

France et Colonies : 5 fr.

N° 253 - Juillet 1938

# LA SCIENCE ET LA VIE



CHARBON & CARBURANTS DE SYNTHÈSE

# L'OUTILERVÉ

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

• •  
**L'OUTILERVÉ**  
remplace tout un atelier.

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

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

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

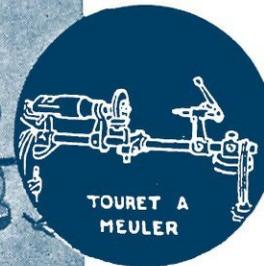
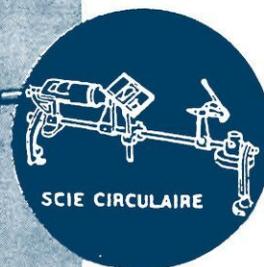
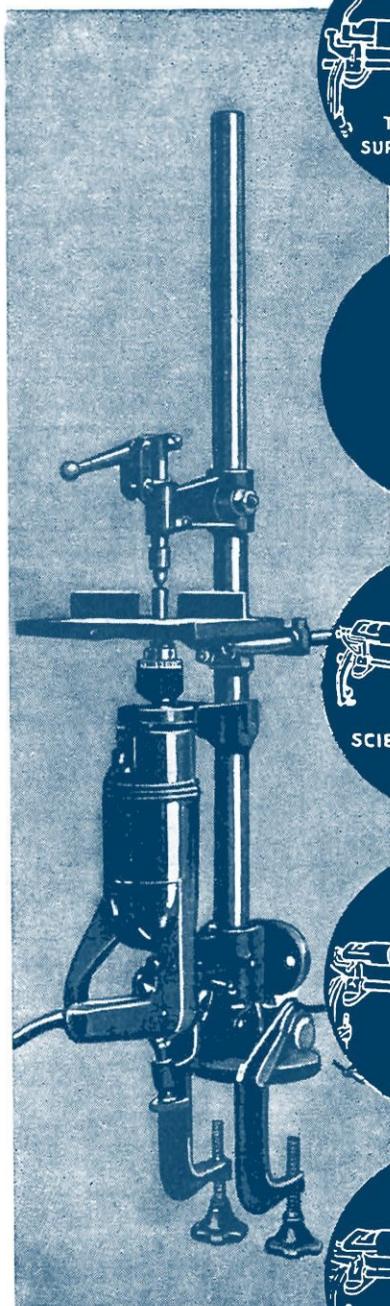
**SIAME**

Succ<sup>rs</sup> de la S. A. RENÉ VOLET

Demander notices et tous renseignements à la

**SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE D'APPAREILLAGES  
MÉCANIQUES ET ÉLECTRIQUES**

**74, rue Saint-Maur, PARIS-XI<sup>e</sup> — Téléphone : Roquette 96-50 (2 lignes groupées)**



**MARINE - AVIATION - T.S.F.**

**LES PLUS BELLES  
CARRIÈRES**



**L'ÉCOLE  
DE NAVIGATION  
MARITIME & AÉRIENNE**

(Placée sous le haut patronage de l'Etat)

**152, av. de Wagram, PARIS (17°)**

VOUS PRÉPARERA A L'ÉCOLE MÊME  
OU PAR CORRESPONDANCE

**T. S. F.**

**ARMÉE, MARINE, AVIATION**

**MARINE MILITAIRE**

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

**MARINE MARCHANDE**

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

**AVIATION MILITAIRE**

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

**AVIATION MARITIME**

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

**AVIATION CIVILE**

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



MÊME ÉCOLE A NICE, placée sous le haut patronage de la Ville de Nice  
**56, boulevard Impératrice-de-Russie**

**POMPES DAUBRON**

57, avenue de la République, PARIS

**ÉLECTRO-POMPES DOMESTIQUES**

pour villas, fermes, arrosage, incendies

**FONCTIONNEMENT AUTOMATIQUE**Distribution d'eau sous pression  
par les groupes**DAUBRON****POMPES INDUSTRIELLES**

tous débits, toutes pressions, tous usages

**SANS-FILISTES** avant d'ac-

quéir un  
appareil récepteur, n'hésitez pas à  
consulter le service technique de  
**La Science et la Vie**. Il vous  
renseignera impartialement sans  
tenir compte de considérations  
commerciales qui, trop souvent,  
faussent le jugement.

(Joindre un timbre de 0 fr. 65.)

**LANGUES VIVANTES**

Which is the way to Recadilly?



IL EST  
PLUS FACILE  
d'apprendre seul  
L'ANGLAIS  
L'ALLEMAND  
L'ITALIEN  
L'ESPAGNOL

avec

**ASSIMIL****" LA MÉTHODE FACILE "**

que par n'importe quel autre moyen.

**LA PLUS FORTE VENTE EN FRANCE**

Grosse économie de temps et d'argent.

7 leçons d'essai et documentation complète  
contre 2 fr. en timbres ou coupons-réponses  
pour chaque langue.**ASSIMIL, 15<sup>bis</sup>, rue de Marignan, Paris (8<sup>e</sup>)**

(SERVICE S. C.)

un ensemble  
unique...

PHOTOGRAVURE  
OFFSET - TYPONS  
GALVANOPLASTIE  
CLICHERIE  
PHOTOS  
RETOUCHES

pour  
illustrer vos  
Publicités

**Établissements**

**Laureys Frères**  
17, rue d'Enghien, Paris

LA PUBLICITÉ DE  
LA SCIENCE ET LA VIE  
est exclusivement reçue par  
EXCELSIOR PUBLICATIONS

118, CHAMPS-ÉLYSÉES - ÉLYSÉES 65-94 à 98

Une **INVENTION NOUVELLE**

est souvent une source de profits pour son auteur.

Un **BREVET d'INVENTION**

bien étudié permet seul d'en tirer parti.

POUR AVOIR  
UNE BONNE  
PROTECTION

**UTILISEZ LES  
SPÉCIALISTES**

DE

**LA SCIENCE ET LA VIE**



RENSEIGNEMENTS  
GRATUITS SUR PLACE  
ET PAR ÉCRIT AU

**SERVICE SPÉCIAL DES  
INVENTIONS NOUVELLES**

DE

**LA SCIENCE ET LA VIE**



23, RUE LA BOÉTIE  
PARIS (VIII<sup>e</sup>)

PUBL. C. BLOCH



Pour sa Santé !  
Pour sa Ligne !

**L'HOMME MODERNE**  
doit porter la  
**Nouvelle Ceinture**

**Anatomic**

**INDISPENSABLE** à tous les hommes qui " fatiguent " dont les organes doivent être soutenus et maintenus. **OBLIGATOIRE** aux " sédentaires " qui éviteront " l'empâtement abdominal " et une infirmité dangereuse : **l'obésité.**

Nos	TISSU ÉLASTIQUE — BUSC CUIR —	Haut. devant	COTE	
			forte	souple
101	Non réglable...	20 c/m	100 f.	130 f.
102	Réglable.....	20 c/m	120 f.	150 f.
103	Non réglable...	24 c/m	130 f.	160 f.
104	Réglable.....	24 c/m	150 f.	180 f.

**Recommandé :** 102 et 104 (se serrant à volonté).  
**Commande :** Indiquer votre tour exact d'abdomen.  
**Echange :** par retour si la taille ne convient pas.  
**Envoi :** rapide, discret, par poste, recommandé  
**Port :** France et Colonies : 5 fr. - Étranger : 20 fr.  
**Paiement :** mandat ou remboursements (sauf Étranger).  
**Catalogue :** échantill. tissus et feuil. mesur. Fco

**BELLARD - V. THILLIEZ**  
SPÉCIALISTES  
24, Faubourg Montmartre, PARIS-9<sup>e</sup>



UNE JUMELLE DE CLASSE  
EST VENDUE PAR

*les meilleurs opticiens*

● Demandez à votre opticien à quoi se reconnaît une jumelle de classe. Il vous dira qu'elle doit être

**PRÉCISE, LÉGÈRE et FRANÇAISE**

● Si c'est un opticien d'élite, à qui nous avons confié notre marque, il ajoutera : Prenez la jumelle légère de précision Milli 312 **BBT KRAUSS** c'est la dernière création **BBT**, elle représente le summum de la construction française.

● Seule la puissance industrielle de **BBT** et ses immenses débouchés ont permis d'offrir une jumelle aussi parfaite à un prix aussi raisonnable.

JUMELLES DE  
PRÉCISION

**BBT**

R.L.D



Demandez à votre opticien la plaquette  
"UN RÊVE RÉALISÉ"  
ou à défaut, réclamez-la en écrivant à :  
**BBT KRAUSS, 82, Rue Curial, Paris-19°**

LE PLUS MODERNE  
DES JOURNAUX

Documentation la plus complète  
et la plus variée

**EXCELSIOR**

GRAND  
QUOTIDIEN  
ILLUSTRÉ

ABONNEMENTS

FRANCE ET COLONIES ..	{	Trois mois ..	40 fr.
		Six mois ..	77 fr.
		Un an ..	150 fr.
BELGIQUE .. . . . .	{	Trois mois ..	48 fr.
		Six mois ..	93 fr.
		Un an ..	180 fr.
ÉTRANGER (tarif postal réduit) .. . . . .	{	Trois mois ..	73 fr.
		Six mois ..	135 fr.
		Un an ..	260 fr.
ÉTRANGER (tarif postal augmenté) .. . . . .	{	Trois mois ..	98 fr.
		Six mois ..	190 fr.
		Un an ..	370 fr.

**EXCELSIOR**  
*modes*

**Le Bréviaire de l'Élégance**

Grand supplément trimestriel d'EXCELSIOR paraissant à chaque nouvelle saison de la Mode et donnant tous les modèles-types de la haute Couture.

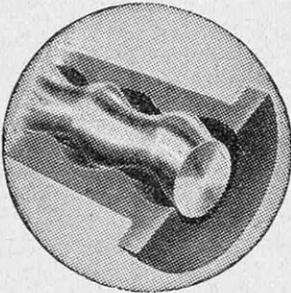
**84 pages luxueusement illustrées**

*Ah! si j'avais...*



**VOUS**  
 qui poursuivez un rêve  
**VOUS**  
 qui souhaitez un meilleur destin...  
 ne laissez pas passer  
**VOTRE CHANCE**  
 Prenez le  
**BON BILLET**  
 de la

**LOTERIE NATIONALE**

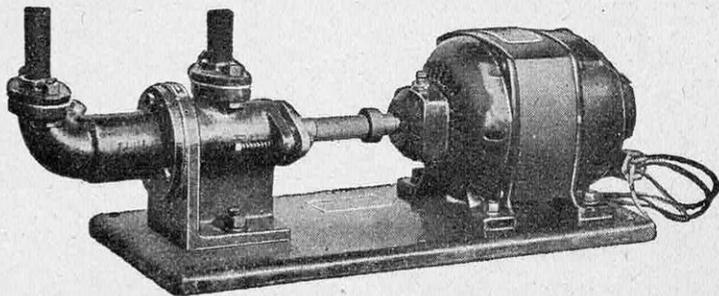


**P.C.M.**  
**POMPES EN CAOUTCHOUC**  
**P.C.M.**

LICENCE R. MOINEAU, BREVETÉE FRANCE ET ÉTRANGER

**AVANTAGES**

**TOUS FLUIDES**  
 LIQUIDES OU GAZEUX  
 EAU — VIN — PURIN  
 MAZOUT — ESSENCE  
 LIQUIDES ÉPAIS ET ABRASIFS  
 LIQUIDES ALIMENTAIRES  
 CRAIGNANT L'ÉMULSION  
**SILENCIEUSES**  
 AUTO-AMORÇAGE  
 SIMPLICITÉ - ROBUSTESSE  
 USURE NULLE - ÉCONOMIE  
 — TOUS DÉBITS —  
 — TOUTES PRESSIONS —  
 FACILITÉ D'ENTRETIEN



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

**POMPES . COMPRESSEURS . MÉCANIQUE**  
 SOCIÉTÉ  
 65-65 RUE DE LA MAIRIE VANVES (SEINE) TÉL MICHELET 3748

# ÉTUDES CHEZ SOI

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

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

## L'ÉCOLE UNIVERSELLE,

placée sous le haut patronage de plusieurs Ministères et Sous-Secrétariats d'Etat,  
LA PLUS IMPORTANTE DU MONDE.

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

### LES MILLIERS DE SUCCÈS

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

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

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

**BROCHURE N° 34.701**, concernant les *classes complètes* de l'**Enseignement primaire et primaire supérieur** jusqu'aux Brevet élémentaire et Brevet supérieur inclusivement — concernant, en outre, la préparation rapide au *Certificat d'études primaires*, au *Brevet élémentaire*, au *Brevet supérieur*, pour les jeunes gens et jeunes filles qui ont déjà suivi les cours complets d'une école — concernant, enfin, la préparation au *Certificat d'aptitude pédagogique*, aux divers *Professorats*, à l'*Inspection primaire*, au *Certificat d'études P. C. B.* et à l'*examen d'herboriste*.

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

**BROCHURE N° 34.708**, concernant toutes les *classes complètes* de l'**Enseignement secondaire** officiel depuis la onzième jusqu'au *Baccalauréat* inclusivement — concernant aussi les examens de passage — concernant, enfin, pour les jeunes gens et les jeunes filles qui ont déjà suivi les cours d'un lycée ou d'un collège, la préparation rapide aux divers *baccalauréats* et aux *diplômes de fin d'études secondaires*.

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

**BROCHURE N° 34.710**, concernant la préparation à *tous les examens* de l'**Enseignement supérieur** : licence en droit, licence ès lettres, licence ès sciences, certificat d'aptitude aux divers professorats, etc.

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

**BROCHURE N° 34.715**, concernant la préparation aux concours d'admission dans *toutes les grandes Ecoles spéciales* : Agriculture, Industrie, Travaux Publics, Mines, Commerce, Armée et Marine, Enseignement, Beaux-Arts, Colonies, etc.

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

**BROCHURE N° 34.722**, concernant la préparation à *toutes les carrières administratives* de la Métropole et des Colonies.

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

**BROCHURE N° 34.726**, concernant la préparation à tous les brevets et diplômes de la **Marine marchande** : Officier de pont, Officier mécanicien, Commissaire, T. S. F., etc.  
(Enseignement donné par des officiers de pont, Ingénieurs, Officiers mécaniciens, Commissaires, Professeurs de l'Université, etc.)

**BROCHURE N° 34.730**, concernant la préparation aux carrières d'Ingénieur, Sous-Ingénieur, Dessinateur, Conducteur, Chef de Chantier, Contremaître dans toutes les spécialités de l'Industrie et des **Travaux publics** : Electricité, T. S. F., Mécanique, Automobile, Aviation, Mines, Forge, Chauffage central, Chimie, Travaux publics, Architecture, Béton armé, Topographie, etc.  
(Enseignement donné par des Professeurs des Grandes Ecoles, Ingénieurs spécialistes, Professeurs de l'Enseignement technique, etc.)

**BROCHURE N° 34.735**, concernant la préparation à toutes les carrières de l'Agriculture, des **Industries agricoles** et du **Génie rural**, dans la Métropole et aux Colonies. — **Radiesthésie**.  
(Enseignement donné par des Professeurs des Grandes Ecoles, Ingénieurs agronomes, Ingénieurs du Génie rural, etc.)

**BROCHURE N° 34.741**, concernant la préparation à toutes les carrières du **Commerce** (Administrateur commercial, Secrétaire commercial, Correspondancier, Sténo-Dactylographe) ; de la **Comptabilité** (Expert-Comptable, Comptable, Teneur de livres) ; de la **Représentation**, de la **Banque** et de la **Bourse**, des **Assurances**, de l'**Industrie hôtelière**, etc.  
(Enseignement donné par des Professeurs d'Ecoles pratiques, Experts-Comptables, Techniciens spécialistes, etc.)

**BROCHURE N° 34.746**, concernant la préparation aux métiers de la **Couture**, de la **Coupe**, de la **Mode** et de la **Chemiserie** : Petite-Main, Seconde-Main, Première-Main, Couturière, Vendeuse, Vendeuse-retoucheuse, Modéliste, Modiste, Coupeuse, Lingère, Brodeuse, Coupeur-Chemisier, Coupe pour hommes, Professorats libres et officiels, etc.  
(Enseignement donné par des Professeurs officiels et par des Spécialistes hautement réputés.)

**BROCHURE N° 34.750**, concernant la préparation aux carrières du **Cinéma** : Carrières artistiques, techniques et administratives.  
(Enseignement donné par des Techniciens spécialistes.)

**BROCHURE N° 34.759**, concernant la préparation aux carrières du **Journalisme** : Rédacteur, Secrétaire de Rédaction, Administrateur-Directeur, etc.  
(Enseignement donné par des Professeurs spécialistes.)

**BROCHURE N° 34.761**, concernant l'étude de l'**Orthographe**, de la **Rédaction**, de la **Rédaction de lettres**, de l'**Eloquence usuelle**, du **Calcul**, du **Calcul mental** et extra-rapide, du **Dessin usuel**, de l'**Ecriture**, etc.  
(Enseignement donné par des Professeurs de l'Enseignement primaire et de l'Enseignement secondaire.)

**BROCHURE N° 34.765**, concernant l'étude des **Langues étrangères** : *Anglais, Espagnol, Italien, Allemand, Russe, Annamite, Portugais, Arabe, Esperanto*. — Concernant, en outre, les carrières accessibles aux polyglottes et le **Tourisme** (Interprète).  
(Enseignement donné par des Professeurs ayant longtemps séjourné dans les pays dont ils enseignent la langue.)

**BROCHURE N° 34.772**, concernant l'enseignement de tous les **Arts du Dessin** : Cours universel de dessin, Dessin usuel, Illustration, Caricature, Composition décorative, Décoration, Aquarelle, Peinture, Pastel, Fusain, Gravure, Décoration publicitaire — concernant également la préparation à tous les **Métiers d'art** et aux divers **Professorats**, E. P. S., Lycées, Ecoles pratiques.  
(Enseignement donné par des Artistes réputés, Lauréats des Salons officiels, Professeurs diplômés, etc.)

**BROCHURE N° 34.775**, concernant l'**enseignement complet de la musique** : Musique théorique (*Solfège, Chant, Harmonie, Contrepoint, Fugue, Composition, Instrumentation, Orchestration, Transposition*), Musique instrumentale (*Piano, Accompagnement au piano, Violon, Flûte, Mandoline, Banjo, Clarinette, Saxophone, Accordéon*) — concernant également la préparation à toutes les carrières de la **Musique** et aux divers **Professorats** officiels ou privés.  
(Enseignement donné par les Grands Prix de Rome, Professeurs membres du jury et Lauréats du Conservatoire national de Paris.)

**BROCHURE N° 34.781**, concernant la préparation à toutes les **carrières coloniales** : Administration, Commerce, Industrie, Agriculture.  
(Enseignement donné par des Fonctionnaires supérieurs des Grandes Administrations, Techniciens spécialistes des questions coloniales, Ingénieurs d'Agronomie coloniale.)

**BROCHURE N° 34.785**, concernant l'**Art d'écrire** (Rédaction littéraire, Versification) et l'**Art de parler en public** (*Eloquence usuelle, Diction*).

**BROCHURE N° 34.789**, concernant l'**enseignement** pour les **enfants débiles** ou **retardés**.

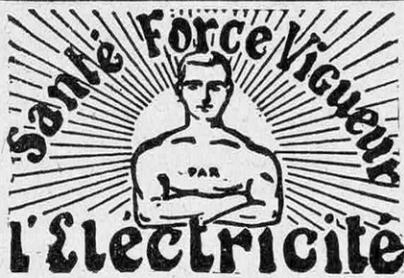
**BROCHURE N° 34.793**, concernant les **carrières féminines** dans tous les ordres d'activité.

**BROCHURE N° 34.796**, **Coiffure, Manucure, Pédicure, Massage, Soins de beauté**.

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

# L'ÉCOLE UNIVERSELLE

59, boulevard Exelmans, PARIS (16<sup>e</sup>)



**L'Institut Moderne du Dr Grard à Bruxelles** vient d'éditer un traité d'Électrothérapie destiné à être envoyé gratuitement à tous les malades qui en feront la demande. Ce superbe ouvrage médical en 5 parties, écrit en un langage simple et clair, explique la grande popularité du traitement électrique et comment l'électricité, en agissant sur les systèmes nerveux et musculaire, rend la santé aux malades, débilités, affaiblis et déprimés.

**1re Partie : SYSTÈME NERVEUX.**

Neurasthénie, Névroses diverses, Névralgies, Névrites, Maladie de la Moelle épinière, Paralysies.

**2me Partie : ORGANES SEXUELS ET APPAREIL URINAIRE.**

Impuissance totale ou partielle, Varicocele, Pertes Séminalles, Prostatite, Écoulements, Affections vénériennes et maladies des reins, de la vessie et de la prostate.

**3me Partie : MALADIES de la FEMME**

Métrite, Salpingite, Leucorrhée, Écoulements, Anémie, Faiblesse extrême, Aménorrhée et dysménorrhée.

**4me Partie : VOIES DIGESTIVES**

Dyspepsie, Gastrite, Gastralgie, Dilatation, Vomissements, Aigreurs, Constipation, Entérites multiples, Occlusion intestinale, Maladies du foie.

**5me Partie : SYSTÈME MUSCULAIRE ET LOCOMOTEUR**

Myalgies, Rhumatismes divers, Goutte, Sciatique, Arthritisme, Artério-Sclérose, Troubles de la nutrition, Lithiase, Diminution du degré de résistance organique.

La cause, la marche et les symptômes de chacune de ces affections sont minutieusement décrites afin d'éclairer le malade sur la nature et la gravité de son état. Le rôle de l'électricité et la façon dont opère le courant galvanique sont établis pour chaque affection.

L'application de la batterie galvanique se fait de préférence la nuit et le malade peut sentir le fluide bienfaisant et régénérateur s'infiltrer doucement et s'accumuler dans le système nerveux et tous les organes, activant et stimulant l'énergie nerveuse, cette force motrice de la machine humaine.

Chaque ménage devrait posséder cet ouvrage pour y puiser les connaissances utiles et indispensables à la santé, afin d'avoir toujours sous la main l'explication de la maladie ainsi que le remède spécifique de la guérison certaine et garantie.

**C'EST GRATUIT**

Hommes et femmes, célibataires et mariés, écrivez une simple carte postale à Mr le Docteur L. P. GRARD, 30, Avenue Alexandre-Bertrand, BRUXELLES-FOREST, pour recevoir par retour, sous enveloppe fermée, le précis d'électrothérapie avec illustrations et dessins explicatifs. Affranchissement pour l'Étranger: Lettre 1.75. Carte 1 fr.

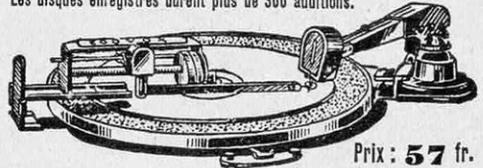
**ENREGISTREZ VOUS-MÊMES...**

les émissions que vous transmettent des mondes lointains vos postes favoris. Enregistrez votre voix, corrigez les défauts de votre diction dans la prononciation des langues étrangères. Enregistrez la voix de ceux qui vous sont chers, en adaptant sur votre phono ou sur le pick-up de votre récepteur

**EGOVOX**

**L'ENREGISTREUR DU SON**

LA SIMPLICITÉ MÊME caractérise le fonctionnement de l'Egovoxx, ce qui n'est pas une des moindres raisons de son succès mondial. Les disques enregistrés durent plus de 300 auditions.



Prix : 57 fr.

CATALOGUE FRANCO SUR DEMANDE

**Soc. REMO-EGOVOX, 1 r. Lincoln, Paris**

Concessionnaire pour la BELGIQUE :  
Anc. Etab. E. DEBRAY, 12, place du Béguinage  
ERQUELINNES (Hainaut)

PUBL. C. BLOCH



*Une nouvelle machine  
à tirer les bleus*

L'ÉLECTROGRAPHE BOY a été étudié, sous l'angle de la situation économique actuelle, pour satisfaire aux besoins d'une Clientèle soucieuse de réduire au minimum ses Frais d'achat et ses Frais généraux, mais trop avertie pour fixer son choix sur une Machine ne présentant pas des Garanties de longue durée et d'amortissement rapide.

*Robuste Rapide  
Economique*

Demandez Catalogues et Renseignements à

**LA VERRERIE SCIENTIFIQUE**  
12, AV. du MAINE. PARIS. XV<sup>e</sup> T. Littré 90-13

**LA RADIESTHÉSIE SCIENTIFIQUE**  
OU  
**RADIO-DÉSINTÉGRATION**

**L. TURENNE**

Ingénieur E. C. P. - Ancien professeur de T. S. F.  
19, rue de Chazelles, PARIS (17<sup>e</sup>) Téléphone : Wagram 42-29

**Appareils perfectionnés - Livres  
COURS ET LEÇONS**

LES ONDES ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES (3 plans d'induction).  
ONDES des AIMANTS, des COULEURS, des CRISTAUX, de tous les CORPS.  
RECHERCHE d'EAU et de MÉTAUX. — ONDES de SANTÉ, CONTRÔLE des MÉDICAMENTS.  
PHOTOGRAPHIES des ONDES.  
Le TÉMOIN INDIVIDUEL (notre double).  
MAISONS CONTAMINÉES. — ONDES NOCIVES d'autos, d'avions, de trains ; leurs APPAREILS DE PROTECTION.  
APPLICATIONS à la Défense nationale.

Envoi franco des notices explicatives

**POMPES - ÉLECTRICITÉ - CHAUFFAGE**

de vraies Besançon

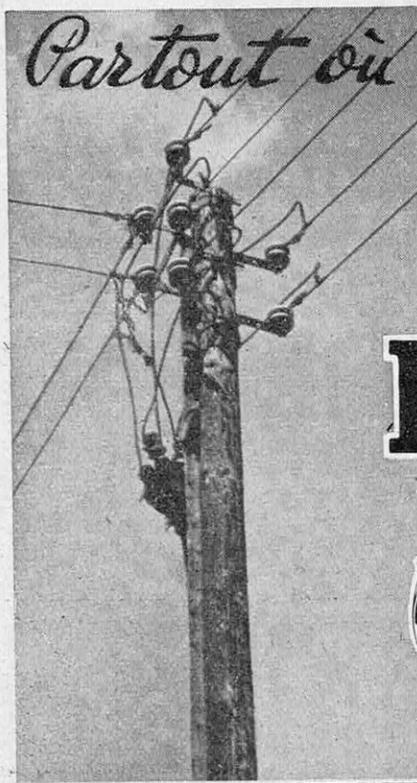
expédiées directement par le fabricant, avec garantie de provenance...

Choisissez la montre à votre goût dans une qualité sûre et durable parmi les 600 modèles pour DAMES et MESSIEURS présentés sur le nouvel Album MONTRES N° 38.65, envoyé gratuitement sur demande par les Etablissements SARDA, les réputés horlogers installés à BESANÇON depuis 1893.

Echanges et reprises de montres anciennes

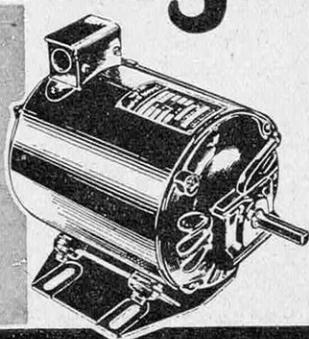
**SARDA**  
**BESANÇON**  
FABRIQUE D'HORLOGERIE DE PRÉCISION

CONDITONS spéciales aux lecteurs de "La Science et la Vie".



*Partout où passe le courant lumière*  
...ET SANS INSTALLER LA FORCE!  
*vous pouvez brancher un*

**Ragonot-Delco**



**ETS RAGONOT**  
15, Rue de Milan - PARIS-IX<sup>e</sup>  
Téléphone: Trinité 17-60 et 61

# ÉCOLE FRANÇAISE DE RADIOÉLECTRICITÉ

Tél. : Port-Royal 105-95

10, rue Amyot, PARIS-5<sup>e</sup>

(Angle rue Lhomond)

**Spécialisée dans la préparation aux diplômes officiels de T. S. F.**

Le nombre des places étant limité, demandez, dès maintenant, notre documentation complète qui vous sera envoyée franco sur simple demande.

**Externes — Demi-pensionnaires — Internes**

**SITUATIONS ASSURÉES AUX ÉLÈVES DIPLOMÉS**

PUBL. C. BLOCH



**pour sortir de là...!**

... comme pour le char embourbé, comptez d'abord sur vous-mêmes, et, dans la vie entourez vous d'éléments propres à valoriser votre travail, afin de ne pas rester en arrière.

Les Règles "MARC" vous seconderont alors efficacement pour réaliser plus vite et simplement vos calculs de prix, horaires, électriques, surfaces, densités, racines, intérêts, fractions, etc.

VENTE : PAPETIERS-LIBRAIRES  
OPTICIENS. INSTRUMENTS DE PRÉCISION

Règles de 38 à 48 frs

**RÈGLES À CALCUL  
DE POCHE MARC**

24, RUE DE DUNKERQUE - PARIS - X<sup>e</sup>

DÉCOUPEZ ET REMPLISSEZ CE BON pour recevoir gratis et sans engagement de votre part, toute documentation sur l'utilité des règles à calcul.

M

Adresse \_\_\_\_\_

20

## PARTIR?... OUI!!

**Mais voyager vite  
et confortablement**

Pour éviter la fatigue et les parcours fastidieux  
Pour mieux voir ce qui mérite d'être vu  
Pour mieux profiter de vos vacances

**PRENEZ D'ABORD LE RAIL**

**Pourquoi le rail?... Parce que...**

**LE RAIL** est fait pour le voyage.

**LE RAIL** est le chemin le plus droit, le plus court, celui qui troue la montagne au lieu de la contourner.

**LE RAIL** est toujours libre et permet des moyennes que ne permettent pas les routes encombrées.

**SUR LE RAIL**, on voyage la nuit aussi vite que le jour.

**SUR LE RAIL**, la vitesse n'exclut ni l'aisance ni le confort.

**EMPORTÉ SUR LE RAIL**, vous serez servi à l'heure des repas, vous pourrez fumer, lire, travailler ou vous intéresser au paysage et le soir, vous endormir dans le lit que vous aurez choisi (couchette, couchette-toilette ou lit-salon).

**SUR LE RAIL**, vous emporterez autant de bagages que vous voudrez... sans avoir à vous en encombrer. Pris chez vous, vous les retrouverez chez vous, à l'arrivée.

**PRENEZ LE TRAIN!**



Société Nationale  
des Chemins de fer Français.

## INVENTEURS

POUR VOS

**BREVETS** WINTHER-HANSEN  
L. DENES Ing. Cons.  
35, Rue de la Lune, PARIS 2<sup>e</sup>

DEMANDEZ LA BROCHURE GRATUITE "S".

## LA SCIENCE ET LA VIE

est le seul Magazine de Vulgarisation  
Scientifique et Industrielle

ÉVITEZ LES ÉPIDÉMIES

◀ **FILTRE** ▶

DANS TOUTES BONNES MAISONS  
et 155, faubourg Poissonnière, Paris

# MALLIÉ



# DITMAR

En vente dans toutes les bonnes maisons de photo et de cinéma

Demander documentation concernant les cinécaméras et projecteurs bi-films "DITMAR"

CONSORTIUM-PHOTO-CINÉMA

40, Rue Condorcet, 40 — PARIS (9<sup>e</sup>)

Tél. TRUD. 54-9

Saisissez et faites revivre avec Ditmar  
C'est parfait et si simple

## TRANSPORT GRATUIT DE L'AUTO

Partez-vous  
en vacances ?

PRENEZ UN RAPIDE

Vous voyagerez vite et confortablement.

MAIS NE VOUS PRIVEZ PAS  
DE VOTRE VOITURE

qui vous permettra de rayonner autour  
d'un centre d'excursions.

VOUS POURREZ LA RETROUVER  
EN DESCENDANT DU TRAIN

En effet, dans certains cas et à certaines  
conditions très faciles à remplir,

**NOUS TRANSPORTONS  
L'AUTO GRATUITEMENT**

Renseignez-vous dans les gares

Société Nationale  
des Chemins de fer Français.



# L'AGRICULTURE NOUVELLE

Indispensable à tous ceux qui vivent de la terre ou s'intéressent aux choses de la campagne, *L'Agriculture Nouvelle* publie tous les samedis, dans un numéro de 16 pages, grand format, copieusement illustré, des articles pratiques et documentés sur le génie rural, l'agriculture générale, la viticulture, la cidrerie, le jardinage, l'arboriculture, la basse-cour, le rucher, l'élevage, la médecine vétérinaire, la chasse, la pêche, etc.

Ce numéro de 16 pages se présente, grâce au nombre, à la variété et à la beauté de ses illustrations, sous une forme attrayante et élégante.

Tous les quinze jours, *L'Agriculture Nouvelle* présente à ses lecteurs une revue des travaux et recherches scientifiques intéressant les productions de la terre et l'exploitation du bétail.

Dans les mêmes conditions, elle donne une énumération complète des lois et décrets, arrêtés, circulaires qui se rapportent aux professions agricoles. Une page féminine est consacrée aux choses de la mode, du ménage, de la famille et aux conseils du médecin.

Une page de lectures amusantes et instructives, des dessins humoristiques, un roman passionnant font de chaque numéro de *L'Agriculture Nouvelle* un journal complet, joignant l'utile à l'agréable.

Le prix du numéro est de **1 franc**. Celui de l'abonnement annuel aux 52 numéros, de **45 francs**. ADMINISTRATION : 18, rue d'Enghien, Paris (10<sup>e</sup>).

# Cigarettes ANIC

extra - douces  
à bout filtrant

*Régie Française*

*Caisse Autonome d'Amortissement*

## DIMANCHE ILLUSTRÉ

L'ILLUSTRÉ DE LA FAMILLE

Publication hebdomadaire pour les adolescents qui s'y instruisent en s'amusant ; publication pour les adultes qui y trouvent d'utiles enseignements et de précieux renseignements ; publication alerte, attrayante et digne enfin de la famille qu'elle passionne à tous les âges de la vie.



## LE JOURNAL DE TOTO

L'ami des enfants de cinq à douze ans. Par l'immense succès qu'il a connu dès son premier numéro, a montré combien heureuse était sa formule et réussie sa présentation.

Adm<sup>ON</sup> : 20, r. d'Enghien, Paris (10<sup>e</sup>) - Publicité : EXCELSIOR-PUBLICATIONS, 118, Champs-Élysées, Paris (8<sup>e</sup>)

Désirez-vous édifier **RAPIDEMENT** un bâtiment **ÉCONOMIQUE** ?

