organe de réglage de la machine. On voit sur le schéma de principe (fig. 1) comment ce dispositif oblige dans une certaine mesure le régulateur à cesser d'agir plus tôt qu'il ne le ferait normalement. Toutefois, on voit aussi que cet asservissement, en modifiant la po-

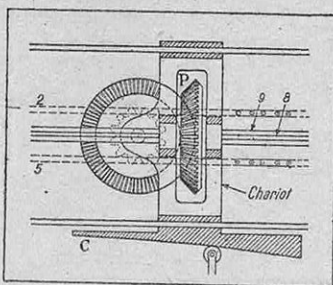


FIG. 3. — EXEMPLE D'ENTRAÎNEMENT DE LA ROUE DU SERVOMOTEUR

Le pignon P tourne constamment et entraîne la roue 1. Lorsque celle-ci est amenée à se déplacer longitudinalement, le pignon peut suivre son mouvement en glissant le long de l'arbre 8. Une longue clavette 9 assure toujours sa rotation. L'asservissement peut être réalisé par la came C solidaire du chariot.

sition du point fixe du levier de transmission des mouvements du tachymètre, provoque la fin de l'action du régulateur avant que la grandeur à régler ait repris sa valeur correcte. Ainsi, dans le cas de la figure 1, le nouveau régime de vitesse sera plus élevé que le premier. On pourra cependant y revenir grâce à la « compensation » qui permet d'agir sur la « longueur » de la tige supportant le point fixe O du levier en question.

Si les instruments de mesure sont bien connus, les servomoteurs le sont moins. Ils sont soit électriques (moteurs à deux sens de rotation), soit pneumatiques, oléopneumatiques, électromécaniques, ou purement mécaniques.

Voici un nouveau servomoteur très simple que l'on peut ranger dans l'une ou l'autre des deux dernières

catégories suivant les détails d'exécution (fig. 2).

Imaginons une roue à chaîne 1 tournant constamment dans le sens f1, mais susceptible de coulisser parallèlement aux axes XY, X'Y' des chaînes 2 et 5 qu'elle commande. Ces chaînes embrassent des roues 3-4 et 6-7, normalement folles. La roue 3 et la roue 6 peuvent cependant être immobilisées par des freins ou encliquetages électromagnétiques agissant sur l'une ou sur l'autre. Il est clair que, si les roues 3 et 6 sont folles, l'axe de la roue 1 est immobile, et les chaînes 2 et 5 prennent des vitesses égales et dirigées dans les sens f2 et f3. Immobilisons à présent la roue 3; ne pouvant se déplacer, la chaîne 2 sert de chemin de roulement à la roue 1, qui, toujours en rotation dans le sens f1, se déplace en roulant sur 2 dans le sens f3. Dans le cas contraire (3 libre et 6 immobilisée), la translation de la roue 1 se ferait dans le sens f2. Le dispositif réalise donc à volonté un débrayage ou une commande dans le sens voulu par de simples actions de freinage, ce qui évite tout embrayage électromagnétique compliqué. La figure 3 donne un exemple d'entraînement de la roue 1; cet entraînement peut être obtenu soit par un moteur auxiliaire, soit par la machine elle-même.

Quant à l'asservissement, il peut être simplement obtenu par une came fixée sur un organe solidaire des déplacements de translation de la roue 1 (fig. 3).

Ce servomoteur, qui a déjà donné d'intéressants résultats, semble spécialement désigné dans les cas où les embrayages électromécaniques ne peuvent être employés avec succès en raison de leur prix et de leur inertie.

La lutte contre la poussière dans les grands chantiers de construction

L'ENORME quantité de poussière dégagée au cours de certains travaux de construction cons-

tituerait vite un véritable danger, non seulement pour les ouvriers obligés de vivre dans une atmosphère irrespirable, mais encore pour les organes de machines qui sont rapidement victimes de cet abrasif qui s'insinue entre les pièces en contact.