## Seule, la **SÉRIE 39**

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



Nous les fabriquons dans notre usine à Petit-Quevilly lez-Rouen

**LES HANGARS EN ACIER DE LA SÉRIE 39**

Écrivez aujourd'hui pour la Brochure 144 franco 7 demande

**SONT INDISPUTABLEMENT LES MEILLEURS et le MEILLEUR MARCHÉ**

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

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

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

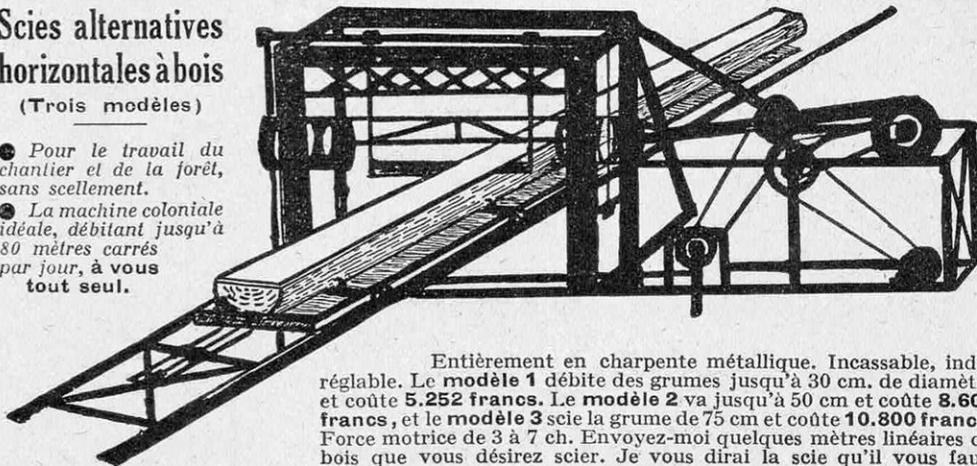
Les demi-fermes de la **Série 39** font des apprentis de scellement muraux ou à poteaux. Aucune combinaison ne manque. A la colonie, on prend quelques fermes de la **Série 39**, on les ferme en agglomérés — que l'on fait soi-même avec la machine que je fabrique également, et, dans un rien de temps, on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

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

### Scies alternatives horizontales à bois

(Trois modèles)

- Pour le travail du chantier et de la forêt, sans scellement.
- La machine coloniale idéale, débitant jusqu'à 80 mètres carrés par jour, à vous tout seul.



Entièrement en charpente métallique. Incassable, indéglable. Le **modèle 1** débite des grumes jusqu'à 30 cm. de diamètre et coûte **5.252 francs**. Le **modèle 2** va jusqu'à 50 cm et coûte **8.600 francs**, et le **modèle 3** scie la grume de 75 cm et coûte **10.800 francs**. Force motrice de 3 à 7 ch. Envoyez-moi quelques mètres linéaires du bois que vous désirez scier. Je vous dirai la scie qu'il vous faut.

NOTA. — Presque tout constructeur a deux rayons. Mon premier est le bâtiment métallique que je fabrique et que je pose. Mon deuxième est la fabrication de scies alternatives et circulaires pour travailler le bois.

## JOHN REID, Ingénieur-Constructeur

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

# ÉCOLE CENTRALE DE T.S.F.

12, RUE DE LA LUNE, PARIS, 2<sup>e</sup>



Fondée en 1919

Médaille d'or 1920

Médaille d'or 1931

## PRÉPARATION AUX SITUATIONS

Ingénieur, sous-ingénieur, chef monteur, dépanneur radio. Officier radio de la marine marchande. Opérateur radio d'aviation, radiotélégraphiste des ministères, breveté supérieur de navigation aérienne, vérificateur des installations électromécaniques des P.T.T.

## Service Militaire - T. S. F.

Génie — Marine — Aviation

Cours du **Jour**, du **Soir** et par **Correspondance**

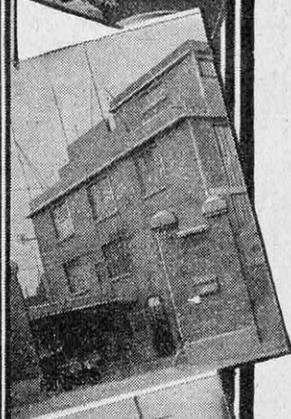
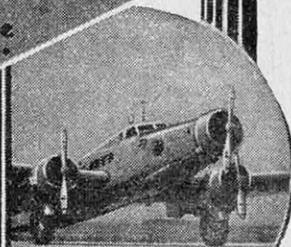
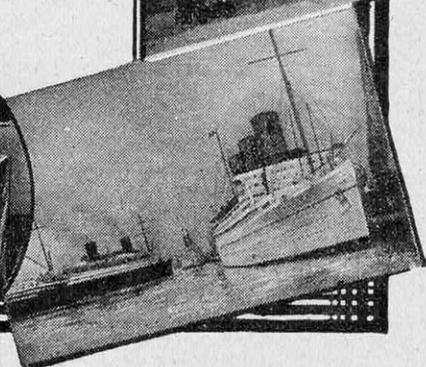
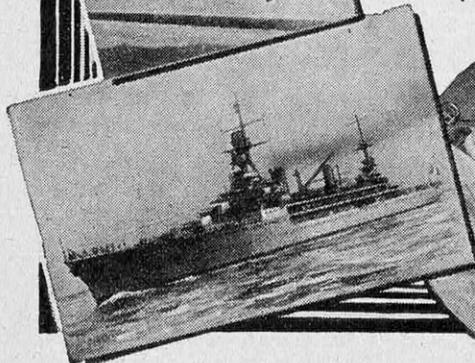
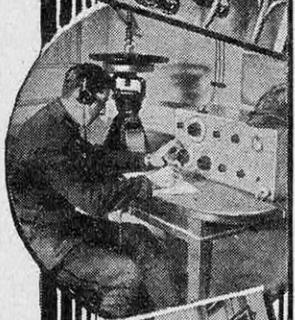
### Le placement et l'incorporation

sont assurés par l'École  
et l'Amicale des Anciens Elèves

Depuis sa fondation l'ÉCOLE CENTRALE DE T. S. F. a préparé plus de 15.000 Elèves qui ont tous obtenu satisfaction. Elle est sans conteste :

## La grande Ecole française de la Radio

Demander renseignements pour  
prochaine session.



# LA SCIENCE ET LA VIE

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

Rédigé et illustré pour être compris de tous

RÉDACTION, ADMINISTRATION : 13, rue d'Enghien, Paris-10°

Chèques postaux : N° 91-07, Paris — Téléphone : Provence 15-21

PUBLICITÉ : Office de Publicité Excelsior, 118, avenue des Champs-Élysées, Paris-8°

Chèques postaux : N° 59-70, Paris — Téléphone : Élysées 65-94 à 98

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays

Copyright by La Science et la Vie, Juillet 1938, R. C. Seine 116,544

Tome LIV

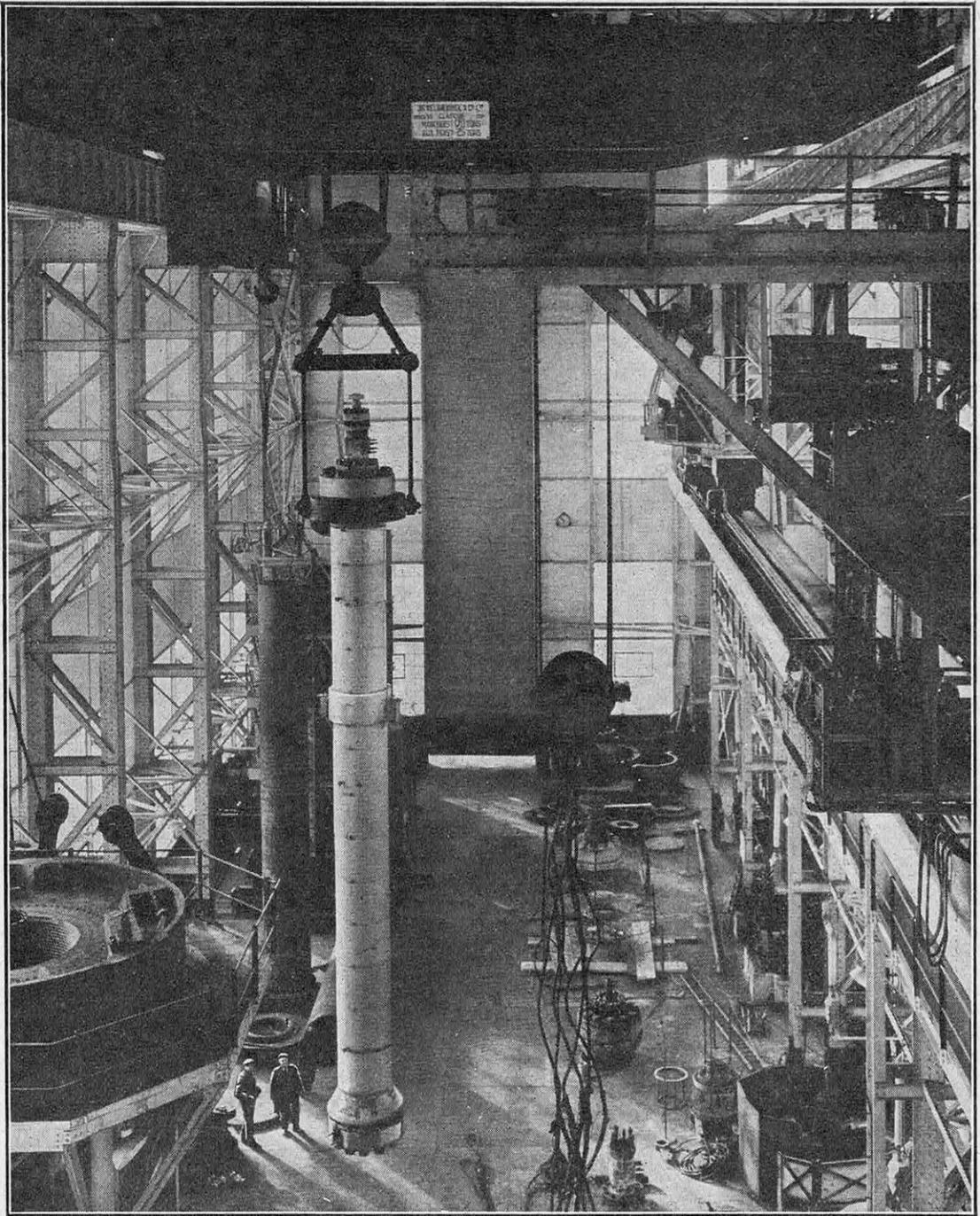
Juillet 1938

Numéro 253

## SOMMAIRE

Du charbon aux essences de synthèse.. . . . .	Charles Berthelot.. . . . .	3
<i>Voici une étude d'ensemble des divers procédés actuellement mis en œuvre industriellement pour la fabrication des carburants de synthèse. L'importance économique de cette branche nouvelle de la grande industrie chimique atteindra et dépassera sans doute bientôt celle des engrais artificiels.</i>		
Que savons-nous des courants électriques qui sillonnent notre sol ?	L. Houlléviqne .. . . . .	14
<i>Les courants telluriques naturels ont constitué longtemps une énigme pour les géophysiciens. On sait aujourd'hui qu'ils sont, au même titre que les orages magnétiques et les aurores polaires, des manifestations indirectes de l'activité solaire.</i>		
Les « microoutils » dans la biologie et la métallurgie.. . . . .	Charles Brachet.. . . . .	21
<i>Voici des outils, calibrés au millième de millimètre, qui permettent d'intervenir avec une précision de l'ordre du millionième de millimètre sur la platine du microscope, soit pour opérer une bactérie, soit pour explorer la structure cristalline d'un alliage.</i>		
Microphotographie, téléphotographie, truquages cinématographiques par les radiations infrarouges.. . . . .	Pierre Keszler .. . . . .	29
<i>Astrophysique, entomologie, archéologie, cinéma et surtout photographie aérienne (métrophotographie) font de plus en plus appel aux progrès récents de la sensibilisation des émulsions photographiques pour cette véritable lumière invisible que constituent les radiations infrarouges.</i>		
Le bactériophage et la destruction des bacilles virulents.. . . . .	Jean Labadié.. . . . .	36
<i>Que savons-nous du bactériophage ? Nous ignorons s'il s'agit d'un être vivant ou d'un composé chimique complexe, mais inerte. Cependant il provoque la disparition rapide de nombreux microbes infectieux et, à ce titre, il a déjà permis la création d'une thérapeutique nouvelle appliquée sur une grande échelle dans les pays tropicaux en particulier.</i>		
Notre poste d'écoute.. . . . .	G. B. . . . .	43
Equilibrage dynamique et vibrations en automobile.. . . . .	Henri Petit .. . . . .	51
<i>Vibrations et bruits nuisent autant à la sécurité mécanique d'une voiture moderne qu'au confort de ses passagers. En automobile, la perfection mécanique exige le silence et la douceur de marche.</i>		
A propos d'artillerie à grande puissance.. . . . .	Général A. Niessel.. . . . .	61
La production économique de l'énergie électrique : turbine à vapeur, turbine hydraulique, moteur Diesel.. . . . .	M. Gautier.. . . . .	65
<i>Le moteur Diesel à haut rendement et à grande puissance (30 000 kW) concurrence et turbine à vapeur et turbine hydraulique pour l'équipement des centrales électriques.</i>		
Voici l'hélice marine à pas variable.. . . . .	Jean Marival.. . . . .	73
La T. S. F. et la Vie.. . . . .	André Laugnac .. . . . .	76

Pour la fabrication synthétique de l'essence, que l'Allemagne pratique depuis dix ans à l'échelle industrielle, les importants gisements de lignite (de Rhénanie en particulier) fournissent une matière première abondante (161 millions de tonnes extraites en 1937) peu coûteuse et se prêtant mieux que la houille, de par sa constitution même, au traitement d'hydrogénation. L'exploitation de ces gisements s'effectue en général à ciel ouvert et exige un outillage à grand rendement. L'excavateur géant que représente la couverture de ce numéro est le plus puissant du monde. D'un poids de 1 400 t, il a pour mission surtout d'enlever la couche d'humus et de stériles qui recouvre le combustible exploitable et qu'il arrache à raison de 27 000 m<sup>3</sup> par jour, ce qui représente 25 trains de marchandises de 40 wagons. (Voir article sur « les carburants de synthèse », page 3 de ce numéro).



UN TUBE D'HYDROGÉNATION EN « PHASE LIQUIDE » AUX USINES DE BILLINGHAM (ANGLETERRE)  
POUR LA FABRICATION SYNTHÉTIQUE DES CARBURANTS

*Cette usine met en œuvre le procédé de l'Allemand Bergius, mais perfectionné, et réalise l'hydrogénation du charbon sous une pression de 200 atmosphères et à une température de l'ordre de 450° à 480° C. Les grands tubes d'hydrogénation, hauts de 13 m 15 et larges de 1 m 70, pèsent 120 tonnes et constituent de véritables chefs-d'œuvre de métallurgie. Ils doivent résister non seulement au « fluage » (déformation lente sous l'effet des hautes températures et des hautes pressions), mais aussi à l'action décarburante de l'hydrogène, à l'action corrosive de l'hydrogène sulfuré et de l'acide chlorhydrique. Aussi leur prix est très élevé (environ 50 f le kg) à cause de la minutie de l'usinage, des pertes de métal pendant le trépanage des lingots, de l'amortissement des machines-outils spéciales pour leur fabrication. Trois usines seulement au monde — deux en Angleterre et une en Allemagne — seraient en mesure d'usiner de pareilles pièces.*

# DU CHARBON AUX ESSENCES DE SYNTHÈSE

Par Charles BERTHELOT

*La synthèse des carburants liquides (1) a franchi depuis plusieurs années le stade expérimental. Dès aujourd'hui, on peut évaluer à plus de 3 millions de tonnes la capacité de production annuelle des usines en service ou en construction dans le monde pour la fabrication, à partir du charbon, d'une essence ayant des qualités égales, et même souvent supérieures, à celles de l'essence naturelle extraite du pétrole brut. Techniquement, les divers procédés mis en œuvre actuellement dans ce but ressortissent à deux méthodes générales : d'une part, l'hydrogénation directe du charbon, rendue possible par les découvertes du Français Berthelot en 1869 et de l'Allemand Bergius en 1914 ; d'autre part, la synthèse de l'essence par l'intermédiaire du « gaz à l'eau » (2), suivant le procédé allemand Fischer-Tropsch, lequel dérive directement des travaux classiques du Français Sabatier sur la synthèse du méthane (1902). En Allemagne, d'après le plan (3) de quatre ans (Vierjahresplan), l'industrie chimique doit être prochainement en mesure de subvenir aux besoins du Reich en carburants liquides dans la proportion de 60 %, ce qui représente près de 2 millions de tonnes annuellement provenant de la transformation tant du charbon que du lignite. Dans les autres pays non moins défavorisés du point de vue des ressources en naphte naturel, mais dont l'économie n'accuse pas les mêmes tendances vers l'autarcie intégrale, le problème des carburants se présente sous deux aspects différents : en temps de paix, dans une économie ouverte, il est dominé par le prix de revient ; en temps de guerre, dans une économie fermée, la sécurité d'approvisionnement passe au premier plan. C'est un fait qu'actuellement le coût de l'essence de synthèse à l'usine est voisin du triple de celui de l'essence naturelle au port d'importation. Mais la technique de l'hydrogénation n'en est encore qu'à ses débuts, et on peut prévoir que de nombreux perfectionnements, dans le domaine notamment de l'appareillage (alliages résistant à la corrosion et à l'érosion à haute température et à haute pression), permettront de réduire sensiblement son prix de revient. On sait, d'autre part, que la France est normalement importatrice de charbon ; c'est pourquoi le vaste programme actuellement en cours de réalisation et portant sur une production annuelle de 300 000 tonnes d'essence de synthèse (4) envisage de faire appel non seulement à la houille, mais aux lignites, encore incomplètement exploités, et dont l'hydrogénation directe est, en général, plus facile à réaliser que celle de la houille. De même, les résidus pétroliers des raffineries, les huiles de schistes et les asphaltes, sans oublier les goudrons primaires provenant de la distillation des charbons à basse température (5) constitueraient sans doute, dans notre pays, la matière première la plus convenable pour une fabrication des essences de synthèse sur des bases économiques vraiment saines.*

**I**L existe deux méthodes principales de fabrication synthétique des hydrocarbures : d'une part, le procédé Bergius et ses variantes (« International Hydrogenation Patents » ou I. H. P., Mines de

Béthune, Audidert-Liévin) ; d'autre part, le procédé Fischer-Tropsch. Le premier correspond à l'hydrogénation du charbon, des huiles de houille et de pétrole ; le second, à la réduction catalytique de l'oxyde de carbone

(1) Les carburants liquides comprennent, à côté de l'essence, les alcools éthylique et méthylique (éthanol et méthanol). La fabrication de ce dernier se répand rapidement en Allemagne où 60 000 t d'alcool méthylique ont été consommées sous la forme de carburant en 1937.

(2) Le « gaz à l'eau », obtenu par l'action du charbon au rouge sur la vapeur d'eau, est formé d'un mélange de gaz combustibles en moyenne dans les proportions suivantes : 49 % d'hydrogène ; 41 % d'oxyde de carbone ; 1 % de méthane, auxquels il faut ajouter 5 % de gaz carbonique, 4 % d'azote. Son pouvoir calorifique est d'environ 2 500 calories par m<sup>3</sup>.

(3) Voir *La Science et la Vie*, n° 247, page 3.

(4) La France a importé, en 1937, 7,75 millions de t de produits pétroliers. (Voir *La Science et la Vie*, n° 252, page 467.)

(5) La distillation à haute température (1 000°), telle qu'elle est effectuée dans les fours à coke, produit surtout du gaz et le coke nécessaire à la métallurgie (hauts fourneaux et fonderies). La distillation à basse température (550°) permet d'obtenir un combustible sans fumée (semi-coke), un gaz riche (7 000 calories/m<sup>3</sup>) et un sous-produit de grande valeur, le goudron primaire, source d'essence synthétique, de Diesel oil, d'huiles de graissage, d'asphalte et de phénols. (Voir *La Science et la Vie*, n° 209, page 360.)

par l'hydrogène. L'essence fabriquée par ces procédés possède un nombre d'octane compris, le plus souvent, entre 55 et 65 et répond, par conséquent, aux besoins de la locomotion routière.

Le succès, dans plusieurs pays, des procédés d'hydrogénation et du procédé Fischer a été rapide. On évalue, en effet, à quelque 2,5 millions de tonnes d'essence la capacité annuelle de production synthétique des usines actuellement en service, ou en cours de construction, dans le monde entier.

### L'autarcie des carburants dans l'économie allemande

L'installation d'hydrogénation de beaucoup la plus importante de toutes est celle de Leuna, en Allemagne ; sa capacité annuelle de production d'essence atteint 400 000 t. Elle peut fournir d'ailleurs à volonté de l'essence ou du Diesel oil en prenant le lignite comme point de départ.

Il faut souligner à ce propos l'importance des gisements lignitifères allemands et leurs facilités d'exploitation à ciel ouvert à l'aide de pelles mécaniques ou de bennes racleuses : 161 millions de tonnes de lignite cru (72,6 % de la production mondiale) ont été extraits en Allemagne pendant l'exercice 1936-1937, sur lesquels 25 millions de t environ ont servi à l'hydrogénation, ce lignite étant évalué à l'état sec.

Le lignite allemand sert de matière première non seulement à l'usine de Leuna, mais aussi aux usines de la « Braunkohlen-Benzin A. G. » (dite, en abrégé, la « Brabag »), sises à Bohlen, Magdebourg, Seitz (en cours d'installation) et Schwartzheide.

Les trois premières traitent le goudron

primaire provenant de la distillation du lignite et emploient le « grudekoks » ou semi-coke pulvérulent pour la préparation de l'hydrogène devant servir à la dépolymérisation du goudron primaire. La dernière utilise le lignite cru et des briquettes de lignite. Ces usines doivent procéder à la fabrication de l'essence, des huiles combustibles pour moteurs Diesel, des huiles de graissage et de la paraffine. Toutes ces usines, de même que celle de la mine Hibernia, à Scholven

(qui soumet à l'hydrogénation du charbon bitumineux), travaillent sous le contrôle de l'« Interessen Gemeinschaft Farben Industrie », couramment appelée I. G., initiales que les Britanniques traduisent par « Industrial Giant ». C'est de loin la plus puissante entreprise d'Europe et elle occupe environ 150 000 ouvriers.

En outre, la « Ruhröl G. m. b. H. », créée en août 1936 par le groupe Mathias Stinnes-Mül-

heimer Bergwerks-Verein, vient de mettre en exploitation l'usine d'hydrogénation construite près de la mine Vereinigte Wilhelm, près Bottrop (Ruhr).

Elle utilise conjointement le procédé d'hydrogénation à haute pression de l'I. G. et le procédé d'« Extraktion » Pott-Broche, sur lequel nous reviendrons plus loin. La combinaison de ces procédés permet d'obtenir d'abord un produit dénommé « Extrakt ». Dans une seconde phase, on procède à l'hydrogénation de l'« Extrakt » sous une pression de 300 atmosphères.

D'autre part, plusieurs usines Fischer, dont la capacité annuelle de production est évaluée à 200 000 t, sont en cours de construction ou d'exploitation.

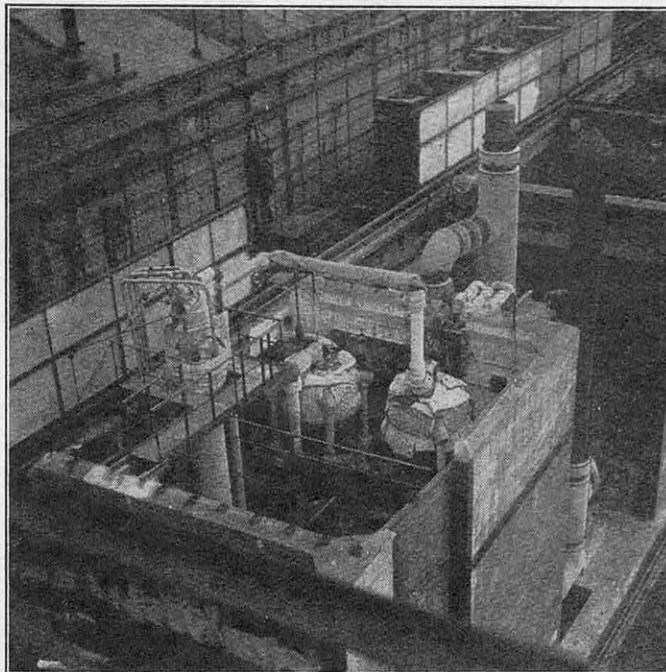


FIG. 1. — UNE UNITÉ D'HYDROGÉNATION A L'USINE DE LEUNA (ALLEMAGNE), LA PLUS IMPORTANTE DU MONDE. Les tubes de catalyse sont disposés dans des « blockhaus », en béton armé afin de limiter les risques d'explosion. Cette mesure de précaution a été reconnue superflue comme le montre la figure 2.

Au total, la fabrication d'essence synthétique en Allemagne est passée de 350 000 t en 1936 à 850 000 t en 1937, et elle atteindrait 1 million de tonnes à partir de 1938.

Compte tenu de la production du benzol (450 000 t), d'alcools carburants éthylique et méthylique (210 000 t), de l'essence provenant de la semi-carbonisation de la houille et des lignites (15 000 t), l'industrie allemande a fourni, en 1937, un total de 1 520 000 t de carburants, représentant 62 % des besoins du Reich. En 1940, cette production doit suffire à la consommation en essence (2 600 000 t).

On voit que l'Allemagne est encore loin de réaliser son autarcie complète en carburants légers, même pour ses besoins du temps de paix, pas plus qu'elle n'y parvient pour les autres catégories de combustibles liquides et pour les lubrifiants. La diffusion plus grande du moteur Diesel, en particulier, a eu pour conséquence un surcroît d'importations en gas oil qui détruit une partie de l'avantage autarcique réalisé du côté des moteurs à essence.

### La fabrication synthétique des carburants dans le reste de l'Europe et au Japon

Il n'existe en Angleterre qu'une seule usine pour la fabrication synthétique de l'essence. Elle a été établie à Billingham en vue de la production annuelle, suivant les procédés Bergius perfectionnés, de 150 000 t d'essence, par hydrogénation du charbon et des huiles de crésote. En réalité, elle n'a

pu en obtenir, pour des raisons mal élucidées d'ailleurs, que 120 000 t en 1936 et à peine 130 000 t en 1937, dont 7 500 t environ d'essence d'aviation à 87 d'indice d'octane.

A en juger d'après le rapport de la commission de lord Falmouth, récemment rédigé

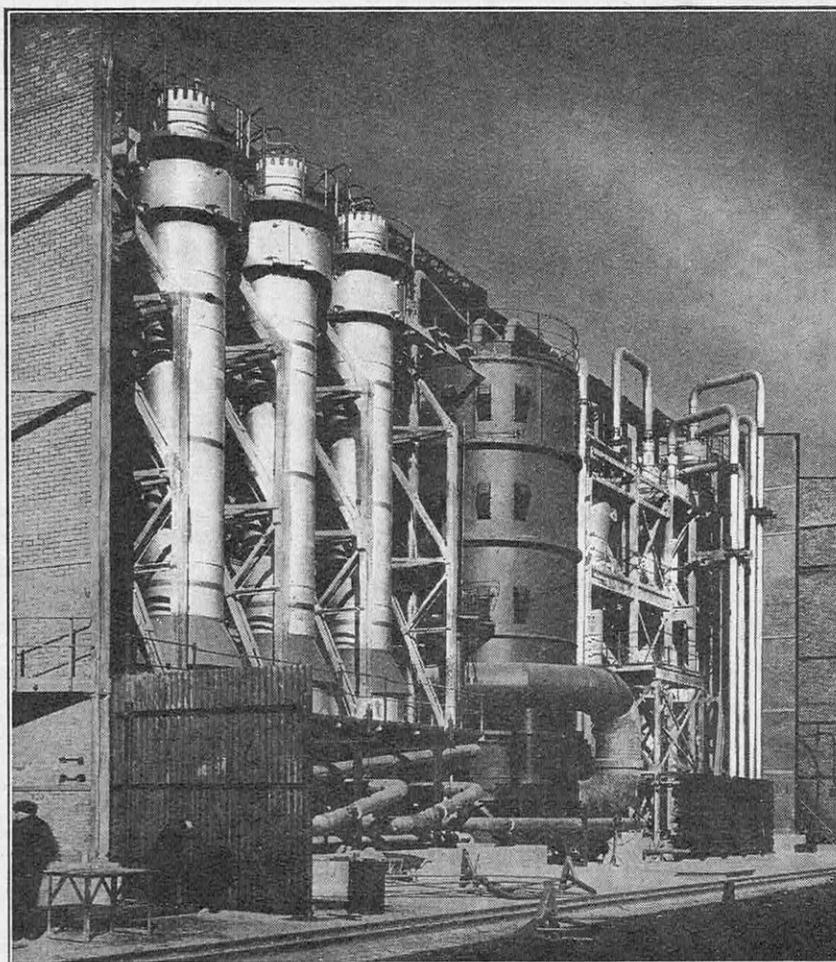


FIG. 2. — ENSEMBLE DE L'INSTALLATION D'HYDROGÉNATION EN PHASE LIQUIDE DE BILLINGHAM (ANGLETERRE)

*Cette usine est prévue pour la production annuelle de 150 000 t d'essence par hydrogénation du charbon et des huiles de crésote. Elle a fourni 130 000 t en 1937.*

à la demande du Comité de la Défense Impériale, il est douteux que de nouvelles usines d'hydrogénation du charbon soient édifiées en Grande-Bretagne, étant donné leurs frais de premier établissement. Il faut prévoir, en effet, 1 400 millions de francs (8 millions de livres) pour édifier une usine capable de fournir 150 000 t d'essence par an. Quant au prix de revient de l'essence de synthèse, il représente environ trois fois celui de l'essence naturelle.

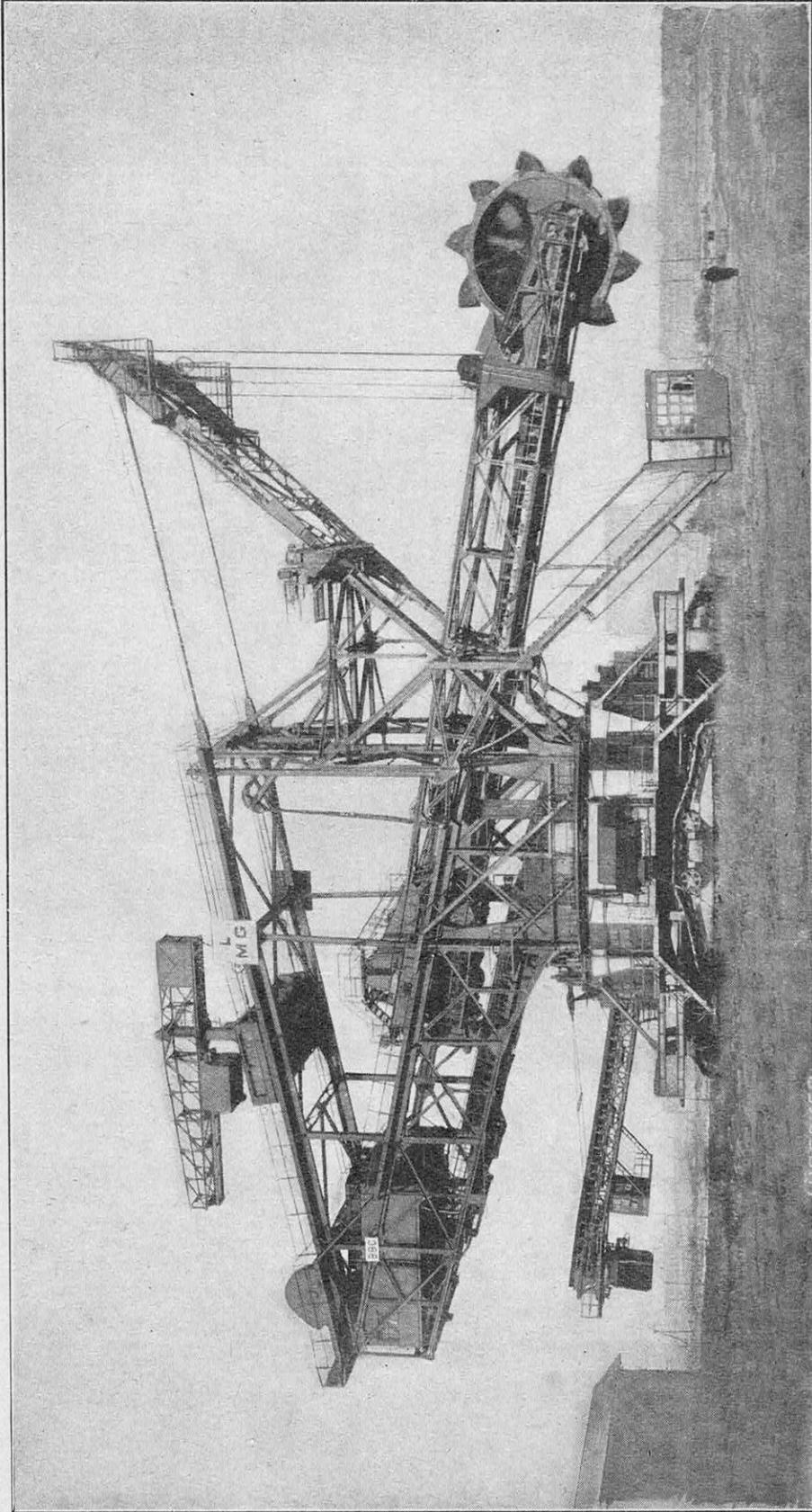


FIG. 3. — LE PLUS PUISSANT EXCAVATEUR A ROUE A AUBES DU MONDE POUR L'EXTRACTION DES LIGNITES ALLEMANDS

L'exploitation des gisements de lignite a pris en Allemagne une importance considérable, en vue, en particulier, de la préparation, par hydrogénation, des carburants de remplacement. Ces gisements sont le plus souvent situés sous une couche de terre relativement faible et, par suite, exploités à ciel ouvert. L'excavateur représenté ci-dessus, spécialement étudié pour enlever les terres recouvrant le lignite, comporte essentiellement une roue à aubes située à l'extrémité d'une poutre orientable. La terre arrachée au sol (27 000 m<sup>3</sup> par jour) est évacuée par des tapis roulants vers la voie ferrée. Cet appareil géant, pesant 1 400 t, n'exerce cependant sur le sol qu'une pression de 1 kg/cm<sup>2</sup>, grâce aux chenilles qui lui permettent ainsi de se déplacer aisément.