Une poussière extrêmement abondante et nocive se produit notamment pendant la construction des barrages en béton, par suite des grandes masses de pierre qu'il faut concasser. C'est ainsi que, dans la Caroline du Nord (Etats-Unis), des précautions spéciales ont dû être prises au cours de la construction du barrage établi sur le Hiwassee, pour lequel il a fallu traiter plus de 17 millions de tonnes de « grauwacke » (sorte de grès micacé abondant dans les formations carbonifères et appelé souvent grès houiller). Le taux de poussière a dû être ramené à un maximum admissible, estimé, d'après les directives du service de l'hygiène fédéral, à 350 millions de particules de poussière de pierre par mètre cube d'air.

Nous allons voir qu'en définitive l'eau s'est révélée le moyen le plus efficace pour atteindre ce but.

Suivons dans leur ordre les diverses opérations d'un tel travail : forage, extraction de la pierre, transport aux préconcasseurs, puis aux concasseurs, enfin, transport sur les chantiers de construction. Au cours du forage, on put constater la présence de 5,3 milliards de particules par mètre cube d'air qui furent ramenées à 140 millions par aspiration et par injection d'eau sous pression les transformant en boue. Pendant l'extraction au moyen d'un excavateur à godets de 2,3 m³ et le transport dans des wagonnets de 5,9 m³, 2,5 milliards de particules par mètre cube auraient rendu inhabitable la cabine du mécanicien sans un mouillage des tas de pierres et un arrosage convenable des chantiers de taille. C'est encore au mouillage que l'on fit appel pendant le transport au préconcasseur, mais pour une production de 500 t/h la poussière fut si abondante qu'il fallut en outre installer des aspirateurs. Quant au voyage vers le concas-

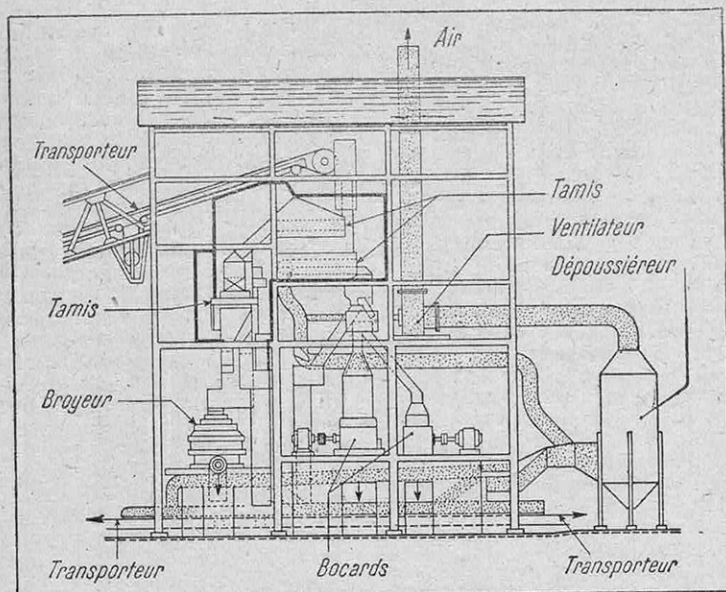


FIG. 4. — ÉLIMINATION DES POUSSIÈRES DANS L'INSTALLATION DE BROYAGE POUR LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE HIWASSEE

Les tuyauteries marquées de pointillés sont celles utilisées pour l'évacuation des poussières.

seur, il fut effectué dans une galerie fermée où, constamment soumise à un courant d'air de 60 m/mn, la pierre humide ne développa que 100 millions de particules de poussière par mètre cube. Enfin, dans l'installation de concassage proprement dite, comportant quatre bocards et un concasseur, l'air surchargé de poussière avant son arrivée aux tamis fut aspiré continuellement à raison de 225 m³/mn; celui provenant des bocards (les plus gros générateurs de poussière) qui traitaient 225 t de pierre à l'heure — il fut également aspiré à raison de 225 m³/mn puis conduit à un dépoussiéreur. De là, la pierre toujours humide était amenée aux chantiers.

Au total, la dépense d'eau atteignit 41 litres par tonne de pierre.

V. RUBOR.

TARIF DES ABONNEMENTS

Envois simplement affranchis.....	1 an	80 fr.
Envois recommandés.....	1 an	110 fr.

La table générale des matières (1913-1922, n° 1 à 186) est en vente à nos bureaux. Envoi franco 25 francs.