	Oxygène	azote	soufre	Charbon (100)	Hydrogène
Houille	15				5,5
— " — Goudron obtenu à haute température	7,4				7,6
— " — Goudron primaire	11,5				9
Lignite	33,5				8,5
" Goudron de gazogène	9,7				11
" Goudron obtenu à haute température	7,9				12,5
Pétrole pauvre en H	5				12,7
— " — riche en H	2				14,5
— " — huile de chauffage	5,5				12,4
brai	5				9
Asphalte dur	5				4,8
Huile lubrifiante					15,2
Gas-oil					15,7
Huile lampante					16,3
Essence					16,7
Paraffine					17,3
Méthane					33

FIG. 4. — TENEUR EN HYDROGÈNE DE DIVERS COMBUSTIBLES : CHARBONS, GOUDRONS, HYDROCARBURES, ETC., RAPPORTÉE A 100 PARTIES DE CARBONE

La teneur en hydrogène des combustibles passe de 5,5 pour la houille et 8,5 pour le lignite à près de 17 pour l'essence.

Cependant, le rapport Falmouth recommande la création d'une usine Fischer capable de produire de 20 000 à 30 000 t d'essence par an.

De son côté, le gouvernement australien a fait établir par ses experts un rapport sur l'intérêt que présenteraient, pour la fabrication d'essence synthétique, les importants gisements de lignite australien. Ces experts ont recommandé de rester dans l'expectative en attendant que la technique des carburants de synthèse permette de travailler dans des conditions plus économiques. Cependant le gouvernement sud-africain a récemment décidé de créer sur son territoire une installation Fischer.

L'Italie est, on le sait, pauvre en houille. Aussi envisage-t-elle de soumettre à l'hydrogénation non des combustibles solides, mais des huiles. Il s'agit des pétroles d'Albanie, qui sont de véritables résidus pétroliers, et des huiles ou goudrons primaires d'asphalte, de lignite et de schistes bitumineux, qu'elle commence à produire.

Au Japon, un effort considérable se poursuit. La Corée, la Mandchourie contribuent parallèlement au ravitaillement de l'Empire japonais en produits de remplacement. Les réserves de charbon du Chen-Si, au nord de la Chine, partie qui fait l'enjeu de l'actuel conflit militaire, s'élèvent à 350 milliards de tonnes et, déjà, une société japonaise, la « Tokio Takushoku », ou « Compagnie Orientale d'Exploitation », est au travail,

d'accord avec le gouvernement indépendant local, dans la partie est du Hopeï. Le grand trust « Mitsubishi », qui dispose d'une filiale pour extraire les huiles du charbon, a élevé de 100 000 à 250 000 t la capacité de traitement de ses distilleries et portera notamment sa production de paraffine de 6 à 15 000 t. Le « South Manchurian Railway Company » (1) a créé une installation appliquant le procédé Fischer. D'autre part, la « Chosen Coal Industry Company » édifie actuellement à Agochi une usine d'hydrogénation susceptible de fournir 50 000 t d'essence par an.

### Les réalisations françaises

En France, enfin, un programme a été établi, voici plus de deux ans, par l'Office National des Combustibles Liquides, mais n'a pu être réalisé faute de crédits. Il tient compte de la situation de la France importatrice à la fois de pétrole et de charbon. Aussi fait-il appel, en premier lieu, aux combustibles solides existant en France qui ne sont que partiellement utilisés et dont la production peut être rapidement intensifiée. C'est notamment le lignite.

La première usine, prévue pour produire 60 000 t d'essence, absorberait près de 500 000 t de lignite. Les exploitations actuelles des Bouches-du-Rhône, renforcées par des concessions toutes récentes, permettront d'arriver à ce chiffre sans trop gêner le courant commercial actuel de ces lignites. Deux autres usines d'hydrogénation, capables de produire chacune 60 000 t d'essence par an, seraient également édifiées. L'une traiterait environ 260 000 à 280 000 t de résidus pétroliers, et l'autre, du charbon.

Il est vraisemblable que, dans ces usines d'hydrogénation, on recourra aux procédés français : celui des mines de Béthune et

(1) Récemment, cette société aurait découvert près de Sansing, le long du Sungari, un gisement de schistes bitumineux recouvrant lui-même des couches de charbon.

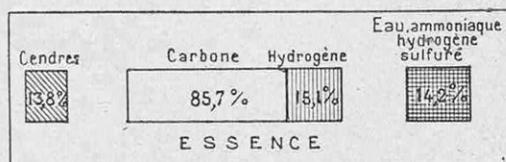


FIG. 5. — LES PRODUITS RÉSULTANT THÉORIQUEMENT DE L'HYDROGÉNATION DU CHARBON

celui des mines de Liévin, puisqu'ils travaillent dans des conditions régulières et satisfaisantes.

Enfin, la Société Courrières-Kuhlmann a mis en service, au mois de juin 1937, une installation Fischer, laquelle peut produire annuellement 20 000 t d'essence.

### La transformation de la houille en essence par hydrogénation

En principe, l'opération de transformation de la houille en essence commerciale

de vapeur d'eau, d'ammoniaque et d'hydrogène sulfuré, enfin des cendres inertes (fig. 5).

Les procédés d'hydrogénation sont au nombre de trois aujourd'hui : le procédé I. H. P. (« International Hydrogenation Patents ») dérivé de Bergius, le procédé Audibert appliqué aux mines de Liévin, et le procédé Vallette, aux mines de Béthune. Ils diffèrent par l'appareillage, la nature du combustible traité et le choix du catalyseur, mais présentent ce caractère commun qu'on commence par malaxer le charbon pulvérisé

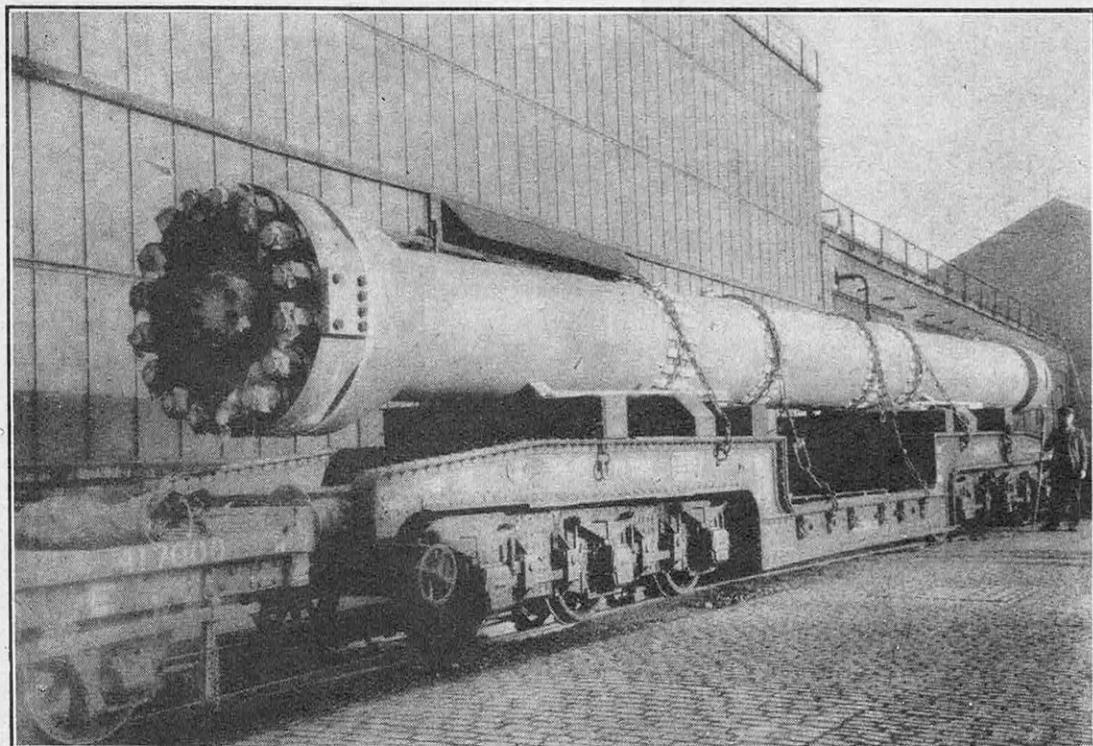


FIG. 6. — TUBE D'HYDROGÉNATION A HAUTE PRESSION, FABRIQUÉ EN ANGLETERRE POUR L'ITALIE, EN VUE DU TRAITEMENT DE LIGNITES, DE SCHISTES ET DES PÉTROLES D'ALBANIE

consiste à réduire son poids moléculaire de 100 000 à 100 environ, et à accroître de 0,055 jusqu'à 0,2 le rapport de l'hydrogène au carbone dans la molécule.

Le diagramme de la figure 4 montre la teneur en hydrogène de la houille, des goudrons et de divers produits pétroliers, rapportée à 100 parties de carbone.

Les procédés d'hydrogénation ont pour but d'augmenter la teneur en hydrogène des produits traités et s'appliquent aussi bien aux huiles de schiste, aux résidus pétroliers, etc.

A la suite de la réaction d'hydrogénation, on obtient théoriquement trois produits : de l'essence, des composés gazeux formés

ou le lignite avec une huile qui sert de support. C'est l'opération d'empatement ou de préparation de la pulpe. Entre 80 et 120°C, si la proportion de houille n'y dépasse pas 50 %, cette pulpe est assez fluide pour que des pompes assurent sa circulation dans des tuyauteries.

Dans l'ensemble, les opérations d'hydrogénation s'enchaînent comme suit :

1° L'empatement du charbon, c'est-à-dire la formation du mélange de charbon et d'huile ou de pulpe à soumettre à l'hydrogénation en phase liquide ;

2° L'hydrogénation en phase liquide ;

3° L'hydrogénation en phase vapeur ;

4° Les opérations de distillation, raffi-

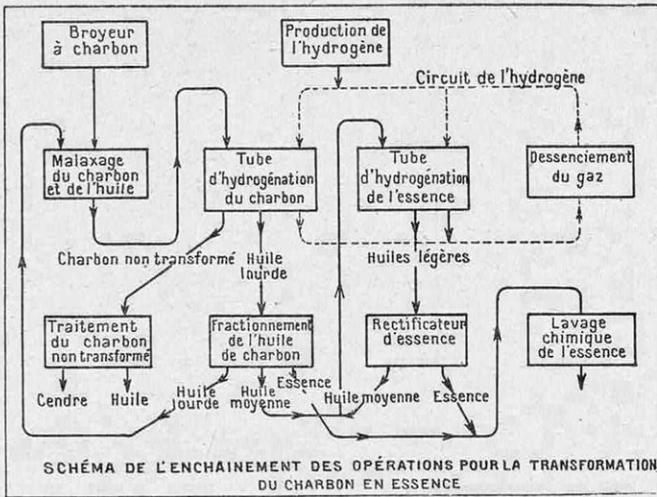


FIG. 7. — OPÉRATIONS SUCCESSIVES POUR LA FABRICATION DE L'ESSENCE PAR HYDROGÉNATION DU CHARBON

nage et stabilisation des essences.

Quand il s'agit d'hydrogéner du goudron primaire ou des huiles de créosote, on supprime évidemment l'empâttement et l'hydrogénation en phase liquide. Quand on traite des résidus pétroliers riches en composés asphaltiques, il est nécessaire de débiter par une hydrogénation en phase liquide. Il est évident, au surplus, que si le pétrole est lourd, il ne se prête pas à l'hydrogénation en phase vapeur. Le régime de température afférent à cette opération n'excède jamais, en effet, 520°.

Il importe de préciser la distinction entre l'hydrogénation en phase liquide et l'hydrogénation en phase vapeur.

Dans le tube de catalyse en phase liquide, une partie seulement du liquide entrant est transformée en hydrocarbures volatils, qui sont vaporisés. L'autre partie a pour rôle d'entraîner, d'une manière continue, les fractions solides : cendres, carbone libre engendré, constituants du charbon non transformé, catalyseur.

Dans le tube du catalyseur en phase vapeur, la matière mise en œuvre (huile moyenne provenant de l'opération précédente, huile de créosote, goudron primaire, etc.) est entièrement transformée et passe à l'état de vapeur, le catalyseur restant invariablement

à la même place dans le tube.

Au point de vue des résultats pratiques, l'hydrogénation en phase liquide fournit essentiellement une huile dénommée huile moyenne ou huile de charbon, laquelle, par distillation fractionnée, donne : 1°) de l'essence ; 2°) une huile moyenne, qui sera transformée en essence au cours de l'hydrogénation en phase vapeur ; 3°) une huile lourde utilisée à la préparation de la pulpe. L'hydrogénation en phase vapeur ne fournit que de l'essence comme produits pétroliers. Accessoirement, on obtient des gaz, composés surtout de méthane, que l'on dénomme gaz permanents.

Quand on hydrogène un char-

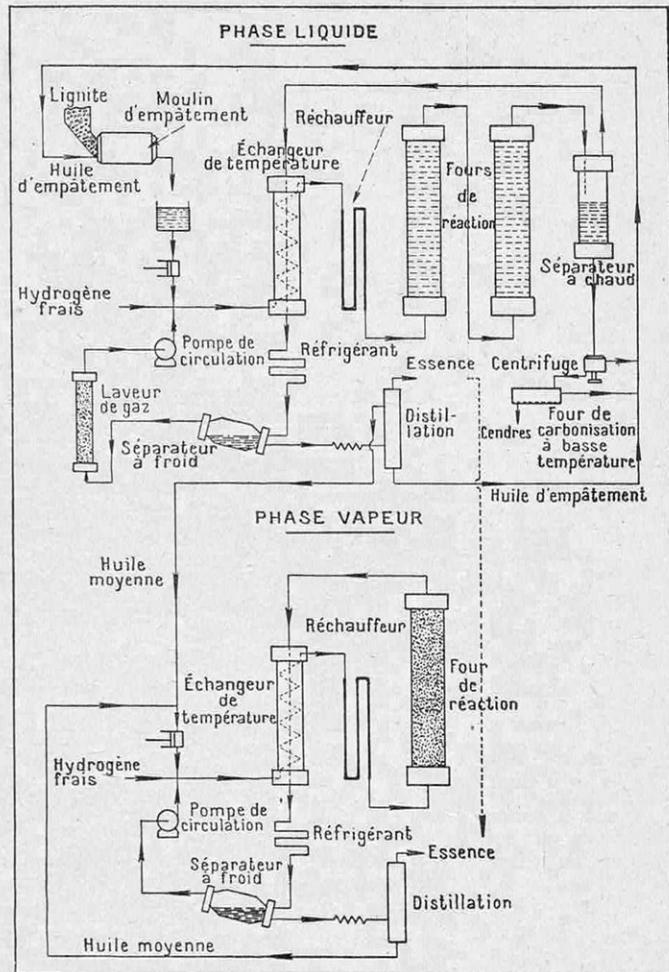


FIG. 8. — TABLEAU D'ENSEMBLE DES OPÉRATIONS EN PHASE LIQUIDE ET EN PHASE VAPEUR POUR L'OBTENTION D'ESSENCE PAR HYDROGÉNATION DU LIGNITE

On retrouve ici, sous une forme imagée, les opérations de la figure 7.

bon ou une huile de houille, la matière traitée se transforme à la fois à la surface du catalyseur et en dehors de tout contact avec ce dernier. Par suite, le produit obtenu correspond au mélange des produits de deux réactions. Les unes sont catalytiques et les autres ne le sont pas. Par conséquent, l'agitation, le renouvellement de l'hydrogène à la surface du catalyseur exercent une influence majeure sur la vitesse d'hydrogénation. L'expérience montre, au surplus, qu'à défaut d'une turbulence convenable, il se forme du coke dans la chambre de catalyse. Une grande turbulence accélère les échanges entre la phase unique, constituée par l'hydrogène et la substance à hydrogéner, et la couche d'absorption du catalyseur. Elle augmente, de ce fait, l'importance des réactions orientées par le catalyseur par rapport à celles qui se développent en dehors de toute intervention catalytique. Elle contribue, en outre, à uniformiser la température dans le volume catalytique. En phase liquide enfin, elle a pour effet d'empêcher la sédimentation du catalyseur, lequel est alors constitué par une poudre en dispersion, et d'accélérer la combinaison de l'hydrogène.

En France, afin d'augmenter la turbulence, M. Vallette se sert de tubes courts, de petit diamètre et comportant de fréquents changements de direction. M. Audi-

bert, au contraire, a recours pour cela à un dispositif mécanique réalisant le brassage permanent de la masse liquide contenue dans la chambre de catalyse en phase liquide (1).

Il est évidemment superflu de recourir à un malaxage pour l'opération d'hydrogénation en phase vapeur.

### Un problème capital : la préparation de l'hydrogène

Un problème particulièrement important, dans une usine d'hydrogénation, est celui de la production, de l'épuration et de la compression de l'hydrogène, dont on consomme généralement 2 800 m<sup>3</sup> par tonne d'essence produite quand on part du charbon.

Le gaz à l'eau représente, presque toujours, la matière première de l'hydrogène. A Béthune et à Liévin, c'est cependant du gaz de fours à coke. Il est évidemment

nécessaire d'éliminer aussi complètement que possible les composés sulfurés du gaz à l'eau, afin d'éviter d'abord la corrosion des tuyauteries, ensuite l'empoisonnement

(1) Une des caractéristiques essentielles des procédés Audibert et Vallette est que l'opération d'hydrogénation en phase liquide est conduite de telle sorte qu'on retrouve à la sortie une quantité et une qualité d'huile convenables pour constituer l'huile support nécessaire à une nouvelle opération. On conçoit que l'intérêt de l'hydrogénation serait sensiblement réduit, si l'huile support indispensable devait être importée de l'étranger. C'est là un des avantages majeurs des procédés français.

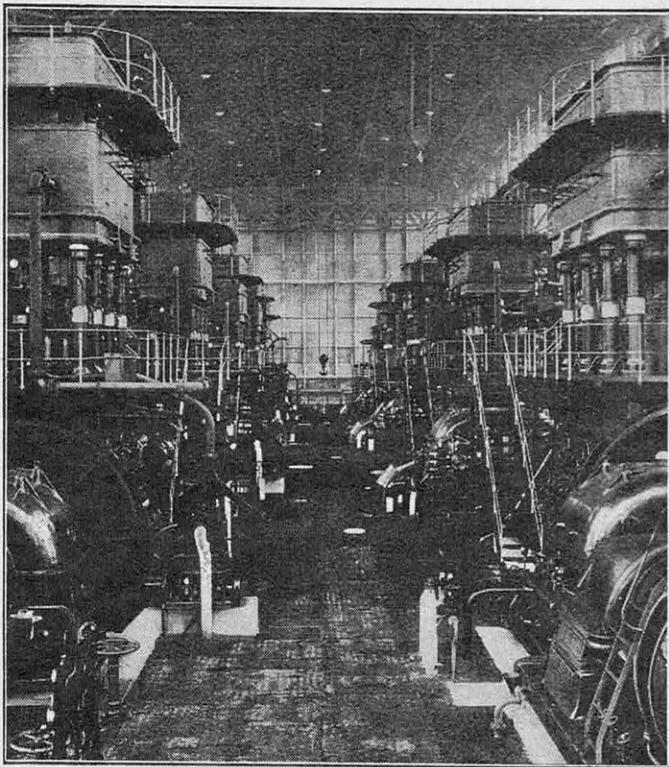


FIG. 9. — LA SALLE DES COMPRESSEURS D'HYDROGÈNE A MOYENNE ET A HAUTE PRESSION A L'USINE D'HYDROGÉNATION DE BILLINGHAM (ANGLETERRE)

L'hydrogène est d'abord comprimé en trois étapes : de 1 à 1,6 atmosphères par des turbo-compresseurs à 5 étages de 1 600 ch ; de 1,6 à 10,85 atmosphères par des turbo-compresseurs à 23 étages de 5 000 ch ; de 10,85 à 57 atmosphères par des compresseurs verticaux à 3 cylindres et 2 étages de 3 500 ch. Après élimination de ses impuretés (gaz carbonique, etc.), il est porté à 255 atmosphères dans des compresseurs cylindriques verticaux à 3 cylindres de 2 500 ch et recevant 30 000 m<sup>3</sup> de gaz à l'heure.

des catalyseurs de conversion de l'oxyde de carbone en hydrogène.

Cette opération s'effectue sous l'action de la vapeur d'eau ; l'hydrogène formé, souillé par la présence de l'anhydride carbonique et d'une petite quantité d'oxyde de carbone, — ce qui élève sa densité à 0,57 (au lieu de 0,069 pour l'hydrogène pur), — est amené aux postes de compression.

L'élimination de l'anhydride carbonique qu'il contient s'effectue, à Billingham, dans des tours en acier forgé de 16 m de hauteur. Le gaz les parcourt de bas en haut à contre-courant, avec de l'eau injectée sous une pression de près de 60 atmosphères, dans laquelle se dissout le gaz carbonique. L'hydrogène est ensuite refoulé sous la pression de 255 atmosphères, d'abord dans une tour de lavage parcourue par une solution cupro-ammoniacale qui retient les dernières traces d'anhydride carbonique et d'oxyde de carbone, puis, finalement, dans les appareils d'hydrogénation proprement dite.

Le rôle joué par les compresseurs, dont certains reçoivent 30 000 m<sup>3</sup> de gaz à l'heure, est important. Leur aménagement et celui de leurs annexes, tuyauteries et vannes, représentent une fraction considérable des frais de premier établissement et aussi des frais d'exploitation.

La tendance actuelle, en Angleterre, est d'utiliser, pour les compresseurs à haute pression, des machines à cylindres verticaux tournant à 160 et même 240 tours/mn, inspirées de l'expérience acquise dans la marine avec les moteurs à vapeur verticaux. En Europe continentale, on préfère généralement les moteurs à cylindres horizontaux à marche lente.

### Les progrès futurs de la technique d'hydrogénation. Le procédé Pott-Broche

Sauf en Allemagne où, pour le moment, le prix de revient ne compte guère, la principale objection, fondée d'ailleurs, que l'on oppose à la création d'usines d'hydrogénation est le coût trop élevé de l'essence obtenue par voie de synthèse. Il corres-

pond, en effet, à trois fois environ celui des essences naturelles qui valent actuellement, toutes taxes exclues, entre 51 et 53 f par hectolitre à Rouen. Il ne semble pas douteux que des perfectionnements ne doivent permettre, un jour, et peut-être même bientôt, de travailler dans des conditions plus économiques, exactement comme l'ammoniaque de synthèse et la rayonne ont réussi à concurrencer les nitrates du Chili et les soies naturelles. Parmi les progrès réalisables, citons le coefficient d'utilisation meilleur de l'hydrogène dans les tubes d'hydrogénation. Actuellement, il ne dépasse guère 50 %, ce qui a pour conséquence la formation

de gaz permanents, à base de méthane et d'éthane, qui prennent naissance à la suite de réactions parasites et qu'il faut convertir en hydrogène au prix d'une dépense élevée de vapeur, produits d'épuration, etc. Il n'est pas rare que 400 kg de gaz permanents se forment en même temps qu'une tonne d'essence.

Il faut aussi faire intervenir les consommations d'huile pour l'empâtage du charbon préalablement à l'hydro-

drogénation en phase liquide. On dépense d'autant plus de cette huile, dite « huile-support », que la houille ou le liquide mis en œuvre renferme davantage de cendres.

Le procédé Pott-Broche (1) — qui vient, comme nous l'avons vu, de recevoir une première application industrielle en Allemagne — permettra peut-être d'aboutir à ce résultat.

En principe, il consiste à soumettre le charbon à l'action de solvants, ce qui donne, d'une part, une huile dont les constituants ont un poids moléculaire de 2 500, soit environ 40 fois moindre que celui du charbon. Il est donc plus facile de l'hydrogéner que ce dernier. D'autre part, on élimine définitivement les éléments de la houille qui ne se prêtent pas à l'hydrogénation : cendres, fusain, etc.

On peut donc espérer, sinon supprimer, du moins simplifier l'hydrogénation en phase liquide. On n'aurait plus à traiter, en effet, une pulpe épaisse charriant des élé-

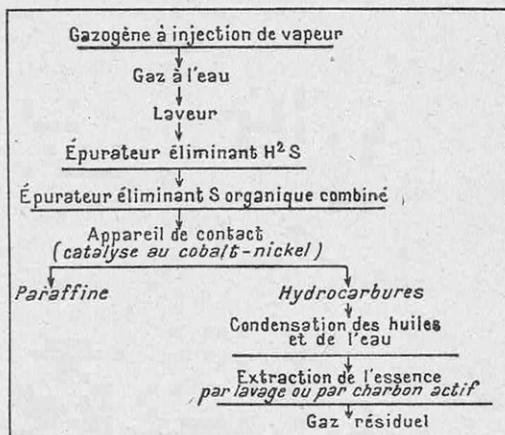


FIG. 10. — LES DIVERSES OPÉRATIONS SUCCESSIVES DE LA SYNTHÈSE DE L'ESSENCE PAR LE PROCÉDÉ FISCHER

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 242, page 158.

ments érodant les appareils, mais un liquide clair, provenant d'un filtrage.

Les solvants auxquels on recourt pour l'application du procédé Pott-Broche sont généralement la tétraline, les phénols, spécialement ceux qui dérivent du goudron primaire. L'opération comprend quatre papiers croissants de températures, par exemple 320°, 350°, 380°, 400°, en prenant soin de rester en dessous de la température pour laquelle le coke se forme. Ce mode opératoire permet, à rendement égal, de réduire au tiers environ la durée de l'opération qui s'imposerait si l'on voulait se contenter d'une seule extraction à 320°, par exemple.

qui permet d'améliorer de 15 % environ le rendement en hydrocarbures liquides et d'obtenir une essence meilleure, son pouvoir indétonant représentant alors 65 d'indice d'octane contre 55 seulement en opérant à la pression atmosphérique.

Dans l'un et l'autre cas, on ne doit faire intervenir qu'un mélange gazeux complètement débarrassé de ses composés sulfurés.

Fischer évalue à plus de 600 calories, par m<sup>3</sup> de gaz mis en œuvre, le dégagement de chaleur qui se manifesterait si la réaction était complète et si l'on ne disposait pas de moyens pour dissiper et utiliser cette chaleur. La température dans les chambres de

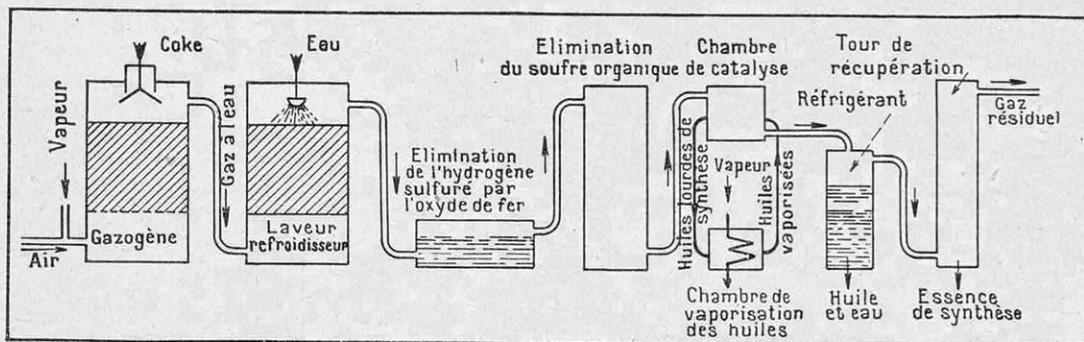


FIG. 11. — TABLEAU D'ENSEMBLE DU DISPOSITIF FISCHER-TROPSCH POUR LA FABRICATION DE L'ESSENCE SYNTHÉTIQUE A PARTIR DU GAZ A L'EAU

Le gaz à l'eau provenant du gazogène passe d'abord dans un laveur-refroidisseur. Il est ensuite épuré (élimination de l'hydrogène sulfuré et du soufre) avant de parvenir aux chambres de catalyse. Les huiles lourdes formées sont vaporisées, puis condensées dans un réfrigérant tandis que les vapeurs d'essence sont récupérées et que les gaz résiduels s'échappent.

### L'essence synthétique par le procédé Fischer-Tropsch

L'essence synthétique Fischer — qui constitue un véritable pétrole, puisqu'elle est essentiellement formée d'hydrocarbures aliphatiques — prend naissance, tout comme l'alcool méthylique ou méthanol, par réduction catalytique de l'oxyde de carbone par l'hydrogène.

La fabrication de l'alcool méthylique a généralement lieu à une pression de 150 atmosphères et à la température de 400°. La préparation de l'essence Fischer s'opère à la température de 190° et sous une pression voisine de la pression atmosphérique, supérieure de 1 m 50 environ en colonne d'eau, ce qui correspond à la perte de charge que le mélange gazeux entrant en réaction et les produits de la réaction doivent vaincre pour franchir les appareils de traitement, aux divers stades de la fabrication. Cependant, on a recourt maintenant, en Allemagne, à une pression de 5 atmosphères, ce

réaction s'élèverait de plusieurs centaines de degrés. Il en résulterait la formation de méthane au lieu et place d'essence,

La réaction Fischer doit avoir lieu à 190°. En plus ou en moins, par rapport à cette température, il n'est toléré qu'un écart de 5°, soit une variation totale de 10° au maximum, pour ne pas s'exposer à une diminution du rendement en essence (1). Cette permanence du régime de température dans la chambre de catalyse est d'autant plus difficile à assurer que la réaction est fortement exothermique.

Pour pallier à ce risque d'« emballement » de la température, Fischer a dû recourir à des artifices spéciaux pour assurer l'évacuation rapide de la chaleur dégagée dans le volume catalytique.

En particulier, suivant une méthode de l'I. G., on introduit dans l'espace de réac-

(1) Cette tolérance est beaucoup plus large que celle admise dans les usines d'hydrogénation. A Billingham, par exemple, la température ne doit pas varier de  $\pm 1^\circ$  dans les chambres de catalyse et la pression de  $\pm 0,5$  atmosphère.

tion, en plus de l'hydrogène et l'oxyde de carbone (dans le rapport de 50 à 30 parties d'hydrogène pour 50 à 70 parties d'oxyde de carbone), un gaz inerte dont la proportion est comprise entre 20 et 90 %, et qui est constitué principalement par de l'anhydride carbonique. On évite ainsi un trop grand dégagement de chaleur issue de la réaction et on obtient presque le rendement théorique en hydrocarbures liquides.

Par le procédé Fischer, à partir de 1 m<sup>3</sup> de mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène supposé exempt de gaz inertes, on peut obtenir 120 à 130 g de produits « primaires » qui renferment :

Produits gazeux (propane, propylène, butane, butylène) .....	8 %
Essence primaire distillant avant 200° .....	60 %
Gas oil distillant au-dessus de 200°.	22 %
Paraffines solides (point de fusion 20° à 100°) .....	10 %

Les produits primaires liquides peuvent être transformés en essence par cracking avec un rendement d'environ 80 % (1).

La technique de la fabrication des carburants de synthèse, qu'il s'agisse de l'hydrogénation ou du procédé Fischer-Tropsch, n'en est encore aujourd'hui, malgré ses progrès rapides, qu'à ses débuts. Son prin-

(1) Le procédé Fischer-Tropsch peut être orienté vers la fabrication principale ou accessoire de la paraffine, que l'on oxyde en présence de catalyseurs et transforme ainsi en acides gras. Après épuration physique et chimique, ces acides gras sont saponifiés par un alcali, suivant la méthode classique mise en œuvre dans l'industrie des savons.

L'industrie du savon de la Marck et la firme Henkel et C<sup>ie</sup> ont fondé les « Deutsche Fettsäure-Werke G. m. B. H. », à Witten (Ruhr) — Société des usines allemandes d'acides gras — qui, depuis

quelque temps, obtient ainsi industriellement des acides gras à partir du charbon. Les usines en activité ont une capacité de production annuelle de 20 000 t. Celles dont la construction est prévue porteront la capacité totale à 60 000 t.

Les prix de revient des corps gras artificiels seront à peine plus élevés que ceux des produits obtenus par traitement des graisses naturelles. Cette technique nouvelle offre un grand intérêt économique pour le Reich qui consomme, par an, quelque 2,4 millions de t de corps gras industriels.

CH. BERTHELOT.

En douze ans, le moteur Diesel léger a connu une diffusion rapide dans tous les domaines de la locomotion mécanique. C'est ainsi qu'au 1<sup>er</sup> juillet 1937, M. Delpeyroux évaluait le nombre des véhicules automobiles en circulation équipés avec moteur Diesel léger à 34 000 en France et 45 000 en Allemagne. Sur voie ferrée, on comptait à cette date 3 000 autorails Diesel en service dans le monde, dont 2 500 pour l'Europe seule (676 unités pour la France). Aujourd'hui, la presque totalité des automotrices et des tracteurs de manœuvre sont équipés avec des moteurs à combustion à huile lourde. Le moteur Diesel rapide s'est donc imposé dans l'exploitation ferroviaire comme pour la locomotion routière. Mais il importe de remarquer qu'en 1925 le gas oil pour camion payait 11 f de taxe à la tonne contre 1 500 f aujourd'hui ! Avec un prix de vente total de 2 250 f la tonne (750 f pour le fuel oil utilisé pour le chauffage domestique), le combustible pour moteur Diesel est encore aujourd'hui un peu meilleur marché que l'essence ; il est à craindre cependant que cette aggravation malencontreuse de la fiscalité ne freine, au cours des années prochaines, l'essor du moteur à combustion à huile lourde, bien que son rendement thermodynamique soit supérieur à celui de tous les autres moteurs thermiques.