Tous les règlements doivent être effectués exclusivement par chèque postal. — Tout changement d'adresse doit être accompagné de la somme de 2 francs en timbres-poste.

Rédaction et Administration : actuellement : 3 rue d'Alsace-Lorraine - Toulouse (H^e G.) Chèques Postaux : Toulouse 184-05

BULLETIN D'ABONNEMENT (315)

Nom (en majuscules) et prénoms :

Adresse :

Déclare m'abonner pour **un an**, au prix de (tarif ci-dessus), que je vous adresse par Chèque postal 184-05 Toulouse. Le premier numéro à envoyer sera le n°

" Science et Vie " est le seul magazine de vulgarisation scientifique et industrielle.

SEULS LES DIPLOMES OFFICIELS ASSURERONT VOTRE AVENIR

Jeunes gens ! N'attendez pas plus longtemps, suivez dès maintenant nos COURS SUR PLACE ou par CORRESPONDANCE et vous obtiendrez les diplômes officiels suivants délivrés par l'ÉTAT FRANÇAIS :

- CERTIFICAT D'APTITUDE PROFESSIONNELLE DE MONTEUR D'INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES;
- BREVET PROFESSIONNEL DE DESSINATEUR EN CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES, MÉTALLIQUES, MÉCANIQUES OU NAVALES;
- BREVET PROFESSIONNEL DE SOUDEUR AUTOGÈNE.

La possession d'un de ces diplômes vous ouvrira de magnifiques carrières dans l'INDUSTRIE, l'AVIATION, la MARINE et les GRANDES ADMINISTRATIONS D'ÉTAT.

Placement assuré des élèves diplômés

Demandez aujourd'hui même tous renseignements utiles à
**L'ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE
DE RADIO-ÉLECTRICITÉ**
51, boulevard Magenta à PARIS (X^e)

BON A DÉCOUPER OU RECOPIER
pour recevoir gratuitement et sans engagement le programme d'études et la documentation.

NOM :

ADRESSE :

DIPLOME DÉSIRÉ :

Philatélistes Echangistes Spéculateurs

vous avez intérêt à commander
notre **circulaire mensuelle**
(*spécimen gratuit*)

Nombreuses
occasions
en



France
Colonies
Nouveautés

Timbres provenant d'œuvres et d'échanges

Ab. DENIS
LA COQUILLE (Dordogne)

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



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

L'ÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS

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

INSTITUT ELECTRO-RADIO

6, RUE DE TÉHÉRAN-PARIS-8^e

DE SUITE, écrivez-nous pour recevoir gratuitement notre luxueux programme. Service \ \$
"L'ÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS MODERNES"
PRÉPARATION AUX DIPLOMES D'ÉTAT

GAZOGÉNISTES!



Vous supprimerez:

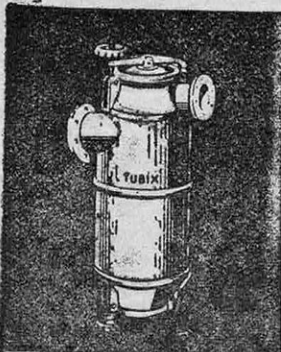
- le colmatage du filtre
- l'encrassement du mélangeur
- le gommage des soupapes
- l'usure du moteur

en montant le préfiltre TUBIX
" qui retient 90 à 95 % des impuretés "
ou le dégoudronneur SPIRAX.

Votre moteur aime le gaz propre comme vous aimez l'air pur

Documentation et références sur demande

5.000 APPAREILS EN SERVICE
50 REPRÉSENTANTS EN FRANCE



Encombrement
0,60 cm. x 0,30 cm.
Poids : 20 kgs

Le Préfiltre

TUBIX

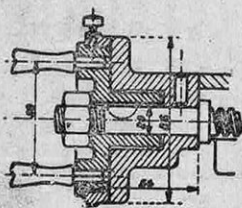
*L'assurance-vie
de votre moteur !*

ET'S PRAT ET FILS S A Service TUBIX
84 rue Mirameznil, PARIS 14^e • 24 quai, Falechiron, LYON Franklin 81-44

PUB MOULIN

En moins d'un an vous pouvez être DESSINATEUR INDUSTRIEL

L'école par correspondance "LE DESSIN FACILE"
vous donnera une formation complète



Chaque année l'industrie recherche des centaines de dessinateurs pour mettre au point dans les bureaux d'étude les projets des ingénieurs. Ce métier passionnant qui permet de vivre dans une atmosphère de recherche et de découverte ne nécessite ni talent, ni don exceptionnel.

Le cours par correspondance de dessin industriel de l'école "LE DESSIN FACILE" donne aux élèves la formation complète exigée de ceux qui veulent entrer dans les bureaux d'études de toute industrie. Il ne suffit pas en effet de savoir utiliser correctement les instruments de dessin et de tracer convenablement les traits et les courbes. Il faut en outre comprendre les raisons qui ont déterminé le choix de leur contour et distinguer les motifs techniques qui ont conduit

à une solution mécanique. C'est pourquoi chaque leçon du cours de dessin industriel est complétée par un exposé de technologie qui familiarise les élèves avec les problèmes rencontrés dans l'industrie.

En outre, chaque élève envoie à intervalles réguliers des devoirs qui lui sont retournés corrigés et accompagnés de conseils personnels conférant ainsi au cours de dessin industriel la valeur d'un véritable enseignement particulier.

BON

pour une notice SV 40 sur le
cours de dessin Industriel

"LE DESSIN FACILE"
11, rue Kepler, PARIS (16^e).

LA RADIO

manque

DE SPECIALISTES !

JEUNES GENS !...

Pour répondre aux besoins sans cesse grandissants de la Radio française en cadres spécialisés, nous conseillons vivement aux jeunes gens de s'orienter délibérément vers les carrières de la T. S. F.

AVIATION CIVILE ET MILITAIRE, INDUSTRIE, MARINE MARCHANDE ET MARINE NATIONALE, COLONIES, MINISTÈRES ET ADMINISTRATIONS

Ces carrières réaliseront les aspirations de la jeunesse moderne, puisqu'elles joignent à l'attrait du scientifique celui de travaux manuels importants.

PRÉPAREZ CES CARRIÈRES
en suivant nos cours spécialisés

PAR CORRESPONDANCE

conçus d'après les méthodes les plus modernes de l'enseignement américain.

INSCRIPTIONS

à toute époque de l'année.

TOUS NOS COURS COMPORTENT DES
EXERCICES PRATIQUES A DOMICILE.

PLACEMENT

A l'heure actuelle, nous garantissons le placement de tous nos élèves opérateurs radiotélégraphistes **DIPLOMÉS**.

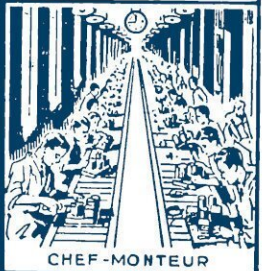
L'École délivre des **CERTIFICATS DE FIN D'ÉTUDES** conformément à la loi du 4 août 1942.



RADIO VOLANT



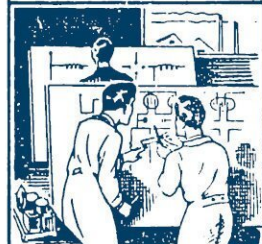
SOUS-INGENIEUR



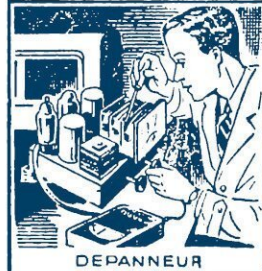
CHEF-MONTEUR



MARINE MARCHANDE



INGENIEUR



DEPANNEUR

Demander nos notices envoyées

gratuitement sur demande

ECOLE PROFESSIONNELLE RADIOTECHNIQUE

RUE DU MARECHAL LYAUTEY-VICHY-(ALLIER)

Adresse de repli

Publicité R. DOMÉNACH M.C.S.P.

NITROLAC

LA GRANDE MARQUE DE PEINTURE



TOUS LES PROBLÈMES DE PEINTURE

NITROLAC

98, ROUTE D'AUBERVILLIERS-ST. DENIS (SEINE)-PLAINE-1655