# QUE SAVONS-NOUS DES COURANTS ÉLECTRIQUES QUI SILLONNENT NOTRE SOL ?

Par Louis HOULLEVIGUE

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE MARSEILLE

*Le sol terrestre, bon conducteur en moyenne de l'électricité, est parcouru à tout instant par des « nappes » de courants électriques, les uns d'origine industrielle, les autres résultant de phénomènes naturels encore mal élucidés. Les premiers sont formés, pour une part, par les courants de retour de la télégraphie et aussi de la traction électrique ferroviaire (qui utilise comme conducteur de retour des rails en général non isolés). D'autre part, certains de ces courants sont dus à l'écoulement de charges électriques (parfois importantes) aux points de mise à la terre des réseaux de distribution, et surtout ils sont produits par des effets d'induction provoqués par les lignes de transport de force à haute tension. L'existence de ces courants artificiels rend particulièrement malaisée l'étude des courants telluriques naturels, qui ne peuvent être, par suite, enregistrés sans interférence que dans certaines régions désertiques, ou en tout cas dans les régions les plus éloignées qu'il est possible des centres industriels. De multiples hypothèses ont été formulées en vue d'établir la genèse de ces courants et d'expliquer leurs rapides variations tant en intensité qu'en direction. Ces dernières variations semblent être en relations assez étroites avec les orages magnétiques, qui sont eux-mêmes considérés maintenant comme des manifestations indirectes de l'activité solaire. Ainsi l'ensemble des phénomènes électriques ou magnétiques, dont le globe terrestre est le siège, prendrait, suppose-t-on, origine dans les couches conductrices de la haute atmosphère, dont l'ionisation — ionosphère (1) — est elle-même provoquée par le rayonnement ultraviolet et corpusculaire du Soleil. Ce sont là des hypothèses plus ou moins vérifiées, mais qu'il est du plus grand intérêt de présenter dans l'état actuel de nos connaissances dans un domaine encore aussi peu exploré que celui de la géophysique.*

LORSQUE, en 1833, Gauss et Weber établirent, sur 3 km, la première ligne de télégraphie électrique, le circuit comprenait un fil d'aller et un fil de retour. Quelques années plus tard, Steinheil, procédant à des essais de communication entre Nuremberg et Furth, s'aperçut fortuitement que le fil de retour pouvait être remplacé par la Terre, jouant le rôle de conducteur, et cette pratique fut universellement adoptée ; mais, vers 1847, on commença à constater que ce retour par la Terre donnait naissance à des phénomènes inattendus : interruption des communications, mise en vibration des sonneries, courant circulant en l'absence de toute pile. Ainsi, il était établi que le sol ne joue pas le rôle d'un conducteur inerte.

Ce phénomène a été, depuis lors, maintes fois constaté ; en avril dernier encore, les journaux, sous le titre peut-être audacieux de « tempête magnétique », ont signalé que l'Europe entière et l'Amérique du Nord ont

subi, pendant plusieurs heures, de violentes perturbations qui ont interrompu les communications télégraphiques et téléphoniques.

C'est donc, pour la science, un objet important de recherches que d'étudier ce phénomène, de préciser les faits, de déterminer les lois et, s'il se peut, d'en indiquer les causes. Mais tout se tient dans la Nature et il est impossible d'isoler un phénomène, comme on peut le faire au laboratoire ; de plus on y est à la merci d'événements qui apparaissent à l'improviste ; tout cela ralentit les études ; mais, en retour, chaque progrès acquis dans un domaine voisin retentit sur l'objet précis auquel on s'est attaché. En tout cas, il faut éliminer soigneusement tout ce qui viendrait inutilement compliquer ce problème ; et c'est à quoi nous allons nous appliquer d'abord en mettant hors de cause les courants électriques produits par l'homme lui-même.

## La défense contre les courants artificiels

Depuis que l'électricité est devenue l'auxiliaire le plus actif de l'industrie humaine, les

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 218, page 129.

courants artificiels sont venus se superposer, dans le sol lui-même, aux courants naturels. Le mal n'est pas venu d'un seul coup, mais en trois étapes, inégalement dommageables.

La première a coïncidé avec le développement de la télégraphie électrique; les courants, toujours de même sens, mais interrompus, se ferment dans le sol, à travers lequel ils suivent des chemins compliqués; ils peuvent donc se superposer aux courants naturels, mais leur intensité dépasse rarement quelques centièmes d'ampère, et la science pourrait, à la rigueur, s'accommoder de leur existence.

Ils n'ont fait que précéder le deuxième stade, infiniment plus dangereux, qui a débuté il y a une soixantaine d'années par l'application du courant continu à l'éclairage et surtout à la force motrice. Les réseaux d'éclairage sont, en principe, fermés sur eux-mêmes, mais il n'est pas rare qu'ils présentent des « terres » par lesquelles l'électricité s'échappe dans le sol. Le grand dommage résulte surtout du développement de la traction électrique: le courant continu des réseaux de tramways, après avoir travaillé dans les moteurs, doit retourner à la station

génératrice par les rails, qui ont été soudés ou reliés électriquement, de telle sorte que leur résistance ne dépasse pas quelques dixièmes d'ohm par kilomètre; mais, en fait, le courant se fraye souvent un chemin supplémentaire par le sol, et, cette fois, les intensités sont d'un ordre de grandeur très supérieur à celui des courants télégraphiques;

un tramway urbain absorbe couramment 40 à 50 ampères, un train métropolitain, 10 à 20 fois plus, et l'électrification des grandes lignes de chemins de fer met en jeu des courants qui atteignent plusieurs milliers d'ampères.

Le troisième stade de l'invasion électrique, qui a débuté avec le présent siècle, correspond au développement du courant alternatif et à l'extension des grands transports de force, sous voltage élevé et, en général, par courants polyphasés; dans cette nouvelle incarnation de la fée électrique, la Terre est encore parcourue par des courants, puisque le point neutre de ces canalisations est relié au sol; mais l'action prédominante de ces courants alternatifs consiste surtout en effets d'induction, qui se font sentir sur les lignes télégraphiques ou téléphoniques. Au point de vue qui nous occupe actuellement, cette forme de l'énergie électrique ne modifie pas les courants électriques naturels, qui sont à peu près continus; mais elle dérègle les appareils de mesure, et c'est là un inconvénient très grave, puisqu'il s'oppose à des observations correctes.

Tout ceci nous explique pourquoi les observatoires géophysiques ont été contraints à fuir les centres urbains, où ils s'étaient d'abord établis pour des raisons évidentes de commodité. En 1882, une telle station avait été instituée par Mascart et Moureaux au Parc-Saint-Maur, dans la banlieue de Paris, et c'est là que débutèrent, en France, les mesures météorologiques, magnétiques et géodésiques régulières; mais, dès 1900, l'éta-

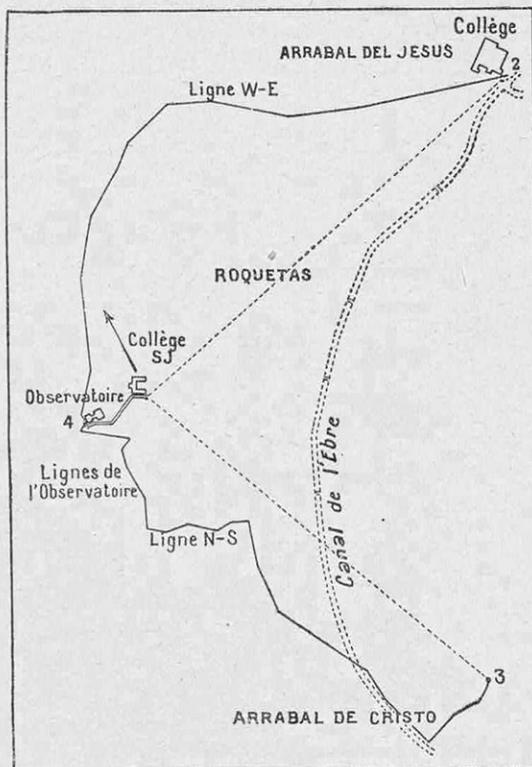


FIG. 1. — DISPOSITION DES LIGNES NORD-SUD ET EST-OUEST POUR L'ÉTUDE DES COURANTS TELLURIQUES A L'OBSERVATOIRE DE L'ÈBRE, PRÈS TORTOSA (ESPAGNE)

*Aujourd'hui détruit, cet observatoire était presque le seul au monde à posséder un service tellurique en fonctionnement régulier. Les lignes sont à peu près dirigées dans les directions N.-S. et E.-W., mais leur longueur (1 280 et 1 420 m à vol d'oiseau) était malheureusement trop faible. Les lignes étaient constituées par du fil de fer galvanisé de 4 mm. Les prises de terre, tout d'abord analogues à celle du Parc-Saint-Maur (fig. 2), furent ensuite remplacées par des plaques horizontales de plomb de 1 m<sup>2</sup>, entourées de coke, enfouies à une profondeur de 2 à 5 m. La concordance des résultats obtenus avec ceux de Weinstein (fig. 6) a prouvé l'excellence de cette disposition.*

blissement de lignes de tramways électriques dans le voisinage créa de telles perturbations que les opérations devinrent impossibles. Mascart obtint alors, pour y installer ses instruments enregistreurs, la concession d'une maison forestière située au Val-Joyeux, dans la commune de Villepreux (Seine-et-Oise), à 25 km de Paris. Mais les lignes électriques se sont allongées de telle sorte qu'il a fallu se résoudre à un nouveau transfert avant que les enregistrements ne devinssent tout à fait mauvais; le choix de M. Maurain, professeur de géophysique et doyen de la Faculté des Sciences de Paris, s'est porté sur la vaste forêt domaniale d'Orléans, que le veto administratif défendra longtemps, espère-t-on, contre toute intrusion électrique; c'est là, à Chambon-la-Forêt, à 87 km environ au sud de Paris, qu'a été établi le nouvel observatoire géophysique; des réseaux électriques à courant alternatif côtoient la forêt sans la traverser et le chemin de fer électrifié de Paris à Orléans passe à 30 km du nouvel observatoire; de fait, les mesures effectuées jusqu'à présent ne sont nullement influencées par ces courants artificiels, et on doit espérer que cette situation se maintiendra longtemps, car les études de longue haleine, qui sont nécessaires pour dégager les grandes lois géophysiques, s'accroissent mal de ces déménagements successifs.

Pareil accident s'est produit en Angleterre, où Airy avait, dès 1865, institué autour de Greenwich des mesures de courants telluriques, qui durent être transférées plus loin en 1881, et finalement interrompues

en 1891. La conclusion qui se dégage de ces faits, c'est que les recherches de cette nature ne sont plus possibles que dans les régions écartées de toute civilisation; aussi ne s'étonnera-t-on pas que la « Carnegie Institution », dont un des départements s'intéresse à la géophysique, ait choisi les

régions presque désertiques de l'Australie Occidentale et le voisinage de l'Observatoire péruvien de Huancayo pour y installer deux stations d'études des courants telluriques; ni que des recherches du même ordre aient été conduites, par Stengvist, en Suède et en Norvège; ni qu'on ait choisi, pour d'autres opérations, les régions presque désertes de l'Arizona. On doit encore faire une place aux observations, remarquablement conduites, de la station géophysique établie par les R. P. Jésuites en Espagne, à l'embouchure de l'Ebre, près de la ville de Tortosa, célèbre aujourd'hui pour des raisons bien étrangères à la science; il est inutile de dire que cette station n'existe plus.

### Que mesure-t-on ?

Pour déceler l'existence de courants telluriques naturels, il n'est qu'un moyen: il consiste à relier deux électrodes *A* et *B* (fig. 3), enterrés dans le sol, par un conducteur métallique de résistance connue  $R$  ohms, et à mesurer avec un galvanomètre  $G$  le courant  $I$  ampères qui passe dans le fil. En procédant ainsi, on détermine en réalité la différence de potentiel, en volts,  $E = RI$  qui existe entre *A* et *B*; on n'en pourrait déduire le courant qui s'écoule réellement dans le sol que si on connaissait le chemin suivi par l'électricité et la résistance des

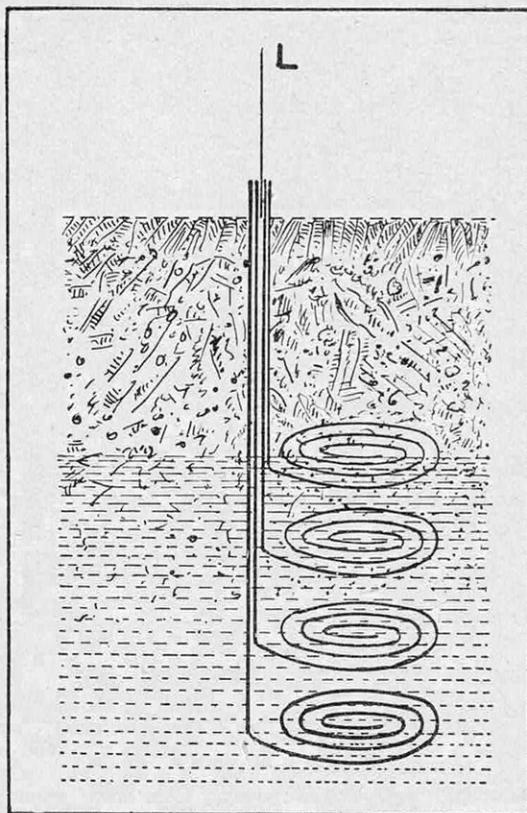


FIG. 2. — TYPE DE PRISE DE TERRE DE L'OBSERVATOIRE DU PARC-SAINT-MAUR, QUI DUT ÊTRE DÉPLACÉ PAR SUITE DE L'IMPORTANCE DES COURANTS INDUSTRIELS TRANSMIS PAR LE SOL DANS LA RÉGION PARISIENNE. Aux extrémités des lignes N.-S. et E.-W., le fil s'arrêtait à un poteau télégraphique et était relié à quatre couronnes ou spirales de fer galvanisé, de 4 mm de diamètre et de 30 m de longueur chacune, espacées verticalement de 50 cm et enfouies dans le sol entre 1 m et 2 m 50 de profondeur. L'espace entre les couronnes était rempli par des couches alternées de terre et de charbon de bois pulvérisé.

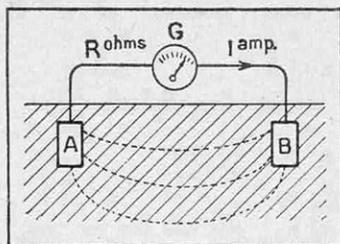


FIG. 3. — COMMENT ON EFFECTUE EN PRINCIPE LA MESURE D'UN COURANT TELLURIQUE

*Le galvanomètre G indique la*

*différence de potentiel entre les prises de terre A et B. Pour en déduire le courant I, il faudrait connaître la résistance R du circuit, qui est malheureusement très variable, avec l'état d'humidité du sol en particulier.*

terrains traversés ; or, celle-ci varie dans des limites très larges : la pyrite est un milliard de fois plus conductrice que le marbre, et, pour les roches les plus communes, les variations de résistivité sont comprises entre 1 et 100 000 ; de plus, cette résistance varie à chaque instant, suivant que le sol est sec ou humide, chaud ou froid ; enfin, la direction de ces « nappes de courant » n'est pas ordinairement celle qui joint les deux électrodes A et B.

On voit donc que ce qui est mesurable ne permet pas de résoudre le problème, tel qu'il se pose idéalement : déterminer, en chaque lieu et à chaque instant, la direction et l'intensité des courants telluriques. De plus, la différence de potentiel  $E$  volts que l'on mesure ne provient pas seulement de la chute de tension produite par le courant, mais de causes diverses dont il est facile d'énumérer les principales :

1° De la différence de nature, en A et B, des électrodes et des terrains ; il est évident que si A était en cuivre et B en zinc, on créerait une pile dont la force électromo-

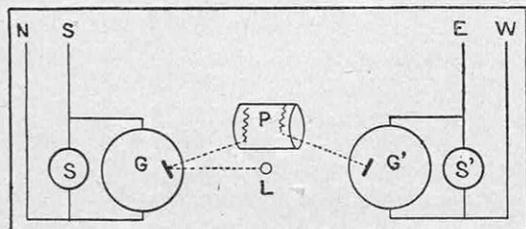


FIG. 4. — SCHÉMA DE L'ENREGISTREMENT DE COURANTS TELLURIQUES

*Les lignes N.-S. et E.-W. sont reliées aux galvanomètres G et G' shuntés en S et S'. Les déviations du faisceau lumineux issu de L par les miroirs des galvanomètres s'inscrivent sur le film tournant P.*

trice entrerait en ligne de compte. Il est aisé d'éliminer cette cause d'erreurs, soit en employant, comme le fit jadis Matteucci, des électrodes impolarisables, soit plus simplement en faisant les prises de courant A et B avec le même métal, et en les enterrant dans des terrains de même nature ;

2° Des forces électromotrices parasites peuvent se produire soit à la séparation de couches ayant des compositions différentes, soit au contact de terrains dont les températures sont inégales ; ainsi la chaleur solaire peut être soupçonnée d'introduire des cou-

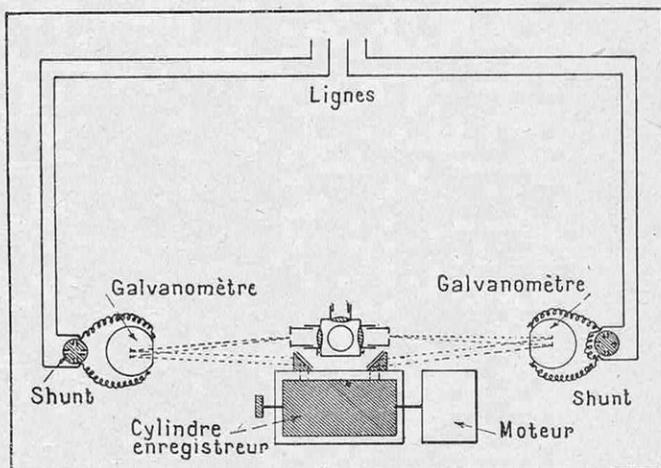


FIG. 5. — INSTALLATION POUR L'ENREGISTREMENT SIMULTANÉ, A L'OBSERVATOIRE DE L'ÈBRE (ESPAGNE), DES COURANTS TELLURIQUES N.-S. ET E.-W.

*Une puissante source de lumière se réfléchit sur les miroirs des galvanomètres et, grâce à deux prismes à réflexion totale, vient former son image sur le papier sensible disposé sur le cylindre.*

rants d'origine thermoélectrique ; mais les mesures faites par divers observateurs semblent indiquer que ces phénomènes sont de faible importance ;

3° Enfin, il peut naître, entre A et B, des forces électromotrices non localisées, dues à des phénomènes d'induction, c'est-à-dire à des variations du flux magnétique à travers une partie du sol conducteur ; les orages magnétiques, dont j'ai eu occasion de parler à propos des aurores polaires (1), produisent précisément de telles variations, et il n'est pas douteux qu'ils concourent, pour une grande part, à la production des courants telluriques ; d'ailleurs, nous verrons tout à l'heure que l'expérience a justifié cette supposition.

Il résulte de tout ceci que la grandeur mesurée n'a pas une signification très précise, et qu'elle ne nous apprend pas exacte-

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 251, page 335.

ment ce que nous aurions désiré savoir. Pourtant, on peut avancer ceci : à toute variation mesurée de la force électromotrice *E* doit correspondre une variation proportionnelle de l'intensité des courants telluriques, ou du moins de leur composante dans la direction choisie ; on peut donc espérer que des expériences suivies permettront de relier ces variations à celles d'autres facteurs géophysiques, météorologiques ou solaires. Mais, pour cela, il faut que ces expériences soient continuées sans interruption durant une quinzaine d'années, de manière à embrasser un cycle undécennal d'activité solaire ; il faut aussi, en raison de la brusquerie de certaines variations, qu'on mette en œuvre des procédés d'enregistrement automatiques ; enfin, en raison encore de ces variations, les galvanomètres enregistreurs devront être shuntés, de telle sorte que leur sensibilité puisse être accrue ou diminuée suivant l'intensité des courants qui les traversent.

Je laisserai de côté les observations occasionnelles faites en profitant soit de lignes télégraphiques préexistantes, soit de câbles sous-marins, qui ne permettent pas les mesures suivies dont la nécessité a été reconnue. Voici donc comment les stations

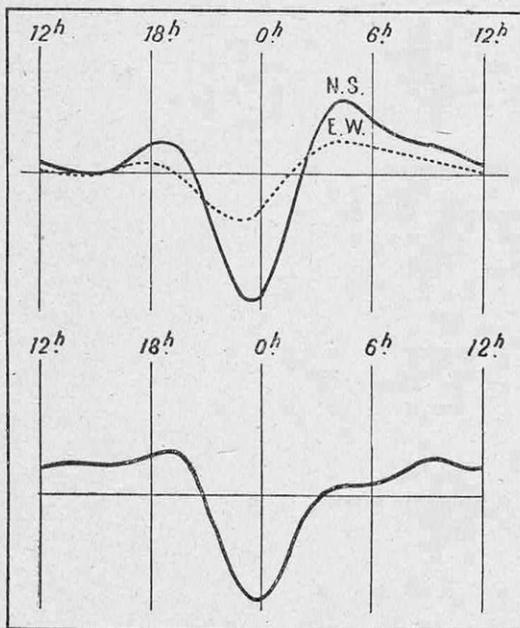


FIG. 6. — COURBES MOYENNES DU COURANT TELLURIQUE (EN HAUT) ET DU CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE TOTAL (EN BAS) ENREGISTRÉS A BERLIN, D'APRÈS WEINSTEIN

*Ces courbes mettent en évidence l'existence d'une périodicité diurne du courant tellurique, ainsi que sa relation étroite avec le champ magnétique.*

permanentes pour l'observation des courants telluriques sont ordinairement installées : on s'arrange pour faire simultanément des mesures dans la direction Nord-Sud et dans la direction perpendiculaire Est-Ouest. A cet effet, quatre électrodes de prise de terre sont établies suivant les points cardinaux et reliées deux à deux par des conducteurs métalliques aériens ; ceux-ci

sont installés suivant les commodités locales, et il n'est nullement nécessaire qu'ils suivent les droites N.-S. et E.-W., qui joignent deux à deux les prises de terre.

D'autre part, l'expérience a montré fort souhaitable que les distances de ces électrodes soient supérieures à 2 ou 3 km ; une distance d'une dizaine de kilomètres est convenable pour les mesures. Enfin, on voit, sur la figure 4, que les deux extrémités des fils conducteurs N.-S. et E.-W. sont reliées, par l'intermédiaire des shunts *S* et *S'*, aux deux galvanomètres *G* et *G'*, et que les déviations des miroirs qui reçoivent les rayons lumineux de la source *L* sont inscrites sur un film tournant *P*.

Bien entendu, les observations ainsi recueillies seraient à peu près inutiles si elles n'étaient accompagnées par d'autres mesures : outre celle de l'heure, il faut y joindre les grandeurs météorologiques et magnétiques dont l'ensemble constitue le travail courant d'un observatoire géophysique ; il est même fort important d'y joindre des observations directes du Soleil ; mais celles-ci seront généralement obtenues d'un observatoire voisin.

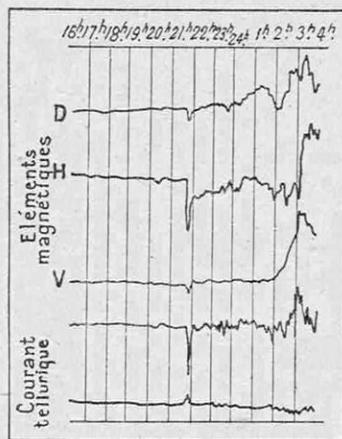


FIG. 7. — L'ENREGISTREMENT DES PHÉNOMÈNES INSTANTANÉS MONTRE QUE LE DÉBUT DES ORAGES MAGNÉTIQUES COÏNCIDE EXACTEMENT AVEC UNE VARIATION BRUSQUE DE L'INTENSITÉ DES COURANTS TELLURIQUES

*Les courbes ci-dessus indiquent les variations des éléments magnétiques (déclinaison D, inclinaison V) et de la composante totale H, ainsi que celles des courants telluriques N.-S. et E.-W. enregistrés simultanément à l'observatoire de Greenwich.*

**Des conclusions et des hypothèses**

De ces recherches, patiemment poursuivies depuis plus de soixante ans, que peut-on conclure ? Assurément, aucune explication générale ; c'est ce que constatait récemment M. Maurain. Mais on peut avancer un certain nombre de conclusions particulières, le plus souvent négatives, et aussi hasarder quelques hypothèses plus ou moins vraisemblables ; tâchons de résumer les unes et les autres.

On peut d'abord affirmer que le magnétisme général du globe n'est pas dû, comme on l'avait suggéré à la suite des expériences d'Erstedt et

d'Ampère, à des courants électriques permanents circulant d'est en ouest, le long des parallèles ; il faudrait pour cela que la Terre fût le siège d'un courant de 78 ampères par mètre courant, compté dans le sens des méridiens ; or, toutes les expériences tentées pour mettre en évidence l'exis-

tence d'un tel courant ont échoué ; non seulement les courants réels, autant qu'on peut les évaluer, sont considérablement inférieurs à cette grandeur, mais encore ils sont généralement dirigés en sens contraire de ce qu'il faudrait pour expliquer la polarité du magnétisme terrestre.

En fait, la force électromotrice mesurée est généralement faible : quelques centièmes de volt par kilomètre, souvent 10 ou 100 fois moins encore, mais parfois beaucoup plus (jusqu'à 9 volts par kilomètre en 1892) ; d'où on peut tirer cette conclusion générale, qu'il n'existe presque pas de courants telluriques permanents, mais surtout des courants variables en grandeur et en direction : si on veut user d'une comparaison, pas de fleuves électriques, mais seulement des torrents, le plus souvent desséchés.

Un fait général et intéressant se dégage encore des mesures : c'est que le courant mesuré dans la direction Nord-Sud est, en général, plus intense que celui qu'on observe

suivant la ligne Est-Ouest. Ce résultat est favorable aux hypothèses que j'ai exposées à propos des aurores, et d'où il résulte que les phénomènes électriques, lumineux et magnétiques de l'atmosphère sont dus à une émission de corpuscules électrisés, d'origine solaire ; il paraît naturel de supposer que les corpuscules, atteignant notre globe dans le voisinage des pôles, s'écoulent ensuite en direction générale des méridiens, contribuant pour une part à l'entretien des courants telluriques.

On peut encore donner des faits observés une seconde explication qui, au fond, revient probablement au même : l'atmosphère est

chargée positivement, sans doute sous l'action des radiations solaires, tandis que le sol est négatif et dissipe constamment sa charge dans l'air ; mais cette déperdition n'est pas la même en tous lieux, et il en résulte dans le sol des courants qui tendent à égaliser les potentiels.

En tout cas

l'existence d'une action solaire est incontestable, quelle que soit la manière dont elle s'exerce ; on en trouve la preuve en considérant d'abord les moyennes, qui éliminent les valeurs accidentelles. Voici, par exemple (fig. 6), les courbes obtenues en Allemagne, par Weinstein, en combinant 800 graphiques ; elles mettent nettement en évidence l'existence d'une périodicité diurne, et aussi une relation avec le champ magnétique dont je parlerai tout à l'heure ; ces résultats ont été pleinement confirmés à l'Observatoire de Tortosa. D'autres courbes, fondées également sur la considération des moyennes, prouvent l'existence d'une périodicité annuelle, et surtout une variation undécennale, qui est celle de l'activité solaire, les courants telluriques étant plus actifs à l'époque du maximum des taches.

On obtient des résultats aussi probants en considérant les phénomènes instantanés. Si on prend (ce qui est établi) les orages magnétiques comme indices et manifesta-

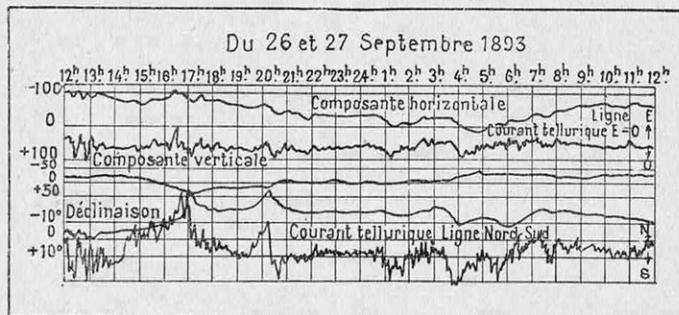


FIG. 8. — DIAGRAMME METTANT NETTEMENT EN ÉVIDENCE LES RELATIONS ENTRE LES COURANTS TELLURIQUES ET LES COMPOSANTES DU MAGNÉTISME TERRESTRE. Ces courbes, relevées par les services telluriques permanents du Parc-Saint-Maur, montrent le parallélisme frappant entre les variations moyennes du courant tellurique Est-Ouest et la force magnétique horizontale, d'une part, du courant tellurique Nord-Sud et de la déclinaison d'autre part.

tions de l'activité solaire, on a constaté maintes fois que le début de ces orages coïncidait exactement (c'est-à-dire à deux minutes près) avec une variation brusque de l'intensité des courants telluriques : la figure 7 reproduit les inscriptions obtenues simultanément à Greenwich des éléments magnétiques (déclinaison  $D$ , inclinaison  $V$ , composante totale  $H$ ) et des courants telluriques dans les deux directions Nord-Sud et Est-Ouest : la concordance de ces inscriptions est flagrante.

Mais si le fait lui-même est incontestable, son explication est délicate. Des deux phénomènes simultanés : courant tellurique, orage magnétique, lequel est la cause, lequel est l'effet ? Ou plutôt ne seraient-ils pas tous les deux les effets d'une même cause ? Si la variation des courants telluriques détermine celle du champ magnétique, ce sont les lois de l'électromagnétisme qui jouent et les deux grandeurs doivent, à chaque instant, varier proportionnellement ; si, au contraire, c'est la variation du champ magnétique qui produit, par induction, les courants telluriques, l'intensité de ceux-ci doit être proportionnelle, non au champ inducteur, mais à sa dérivée ; il semble donc possible de

choisir expérimentalement entre ces alternatives ; et, cependant, les résultats obtenus par divers observateurs sont contradictoires, d'où résulte que le problème reste en suspens.

En dépit de ces difficultés, les idées des géophysiciens évoluent en raison des progrès réalisés dans d'autres domaines. Ils considèrent, aujourd'hui, que la cause principale des phénomènes électriques et magnétiques dont notre globe est le siège, réside dans la haute atmosphère et spécialement dans les couches conductrices de l'ionosphère, qui seraient parcourues par des courants électriques intenses et variables, lesquels agissent ensuite par induction sur la croûte solide du globe en y faisant naître des courants électriques. Ce qui paraît acquis, c'est que l'étude des courants telluriques ne peut donner des résultats que si elle se tient en liaison étroite avec tous les phénomènes géophysiques qui dépendent de l'activité solaire ; pour cette raison, le progrès de ces connaissances ne peut être que très lent.

L. HOULLEVIGUE.

Les figures 1, 2, 5, 6, 7 et 8 qui illustrent cette étude sont extraites de l'ouvrage : *Traité d'électricité atmosphérique et tellurique*, par E. MATHIAS (Presses universitaires de France).

A une époque où chacun se préoccupe d'organiser la production, on peut rappeler l'exemple fourni à ce sujet en Angleterre, pays de structure démocratique, par le P. M. B. pour y organiser le marché de la pomme de terre d'accord avec les producteurs (loi de 1934). Le « Potatoe Marketing Board » impose au cultivateur britannique de plus d'un acre (soit 40,467 ares) planté de pommes de terre de s'inscrire au P. M. B. et de n'exploiter, par suite, qu'un terrain correspondant à une « superficie de base » (calculée d'après des moyennes antérieures à la création de ce groupement P. M. B.). Toute une réglementation, basée sur des taxes par hectare exploité pour les quantités excédentaires dépassant la superficie de base, a pour but d'éviter ainsi la surproduction et la mévente, et cela sous un contrôle rigoureux d'un corps de spécialistes. Tout cultivateur anglais est, en outre, astreint à vendre sa récolte (sauf quelques exceptions concernant les tubercules destinés aux semences, à l'industrie, etc.), aux négociants agréés par le P. M. B. Celui-ci fixe annuellement le *calibrage* des tubercules admis pour l'alimentation humaine (les autres étant destinés à la consommation animale et à certaines applications industrielles). Le P. M. B. consacre également son activité à la *sélection* des espèces, à la lutte *antiparasite*, à la *protection* du marché anglais. Les résultats d'une telle organisation ont abouti, en quatre ans, à revaloriser notablement la pomme de terre dont le marché s'était effondré. On a ainsi enregistré une hausse de plus de 150 f à la tonne pour une dépense à la production de moins de 6 f. Or, actuellement, en France, au cours d'une période de relèvement général du prix des produits agricoles, le marché de la pomme de terre accuse, au contraire, des prix de vente en baisse continue depuis 1936, pour des raisons multiples (1). Si notre pays possédait une organisation comparable au P. M. B. anglais, nos cultivateurs pourraient remédier, eux aussi, au « marasme » du marché.

(1) Voir les études spéciales à ce sujet, telles que celle de M. Rouy entre autres.

# LES « MICROOUTILS » DANS LA BIOLOGIE ET LA MÉTALLURGIE

Par Charles BRACHET

*C'est une banalité de rappeler que le microscope a contribué dans une large mesure à mieux connaître un monde qu'on estimait ne devoir jamais toucher. Cependant, le microcosme des cristaux, des cellules vivantes, des microbes est maintenant aisément photographié, et même cinématographié. Aujourd'hui, la technique des « micromanipulations », créée par un savant chercheur de l'Institut Pasteur de Garches, permet d'intervenir sur la platine même du microscope au moyen d'outils (aiguilles, pipettes, scalpels, électrodes) calibrés au micron (1) et guidés avec une précision en rapport avec leurs dimensions minuscules. Un appareillage, réalisant pneumatiquement et élastiquement la plus fine démultiplication des gestes humains qui ait jamais été obtenue à ce jour, imprime à ces « microoutils » des déplacements dont l'amplitude dans les trois dimensions de l'espace peut être ajustée, au gré de l'opérateur, à quelques millimicrons (2) près. Ainsi le microbiologiste, sous le contrôle du microscope, est parvenu récemment à isoler une bactérie ou à détacher au microscalpel une cellule d'un tissu, à percer leur membrane pour y injecter un réactif étranger ou y prélever de leur substance, à étudier leur réaction aux courants électriques de haute et de basse fréquence, etc. Cette technique toute nouvelle de la micromanipulation semble donc appelée à rendre, en outre, les plus grands services aux métallurgistes en leur permettant de procéder à l'épreuve mécanique et d'effectuer le dosage chimique des aciers à l'échelle microscopique, c'est-à-dire sur des échantillons prélevés en des points déterminés de leur structure cristalline. Le métallographe est donc maintenant en possession d'un moyen qui lui permet de centupler l'ordre de précision de ses explorations, notamment à travers les éléments micrographiques des alliages. Et ce n'est là qu'un champ d'exploration encore très limité par rapport au résultat que l'on peut obtenir avec une telle méthode appliquée aux différents procédés de contrôle et aux recherches poursuivies au laboratoire.*

L'ÉCRAN des salles publiques fait passer aujourd'hui, sous les yeux des foules, en « documentaires », les phénomènes biologiques les plus essentiels : la prolifération des cellules vivantes avec la décomposition minutieuse des phases que comporte leur dédoublement ; la fécondation d'un ovule par un spermatozoïde ; le combat d'un globule sanguin (leucocyte) contre une bactérie virulente et bien d'autres « microphénomènes ». Le public admire sans trop penser aux procédés ingénieux qu'il a fallu mettre en œuvre pour préparer cette mise en scène d'acteurs infiniment petits. C'est un savant de chaque spécialité qui, naturellement, remplit la fonction de mettre en scène. Mais, qu'il s'agisse du docteur Comandon (3), de l'Institut Pasteur, en microbiologie, ou de ses confrères et imitateurs étrangers, il faut que le metteur en scène dispose de « ficelles » incroyablement délicates et précises pour conduire ces marion-

nettes dont la taille n'atteint pas toujours un micron. D'autant qu'au laboratoire, le côté spectaculaire d'une semblable technique cède le pas à son caractère expérimental, beaucoup plus important.

C'est au disciple du docteur Comandon, M. P. de Fonbrune, que revient l'honneur d'avoir sinon créé la technique des « micromanipulations », — l'idée en remonte au XIX<sup>e</sup> siècle, — du moins de l'avoir poussée à un degré de précision et de commodité inconnu jusqu'à lui. Nous allons exposer les derniers progrès qu'il vient de réaliser et qui intéressent jusqu'au métallurgiste.

## Le problème de la « micromanipulation »

Supposons réalisés les « microoutils » — aiguilles, crochets, pipettes, etc. — nécessaires aux « micromanipulations » dont nous venons de définir les buts. Nous reviendrons plus loin sur leur fabrication. Et prenons connaissance immédiatement de l'appareillage qui doit assurer leurs mouvements avec une précision correspondant à leur taille minuscule.

(1) Le micron ou  $\mu$  (mu) = 1 millième de mm.

(2) Millième de micron.

(3) Voir *La Science et la Vie*, n° 235, page 67.

Il est, en effet, évident que les mouvements de la main la plus exercée, avec ses « réflexes » inévitables, sont incapables de procurer des déplacements exacts dont l'amplitude exige d'être contrôlée sur quelques millimicrons (dix-millièmes de mm).

On sait que le simple réglage de position d'un objet microscopique devant l'objectif doit s'effectuer au moyen de vis micrométriques agissant sur une crémaillère : cet ensemble est destiné à *démultiplier* le geste humain manipulant le porte-objet placé sous le microscope.

Or ce système micrométrique est radicalement insuffisant quand il s'agit de *poursuivre* un objet vivant — un globule sanguin, par exemple. La « préparation » microscopique glisse *en bloc* suivant les deux dimensions de la « platine » du microscope ; mais le globule *se meut à l'intérieur de cette préparation*, suivant les trois dimensions de l'espace ! L'expérimentateur qui désire le

poursuivre avec la pointe de son « micro-outil », doit donc être capable de mouvoir celui-ci sans jamais s'écarter du maximum d'amplitude au delà duquel le geste provoquerait un choc, un désastre. Au sein du microcosme mouvant, l'appareil « micro-manipulateur » devra donc remplir, dans la conduite de l'outil, les mêmes fonctions directrices que le « manche à balai » dans la triple gouverne d'un aéroplane.

C'est, effectivement, de la célèbre invention de Robert Esnault Pelterie que se rapproche le plus le micromanipulateur créé par M. de Fonbrune.

La première réalisation de cet appareil en 1932, — aujourd'hui dépassée, mais que nous rappelons simplement pour bien marquer le progrès accompli en 1938 — constituait déjà un immense progrès sur les pre-

miers essais tentés en 1844 par le savant hollandais Purkinjes. Celui-ci utilisait simplement trois vis micrométriques à crémaillère. Ce système et tous ceux qui en dérivèrent sous l'effort de successeurs (le Français Chabry, 1887 ; l'Américain Chambers, plus récemment, et d'autres encore) exigeaient le réglage *successif* des trois vis micrométriques. N'ayant que deux mains, l'homme peut conduire, à la rigueur, deux vis simultanément, mais non trois. Encore, si nos lecteurs se souviennent que ce double mou-

vement coordonné dans deux dimensions d'échelle courante constitue l'un des tests psychotechniques les plus caractéristiques de l'habileté manuelle (1), on conçoit quelles difficultés rencontre l'opérateur le plus exercé, quand il s'agit de l'échelle microscopique. En 1928, un Allemand, J. Florian, réalise *la commande unique*, au moyen d'un seul levier tournant librement

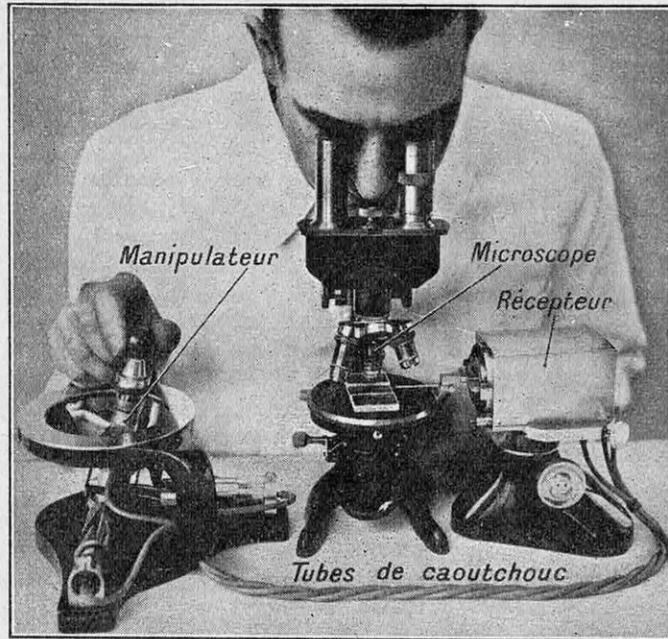


FIG. 1. — ENSEMBLE DU MICROMANIPULATEUR PNEUMATIQUE QUI PERMET AU SAVANT D'INTERVENIR SUR LA PLATINE DU MICROSCOPE

dans l'espace à la façon précisément du « manche à balai » des aviateurs. Mais les transmissions restant *mécaniques* se heurtaient aux frottements inévitables des pièces métalliques. Un perfectionnement important fut apporté par l'Américain Lowell Dunn, qui prit comme agent de la transmission des mouvements la *pression hydraulique*. Les gestes de l'opérateur agissent alors sur six seringues (agencées deux à deux) dont les pistons, actionnés par des vis intermédiaires, provoquent à leur tour les mouvements du micro-outil. On éliminait ainsi certains frottements, mais les « nuances » d'une pression hydraulique demeurent aussi difficiles à réaliser que celles d'un déplacement rigide.

M. de Fonbrune a compris du premier

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 241, page 9.

coup (1) qu'il fallait mettre en œuvre les ressources de l'élasticité matérielle pour réaliser la démultiplication la plus fine qu'il soit possible d'appliquer aux gestes humains.

### Le micromanipulateur de Fonbrune

Son micromanipulateur prend donc contact avec la main de l'opérateur par un levier fixé sur rotule et libre, par conséquent, d'osciller dans toutes les directions comprises dans un cône suffisamment ouvert. Ce levier est lié aux pistons de deux pompes pneumatiques disposées à angle droit.

Si on déplace le levier dans le plan d'une des deux pompes, celle-ci seule fournit soit une compression, soit une dépression d'air, l'autre restant inerte. Si on le tire dans le plan bissecteur formé par les deux pompes, celles-ci fournissent des pressions égales. Si on meut le levier dans un plan quelconque, l'une et l'autre pompes

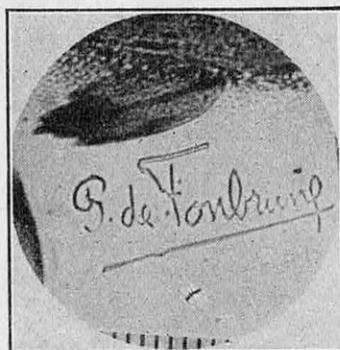


FIG. 2. — UNE SIGNATURE DE 15 CENTIÈMES DE MM ! Cette signature a été tracée à l'aide du micromanipulateur pneumatique dont elle montre le degré remarquable de précision. On aperçoit au-dessus une écaille de papillon.

fournissent des efforts différents. Nous voici donc maîtres de répartir, d'une seule main, deux efforts dosés à notre gré suivant les deux directions horizontales.

Mais une troisième pompe, disposée perpendiculairement aux précédentes, se trouve logée à l'intérieur même du levier. La même main agit sur elle par torsion du pommeau de manœuvre. Voilà donc assuré le troisième effort pneumatique dans le sens vertical.

Les trois efforts étant pneumatiques, sont extrêmement souples et progressifs. De la longueur du levier et du volume des corps de pompe dépend l'échelle de démultiplication des gestes manuels.

En possession de ce démultiplicateur de l'effort manuel, il faut un second appareil, un « récepteur », pour utiliser ses impulsions démultipliées.

Le « récepteur » est donc relié au « manipulateur » par trois tubes qui conduisent

(1) Il ignorait, en 1932, l'instrument de Lowel Dunn.

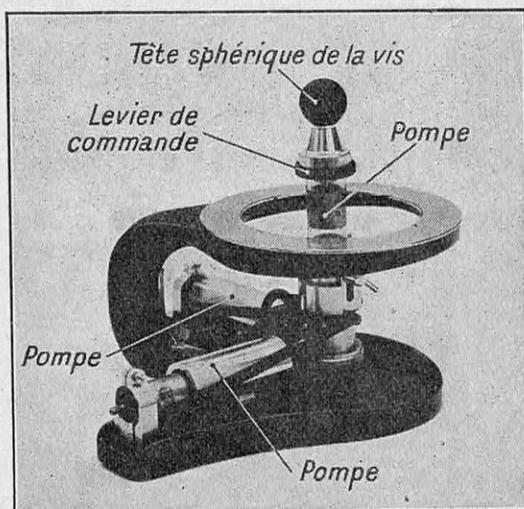


FIG. 3. — LE MICROMANIPULATEUR A ROTULE POUR LA COMMANDE DES MICROOUTILS DANS LE CHAMP DU MICROSCOPE

En agissant sur le levier de commande, il est possible de déplacer simultanément et en proportions variées les pistons des trois pompes qui envoient l'air comprimé au « récepteur » (fig. 4). La position d'une bague coulissante, commandée par une vis, détermine l'échelle des mouvements des pistons. Les deux pompes horizontales commandent les déplacements horizontaux de l'outil, et la troisième pompe, les mouvements verticaux.

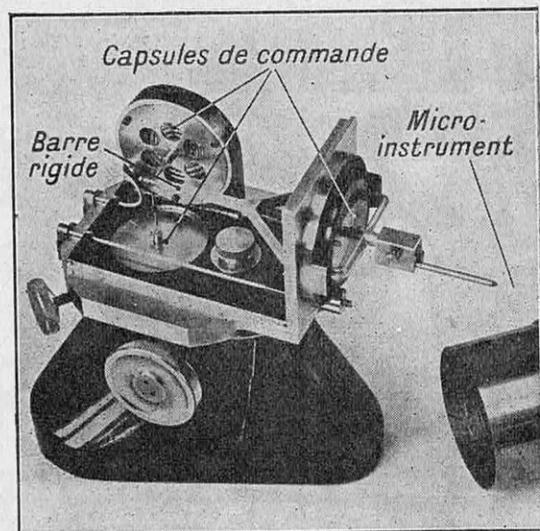


FIG. 4. — DÉTAILS DU MÉCANISME DU RÉCEPTEUR PORTANT LE MICROOUTIL

L'air envoyé par les pompes du manipulateur (fig. 3) à travers des tuyaux de caoutchouc parvient dans trois capsules étanches perpendiculaires deux à deux. Les mouvements des membranes sous la pression de l'air sollicitent, dans les trois directions de l'espace, la barre rigide qui supporte le microinstrument.

chacun l'air comprimé par l'une des trois pompes. Chaque tube aboutit dans une capsule élastique du type qui sert à mouvoir (par pression et dépression intérieures) l'aiguille d'un baromètre « anéroïde ». Il est aisé de concevoir que trois capsules disposées suivant les trois plans d'un trièdre trirectangle peuvent : l'une, pousser la tige porte-outil ; l'autre, faire basculer ce levier

le récepteur à tracer sa signature entière, très lisible au microscope, sur un espace de 15 centièmes de millimètre.

### Le plus récent modèle du micromanipulateur

La démultiplication du geste humain réalisée par le micromanipulateur se caractérise par ceci : que l'amplitude originelle des

mouvements de la main dans l'espace est traduite en pression pneumatique par les pompes, puis en tensions élastiques (par la réaction des capsules métalliques) pour aboutir au rétablissement du mouvement à l'échelle microscopique. C'est que le réglage d'une tension est infiniment plus sûr que celui d'une transmission mécanique.

Il restait à perfectionner le procédé, en l'assouplissant encore et en le dotant d'un moyen de régler à volonté le coefficient de proportionnalité entre le mouvement transmis et le mouvement reçu.

Voici donc l'appareil définitif.

Le manipulateur se trouve réduit à la conception extrêmement concise qui

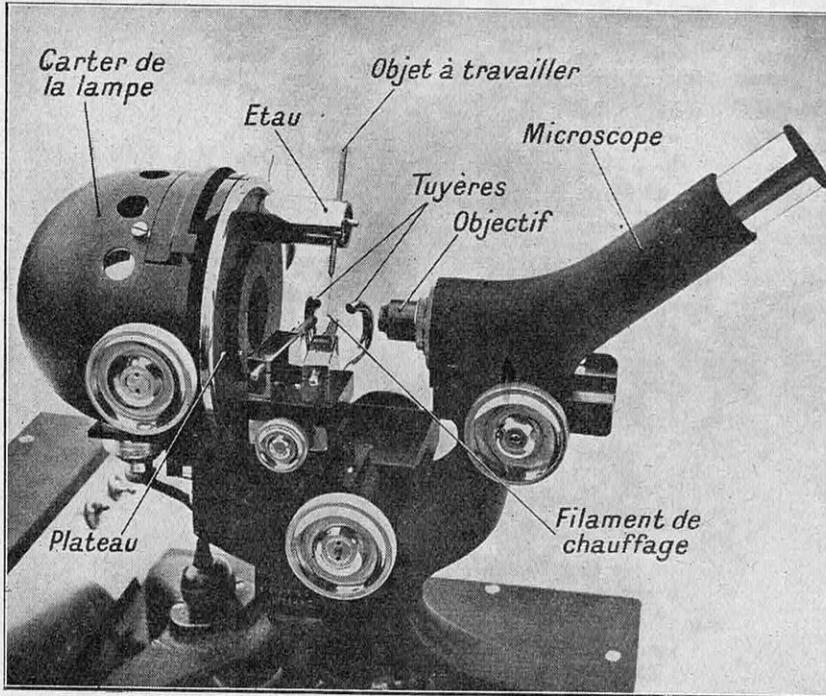


FIG. 5. — DÉTAILS DES DIFFÉRENTS ORGANES DE LA MICROFORGE UTILISÉE POUR LA FABRICATION DES MICROOUTILS

Le foyer thermique est constitué par la pointe du V que forme un filament de platine porté au rouge par un courant électrique. L'objet (fil ou tube capillaire) est fixé à un étau cylindrique, lui-même solidaire d'un plateau tournant. Il peut donc prendre toutes les incidences relativement au foyer. Les tuyères servent à refroidir l'objet au moyen d'un courant d'air. Le travail de la microforge est suivi, bien entendu, au microscope.

dans le plan vertical, et la troisième dans le plan horizontal. L'amplitude de chacun des trois mouvements étant proportionnelle à la pression de sa propre capsule et cette pression provenant de la pompe transmettrice correspondante, le problème se trouve résolu. A chaque mouvement du levier manipulateur se trouve donc associé un mouvement de la tige porteuse du microoutil.

Dès lors, toute figure tracée dans l'espace par le manipulateur se trouve exactement répétée par l'outil, mais à une échelle aussi réduite qu'on veut. C'est ainsi qu'en manipulant le levier de transmission à la façon d'un stylographe, M. de Fonbrune oblige

ressort de la figure 3. On est toujours en présence des trois pompes : deux fixées horizontalement à angle droit, la troisième étant mobile à l'intérieur d'un cône dont l'ouverture se matérialise désormais par un cercle formant un appui-main. Les deux pompes horizontales ont leurs tiges de pistons solidaires d'un manchon de guidage. Les manchons sont actionnés par des biellettes reliées à deux bagues entourant le levier-pompe, central : l'une de ces bagues est coulissante le long du levier où elle se bloque, à la hauteur qu'on désire, par une vis à bécaille. L'autre bague entoure la précédente autour de laquelle elle peut tourner

librement. Le levier mobile pivote sur une rotule à frottement dur et réglable de telle sorte qu'il reste *fixé* dans n'importe laquelle de ses positions.

Il est aisé de comprendre que la position de la bague coulissante sur le levier oscillant détermine l'échelle des mouvements. En effet, plus la bague est rapprochée du pied du levier et plus l'échelle du mouvement se trouve réduite *puisque la course des pistons compresseurs se trouve elle-même réduite*.

Si donc on règle la position de la bague coulissante pour un certain *grossissement* du microscope, il suffira de changer cette position quand on voudra passer à un grossissement plus fort ou plus faible. *La main n'aura pas à changer ses habitudes*. Le micromanipulateur se charge ainsi de rectifier automatiquement l'échelle des déplacements pour l'adapter exactement à chaque instant au champ visuel du microscope.

Quant au récepteur, il se trouve désormais réduit à sa plus simple expression. Des trois capsules perpendiculaires, l'une entraîne directement le porte-outil dans un mouvement de va-et-vient suivant son axe. Les deux autres actionnent le porte-outil (latéralement ou verticalement) par le seul intermédiaire de tiges flexibles en acier, *renforcées dans leur portion moyenne*. La flexibilité des tiges, équilibrée de part et d'autre de leur portion moyenne, se conjugue ainsi directement avec la flexibilité de la cellule axiale : en sorte que les trois mouvements conservent leur « liberté » tout en *subissant* exactement les variations de pression dont leur amplitude dépend.

On ne pouvait utiliser plus complètement les propriétés *élastiques* de la matière pour éliminer les systèmes « cinématiques » clas-

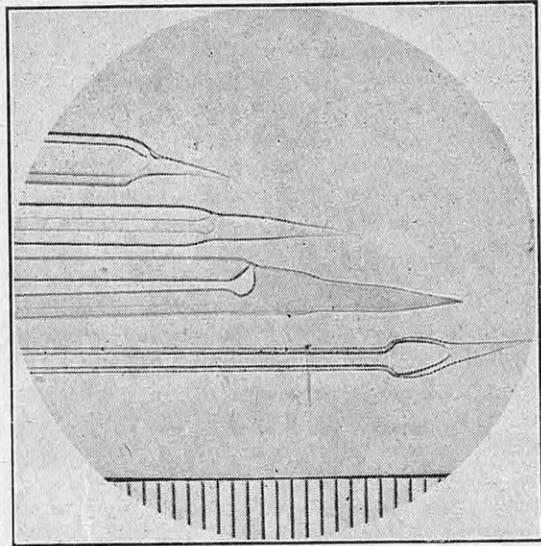


FIG. 7. — DIFFÉRENTS MODÈLES DE MICROPIPETTES EN VERRE SOUFLÉ TERMINÉES PAR DES POINTES PLEINES TRÈS RÉSISTANTES. Chaque graduation indiquée sur l'échelle inférieure correspond à une longueur de 1/100 mm.

siques (bielles, leviers, vis, etc.). Et cela par l'application d'un théorème de mécanique très simple, à savoir *que les déplacements d'un système élastique sont proportionnels aux tensions appliquées*.

Le problème de la micromanipulation se trouve donc résolu d'une manière qu'il paraît bien difficile de dépasser.

### La fabrication des « microoutils » exige une « microforge »

Maintenant que nous possédons la technique des « microdéplacements » (qui coïncide, nous venons de le voir, avec celles des « microefforts »), il s'agit de réaliser les « microoutils » capables d'opérer *le travail* à l'échelle microscopique.

M. de Fonbrune n'a pas inventé les aiguilles de verre calibrées au *micron*, ni les micropipettes, ni les microscalpels, mais il a *rationalisé leur fabrication* qu'il effectue sous le contrôle du microscope dans sa « microforge » que nous allons décrire. Elle lui a permis de fabriquer, en un temps record, *chronométré* à la façon taylorienne : 3 aiguilles en 5 minutes ; 3 anses (Pyrex) en 16 minutes ; 3 scalpels en 6 minutes ; 3 électrodes (cadmium) en 12 minutes ; 3 pipettes en 12 mi-

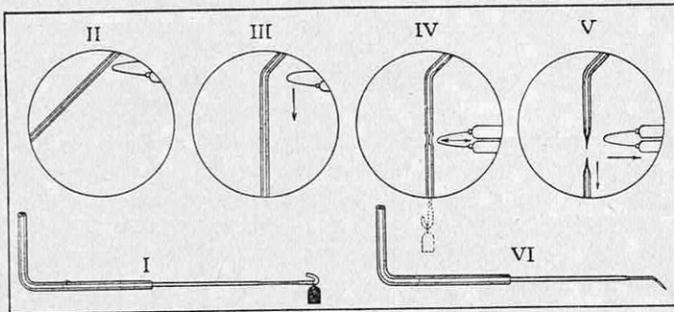


FIG. 6. — LES DIVERSES PHASES SUCCESSIVES DE LA FABRICATION D'UNE MICROPIPETTE EN VERRE

I : tubes capillaires lutés ensemble, préparés hors de la microforge ; II : on approche le tube capillaire du filament de chauffage ; III, IV : le tube se coude, s'étire, se rompt sous l'action du poids ; VI : la micropipette est prête à être montée sur le récepteur du micromanipulateur.

minutes. Soit 51 minutes seulement pour réaliser 15 *microinstruments*.

L'énumération précédente représente à peu près l'arsenal qui suffit actuellement aux expériences de microbiologie. Voulez-vous isoler une cellule dans un tissu ? C'est le microscalpel qui entre en jeu. Voulez-vous percer cette cellule ? Une microaiguille y pourvoira, et même sa pointe, convenablement préparée, se cassera à l'intérieur de la membrane, de manière à préparer une intéressante observation de la réaction physiologique qu'opposera le microorganisme à cet attentat. Voulez-vous administrer une injection à une amibe ? Voilà une micropipette. Voulez-vous isoler une bactérie ? Voici une anse microscopique. Voulez-vous étudier la réaction d'un microorganisme à un courant électrique ? Voici des électrodes à sa taille.

Il va sans dire que chaque expérimentateur pourra exiger d'autres outils, de son invention, d'après les buts qu'il se propose. La microforge permettra de les fabriquer s'ils sont réalisables.

Que la matière première soit le verre ou le métal, le problème est de la travailler à chaud, de la tremper éventuellement par courant d'air, de la saisir avec des *pincés*, de l'étirer, la courber, la sectionner. Toutes ces opérations, qui définissent le mot « forger » dans son sens le plus général, se trouvent rassemblées dans un appareil de la taille d'une machine à écrire.

La première condition que doit réaliser cet atelier-miniature, c'est d'être puissamment éclairé, car c'est au microscope que travaille le « forgeron ». Aussi bien la plus grande portion du volume occupé par l'appareil est consacrée à une puissante lampe électrique sous carter hémisphérique. La lumière projetée vient éclairer le « foyer » chauffant, sur lequel est braqué, d'autre part, le microscope.

Ce foyer thermique, âme de l'usine microscopique, se compose d'un filament en V très ouvert, de platine irridié. Il est porté

au rouge par un courant électrique et tenu par deux pincés, la pointe en avant. C'est cette pointe chauffante qui agit soit par contact, soit à courte distance par rayonnement, pour fondre ou rendre malléable la matière traitée.

L'objet forgé est présenté naturellement à l'état dégrossi : fil ou tube capillaire. On le fixe à une sorte d'étau cylindrique, qui est lui-même solidaire d'un plateau annulaire tournant suivant l'axe même du faisceau éclairant. Ainsi, par la rotation de cet ensemble, l'objet en forgeage peut prendre toutes les incidences relativement au « foyer » (pointe du filament en V).

Convergeant vers le même foyer, deux tuyères soufflantes sont à la disposition de l'opérateur pour refroidir par courant d'air l'objet travaillé.

Le mouvement circulaire du plateau-étau (porte-objet) ; le mouvement horizontal de va-et-vient des pincés et du filament fixés à une glissière ; le réglage du microscope ; celui du courant électrique de chauffage, et celui de la ventilation, sont commandés par des vis micrométriques.

Les services auxiliaires (soufflerie, transformateurs électriques) sont aisément contenus dans le socle même de l'appareil.

#### A titre d'exemple : fabrication d'une « micropipette »

Ne pouvant nous étendre sur les facultés d'utilisation de la microforge, contentons-nous de suivre, à titre d'exemple, la fabrication d'un microoutil particulièrement délicat : une pipette (fig. 6).

Le tube capillaire (1 mm de diamètre), qui sera la micropipette, est luté avec de la paraffine dure à l'intérieur d'un tube plus grand (3 mm). On procède à un premier étirage dans la flamme d'alcool qui amène le diamètre tubulaire intérieur à 2 ou 3 dixièmes de mm sur 10 mm de longueur. On suspend ce « fil » à l'étau et l'on accroche un poids déterminé à l'extrémité pendante. On approche le filament chauffé à une tem-

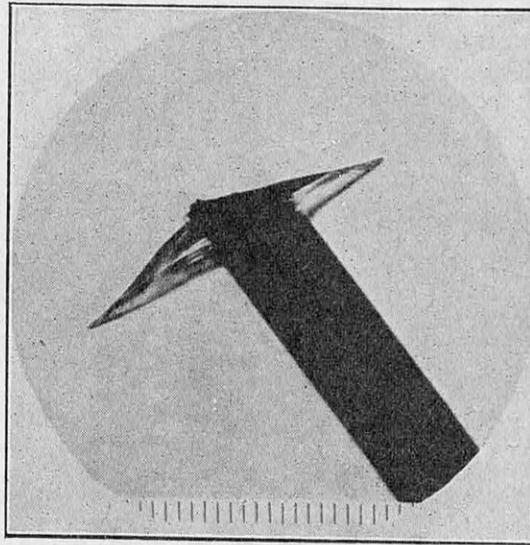


FIG. 8. — MICROSALPEL FORMÉ D'UN ÉCLAT DE VERRE SOUDÉ A L'EXTRÉMITÉ D'UNE TIGE DE PLATINE (ÉCHELLE AU 1/100 MM)

pérature juste suffisante pour ramollir le verre à distance. Sous la traction du poids, le tube s'allonge et diminue de diamètre au point chauffé.

Dès cet instant, il faut surveiller l'étirage en réglant la distance du foyer au tube, de manière à éviter une rupture par fusion.

Puis on recommence l'opération en un point situé plus bas sur le parcours du tube. Et ainsi de suite. *Le diamètre extérieur de la pipette est fonction du poids appliqué à la traction.* Il est donc possible « d'obtenir d'emblée une pipette du calibre exact désiré. Ce calibre peut avoir toutes les valeurs entre 1 et 20 microns ». (P. DE FONBRUNE.)

Nous n'insistons pas, il va sans dire, sur les détails minutieux d'une telle manipulation, qui s'effectue sous le regard du microscope dont le grossissement n'a pas besoin de dépasser 50 diamètres.

Un plus fort grossissement peut être envisagé s'il y a lieu. L'intervention du micromanipulateur se trouve ainsi indiquée pour conduire certaines opérations.

Dans la fabrication d'autres instruments, le filament chauffant intervient par contact direct : il fond le

verre en une sphérule pâteuse, qui devient alors l'analogue de la cuillerée de verre fondu saisie par la canne du verrier. La microaiguille (par exemple) en fabrication vient nourrir sa pointe à plusieurs reprises dans ce bloc minuscule. La micropipette fondue de même à son extrémité, puis soufflée, forme une sorte de « microballon », etc.

### Un exemple curieux : la « microinjection »

Le micromanipulateur et la microforge constituent des « relais de mouvements » grâce auxquels les gestes maladroits de la main sont corrigés et peuvent, de ce fait, agir à l'échelle microscopique. Les résultats

futurs de cette « microtechnique » ne sauraient donc être davantage prévus que les résultats de la technique macroscopique. Nul ne peut dire jusqu'où peut aller l'habileté ouvrière, surtout lorsqu'elle disposera de matériaux spécialement étudiés.

Une fois en possession de l'outil et du micromanipulateur, l'ingéniosité d'application n'a pas de limite. Il prend fantaisie, par exemple, à un biologiste d'administrer une injection à un organisme monocellulaire (une amibe).

Une fois la pipette d'injection mise en place par micromanipulation, il reste à trouver la « seringue », M. de Fonbrune répond : pas de piston ! Un simple bouchon d'huile recouvrant le liquide à injecter. Puis chauffez progressivement : la dilatation poussera le liquide avec la lenteur voulue. Vous arrêterez l'injection par un refroidissement brusque. En procédant inversement, par refroidissement, vous prélèverez, si vous voulez un peu de la substance de l'amibe, sans la tuer.

### L'avenir de la micromanipulation au service des métallurgistes

Mais voici un autre candidat à l'usage

de la micromanipulation : le métallurgiste.

M. Albert Portevin et son collaborateur André Leroy se sont spécialisés dans l'étude des caractéristiques mécaniques et chimiques des aciers, dans les diverses « phases » de leur structure. Ils doivent, en conséquence, faire porter leurs « microanalyses » sur des échantillons de l'ordre du milligramme. Ce milligramme de matière doit ensuite être soumis à des réactifs chimiques titrés que distribuent des « microburettes », dont les gouttes sont d'environ 3 cent-vingtième de  $\text{cm}^3$ . D'ores et déjà, l'erreur de ces microdosages ne dépasse pas un millième de milligramme. Ces résultats, et d'autres, sont admirables. Cependant M. Portevin n'a

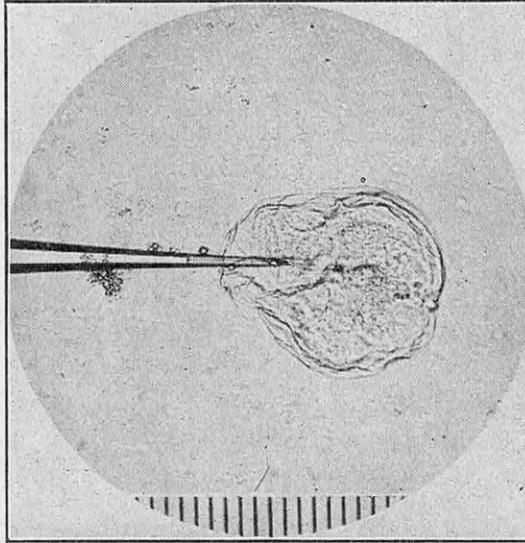


FIG. 9. — MICROINJECTION DANS UNE AMIBE EFFECTUÉE SUR LA PLATINE DU MICROSCOPE AVEC UNE MICROPIPETTE

*La pipette d'injection, conduite par le micromanipulateur, est introduite dans l'amibe; le liquide à injecter est poussé par un bouchon d'huile qui avance lui-même sous l'action de la dilatation de l'air provoquée par chauffage. Inversement, par refroidissement, on peut prélever un peu de la substance de l'amibe sans la tuer.*

(Echelle au 1/100 mm.)

pas hésité à déclarer que la micromanipulation de M. de Fonbrune « paraît pouvoir rendre de très grands services en métallographie, notamment dans le cas où l'on se propose de faire des déterminations ou des études ponctuelles en des points bien repérés par rapport au dessin de la structure micrographique ».

Manipulée convenablement, la micropipette ira déverser le réactif, en quantité rigoureusement évaluée par fractions de mg, sur le point choisi. On analysera de la sorte les microarborescences (dendrites) des alliages sidérurgiques.

Les microélectrodes doivent permettre de mesurer point par point le potentiel électrique d'une dissolution. Avec un micrograttoir, il est possible de prélever des échantillons d'un constituant fragile ou sans cohésion, tel que le graphite des fontes, afin de mesurer ensuite leur dureté.

Si nous jetons un regard sur le laboratoire déjà installé par M. Portevin à l'École de soudure autogène, nous trouvons là une manifestation incomparable des besoins

précis de la métallographie en ce qui concerne les micromanipulations.

M. Portevin a, depuis longtemps, créé une micromachine destinée à éprouver la résistance à la rupture et au cisaillement de microéprouvettes prélevées, soit au cœur de masses métalliques, soit dans la région

d'une soudure dont on veut mesurer avec précision l'homogénéité.

Une microéprouvette métallique de 6 mg, par exemple, est obtenue par une perceuse à grande vitesse, dite « sensitive », qui pénètre seulement à 1 mm de profondeur. Les couches superficielles de cémentation (et sans doute aussi de nitruration) doivent être explorées sur des profondeurs encore moindres.

Une soudure, prise en coupe, subit une centaine de microprélèvements et les échantillons prélevés doivent être pesés au centième de milligramme près, avant d'être soumis aux réactions chimiques desquelles résultera sa « microanalyse ».

Les échantillons utilisés jusqu'ici figurent, comme on voit, de véritables géants comparés à ceux que permet d'atteindre le micromanipulateur. On comprend donc l'enthousiasme du métallographe qui entrevoit le moyen de multiplier par 10 et par 100 l'ordre de précision de ses explorations à travers le monde des alliages.

Et l'on sait, du reste, que la métallurgie fine est aujourd'hui à la base de progrès de tous ordres, notamment des moteurs d'aviation travaillant à grande vitesse, à haute température.

Le manche à balai de Fonbrune va retrouver par là son ancêtre : celui d'Es-nault-Pelterie.

CHARLES BRACHET.

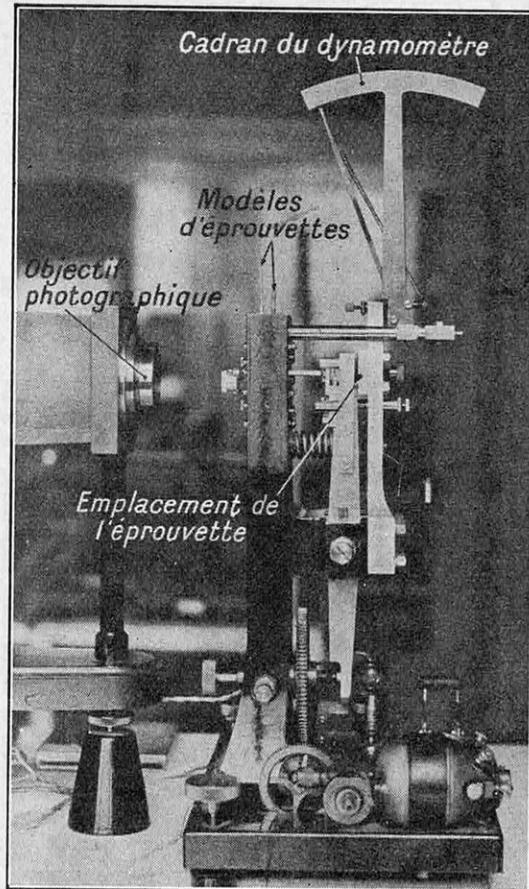


FIG. 10. — LA MICROMACHINE UTILISÉE PAR M. PORTEVIN POUR LES ESSAIS MÉCANIQUES DES MÉTAUX SUR ÉPROUVETTES RÉDUITES

La microéprouvette est fixée entre les mâchoires de la machine qui lui imposent un effort soit de traction, soit de cisaillement, jusqu'à rupture. L'effort supporté est mesuré au dynamomètre.

Si un mineur extrait par journée de labeur 1 810 kg de houille en Pologne, 1 300 kg en Allemagne, 1 150 kg en Angleterre, 815 kg en France, 765 kg en Belgique, cela tient évidemment à la durée de sa journée de travail, mais aussi aux conditions techniques mêmes d'exploitation qui varient notablement d'un pays à l'autre.

# MICROPHOTOGRAPHIE, TÉLÉPHOTOGRAPHIE, TRUQUAGES CINÉMATOGRAPHIQUES PAR LES RADIATIONS INFRAROUGES

Par Pierre KESZLER

*Sur la gamme complète des radiations électromagnétiques, qui s'étend des rayons gamma du radium, ou même des rayons cosmiques, aux ondes les plus longues de la radiotélégraphie, le spectre de la lumière visible occupe à peine une octave, entre le rayonnement ultraviolet, d'une part, vers les petites longueurs d'ondes et le rayonnement infrarouge (improprement appelé calorifique), d'autre part, vers les grandes longueurs d'ondes. La plaque photographique normale n'est sensible qu'à une bande très étroite du spectre visible et déjà, à partir du rouge, les radiations de grande longueur d'onde ne peuvent l'impressionner, circonstance qui est mise à profit dans la pratique pour le développement des clichés en lumière rouge. Aujourd'hui, grâce à des sensibilisateurs spéciaux de constitution fort complexe, tels que la kryptocyanine, on est parvenu à réaliser des émulsions dont la sensibilité s'étend à travers le rouge jusque dans l'infrarouge et permettent ainsi d'obtenir de véritables photographies dans la lumière invisible. L'astrophysique, pour l'étude spectrale des astres, l'entomologie, pour la microphotographie d'organes chitineux, l'archéologie, pour le déchiffrement des parchemins, le cinéma, pour la réalisation de certains truquages, font aujourd'hui un large emploi de la photographie dans l'infrarouge. Son principal intérêt pratique réside cependant dans le fait que la vapeur d'eau et les autres particules matérielles finement divisées en suspension dans l'air, constituant ce que l'on appelle le « voile atmosphérique », diffusent les radiations de faible longueur d'onde et se laissent au contraire facilement traverser par le rayonnement infrarouge. Ainsi peuvent apparaître, sur des plaques spécialement sensibilisées, des détails d'objets éloignés que l'œil était impuissant à discerner derrière la brume des lointains. En particulier, les émulsions infrarouges peuvent accroître sensiblement la précision et l'étendue des relevés effectués par la photographie aérienne dont la portée n'est plus limitée alors — au moins théoriquement — que par la courbure de la Terre.*

**D**EPUIS les premiers « daguerréotypes », le domaine d'application de la photographie s'est considérablement étendu. Autrefois limité à la partie visible du spectre lumineux — et même à une portion assez étroite de ce spectre — il couvre maintenant, grâce aux progrès de la photochimie, une large bande de radiations qui s'étend sensiblement au delà du violet et en deçà du rouge.

Les premiers pas furent franchis vers l'ultraviolet. En effet, grâce aux phénomènes de fluorescence, il est possible d'impressionner les plaques au gélatino-bromure d'argent en ayant soin de placer l'émulsion entre deux couches d'une substance susceptible d'émettre par fluorescence une radiation visible. La spectrographie, dans cette région de l'ultraviolet, ne date pas d'hier.

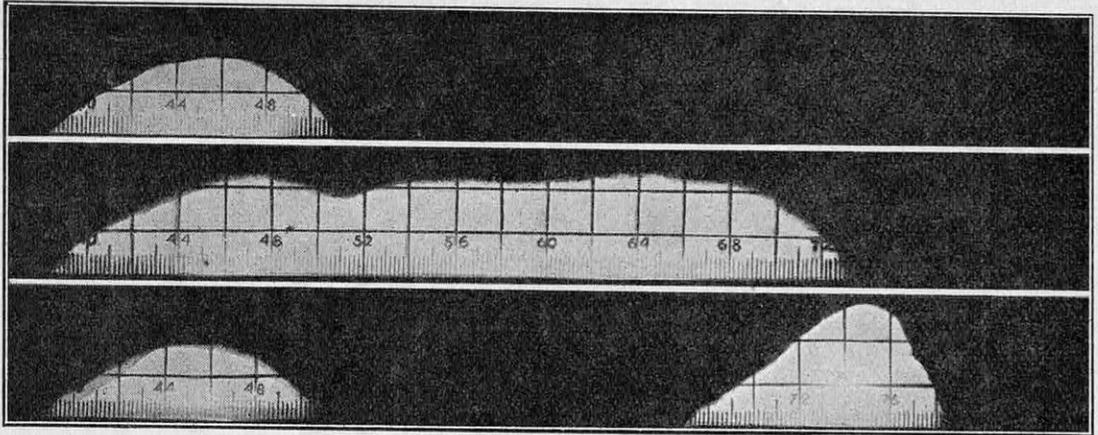
Par contre, à l'autre extrémité du spectre visible, dans l'orangé, le rouge et l'infrarouge, c'est-à-dire dans les longueurs d'ondes

supérieures à 6 000 Å<sup>0</sup> (1), on se heurtait à des difficultés longtemps considérées comme insurmontables. En effet, les cristaux de bromure d'argent, formant les émulsions photographiques, ne sont sensibles qu'au violet, au proche ultraviolet, et au début du vert avec maximum dans le bleu vers 4 600 Å<sup>0</sup>. Pour explorer l'ultraviolet, au-dessous de 3 000 Å<sup>0</sup>, nous avons vu que l'on recourt à l'artifice de la fluorescence, qui replace les radiations à enregistrer dans la gamme sensible.

## Les progrès vers les grandes longueurs d'ondes

Pour avancer, au contraire, vers l'orangé, le rouge et l'infrarouge, on n'a pas trouvé, quant à présent, d'artifice extérieur à l'émulsion. C'est donc sur le cristal de bromure d'argent qu'il faut agir. On a remarqué que certains colorants de la famille des cyanines

(1) L'ångström (Å<sup>0</sup>) vaut 1 dix-millionième de mm.



(Cliché Kodak.)

FIG. 1. — SENSIBILITÉS COMPARÉES DE DIVERSES ÉMULSIONS PHOTOGRAPHIQUES POUR LES DIFFÉRENTES LONGUEURS D'ONDES DU SPECTRE VISIBLE ET INVISIBLE

En abscisse ont été portées les longueurs d'ondes, et en ordonnée les sensibilités relatives. La courbe du haut se rapporte à la plaque photographique normale ; celle du milieu, à une plaque panchromatique sensibilisée au pinacyanol ; celle du bas, à une plaque spéciale pour l'infrarouge sensibilisée à la kryptocyanine.

avaient le pouvoir de déplacer la courbe de sensibilité du bromure d'argent vers les grandes longueurs d'onde. Les premières émulsions ainsi réalisées constituèrent les plaques et films dits *orthochromatiques*. A dire vrai, le qualificatif est élogieux... trop élogieux, puisque si l'émulsion est sensible au violet, au bleu et au jaune, elle reste peu sensible au vert et pas du tout au rouge.

Enfin, par perfectionnements successifs de la préparation des colorants et de leur adaptation au bromure d'argent, on est parvenu à sensibiliser l'émulsion à toutes les couleurs du spectre visible, rouge y compris, et c'est le film ou la plaque *panchromatiques*. Poursuivant dans cette voie, les

chercheurs se sont attelés à la découverte de nouveaux colorants stables de la même famille, ayant le pouvoir d'accroître la sensibilité au delà des 7 000 Å° constituant la frontière approximative du rouge et de l'infrarouge. Chose curieuse, les savants qui s'occupent de cette question ont bien constaté les effets de la sensibilisation par les cyanines, mais se perdent en conjectures pour l'expliquer. Les hypothèses étant variées, et purement fondées sur des raisons échappant à l'analyse, nous ne les exposerons pas.

De colorant en colorant, on est parvenu aujourd'hui à réussir des émulsions sensibles à l'infrarouge jusqu'aux environs de 14 000 Å°.

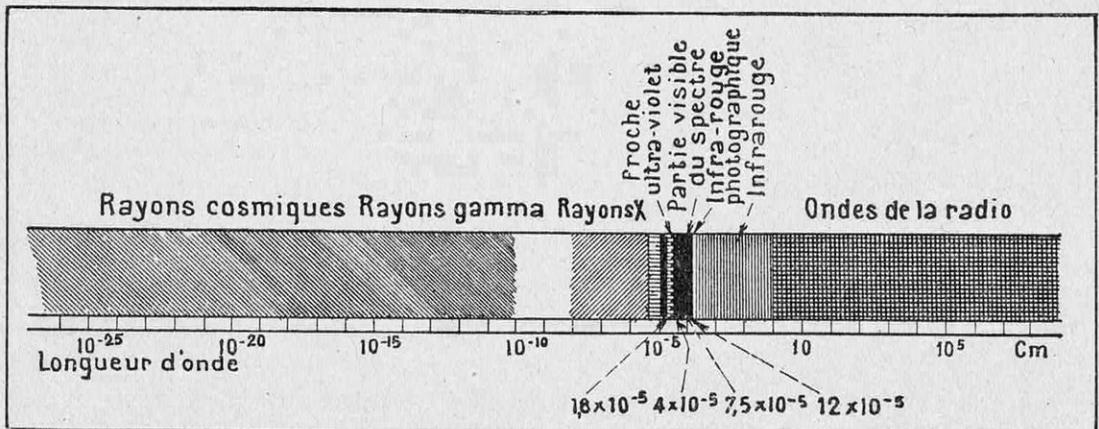


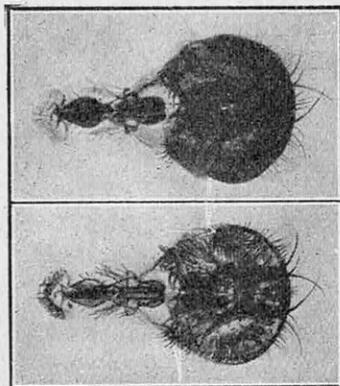
FIG. 2. — SPECTRE COMPLET DES RADIATIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES, DEPUIS LES ONDES LES PLUS LONGUES DE LA RADIOÉLECTRICITÉ JUSQU' AUX RAYONS COSMIQUES

On voit que la photographie n'utilise encore qu'une faible partie du spectre des radiations dites « infrarouges » pour l'exploration duquel l'appareil le plus employé demeure la pile thermoélectrique.

A dire vrai, les plaques spéciales sensibles à cette longueur d'onde ne sont fabriquées que sur demande et sont assez instables, puisqu'elles ne conservent leurs propriétés que quelques jours et demandent à être tenues pendant ce délai à basse température.

L'Observatoire du mont Wilson, aux Etats-Unis, en utilise de temps à autre pour certaines photographies astronomiques ; les plaques, fabriquées à Rochester, sont alors transportées par avion dans des emballages refroidis avec de la glace carbonique et amenées ainsi à pied d'œuvre dans le minimum de temps. Pour envisager, aujourd'hui, la photographie dans cette région de l'infrarouge, il ne faut pas s'arrêter au prix de revient.

Par contre, on trouve chez plusieurs fabricants, tant en France qu'à l'étranger, des boîtes de plaques pour infrarouge, sensibilisées pour la région comprise entre 7 500 et 8 200 Å, dont la rapidité est d'environ 250 ou 300 H. & D. (1) et dont le prix n'est guère que le double des plaques panchromatiques de même format. Ces plaques, bien entendu, doivent être utilisées avec un filtre convenable ne laissant passer que le rayonnement infrarouge et dans un appareil de prise de vues dont les parois ne soient pas transparentes aux radiations infrarouges, ce qui est beaucoup plus rare qu'on ne croit. Elles permettent, avec une ouverture de 4,5, par exemple, des instantanés au 1/25 de seconde, ce qui est remarquable.



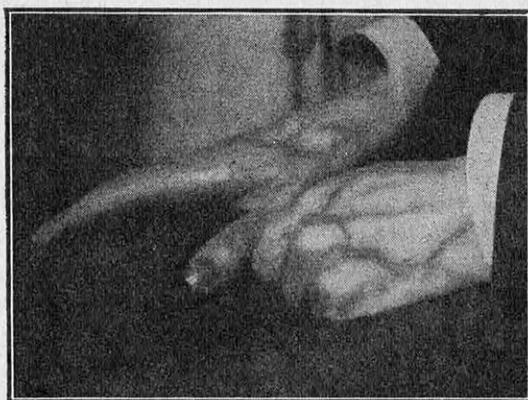
(Cliché Kodak.)

FIG. 3. — VOICI DEUX MICROPHOTOGRAPHIES DE LA TÊTE D'UNE MOUCHE : L'UNE (EN HAUT) OBTENUE SUR FILM PANCHROMATIQUE AVEC FILTRE VERT ; L'AUTRE, SUR PLAQUE INFRAROUGE AVEC FILTRE INFRAROUGE

### Comment utiliser les émulsions infrarouges

En principe, n'importe quel appareil photographique peut recevoir des plaques pour infrarouge, sous

(1) On caractérise la sensibilité d'une émulsion par des échelles arbitraires, *Hurter et Driffeld*, *Schëiner* ou *D. I. N.* Il s'agit ici de la première. — Voir *La Science et la Vie*, n° 234, page 455.



(Cliché Calzavarras-As de Trèfle.)

FIG. 4. — MAINS D'ADULTES PHOTOGRAPHIÉES DANS L'INFRAROUGE VERS 9 200 Å

La peau, traversée par les radiations infrarouges, laisse voir le réseau veineux dont les anomalies indiqueraient au clinicien une affection caractérisée.

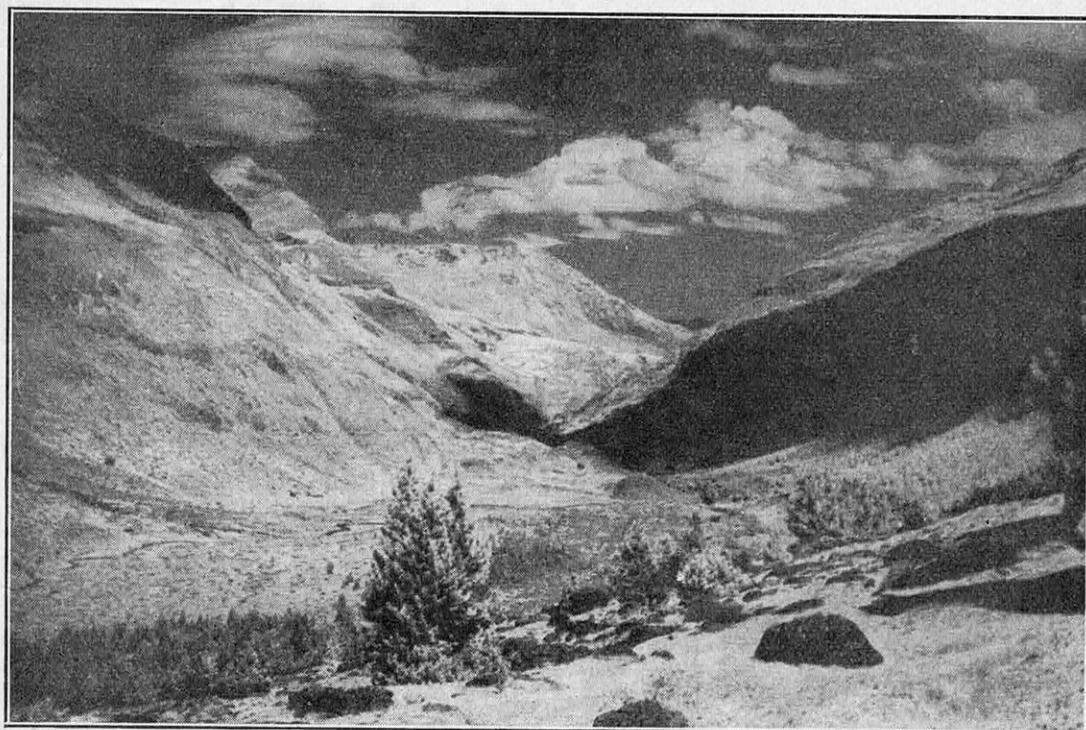
réserve que ses parois soient en métal, ou bien que les soufflets et corps de l'appareil soient opaques aux radiations infrarouges.

Pour l'objectif, en principe, on ne connaît pas les lois de la réfraction des rayons infrarouges dans les différents verres ; on en est donc réduit aux tâtonnements. Dans le proche infrarouge, on tourne la difficulté en extrapolant purement et simplement les qualités connues de l'objectif et en le diaphragmant fortement ; considérant la distance focale comme augmentée d'environ 1/200, on fait la mise au point par le calcul. Sur cet objectif, on monte alors un filtre ne laissant passer que le rayonnement infrarouge, et il n'y a plus qu'à presser le déclencheur. Ce filtre est indispensable, car si l'émulsion réagit à l'infrarouge, ce n'est pas dans cette région que réside son maximum de sensibilité, et, en tout cas, le spectre visible a une action considérable, capable d'anéantir les qualités recherchées.

### A quoi sert la photographie dans l'infrarouge ?

Les applications de la photographie dans l'infrarouge sont multiples. Selon les méthodes employées, les émulsions choisies, les résultats varieront dans de larges proportions.

Une des premières applications est, évidemment, la spectrographie, dont l'importance dans les recherches scientifiques n'est plus à démontrer. Dans le même esprit, et pour y découvrir les mêmes indications, les plaques sensibles à l'infrarouge sont employées fréquemment en astronomie. On découvre ainsi de petites étoiles, cachées en



(Clichés Calzavarra-As de Trèfle.)

FIG. 5 ET 6. — LA VALLÉE DE GAVARNIE (VERS LUZ) PHOTOGRAPHIÉE AVEC UNE PLAQUE PANCHROMATIQUE ET UNE PLAQUE SENSIBILISÉE A L'INFRAROUGE

*En haut, le cliché obtenu sur film panchro-écran jaune montre les lointains estompés par le voile atmosphérique, les nuages presque invisibles, la perspective nette. Sur le cliché du bas, réalisé dans le proche infrarouge (7 500 Å), les lointains dévoilent leurs contours, les nuages se détachent, la perspective disparaît, des ombres violentes assombrissent des parties de la photo. Enfin, les verts paraissent blancs.*

lumière normale par des nébuleuses gazeuses comme celle d'Orion. Enfin, l'analyse spectrale des astres permet d'y déceler la présence de certains corps dont les raies d'émission ou d'absorption se trouvent précisément dans l'infrarouge. Tel est le cas, par exemple, du gaz carbonique (bandes à  $7820 \text{ A}^\circ$  et  $7883 \text{ A}^\circ$ ) dans l'atmosphère de la planète Vénus, de l'ammoniaque sur Jupiter et Saturne et de méthane sur Saturne.

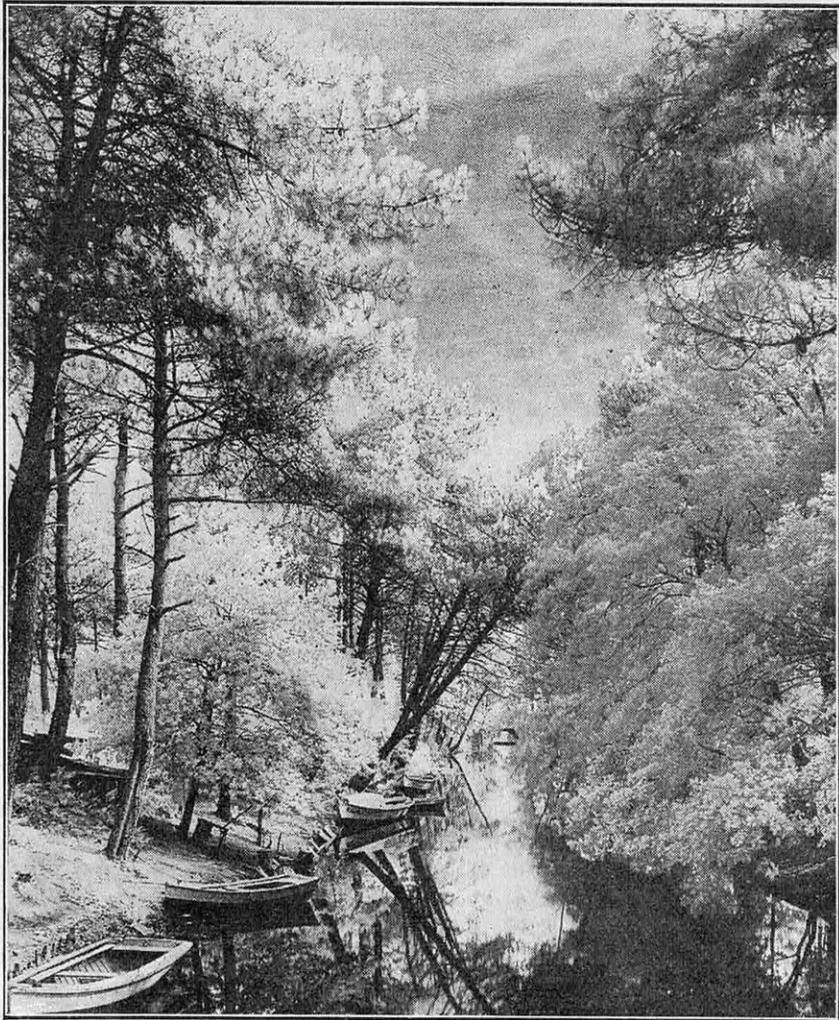
La médecine trouve également dans la photographie dans l'infrarouge certains moyens nouveaux d'investigation. La peau étant assez transparente aux radiations de grande longueur d'onde, un tel cliché montre le réseau d'artérioles et de veinules superficielles ; par comparaison entre les couleurs relatives du sang dans ces vaisseaux, le médecin peut ainsi diagnos-

tiquer rapidement certaines maladies superficielles ou certains troubles circulatoires.

Bien d'autres sciences ont recours à cette nouvelle branche de la photographie. Par exemple, dans l'entomologie (étude des insectes), on peut prendre des clichés au travers de la chitine, qui constitue l'enveloppe de ces animalcules.

La chlorophylle est également transparente à l'infrarouge, ce qui facilite le dépistage des maladies des plantes.

Il n'est pas jusqu'à l'archéologie qui ne fasse appel, au besoin, à la méthode infrarouge pour lire au travers des parchemins



(Chêne Calzavarra-As de Tréfle.)

FIG. 7. — BEL EFFET ARTISTIQUE OBTENU DANS LE PROCHE INFRAROUGE. Voici, dans les environs de Cazaux, un fort joli sous-bois, obtenu avec écran infrarouge  $7500 \text{ A}^\circ$  et plaque infrarouge. La pose fut de 10 secondes avec une ouverture de  $F : 1-32$ , ce qui correspond en somme à un temps de pose double, toutes choses égales d'ailleurs, à celui qu'il aurait fallu compter avec une émulsion normale. La petitesse de l'ouverture est déterminée par l'inconnue dans laquelle on se trouve au sujet de l'achromatisme de l'objectif dans l'infrarouge.

les textes recouverts d'autres substances.

Enfin, la photographie dans l'infrarouge est souvent utilisée pour l'étude du fonctionnement des moteurs à combustion interne. On distingue, en effet, à l'œil nu le rayonnement d'une masse métallique portée à  $600^\circ \text{ C}$ . Au-dessous de  $440^\circ \text{ C}$ , même dans l'obscurité, l'œil doit céder la place à la plaque photographique spéciale sensibilisée à l'infrarouge qui, ainsi, permet de mettre en évidence la distribution de la température sur les différentes pièces des moteurs, en particulier leurs culasses, et de porter remède aux défauts constatés.

## L'infrarouge et la photo aérienne

Mais le domaine où la photographie infrarouge a pris le plus grand développement est celui de la photographie aérienne et de sa dérivée, la photogrammétrie ou métrophotographie (1).

En effet, l'utilisation d'émulsions sensibles au proche infrarouge, donc relativement rapides, permet l'instantané et, par voie de conséquence, la photographie en avion du sol survolé, ou, tout aussi aisément, des grands lointains.

Ce qui, en lumière normale, empêche la photographie à grande distance, c'est ce qu'on appelle la voile atmosphérique, constitué par d'innombrables particules matérielles très finement divisées en suspension dans l'air. Ces particules diffusent la lumière qui les frappe et cet effet se superpose à la diffusion et la réfraction de la lumière par l'air atmosphérique. On sait que cette diffusion par les molécules d'air porte inégalement sur les différentes couleurs du spectre et affecte principalement les radiations bleues et violettes. C'est pourquoi le ciel pur paraît bleu et le soleil rouge lorsqu'il est bas sur l'horizon, alors que ses rayons traversent l'atmosphère sur sa plus grande épaisseur. La plaque photographique normale, fort sensible aux radiations bleues, se révèle inférieure à la rétine de l'œil pour explorer les lointains masqués par une sorte de nuée pâle.

Tous les amateurs photographes savent déjà qu'en garnissant leur objectif d'un écran jaune ou orangé, ils parviennent à faire apparaître sur leurs clichés des détails de lointains que leur œil lui-même n'avait pas aperçus.

En remplaçant l'écran jaune par un écran rouge foncé ou, à plus forte raison, par un écran infrarouge, et la plaque panchromatique par une plaque sensibilisée pour les

radiations de grande longueur d'onde, le voile atmosphérique va disparaître totalement, et le champ photographique ne sera plus théoriquement limité que par la courbure de la Terre.

Un cliché saisissant a été réussi aux Etats-Unis, par le capitaine Stevens, lors de l'ascension stratosphérique du ballon *Explorer-II*, à 22 000 m, cliché qui, précisément, montre cette courbure de la Terre.

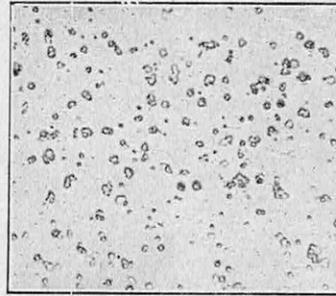
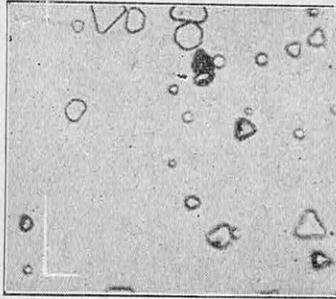
Pratiquement, cette suppression du voile atmosphérique rapproche l'horizon, ce qui, dans certains cas, complique la lecture des clichés dans lesquels la perspective, en l'absence de repères précis, est complètement faussée.

En raison des différences de rendement des couleurs selon les filtres utilisés, il est possible, par la comparaison de deux épreuves, de discerner des différences de végétation, là où une photographie normale n'eût révélé qu'une teinte uniforme. Bien entendu, les camouflages

sautent aux yeux, même avec un simple filtre rouge, tant les couleurs employées ont un rayonnement différent de celui des végétaux environnants. Si même un camouflage était effectué avec des branches arrachées aux arbres voisins, la photo en infrarouge le discernerait, car la branche détachée de son tronc prend, en infrarouge, une teinte différente de celle qui reçoit la sève. Avec cette méthode d'investigation, le camouflage devient absolument illusoire.

## La photographie dans la brume

Si la photographie dans l'infrarouge s'est montrée très utile pour mettre en évidence des détails lointains normalement dissimulés par le voile atmosphérique, elle ne semble pas cependant présenter d'avantages marqués sur l'observation directe, quoi qu'on ait pu prétendre un peu à la légère, lorsqu'il s'agit de percer le brouillard. En effet, le brouillard épais, constitué par des particules d'eau de grandes dimensions,



(Lab. Kodak-Pathé.)

FIG. 8 ET 9. — MICROPHOTOGRAPHIES DE GRAINS PHOTOGRAPHIQUES SENSIBILISÉS A L'INFRAROUGE

*En microphotographie dans l'infrarouge, on colore la préparation avec les mêmes colorants que ceux employés pour la sensibilisation des émulsions. Voici deux clichés obtenus de cette façon : à gauche, cristaux de bromure d'argent à gros grains pour émulsion ultra-rapide, destinée aux rayons X ; à droite, grain ultra-fin pour papiers au bromure. Grossissement environ 1 500 fois.*

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 218, page 141.

diffuse toutes les radiations lumineuses, les rouges comme les bleues, et la photographie ne peut guère apporter d'amélioration par rapport à la vision directe. Il en est autrement lorsqu'il ne s'agit que d'un voile ténu, composé de très fines gouttelettes d'eau qui diffusent alors les radiations bleues plus que les rouges.

En fait, la photographie dans l'infrarouge a été utilisée pour la détection des obstacles dans le brouillard. Un certain nombre de transatlantiques ont été dotés d'un équipement spécial comprenant un appareil de prise de vues avec filtre infrarouge. Le film spécial est impressionné toutes les trente secondes et chaque image est développée et fixée dans un temps qui n'excède pas une minute. Cette méthode, fort utile dans certaines conditions, devient, elle aussi, impuissante lorsque le brouillard est très épais, c'est-à-dire lorsqu'elle pourrait rendre les plus grands services.

### La photographie dans l'obscurité et les truquages

Une autre propriété de la photographie dans l'infrarouge est de permettre la prise de vues dans l'obscurité. Entendons-nous : il ne s'agit pas de faire du paysage sous « l'obscurité clarté qui tombe des étoiles », mais du portrait, par exemple dans une chambre noire. Les sources lumineuses, lampes à incandescence, par exemple, dont le spectre est riche en rayons de grande longueur d'onde, sont placées dans des lan-

ternes dont les verres ne laissent passer que les radiations infrarouges. Dans ce cas, il n'est plus nécessaire de placer un filtre sur l'objectif. Rappelons d'ailleurs que cette méthode est employée dans certaines transmissions de télévision.

Le cinéma, toujours à l'affût des innovations, se sert de la photographie dans l'infrarouge pour certains truquages. Le bleu du ciel vu à travers un écran pour infrarouge étant parfaitement noir, on obtient, dans un décor en plein air dont sont bannis les végétaux vivants, des effets de nuit absolument remarquables. Evidemment, il ne faut pas le moindre nuage au ciel... il ferait une tache d'un blanc éblouissant. Par contre, en utilisant la propriété que possède la chlorophylle d'émettre un rayonnement riche en radiations infrarouges, on transforme aisément un paysage d'été verdoyant en scène de sports d'hiver. Il n'est que de truquer les premiers plans, vêtir en conséquence les artistes et charger la caméra de films sensibles à l'infrarouge. Pour la raison que nous donnions plus haut (transparence de la peau), on évitera alors les gros plans.

On voit que les applications possibles de la nouvelle technique infrarouge apparaissent déjà nombreuses et diverses. Leur liste n'est certainement pas encore close, étant donné les ressources nombreuses qu'elle offre, tant au savant qu'à l'amateur, auprès duquel elle jouit déjà d'une légitime popularité.

PIERRE KESZLER.

La consommation étant le *but*, la production le *moyen*, les interventions artificielles sont, par suite, destinées à accroître les profits individuels ou ceux des cartels. Or, en protégeant la production, on crée la surproduction. Si le Brésil, par exemple, avait consenti à vendre au monde entier le café à *bas prix*, il aurait évité la terrible crise économique due à la surproduction. Au contraire, en présence de prix de vente trop élevés pour le café, les autres pays (tels que la Colombie, l'Amérique Centrale et même l'Afrique) se sont efforcés de produire *en abondance* cette denrée, sans se soucier de la valeur réelle du produit, au lieu de se limiter à l'obtention de *qualités* de premier ordre particulièrement recherchées par certaines clientèles réparties dans les différents continents. La politique des cartels, des trusts, des consortiums ne vise évidemment qu'à la hausse des prix et aboutit, par suite, à la surproduction et à la sous-consommation (pouvoir d'achat). Parmi de nombreux exemples concernant les différentes matières premières, il faut citer en premier lieu le cuivre, l'étain, le caoutchouc, le naphte et tant d'autres produits naturels « monopolisés » en quelque sorte par de puissants groupements constitués conformément aux doctrines du libéralisme en économie. Celles-ci ont contribué, pour une large part, au cours de l'évolution de notre civilisation électromécanique à grand rendement, au déséquilibre économique actuel dans la plupart des pays du monde.

# LE BACTÉRIOPHAGE ET LA DESTRUCTION DES BACILLES VIRULENTS

Par Jean LABADIÉ

*Les maladies infectieuses et contagieuses peuvent être provoquées soit, comme l'a montré Pasteur, par des microbes discernables au microscope, soit par des ultravirus, inaccessibles à nos moyens d'investigation microscopiques ordinaires, mais dont on est cependant parvenu aujourd'hui à préciser par l'expérimentation les caractères spécifiques. Dans ce monde — encore incomplètement exploré — des infiniment petits qui échappent, de par leurs dimensions, à notre observation directe, les remarquables travaux du docteur d'Hérelle ont mis en évidence l'existence d'un principe nouveau : le bactériophage, étroitement apparenté aux ultravirus, mais doué de la précieuse propriété de provoquer la destruction (lyse) de certaines bactéries auxquelles il s'attaque. C'est, en quelque sorte, l'agent virulent d'une véritable maladie infectieuse se développant chez les microbes infectieux. La thérapeutique par bactériophagie est déjà appliquée sur une grande échelle, tant en Europe qu'aux Indes britanniques et qu'en U. R. S. S., où ont été créés de nombreux instituts spécialisés. Cependant l'intime nature du bactériophage demeure encore mystérieuse. Pour certains, il s'agirait d'éléments matériels dépourvus de « vie » et se comportant à la manière des ferments solubles (diastases) ; pour d'autres, les bactériophages, comme les ultravirus, seraient des êtres organisés et vivants, mais appartenant à un monde ignoré jusqu'à ce jour : celui des « ultragermes », constitués par de la matière organisée à un stade inférieur au stade de la cellule vivante, considéré jusqu'ici comme le plus élémentaire.*

**L** faut sans doute remonter aux premières expériences de Pasteur pour rencontrer une découverte bactériologique aussi importante et aussi logiquement conduite que celle du « bactériophage », par F. d'Hérelle.

D'origine française, après un bref séjour à l'Institut Pasteur, d'Hérelle a parcouru le monde, du Mexique jusqu'aux Indes et à l'Indochine, en quête d'expérimentation et d'applications efficaces de sa découverte. L'Angleterre lui a confié la direction du service de surveillance « Quarantenaire » d'Égypte : le canal de Suez n'est-il pas le couloir par lequel passent à peu près inévitablement toutes les épidémies qui courent à l'état chronique dans l'Inde et l'Extrême-Orient ? Aujourd'hui, c'est l'U. R. S. S. qui a fait appel à F. d'Hérelle pour étendre ses recherches dans un ensemble d'établissements dits « Instituts du bactériophage » (analogues à nos Instituts Pasteur) dont les travaux sont centralisés par l'*Institut pansoviétique de médecine expérimentale* de Moscou, d'Hérelle travaillant principalement à l'Institut de Tiflis — c'est-à-dire encore sur un point névralgique des migrations épidémiques d'Asie en Europe.

La thérapeutique par « bactériophagie » a donné des résultats définitivement acquis, encore que la question demeure pendante de

savoir si le « bactériophage » est un *microorganisme vivant* ou seulement une *matière morte*. A l'encontre de la thèse qu'a soutenue jusqu'ici l'inventeur, c'est vers cette dernière conclusion que penchent ses collaborateurs soviétiques.

Nous allons exposer l'ensemble de ce grand problème en raison de son importance et de son actualité.

## **Le « bactériophage », virus bienfaisant, découvert par une induction géniale**

Qu'est-ce que le « bactériophage » ?

Étymologiquement, le mot signifie : « qui mange les bactéries ». La « chose » qui possède cette vertu étonnante, d'Hérelle l'appelle un « principe » — faute de pouvoir l'appeler un microbe. S'il existe vraiment, ce microbe bienfaisant, capable de dévorer ses congénères virulents, le microscope le plus puissant n'a pas encore pu et ne pourra vraisemblablement jamais le montrer. Même les « filtres » Chamberland, en porcelaine, et, mieux encore, les ultra-filtres en collodion dont usent les bactériologistes ne parviennent pas à l'arrêter au passage. Cependant, grâce à ces filtres qui arrêtent toutes les bactéries, on peut donc obtenir le bactériophage à l'état pur et l'introduire ensuite dans telle culture que l'on désire. Or, sa présence et son

absence se traduisent par l'apparition et la disparition d'effets pathologiques précis. Le « bactériophage », quelle que soit sa nature, *existe donc réellement*, aux yeux du savant. Tel est le fait. Comment fut-il acquis? C'est l'histoire même de la découverte de d'Hérelle, en 1915, qui va nous répondre.

Le fait *démonstratif* fut acquis en août 1916, à l'hôpital Pasteur, sur un malade atteint de dysenterie grave, maladie dont l'agent virulent est le « bacille de Shiga ». Déjà muni de son idée directrice (qu'il avait éditée au Mexique, en étudiant certaine maladie des sauterelles), d'Hérelle en vérifia l'exactitude pour la première fois sur cet homme. Il préleva chaque jour quelques gouttes de ses déjections, qu'il filtra. Et, chaque jour, il expérimenta la réaction de ce « filtrat » sur un bouillon de culture *témoin*,ensemencé de bacilles de Shiga. Tant que dura la phase aiguë de la maladie, le bouillon de culture ne révéla aucun phénomène particulier, du fait de ce mélange : les bacilles se développaient normalement. Mais un jour vint où il constata que le tube de culture devenait *stérile*, quelques heures après avoir reçu le filtrat provenant du malade. Renseignements pris auprès du médecin traitant, il se trouva que, ce jour-là, était précisément celui où le malade, désormais hors de danger, était considéré comme convalescent. Les jours suivants, le même phénomène de stérilisation des bacilles de Shiga se manifesta dans le tube d'essai. D'Hérelle conclut que la guérison s'effectuait grâce à la présence, dans l'intestin du malade, *d'un agent destructeur des bacilles*.

Tout se passait comme si le malade était porteur de deux agents antagonistes : d'une part, le bacille dysentérique et, d'autre part, un second agent luttant avec le précédent. De l'issue de cette lutte dépendait la guérison.

Le phénomène observé dans le tube était exactement l'analogue de la « phagocytose » — lutte des globules blancs du sang contre les bacilles virulents. Mais ce n'était plus dans le sang du malade que se produisait l'étrange mécanisme de la guérison, c'était bien dans une culture *in vitro*, sans d'autre intervention que le filtrat porteur de l'agent mystérieux.

Le bactériologue se trouvait donc en présence d'un *virus bienfaisant*, pathogène seulement pour la *bactérie*. Bref, on venait de découvrir une « maladie infectieuse » d'un « microbe lui-même infectieux ».

La découverte de Pasteur touchant les infections microbiennes des hommes et des animaux semblait se renouveler, concernant les microbes eux-mêmes !

F. d'Hérelle, dès ses premières communications, fut tenu pour illuminé. Et cela dura bien cinq ou six ans.

### Comment les bacilles infectieux s'infectent à leur tour

Cependant le contrôle d'une découverte aussi prodigieuse fut mené de main de maître, avec une logique expérimentale impeccable. Voici comment.

Une fois obtenue cette culture bacillaire *stérilisée* par l'agent inconnu, c'est elle qui devint aussitôt objet d'étude. D'Hérelle en préleva non pas même une « goutte », mais une *trace*, avec un mince fil de platine qu'il plongea dans un second tube à essai contenant une nouvelle culture *virulente* de bacille de Shiga. Au bout de quelques heures, la culture fraîche se trouva stérilisée à son tour. Tout se passait donc comme si l'agent inconnu — le « bactériophage », pour l'appeler par son nom — s'était développé par prolifération autonome, dans la nouvelle culture, *aux dépens des jeunes bactéries offertes à sa voracité*.

Car plus les bacilles sont jeunes et plus le bactériophage montre d'activité à les détruire. Tant et si bien qu'en prélevant une nouvelle *trace* du second bouillon de culture stérilisée par le bactériophage, on peut recommencer l'opération sur une troisième culture virulente. Le « virus bienfaisant » *s'exalte* à mesure qu'on le « repique ». C'est conforme à la théorie pastorienne des « passages » : c'est ainsi que le virus de la rage s'exalte en « passant » d'un lapin enragé sur un nouveau lapin. Seulement, en l'occurrence, le lapin n'était autre que le bacille infectieux. C'était bien son tour !

### Le bactériophage est un corpuscule

Vue à l'œil nu, l'expérience se présente ainsi : le bouillon de culture de Shiga accuse un aspect *trouble* dès que le bacille a suffisamment proliféré. Une fois stérilisé par le « bactériophage », le bouillon redevient clair. « Les bacilles se sont dissous comme du sucre dans de l'eau », écrit l'auteur.

— Dans ce cas, direz-vous, on ne peut concevoir que les « bactériophages » aient avalé les bacilles, comme le voudraient l'étymologie. Le bouillon n'en serait que plus trouble si les bactéries s'étaient seulement incorporées à leurs ennemis.

En effet. Le bactériophage ne « dévore » pas la bactérie. Il ne la grignote même pas. *Il s'introduit en elle*. Une seule bactérie peut même donner asile à 200 bactériophages. C'est elle qui « avale » ces derniers — jusqu'à

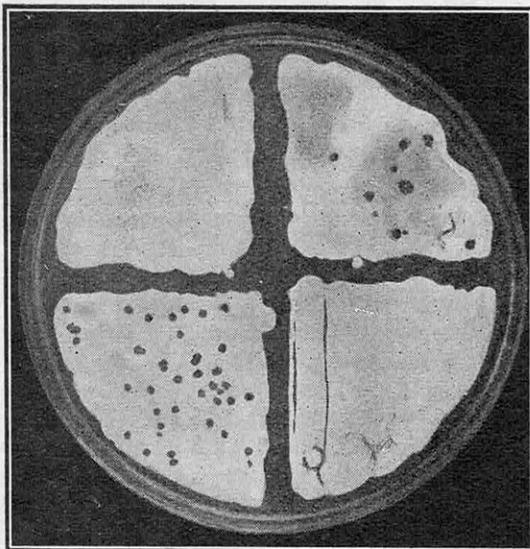


FIG. 1. — UNE « BOITE DE PETRI » MONTRANT DIFFÉRENTES INFLUENCES DU BACTÉRIOPHAGE SUR UNE CULTURE DE COLIBACILLE

La boîte en verre est divisée en quatre quadrants isolés par des cloisonnements. Le milieu de culture est une gélose nutritive. — Le quadrant situé en bas à droite contient une culture de *B. coli* normale. — Le quadrant en haut à droite montre la même culture à laquelle on a ajouté une trace d'un mélange de six races différentes de bactériophages. Après incubation, on aperçoit des plages (régions noires de l'image) de grosseurs et de types différents correspondant chacune à une des six races de bactériophages. — Quadrant gauche (haut) : même culture de *B. coli* soumise à la race de bactériophage n° 1 (prélevée avec un fil sur la plage qui lui correspond dans le quadrant précédent). Les plages (non auréolées) sont invisibles sur notre reproduction. — Quadrant gauche (bas) : la même culture de *B. coli* soumise au bactériophage n° 2 présente des grandes plages (points noirs) auréolées.

ce qu'elle explose et tombe en dissolution. C'est l'instant où le bouillon devient transparent. Tel est le mécanisme — non pas hypothétique mais réellement démontré — de la « bactériophagie ».

La démonstration ressort de l'examen, au microscope, des bactéries en proie au phénomène. Car, si le bactériophage reste invisible, les bactéries de tous ordres (le bacille Shiga n'est d'ailleurs pas seul en cause, nous le verrons) sont parfaitement observables. On les voit donc exploser une à une par les méthodes colorimétriques classiques.

Quant aux agents mystérieux de la dissolution (*lyse*) microbienne, le savant n'est pas désarmé pour les obliger à révéler leur personnalité. Les « voir » n'a aucune importance, si on peut analyser leurs effets. Or,

cette analyse est devenue, entre les mains de F. d'Hérelle, rigoureusement « mathématique ». L'auteur rapporte que c'est là l'appréciation même qu'a bien voulu lui donner M. Einstein, lorsqu'il lui communiqua sa méthode, à l'Université de Leiden. « Et les biologistes qui satisfont les mathématiciens sont bien rares », ajoute-t-il, non sans quelque malice orgueilleuse.

Cette méthode, basée sur les lois élémentaires de la statistique, est celle du « tout ou rien ». Expliquons-nous.

Nous avons dit que la culture « bactériophage » agit à doses infinitésimales, et que l'« inoculation » d'une culture bacillaire témoin se réalise avec une simple *trace*. Si la culture « bactériophage » n'est qu'une « dissolution » (analogue à celle d'un sel dans l'eau), on conçoit que le mot « trace » n'a pas de limite dans le sens d'infiniment petit. Une « trace » de la « solution » bactériophage supposée sera efficace, quelle que soit sa mesure. Un millionième ou 1 dix-milliardième de cm<sup>3</sup> agiront également. Ce ne sera

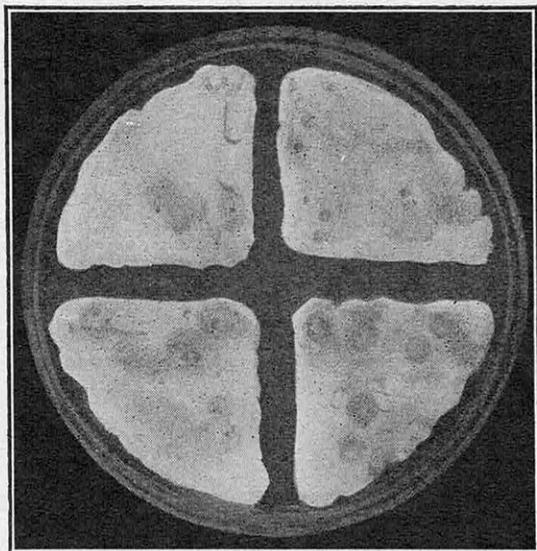


FIG. 2. — SECONDE « BOITE DE PETRI » MONTRANT LA SUITE DE L'EXPÉRIENCE FIGURE 1

Quadrant bas, droite : culture de *B. coli* soumise au bactériophage n° 3 ; l'activité du bactériophage se traduit par de grandes plages auréolées, manifestant en leur centre une lyse incomplète du *B. coli*. — Quadrant haut, droite : action du bactériophage n° 4. — Quadrant haut, gauche : action du bactériophage n° 5. — Quadrant bas, gauche : action du bactériophage n° 6. — Ces quelques illustrations montrent par quelle méthode F. d'Hérelle met en évidence les actions vivantes du bactériophage, virus invisible, mais « corpusculaire » puisque chaque plage correspond à un corpuscule bactériophage. (Voir notre texte.)

qu'une question de temps — le temps exigé par le bactériophage pour se multiplier.

Par contre, si la solution bactériophage est composée d'une multitude d'« individus » — sans préjuger de leur nature — on conçoit qu'à force d'amenuiser la « trace » d'ensemencement, on aboutisse à une quantité de liquide ne contenant *aucun* de ces individus. Dans ce cas, le phénomène de « bactériophagie » ne se produira pas. La culture microbienne ensemencée restera virulente indéfiniment.

L'expérience exécutée dans cet esprit consiste à effectuer une série d'essais sur une culture de Shiga titrée à 250 millions de bacilles par  $\text{cm}^3$ . Le liquide bactériophage (convenablement dilué, ce qui *statistiquement* n'entache en rien l'expérience) est administré à *différents échantillons de la culture virulente*, de telle façon que le premier échantillon reçoive 1 dixième ( $10^{-1}$ ) de  $\text{cm}^3$  de liquide ;

- Le 2<sup>e</sup>, 1 centième ( $10^{-2}$ ) ;
- Le 3<sup>e</sup>, 1 millièmè ( $10^{-3}$ ) ;
- Le 4<sup>e</sup>, 1 dix-millièmè ( $10^{-4}$ ) ;
- Le 5<sup>e</sup>, 1 cent-millièmè ( $10^{-5}$ ) ;
- Le 6<sup>e</sup>, 1 millièmè ( $10^{-6}$ ) ;
- Le 7<sup>e</sup>, 1 dix-millionièmè ( $10^{-7}$ ) ;
- Le 8<sup>e</sup>, 1 cent-millionièmè ( $10^{-8}$ ) ;
- Le 9<sup>e</sup>, 1 milliardièmè ( $10^{-9}$ ) ;
- Le 10<sup>e</sup>, 1 dix-milliardièmè ( $10^{-10}$ ) ;
- Le 11<sup>e</sup>, 1 cent-milliardièmè ( $10^{-11}$ ).

L'expérimentateur (qui n'est plus, désormais, F. d'Hérelle seul, mais désigne aujourd'hui la multitude de confrères qui ont répété ces essais), l'expérimentateur prélève une goutte de chacun des onze échantillons bactériophagés. Il *l'étend uniformément* sur une surface de « gélose » incluse dans une boîte de Petri. Il confie cette préparation à l'étuve (37°). Après incubation, il examine si le B. Shiga a proliféré sur la gélose. Dans le cas de la négative, c'est que le « bactériophage » a pleinement joué son rôle dans le tube d'essai correspondant. C'est effectivement ce que l'on constate pour les échantillons 1, 2 et 3. Les géloses apparaissent *stériles*.

La gélose correspondant au n° 4 présente quelques traces de culture du bacille de Shiga. Ces bacilles sont des rescapés de la bactériophagie. *Le liquide bactériophage n'était donc pas une solution homogène.*

La gélose n° 5 présente une couche de bacilles presque uniforme, parsemée d'une grande quantité de « plages » isolées, demeurées « vierges ». Ici, c'est donc l'inverse qui s'est produit : le liquide bactériophage, pris à la dose de 1 cent-millièmè de  $\text{cm}^3$  ne conte-

nait pas assez d'« individus » pour assurer une bactériophagie totale dans le tube essayé, *dans les délais d'incubation impartis.*

La gélose n° 6 ressemble à la précédente, mais ne présente qu'une *vingtaine* de « plages », postes de bactériophages « francs-tireurs », encore moins denses que dans le cas précédent. L'organisation de leur lutte est par conséquent encore moins avancée.

La gélose n° 7 (traitée au dix-millionièmè de  $\text{cm}^3$ ) n'offre que deux plages.

Les géloses 8, 9, 10 et 11 n'offrent plus aucune plage, aucun îlot de résistance. Cela ne signifie pas que les bactériophages soient absents, mais simplement que la lutte n'a pas commencé, *faute d'un temps d'incubation suffisant*, dans les tubes essayés.

Si on remet ces tubes à l'étuve, on constate, en effet, que *la bactériophagie s'organise et devient complète* au bout de quarante-huit heures, dans tous les tubes numérotés de 1 à 10. Il y avait donc « quelques bactériophages » dans les préparations 8, 9 et 10, malgré l'absence des plages sur les géloses qui les ont éprouvées.

Cependant, d'après la même incubation prolongée, la préparation 11 (au cent-milliardièmè de  $\text{cm}^3$ ), n'accuse, elle, *aucune* bactériophagie. L'échantillon du tube 11 *reste trouble* dans son tube. C'est qu'il ne contient réellement aucun bactériophage. Car un seul aurait suffi, par prolifération, à vaincre la totalité des bacilles.

Le bactériologiste a donc prouvé de la sorte l'« individualité », la nature *corpculaire* du bactériophage.

Mais il peut encore perfectionner sa preuve. *Il peut diluer 1  $\text{cm}^3$  du filtrat bactériophage dans 9  $\text{cm}^3$  de bouillon stérile ; puis diluer 1  $\text{cm}^3$  de cette seconde dilution dans 9  $\text{cm}^3$  de bouillon stérile et ainsi de suite, jusqu'à obtenir, au dixièmè temps, 10  $\text{cm}^3$  d'une dilution qui contient, par conséquent, 1 dix-milliardièmè seulement ( $10^{-10}$ ) du  $\text{cm}^3$  initial.*

Il prépare, d'autre part, *une émulsion de bacilles* au taux de 100 millions d'individus par  $\text{cm}^3$  — dont il remplit dix tubes stériles à raison de 9  $\text{cm}^3$  par tube. Il ajoute à chaque tube 1  $\text{cm}^3$  de la dilution bactériophage (à  $10^{-10}$ ). Il constate, après quarante-huit heures d'incubation, que trois de ces tubes sont limpides (le bactériophage était présent) et que sept tubes sont troubles (les bacilles en sont les seuls occupants). Les lois de probabilité, appliquées à l'interprétation de ces résultats expérimentaux, démontrent que le filtrat au *dix-milliardièmè* n'était pas une solution continue,

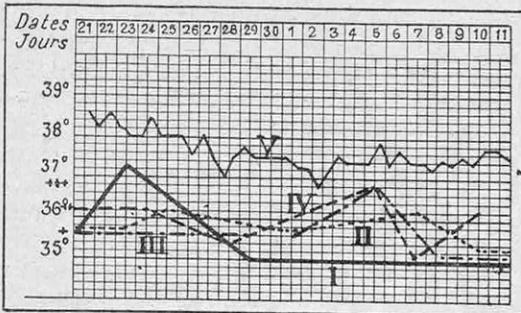


FIG. 3. — GRAPHIQUES MONTRANT COMMENT ÉVOLUE LA VIRULENCE DU BACTÉRIOPHAGE AU COURS D'UNE FIÈVRE TYPHOÏDE

La courbe supérieure V est relative à la température fébrile du malade. La courbe I indique la variation de la virulence d'un bactériophage qui fut très actif pour le bacille du malade, précisément au début de sa convalescence, et qui disparut par la suite. La courbe II indique la virulence du bactériophage pour le bacille typhique de collection. La courbe III fournit le même renseignement pour le colibacille de collection ; la courbe IV, pour le bacille de Shiga. Ces trois dernières courbes permettent de comparer l'évolution de la virulence du bactériophage avec les variations de l'état fébrile du malade. Les courbes I, II, III et IV ont été tracées en étalonnant le degré de virulence sur trois niveaux conventionnels marqués +, ++ et +++, qui correspondent chacun à la bactériophagie totale de trois solutions bactériennes virulentes progressivement titrées en millions de bactéries au  $cm^3$ .

sans quoi chacun des 10  $cm^3$  de cette préparation se serait également partagé le bactériophage.

Par contre, si celui-ci est un corpuscule, on s'explique que le hasard ait pu jouer pour accorder à 3  $cm^3$  la faveur de contenir chacun un corpuscule bactériophage, à l'exclusion des 7 autres  $cm^3$ .

### La vie peut-elle commencer à l'échelle « infracellulaire » ?

La nature individuelle et corpusculaire du bactériophage est démontrée par les expériences précédentes. Mais, grâce à l'ultramicroscope, on décèle des formations corpusculaires, en forme de globules, à l'intérieur des bactéries au moment de leur dissolution sous l'action bactériophagique.

De considérations physiques sur les indices de réfraction respectifs de la substance bactérienne et du bouillon de culture, on peut déduire que les globules décelés ne sont autres que les bactériophages eux-mêmes. Le calcul montre alors que leur taille serait de l'ordre de 20 à 30 millimicrons (le millimicron vaut 1 millionième de millimètre).

Les individus corpusculaires du bactériophage seraient, par conséquent, du même ordre de grandeur que les micelles des colloïdes protéiques. Autrement dit, ils ne peuvent être des « cellules » isolées, du type microbien, organismes relativement complexes. Ils sont des particules de matière strictement analogues à celles qui constituent les colloïdes inertes. Et, pourtant, ces particules sont vivantes.

Vivantes, étant donné leur prolifération. Vivantes, parce que cette prolifération s'accompagne de nutrition aux dépens des bacilles attaqués.

Vivantes, parce que les bactériophages s'adaptent au bouillon de culture qui leur est offert. Les bouillons de staphylocoques, de bacilles du choléra, de bacilles typhiques et paratyphiques, etc., sont attaqués par le bactériophage, de la même manière que les cultures de B. Shiga. Du reste, plusieurs espèces de bactériophages ont été mises en évidence.

Vivantes encore, parce que le bactériophage est susceptible de transmettre à ses descendants des caractères héréditaires. Comme celle des corps microbiens, sa virulence s'atténue par la chaleur : on peut « vacciner » le bouillon de culture contre le bactériophage.

F. d'Hérelle écrit : « Le corpuscule bactériophage possède l'ensemble des caractères qui permettent de reconnaître qu'un être est vivant : un être qui possède le caractère de la vie est nécessairement vivant. »

Nous comprenons, dès lors, toute la grandeur du problème soulevé : la vie com-

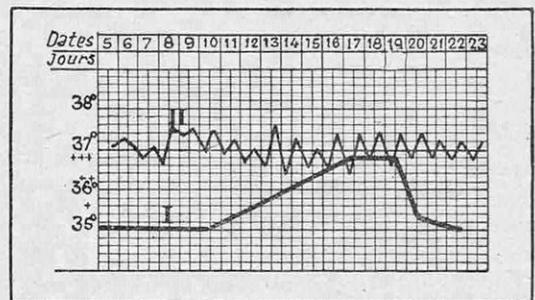


FIG. 4. — COMMENT VARIE LA VIRULENCE DU BACTÉRIOPHAGE APRÈS UNE FIÈVRE TYPHOÏDE SUIVIE D'UNE MENACE DE RECHUTE. La courbe I marque la virulence du bactériophage pour les trois cultures étalons indiquées par (+), (++) et (+++). On voit, par l'examen de la température fébrile, qu'il y a eu menace de rechute, la température revenue à la normale ayant eu tendance à s'élever à nouveau. Mais la guérison s'établit sans incident, le maximum de virulence du bactériophage pour le bacille coïncidant avec l'entrée définitive en convalescence.

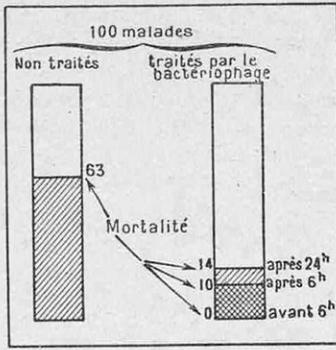


FIG. 5. — LES RÉSULTATS DU TRAITEMENT PAR BACTÉRIOPHAGE DANS LE CHOLÉRA ASIATIQUE

Lorsque le bactériophage est administré dans les six premières heures, la mortalité est nulle ; entre six heures et vingt-quatre heures, elle atteint 10 % ; après vingt-quatre heures, 14 %. Elle est beaucoup plus forte (63 %) chez les malades non traités.

cristallisé par W.-M. Stanley (de l'Institut Rockefeller de New York).

Le problème soulevé par la découverte, déjà ancienne, de d'Hérelle, à l'échelle colloïdale, loin de s'éclairer, n'a fait que s'approfondir, puisque le voici porté à l'échelle moléculaire d'un corps cristallisé. Le virus de Stanley est en effet doué, lui aussi, de tous les critères de la vie (1).

**Les travaux des savants russes**

Mais voilà l'autre son de cloche.

Le professeur Ermolevoï aurait réussi à obtenir des bactériophages à partir de cultures mortes de microbes. Il serait parvenu à déterminer la composition chimique du bactériophage et à prouver qu'il ne contient pas d'albuminoïdes, bien qu'il conserve toute son activité au cours du traitement « éthéré » dont se sert le spécialiste pour sa démonstration.

Ermolevoï pense avoir démontré, tout de même, que le bactériophage ne possède pas de « métabolisme » (pouvoir d'échanges nutritif) spécial. D'où il conclut à la nature « non vivante » du bactériophage.

On aurait isolé des bactériophages, actifs contre les colibacilles, à partir d'un certain nombre de légumes : oignons, carottes, et de quelques fruits (pommes très fraîches). Ceci est d'une importance thérapeutique immédiate, aisée à comprendre.

Les travaux de la doctoresse Pokrovskaïa

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 234, page 443.

menceraît à se manifester dans l'état « micellaire », c'est-à-dire bien avant d'avoir pu s'organiser en cellules, comme on le pensait jusqu'ici.

Nos lecteurs savent que le même problème de la vie à l'échelle infracellulaire, s'est posé de nouveau, tout récemment, à propos du « virus chimique » de la Mosaïque isolé à l'état

lui ont permis d'obtenir une culture non virulente de la peste « mutante » par l'action du bactériophage. La courageuse savante a démontré la non-virulence en s'inoculant à elle-même le bouillon de culture.

Cependant, en 1937, F. d'Hérelle soutenait — et il soutient encore — que le bactériophage possède, au contraire, « tous les critères » spécifiques de la vie.

De cette controverse de savants, que conclure, sinon que le problème même des origines de la vie se trouve remis une fois de plus sur le chantier ? L'avenir tranchera sans doute le différend en montrant, comme toujours, qu'il s'agit d'un problème mal posé. Les grandes controverses scientifiques se sont toujours dénouées de cette façon.

**Applications thérapeutiques : le barrage des épidémies**

Quoi qu'il en soit, le plus urgent, de l'avis même de F. d'Hérelle, consiste dans l'application thérapeutique du « phénomène » de bactériophagie.

Les résultats obtenus ne cessent de s'étendre. En voici quelques exemples.

La découverte de d'Hérelle peut se résumer dans ce mot étonnant de l'auteur : « Avec le bactériophage, la guérison elle-même devient contagieuse. » Il s'agit donc de répandre, dans tous les cas où c'est possible, des « épidémies » bienfaisantes de bactériophage.

C'est ce qu'a fait d'Hérelle, en jetant dans les puits des villages indiens des cultures de bactériophages. Dans la province de Bihar et Orissa, où l'opération fut systématiquement prati-

quée, l'épidémie bisannuelle de choléra se trouva éteinte en deux jours (durée moyenne), tandis que, dans les villages dont les puits n'avaient pas été « bactériophagés », l'épidémie conservait sa durée moyenne habituelle de vingt-six jours — malgré les traite-

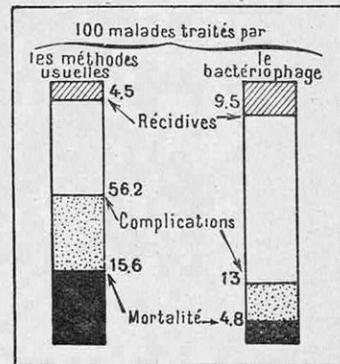


FIG. 6. — LE BACTÉRIOPHAGE ET LA FIÈVRE TYPHOÏDE

Le graphique ci-dessus montre l'efficacité de cette méthode non encore généralisée. On remarquera le nombre élevé de récurrences dues au fait que le malade guéri par le bactériophage n'est pas immunisé.

ments préventifs classiques. Ainsi, le bactériophage, distribué *en supplément* aux tubes digestifs des paysans, ne faisait qu'accélérer la *guérison automatique* depuis longtemps constatée, à un rythme plus lent. La *contagion* de la guérison n'était pas changée de nature, mais seulement *accélérée*. La théorie bactériophagique rend compte, en effet, de l'extinction spontanée des épidémies au cours des âges — énigme que le professeur Nicolle a résolue, de son côté, par la théorie de l'évolution des maladies contagieuses. D'Hérelle apporterait la *clé* de cette évolution.

A ce propos, on comprend pourquoi l'eau du Gange et de la Junma, fleuves sacrés de mémoire d'homme, est réellement « bactéricide » (Hankin), ce qui justifie la vénération des indigènes. Ce sont les déjections mêmes des cholériques *convalescents* qui lui confèrent ce pouvoir par « *bactériophagie* ».

En 1932, le gouvernement de l'Inde ordonna des expériences comparées, au bactériophage, sur divers districts dont certains étaient réservés, sans traitement, à titre de *témoins*. La mortalité cholérique dans les districts non traités, fut de 3 000 (de 1932 à 1934) et seulement de quelques centaines dans les districts aux puits « bactériophagés ».

Mais le traitement individuel, par absorption buccale ou par injection sous-cutanée, n'est évidemment pas négligé dans les Instituts spécialisés.

La physiothérapie de la dysenterie par le bactériophage — à l'exception des enfants en bas âge — a acquis droit de cité auprès des médecins traitants de Moscou, de Rostow, d'Ukraine, où la prophylaxie de cette maladie a fait l'objet d'expériences à grande échelle. Une injection de 10 cm<sup>3</sup> de bacté-

riophage dysentérique procure une immunisation momentanée, suffisante pour arrêter l'épidémie.

On prépare actuellement des « phagolisats » qui allient la propriété *calmante* du bactériophage à la propriété *immunisante* classique, obtenue à partir des bactéries virulentes elles-mêmes traitées au bactériophage.

La peste bubonique a été attaquée avec succès par d'Hérelle en Egypte où, en 1925, il obtint quatre guérisons rapides en injectant aux quatre malades, à même les bubons, 1 cm<sup>3</sup> d'une préparation contenant une race de bactériophage isolée en 1921, en Indochine. Répétons bien, à ce propos, que le bactériophage n'agit pas *spécifiquement* sur une bactérie déterminée à l'exclusion des autres. En principe, il attaque tous les microbes virulents ; mais la lutte est plus ou moins dure et certaines *racés* de bactériophages se comportent mieux que d'autres, dans certains cas particuliers.

Citons encore la thérapeutique bactériophage brillamment réalisée en France contre les infections staphylococciques par le docteur Raiga, chef de clinique à la Salpêtrière, où il opéra dans les services du professeur Gosset. Quatre mille cas traités donnèrent autant de guérisons.

Insister en entrant plus avant dans la thérapeutique bactériophage nous conduirait dans des méandres inextricables pour le profane. Nous sommes en présence d'une science à ses origines. Si elle n'est pas plus avancée pratiquement, l'explication en est dans le retard que le monde savant apporta si longtemps à « contribuer » à la découverte de F. d'Hérelle et aussi dans l'immensité des horizons ouverts par elle.

JEAN LABADIÉ.

Un statisticien français a exposé récemment, devant l'Académie de Médecine, la situation démographique de la France où, grâce à l'hygiène de plus en plus scientifiquement appliquée, la mortalité est en décroissance depuis un siècle. Mais, par contre, malheureusement, la natalité y diminue sans cesse ! Si le taux de cette natalité s'était maintenu dans notre pays à celui correspondant à la période 1810-1830 (320 par 10 000), la population française serait aujourd'hui de plus de 89 millions (Français de race) ! Pour un territoire grand comme la France actuelle, cela représenterait donc 169 habitants au km<sup>2</sup>, alors que la Belgique en accuse 271 ; la Grande-Bretagne, 268 ; l'Allemagne, 142 ; l'Italie, 137. Or, en un siècle, la France n'a gagné que 9 millions d'habitants, alors que l'Allemagne, par exemple, de 1830 à 1931, passait de 29 millions à 64 millions ! Pendant cette même période, l'Italie doublait également sa population, soit 41 millions contre 21 millions (en cent ans). De son côté l'Angleterre triplait sa population : 14 millions à peine vers 1830, contre plus de 40 millions en 1931 !

## PRENONS L'ÉCOUTE

### OU EN EST L'AVIATION COMMERCIALE AMÉRICAINE EN 1938 ?

Les vastes étendues des deux plus grands Etats modernes, l'U. S. A. et l'U.R.S.S., étaient, de par l'extension même de leur immense territoire, « vouées » à un développement aussi considérable que rapide de la locomotion aérienne. L'aviation américaine, notamment, a marqué dans le domaine commercial une croissance prodigieuse et rapide, alors qu'en Russie c'est l'aviation militaire qui a pris le pas sur l'aviation marchande. Cela se conçoit aisément si l'on songe au développement économique (échanges) si intense de la puissante République de l'Amérique du Nord par rapport à la situation actuelle de la République des Soviets. Aussi M. R. Marcerou vient-il de souligner à ce propos que l'aviation commerciale des Etats-Unis est de beaucoup la plus puissante du monde. Les recettes du trafic postal, a-t-il fait notamment remarquer, ont suffi, à elles seules, à faire vivre le réseau américain dès sa création même. « Comme les distances sont quatre fois plus grandes qu'en France, il fallait donc un moyen de transport quatre fois plus rapide que le chemin de fer. » Si l'U. R. S. S. possède, en effet, le record actuel de longueur des lignes exploitées et du tonnage transporté (fret), par contre, elle est de très loin devancée par l'U. S. A. en ce qui concerne la régularité et le rendement du trafic aérien, à l'intérieur comme à l'extérieur de la nation. L'organisation commerciale des compagnies américaines est, par suite, incontestablement à la tête du progrès international. Ces nombreuses compagnies de navigation aérienne (on en compte plus d'une trentaine) assurent — au dedans comme au dehors — 113 services de transports pour passagers sans omettre ceux pour le tourisme et l'entraînement aériens. Sur un réseau qui atteint près de 100 000 km (95 000 km en 1937), qui comprend au moins 4 000 appareils modernes (3 800 en 1937), les pilotes de lignes parcourent annuellement plus de 110 millions de kilomètres ! Rien qu'au cours du dernier exercice clos, près de 1 300 000 passagers ont été aussi transportés, 9 millions de kilogrammes de courrier postal ont été acheminés (300 millions de lettres et 628 000 colis).

D'autre part, l'aviation privée a pris, elle aussi, aux Etats-Unis un essor comparable : plus de 6 000 appareils appartiennent maintenant à des particuliers et leurs propriétaires parcourent par an environ 138 millions de km. Il existait en 1937 au moins 30 000 élèves-pilotes et rien que l'aviation privée représentait, à elle seule, environ 13 millions de dollars ! L'ensemble des sommes consacrées à l'aviation doit donc maintenant dépasser 315 millions de dollars, dont plus de 37 millions pour l'aviation commerciale et plus de 203 millions de dollars pour les forces militaires (armée et marine), et cela pour 1937. D'autres budgets importants sont, en outre, consacrés à l'infrastructure, aux aéroports, aux services météorologiques, aux recherches scientifiques (1). Il n'est donc pas étonnant que, dans des conditions aussi favorables, l'aviation américaine, en liaison avec l'aviation britannique, s'apprête à exploiter — la première — la ligne transocéanique entre l'Europe et l'Amérique du Nord (2). Grâce à l'entente intervenue entre la *Pan American Airways* et l'*Imperial*

(1) Voir l'article sur le *National Advisory Committee for Aeronautics (N. A. C. A.)* dans *La Science et la Vie*, n° 247, page 68. — (2) Voir *La Science et la Vie*, n° 249, page 206.

*Airways*, nous assisterons sans doute vers 1941 à une exploitation régulière du trafic transocéanique aérien. Déjà les essais en cours sur les appareils destinés précisément à relier New York à Southampton sont des plus concluants (*Sikorsky, Clipper-Bæing* de 44 t). On estime, d'après une série d'« expériences » poursuivies méthodiquement, qu'un hydravion de 44 t pourra désormais réaliser une autonomie de près de 6 500 km en emportant une charge utile d'au moins 4 t. D'ici 1941, les constructeurs américains auront été en mesure de livrer à la *P. A. A.* au moins vingt appareils encore améliorés et dont le rayon d'action atteindra un minimum de 8 000 km ! Les futurs exploitants de la ligne aérienne de l'Atlantique Nord seront alors en mesure de transporter une *centaine* de passagers à chaque voyage, dans un sens comme dans l'autre, à l'allure de croisière de 320 km/h. Cela n'a rien de surprenant de la part de ces puissantes et actives compagnies américaines qui ont déjà fait leurs preuves — depuis longtemps — sur les plus grands parcours. Leur exploitation — sans à-coups et minutieusement réglée depuis un certain nombre d'années déjà — sur la ligne New York-Los Angeles notamment permet, en effet, de relier régulièrement, rapidement, confortablement par leurs paquebots aériens l'Atlantique au Pacifique en 16 heures en parcourant 4 400 km au-dessus du continent américain. *La Science et la Vie* avait déjà laissé pressentir (1) de telles performances dès la mise au point des « prototypes » ; non seulement elles ont été réalisées par les appareils fabriqués en série, mais encore souvent largement dépassées.

### CUIRASSÉ ALLEMAND, CUIRASSÉ FRANÇAIS

L'Amirauté du III<sup>e</sup> Reich aurait, paraît-il, décidé récemment de construire en 1938 une cinquantaine de nouveaux bâtiments de combat, en dehors de ceux déjà en construction ou prévus d'après son programme naval. Il s'agirait notamment de 5 cuirassés, 2 porte-avions, 3 croiseurs (de 10 000 t W), 4 croiseurs dits « légers », 12 destroyers et deux douzaines de sous-marins ! Voilà de quoi occuper les chantiers maritimes de la Grande Allemagne. A ce propos, il nous paraît opportun de rappeler que la marine germanique va bientôt terminer ses deux cuirassés de 26 000 t du type *Scharnhorst* et *Gneisenau* déjà aux essais, destinés à « répondre » à nos deux cuirassés *Dunkerque* et *Strasbourg* qui constituent deux magnifiques bâtiments de ligne pour notre corps de bataille, mais qui seront malheureusement en retard sur les prévisions quant à leur entrée en escadre. La flotte allemande disposera en outre de deux unités beaucoup plus puissantes (cuirassés *F* et *G* mis sur cale en 1936) et qui déplaceront, celles-là, au moins 35 000 t (tonnage théorique). Nous aurons un jour, de notre côté, deux bâtiments comparables, le *Richelieu* et le *Jean-Bart*. Comme l'a judicieusement fait observer un publiciste spécialiste des questions navales sous le pseudonyme de « Captain J. Frog » : « La compétition sur mer est tout d'abord une bataille de chantiers. » Il est évident que la flotte allemande sera dotée (au moins huit mois avant la marine française) en premier lieu des deux bâtiments de ligne de 26 000 t, et avant nous également de ses deux cuirassés de 35 000 t. A ce propos, l'auteur précité a fait également remarquer que les essais en matière d'artillerie navale durent moins longtemps en Allemagne qu'en France. Cela tient à ce que, sur notre *Dunkerque* par exemple, les tourelles sont *quadruples* et, pour la première fois, ont été adoptées par l'Etat-Major et les services techniques de la Marine nationale. La mise au point en a donc été beaucoup plus longue parce que beaucoup plus minutieuse. Or, l'Allemagne n'a pas adopté ce dispositif de tourelles et a maintenu l'emploi de tourelles *triples* comme sur le croiseur (cuirassé de poche) *Deutschland* (de 10 000 t W, qui, en réalité, déplace 14 000 t !). Donc, de ce côté, pas de difficulté technique à redouter, puisque pas de nouveauté et que l'on se contente de continuer la construction de tourelles d'un type unique. Le problème des tourelles — lié à celui des calibres des pièces — donne encore lieu, du reste, à des interprétations nettement

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 245, page 333.

opposées. Les Allemands préfèrent en effet le canon de 280 — qui a prouvé son efficacité à la bataille du Jutland (1). Ils armeront donc leurs futurs cuirassés de neuf pièces de ce calibre en trois tourelles triples, après y avoir, bien entendu, apporté les perfectionnements que la balistique et la mécanique autorisent maintenant. Le projectile de 340 kg paraît en effet suffisant (à toutes distances de combat) pour « agir » contre notre *Dunkerque* dans l'état actuel des choses. D'autre part, la cadence de tir sera en outre plus accélérée avec des 280 qu'avec des 330 et avec trois tourelles triples — deux à l'avant, une à l'arrière, d'où plus grand nombre de pièces — qu'avec deux tourelles quadruples à l'avant (huit pièces). La vulnérabilité semble devoir être également moindre et le champ de tir plus étendu. Les Italiens ont, de leur côté, adopté ce même dispositif pour tous leurs bâtiments neufs, et les Anglais paraissent aujourd'hui se rallier, eux aussi, à cette conception actuellement en honneur dans les artilleries navales germanique et italienne. Dans le domaine de la *protection*, — problème plus essentiel que jamais en tenant compte des progrès et de l'artillerie et de l'aviation, — là aussi, des aménagements nouveaux ont été réalisés (cuirasse pesant de 12 000 à 13 000 t pour notre *Dunkerque*, au lieu de 11 000 précédemment). Afin de compenser un tel accroissement de poids, on a utilisé dernièrement les métaux et alliages légers (superstructure, coque, etc.). Les Allemands ont été les premiers à entrer dans cette voie, et, en outre, leur cuirassé est moins haut sur l'eau que notre *Dunkerque*, qui offre au contraire un franc-bord plus élevé. Après ces deux facteurs primordiaux (armement, protection), voici le troisième également capital : celui de la vitesse. Le *Scharnhorst* allemand est propulsé par 150 000 ch, le *Dunkerque* français par 100 000 ch seulement (c'est du moins la puissance indiquée théoriquement, mais la puissance réelle est en réalité supérieure). Les vitesses respectives de ces deux bâtiments (données *officielles*, par conséquent volontairement inexactes) sont de 30 nœuds. Cependant, suivant l'avis des compétences, le bâtiment français doit aller plus vite que le bâtiment allemand, qui, par contre, est un peu plus long (226 m contre 215) et possède un tirant d'eau de 8 m 50 environ contre 7 m 50. Il est évident que l'Amirauté allemande a cherché, avec son cuirassé-type *Scharnhorst*, à n'être en rien inférieure à son rival français *Dunkerque* et à y rassembler tous les perfectionnements que la science et la technique ont apportés, au cours de ces dernières années, dans les domaines du génie maritime et de l'artillerie navale.

### CUIRASSÉ ANGLAIS, CUIRASSÉ FRANÇAIS

Depuis que la liberté de construction (jadis limitée par les accords de Washington) a été rendue aux grandes puissances navales, la « course » aux armements sur mer a repris à nouveau avec activité. Après l'Italie, qui aura bientôt en Méditerranée quatre bâtiments de ligne de 35 000 t du plus récent modèle, la France a été, à son tour, contrainte de suivre une politique semblable, en dépit de sa situation financière si obérée. Il y a lieu d'observer à ce sujet que non seulement les flottes s'accroissent (corps de bataille et autres bâtiments de combat), mais aussi que le tonnage de chaque cuirassé augmente continuellement. Un éminent ingénieur des constructions navales britanniques vient d'affirmer (d'après l'enseignement de la guerre navale pendant les hostilités de 1914 à 1918) que désormais, sur un bâtiment de combat moderne, il faudrait en effet consacrer à sa protection 32 % du tonnage total, 28 % à l'armement et à la puissance de propulsion. Cela revient donc à dire que le navire de demain devrait rapidement atteindre des tonnages de 55 000 t à 60 000 t... En effet, le spécialiste anglais conçoit fort bien un cuirassé de 57 000 t, d'une puissance de 200 000 ch, animé d'une vitesse de 33 nœuds, armé de 8 pièces de 455 mm, ce qui nécessite un tel déplacement en tenant compte du poids inévitable du cuirassement qui est — comme l'on sait — en fonction du calibre de l'artillerie principale du bâtiment. Devant les intentions récentes de la marine nippone, en ce qui concerne

(1) Voir *La Science et la Vie* n° 229, page 66.

l'augmentation du tonnage et du calibre pour les futurs cuirassés, les Amirautes anglaise et américaine ont, par suite, été amenées à s'engager dans la même voie. C'est ainsi qu'aux Etats-Unis on aurait déjà adopté, pour la grosse artillerie des futurs cuirassés, le calibre de 406 mm. Or, on sait également qu'au calibre exprimé en millimètres des gros canons correspond approximativement — du moins jusqu'ici — une protection (pour les parties vitales) du même nombre de millimètres d'épaisseur, et cela, même en tenant compte des progrès récemment réalisés dans la métallurgie des aciers spéciaux (blindages). Quant au programme naval de la Grande-Bretagne pour les cinq bâtiments de ligne (du type *K. G. V.*) actuellement en chantier, il comporte, pour ceux-là, un tonnage de 35 000 t seulement, avec une artillerie principale de 355 mm : ils dépasseront, dit-on, la vitesse de 30 nœuds. Aussi, comme la course au tonnage est conditionnée par la course au calibre, il est à peu près certain que, lors de la construction de la nouvelle série des cinq cuirassés anglais (qui doit suivre celle actuellement commencée), les canons seront d'un plus fort calibre pour l'artillerie principale, c'est-à-dire de l'ordre de 455 mm. Les arsenaux du Japon auraient, déjà, entrepris la mise au point de nouvelles pièces de 457 mm (projectile d'environ 1 360 kg). Or, de tels canons sont susceptibles de tirer des obus d'un poids sensiblement double de celui des pièces actuelles (du calibre de 335 mm seulement).

Ainsi le navire moderne croît en déplacement non seulement par suite de la puissance croissante de son artillerie, mais encore à cause de sa protection, qui doit être rendue maintenant plus efficace par suite notamment des effets des projectiles d'aviation (bombes et torpilles aériennes). Le Service des Constructions navales en Angleterre, d'accord avec l'Amirauté, s'est donc efforcé de concilier vitesse, protection (blindage et cloisonnement), puissance de l'artillerie principale, en tenant compte évidemment des tendances les plus récentes manifestées chez les autres puissances navales d'Europe, d'Asie, d'Amérique.

La protection, entre autres, constitue un problème de plus en plus délicat à résoudre, si on veut efficacement sauvegarder les organes vitaux d'un bâtiment de combat (organes de propulsion, soutes à munitions plus particulièrement). Les services techniques n'envisagent-ils pas déjà des ponts cuirassés *triples* (pour mieux résister aux bombardements aériens), de façon à faire du navire une sorte de carapace supérieure blindée d'où émergeraient seulement les tourelles de l'artillerie principale, les passerelles, la « tour » de commandement. Un tel dispositif doit évidemment entraîner, par voie de conséquence, l'élargissement de la flottaison. Mais ceci conditionne un autre facteur : la vitesse du navire, d'où obligation d'accroître la longueur du cuirassé, d'où, par suite, augmentation de son tonnage. Voilà pourquoi il est probable que nous verrons la future flotte britannique dotée d'un corps de bataille où les nouvelles unités dépasseront en déplacement et en calibre ceux des cuirassés actuellement sur cale dans les chantiers de Vickers-Armstrong, Cammell Laird, J. Brown et Co, Fairfield S. B., Swan Hunter, pour ne citer que les plus réputés.

## AVIATION « TOUT MÉTAL » OU AVIATION MIXTE « BOIS-MÉTAL » ?

Dans un récent article publié par un grand quotidien de Londres, nous avons appris que les usines aéronautiques allemandes poussaient plus activement encore leurs fabrications depuis les récents accords franco-britanniques relatifs à la défense nationale collective. Il s'agirait, pour l'Allemagne, de porter, dès cette année, la production d'avions à une cadence de 1 200 par mois, alors que, jusqu'ici, elle n'aurait pas dépassé 600 (1). Les Autorités d'Empire n'ont pas dissimulé leur intention de

(1) De nombreux chiffres — plus ou moins contradictoires — ont été publiés, en France notamment. D'après les renseignements d'un technicien averti qui a séjourné outre-Rhin, ceux-ci paraissent les plus vraisemblables et les plus modérés.

réaliser ce vaste programme avant 1939. A cette époque, l'aviation allemande pourrait donc disposer d'une trentaine de mille d'appareils prêts à entrer en service dans les formations aériennes (matériel en service et surtout matériel de remplacement). L'Etat-Major de l'Air du III<sup>e</sup> Reich n'a pas du tout caché qu'à cette époque tout appareil datant de plus de quatre ans serait impitoyablement réformé, de façon à ce que le matériel en service soit toujours au moins égal, sinon supérieur, à celui des autres grandes puissances militaires, et cela en tenant compte des progrès incessants réalisés dans la construction aéronautique et l'armement. Il semble par suite opportun de rappeler à ce sujet que la construction aéronautique germanique s'est, dès son début, orientée vers la fabrication entièrement métallique du matériel aérien. Cela tient non seulement au perfectionnement et à l'importance de l'outillage en usage dans les usines spécialisées réparties sur l'ensemble du territoire allemand, mais aussi au grand nombre de spécialistes dont l'industrie allemande dispose pour sa main-d'œuvre qualifiée. La construction métallique exige en effet une spécialisation très poussée, aussi bien pour l'ouvrier que pour la machine. Or, chacun sait que, dans le domaine de la « machine-outil », la production germanique peut rivaliser avec l'industrie américaine, et est l'une des premières du monde. C'est pourquoi l'Allemagne et les Etats-Unis, si puissamment outillés (machines automatiques adaptées à chaque opération pour le travail en série, et, par suite, pour la production à grand rendement), sont précisément les nations qui ont adopté la construction métallique *intégrale* pour les avions. Il n'en est pas de même dans d'autres pays, comme l'Italie qui a su — en tant que nation moins industrialisée — réaliser des appareils possédant cependant de remarquables qualités militaires où le bois tient une place prépondérante à côté des alliages légers. C'est le cas notamment des plus récents et si remarquables bombardiers (hydravions *Cant-506* et *506-B*) de l'aviation italienne. Or, comme dans l'usinage moderne le potentiel de l'outillage perfectionné joue un rôle essentiel, l'Italie s'est bien vite rendu compte qu'à ce point de vue elle n'était ni assez riche (les appareils « tout-métal » coûtent plus cher), ni assez bien équipée en puissantes machines-outils des plus récents types (qui coûtent aussi très cher et qu'il faut acquérir en général aux Etats-Unis) pour se « lancer » dans des fabrications « cent pour cent » métalliques. C'est pourquoi les Italiens ont fait appel le moins possible aux aciers spéciaux, d'un prix élevé, pour n'utiliser de préférence que les bois qu'ils se procurent plus aisément et les alliages légers qu'ils fabriquent eux-mêmes (à base d'aluminium). C'est ainsi que, dans le nouvel hydravion italien *Cant*, presque tout est en bois, sauf les flotteurs ! Nous avons déjà signalé (1) qu'au cours d'hostilités éventuelles il serait en effet moins facile de réparer du matériel entièrement métallique que du matériel mixte (bois-métal). Les Allemands eux-mêmes avaient envisagé la question, pour savoir s'ils n'auraient pas intérêt à stocker des bois de construction pour leur aviation afin de parer à toutes éventualités en cas de guerre, si la construction des avions métalliques de remplacement s'avérait alors plus malaisée (parcs pour les réparations à l'arrière des armées, au lieu de renvoyer les appareils métalliques dans des usines spécialisées et éloignées, seules qualifiées pour remettre en état des avions « tout-métal »). La Grande-Bretagne a du reste, elle aussi, envisagé ce problème de construction mixte sous le même aspect, afin de se rendre compte des avantages qu'un tel mode de construction offrirait en cas de conflit. Il apparaît donc que, sans être exclusivement « vouée » à une aviation métallique « cent pour cent » comme l'Allemagne ou l'Amérique (pour les raisons indiquées précédemment), toute grande puissance militaire doit envisager parallèlement la fabrication d'avions « bois-métal » plus aisément réparables (même par des ouvriers non-spécialistes), ce qui a, en outre, cet avantage, non négligeable pour les finances nationales, de coûter beaucoup moins cher. Il faut en effet payer à prix d'or, à l'étranger, une partie de l'outillage spécial nécessaire

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 212, page 161.

à cette fabrication métallique et les matières premières qui entrent dans la composition des matériaux destinés à la construction aéronautique métallique « cent pour cent ». Un tel sujet mérite donc qu'on examine à nouveau un tel problème de fabrication au point de vue militaire avec chiffres à l'appui, et aussi dans quelles conditions on peut, ou on ne peut pas, se procurer un outillage à « l'américaine » dont le prix et les délais de livraison, la formation de la main-d'œuvre qui l'utilisera, peuvent par suite ne pas répondre *pratiquement* au but théoriquement poursuivi, c'est-à-dire produire rapidement et immédiatement des avions de série pour les forces aériennes des armées en campagne (matériels en service et matériels de remplacement) suivant les exigences de la guerre moderne : grosse consommatrice d'appareils, d'armes et de munitions.

### POUR SAUVER NOTRE MARINE MARCHANDE

Dans l'état d'atonie générale de notre économie nationale et de la production déficiente de notre activité, chaque jour les Pouvoirs publics recueillent les doléances des groupements patronaux ou ouvriers qui réclament le secours de l'Etat. La plupart de ces doléances, basées sur une argumentation statistique solidement justifiée, ne peuvent — toutes — évidemment recevoir satisfaction, si on tient compte de la situation financière que traverse le pays ; or, choisir, c'est *sacrifier*. Parmi les branches de notre activité nationale, celle de la marine marchande était jusqu'ici la plus négligée, et c'est pourquoi le Gouvernement vient d'apporter une première série de remèdes à son sujet (1). Notre outillage naval est, en effet, démodé et, par suite, incapable, en raison de sa lenteur de « fonctionnement », de remplir sa tâche en cas de guerre. Sur 3 millions de tonneaux de bâtiments de commerce, le tiers environ est constitué par des cargos qui suffiraient à peine à transporter seulement 35 % de nos échanges prévus en cas de conflit extérieur. *La Science et la Vie*, qui a maintes fois signalé cette infériorité, a aussi montré, à ce propos, qu'en matière de carburants la France serait alors dans l'impossibilité, avec ses quelque 250 000 tonneaux de « tankers » (2), d'assurer son ravitaillement en combustibles liquides (seulement 28 % de nos importations en temps normal, et moins de 20 % en temps de guerre). Il nous faudra, bien entendu, avoir encore recours aux flottes étrangères (comme en 1914-18 où nous avons failli manquer d'essence). Pour les autres marchandises (viandes frigorifiées de l'Amérique, produits oléagineux de notre empire africain, céréales et charbons de notre Indochine), nos moyens seraient encore plus réduits, et c'est sous pavillon étranger que ces denrées indispensables à notre économie de guerre parviendraient dans nos ports. De plus, si la quantité de tonnage nous fait défaut, la qualité du matériel est aussi inquiétante. Au 1<sup>er</sup> janvier de cette année, 76 % de nos cargos avaient plus de quinze ans d'âge, et leur vitesse (pour la plupart, soit près de 85 %) était inférieure à 12 nœuds seulement (soit 22,2 km/h !). Or, cela représente une vitesse moyenne de 10 nœuds pour nos transports maritimes par cargos, alors que, par ailleurs, la plupart des marines commerciales du monde atteignent couramment maintenant des vitesses de l'ordre de 20 nœuds ! Nous pourrions en dire autant, du reste, de nos chalutiers, qui non seulement constituent une flotte indispensable pour les besoins du temps de paix, mais encore sont

(1) Voir dans le *Journal officiel* du 4 mai 1938 les décrets-lois relatifs à la dotation du crédit maritime et à l'armement libre qui vont permettre de mettre en chantier 1 demi-million de tonneaux de bâtiments neufs pour le commerce, sans oublier sans doute la pêche maritime. A ce propos, rappelons qu'au cours des deuxième et troisième trimestres de 1937 aucun navire marchand n'a été lancé en France ! En 1938, un seul navire (2 500 tonneaux) a été mis en chantier ! Actuellement, si l'Angleterre a en construction 1 080 000 tonneaux de bâtiments neufs, l'Allemagne 310 000, la Hollande 303 000, la France se classe dernière des puissances maritimes avec 75 000 seulement. On estime qu'après l'application des deux décrets précités, nous pourrions, en trois ans, construire au moins ces 500 000 tonneaux indiqués ci-dessus, ce qui doit représenter une dépense de plus de 1 200 millions de francs (à 178 au change de la livre). Ainsi, notre tonnage global pourrait être porté à 3 500 000 tonneaux d'ici 1941, alors qu'il n'atteint pas, à ce jour, 3 000 000 de tonneaux.

(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 247, page 47.

appelés à remplir des missions militaires de « patrouilleurs » dès la mobilisation des forces des armées de terre et de mer. Étonnez-vous que, dans de semblables conditions, notre marine marchande soit en pleine décadence matérielle et financière, surtout depuis que, sur le marché des frets, une baisse d'environ 35 % s'est manifestée depuis l'été de 1937. Nos armateurs, devant une telle situation, n'étaient évidemment pas incités à passer des commandes aux chantiers navals. Nos principaux concurrents ne cessent, au contraire, de moderniser leur flotte et généralisent notamment l'emploi des bateaux à moteur dont les avantages ont été exposés ici (1). Rappelons, à ce sujet, qu'en France certaines compagnies de navigation paraissent moins enthousiastes que la plupart des compagnies de transports maritimes de l'étranger, qui intensifient la construction des « motorships », ainsi que le prouvent les statistiques les plus récentes (2). Mais est-ce bien une question technique ou économique qui détermine cette attitude de certains de nos armateurs, et n'est-ce pas plutôt un problème d'ordre financier? Quoi qu'il en soit, l'armement français ne sera en mesure de « moderniser » notre flotte de commerce que si l'Etat vient à son secours — comme en témoignent ses premiers décrets de mai 1938 — en vue de lui procurer, et à bon compte, les fonds dont il a un impérieux besoin. Il y va non seulement de l'intérêt immédiat de la marine marchande, mais de son avenir à sauvegarder au seul point de vue de notre outillage national. Songez qu'il faudrait, en cas de nécessité, payer très cher à l'étranger (en devises appréciées, c'est-à-dire en or) la location de navires indispensables à nos transports. La politique du gouvernement actuel, dans ce domaine, doit donc de plus en plus s'orienter vers une extension du crédit maritime (annuités d'intérêt et d'amortissement). Une telle politique, sagement conduite et surtout activement *poursuivie*, pourrait ainsi amener, en quelques années (trois à cinq ans), le renouvellement de nos cargos et autres transports jusqu'à concurrence d'un minimum de 600 000 tonneaux. Il faut espérer, par contre, que de telles commandes seront (exclusivement si possible) confiées à des chantiers navals français. Jusqu'ici, nos armateurs avaient trop souvent intérêt à acheter leur matériel dans d'autres pays où on construit plus vite et moins cher que chez nous. Mais nous touchons là un autre problème, d'ordre industriel, qu'il y aura lieu d'envisager séparément.

### INFLUENCE DES PNEUS SUR LE SILENCE DES CARROSSERIES AUTOMOBILES

Un constructeur français avait fait entreprendre des essais scientifiquement contrôlés pour se rendre compte des phénomènes de résonance dans la carrosserie engendrés par le roulement des pneumatiques sur route, qui provoquent des bruits plus ou moins intenses suivant la nature du sol, la vitesse du véhicule et aussi la structure de l'enveloppe. Depuis que les carrosseries sont entièrement métalliques, ces caisses de résonance donnent, en effet, naissance à des « ronronnements » plus intenses que dans les anciennes carrosseries et plus ou moins désagréables. Or, ce que l'usager recherche dans une voiture moderne, c'est le *silence* (organes mécaniques et carrosserie). Certains pneumatiques d'un type nouveau récemment adoptés sur le marché français seraient plus bruyants qu'avec les dessins classiques des différentes sculptures de pneus. A ce point de vue, c'est un fait que les pneus américains qui équipent, par exemple, les voitures américaines, sont particulièrement silencieux, et cela à cause de leur fabrication. Si on substitue, en effet, des

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 175, page 3.

(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 243, page 211. Voir, à ce sujet, une documentation précise et mise à jour sur la construction des navires à moteurs en France et à l'étranger, et aussi les moteurs Diesel marins en 1937, dans les livraisons du G. C. des 19-2-38, 7-5 et 14-5-1938, qui montre comment la Grande-Bretagne et l'Allemagne sont actuellement à la tête de la construction navale pour les « motorships ». A elles seules, en 1937, elles ont produit plus de navires à moteurs que toutes les autres nations réunies.

enveloppes « européennes » à des pneus américains équipant des voitures américaines, un bruit de ronflement se manifeste aussitôt dès que l'on atteint une certaine vitesse, qui varie du reste d'un type à l'autre. Aux Etats-Unis, où des expériences sont méthodiquement poursuivies au laboratoire pour examiner pratiquement tous les problèmes de la locomotion mécanique, il n'y a pas, à notre connaissance, d'installations qui aient été créées pour entreprendre des études expérimentales en ce qui concerne la recherche du silence à réaliser en tenant compte des pneumatiques. Il serait cependant intéressant — théoriquement et pratiquement — d'étudier le choix de la structure, de la sculpture, l'aplatissement du boudin cylindrique en fonction de la vitesse, etc. Cependant, la clientèle américaine semble ignorer les inconvénients que nous constatons en France. Nos industriels pourraient donc utilement entreprendre des études expérimentales dans un domaine qui n'est pas à négliger. A quoi servirait-il, en effet, de payer très cher des carrosseries « tout acier », dites « silencieuses », et des châssis où le silence est une caractéristique de la mécanique de précision, si les caisses jouaient le rôle d'« amplificatrices » de sons sur la route. Quand la partie supérieure de la voiture était encore constituée par un matériau insonore (cuir, par exemple), celui-ci atténuait le bruit, qui n'était pas aussi audible. Aujourd'hui, les voitures étant entièrement métalliques, il n'en est plus de même. En France, il est juste de rappeler qu'une firme de Clermont-Ferrand avait antérieurement entrepris (dès 1929) un examen méthodique de la répercussion du martellement du pneu dont la période (à une vitesse déterminée) peut entrer ainsi en résonance avec la période de vibration de la caisse. Un brevet fut même pris à cette époque, qui consistait à donner un pas variable aux éléments de sculpture. D'après des recherches entreprises depuis, il résulterait, aux dires des intéressés, que le bruit mis au compte des lamelles des enveloppes de certains types récents serait d'une fréquence trop élevée pour être susceptible d'entrer en résonance avec la caisse parce que plus aigu (par suite du grand nombre de lamelles) que le son produit par le ronronnement auquel nous faisons allusion. Les Américains, de leur côté, n'ignorent pas que la substitution de pneus européens aux pneus d'origine américaine, sur leurs automobiles d'exportation, nuit au silence si apprécié par les connaisseurs sur les voitures en provenance des Etats-Unis. Ils se seraient rendu compte, eux aussi, de l'incidence de certains dessins de pneumatiques qui engendreraient un ronflement plus ou moins suraigu en exerçant une répercussion *par résonance* à l'intérieur des carrosseries métalliques. C'est pour éviter cet inconvénient qu'ils auraient modifié récemment (pour certaines marques) le mode de suspension en indiquant qu'une telle transformation apportait précisément remède à l'inconvénient signalé par leur clientèle d'Europe en évitant la *transmission* des bruits des pneus à la caisse tout métal (amplificatrice des sons). Ce dispositif forme en quelque sorte amortisseur sonore, puisqu'il s'interpose entre les roues et la carrosserie sur le châssis pourvu d'une suspension indépendante. Ces quelques indications suffisent à démontrer, une fois de plus, que la recherche de la perfection mécanique est souvent liée à l'étude scrupuleuse des moindres détails. Ainsi, dans le cas qui nous intéresse, une étude scientifique des pneumatiques, au point de vue du roulement *silencieux*, doit tenir compte du profil même du pneu, du dessin de sa bande de roulement, de sa pression de gonflement optimum, du revêtement routier (asphalte, macadam, pavés de grés, terre battue), de l'état d'humidité de la route ou de sa sécheresse. Que de facteurs dont l'importance ne peut échapper aux ingénieurs à l'affût de nouveaux progrès !



# EQUILIBRAGE DYNAMIQUE ET VIBRATIONS EN AUTOMOBILE

Par Henri PETIT

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

*Sur une automobile, l'organe générateur de bruit et de vibrations par excellence est le moteur. Pistons, bielles, vilebrequin, volant, etc., toutes ces pièces, animées de mouvements périodiques plus ou moins compliqués, engendrent des forces d'inertie dont la résultante, agissant sur le bâti du moteur et se transmettant au châssis et à la carrosserie, y provoque des déformations et y engendre des vibrations désagréables pour les passagers et nuisibles à la solidité et à la durée de l'assemblage de la voiture. L'équilibrage statique et dynamique des masses en rotation ou en mouvement alternatif, quelle que soit la précision aujourd'hui atteinte dans ce domaine, ne permet pas cependant de supprimer les différents phénomènes vibratoires qui tirent leur origine du fonctionnement même du moteur. L'analyse minutieuse des efforts variables qui en sont la cause et leur élimination successive constituent un problème mécanique extrêmement complexe. Il s'agit, en effet, non seulement de faire disparaître les réactions dues aux irrégularités du couple moteur ou d'amortir convenablement les vibrations de torsion du vilebrequin (thrash), mais aussi de s'attaquer à la « rudesse de marche », génératrice des vibrations du carter et qui semble en relations étroites avec les conditions mêmes de la combustion dans la culasse du moteur. Les sources de vibrations et de bruits en automobile sont multiples et d'importance sans doute inégale. L'une après l'autre, le technicien doit s'attacher à les éliminer ou tout au moins à annuler leurs effets pour réaliser le silence et la douceur de marche qui sont aujourd'hui le critérium certain de la perfection mécanique d'une voiture moderne.*

**L**ES vibrations de toute espèce qui se produisent dans une voiture automobile constituent une source d'inconfort pour les occupants qui en subissent la répercussion. Aussi, les ingénieurs de l'automobile se sont-ils imposé la tâche de faire disparaître ces vibrations ou, au moins, d'en réduire l'importance dans la mesure du possible. On a pu dire, en effet, et à juste raison, que le silence et la douceur de marche d'une voiture étaient un critérium certain de sa perfection.

## La chasse aux vibrations

Tel est donc l'un des buts très importants des recherches des ingénieurs. Mais pour atteindre ce but, encore faut-il connaître la nature et l'origine de l'ennemi que l'on traque.

Or, les vibrations dans une voiture sont nombreuses et diverses. La plupart ont pour origine, pour excitateur en quelque sorte, le moteur lui-même ; supprimer les vibrations du moteur correspondra donc pratiquement, dans une très large mesure, à supprimer les vibrations et le bruit de la voiture.

Le moteur d'automobile est un ensemble

complexe dans lequel se trouvent des masses à mouvement rotatif, telles que le vilebrequin et le volant ; des masses à mouvement rectiligne, tels les pistons ; des masses à mouvements plus complexes, comme les bielles. Le mouvement de toutes ces masses engendre des forces d'inertie qui, réagissant à leur tour sur le bâti du moteur et ses supports, y provoquent des déformations et des vibrations.

Si toutes les pièces du moteur étaient parfaitement rigides et indéformables, on pourrait borner l'étude des vibrations aux deux causes que nous venons d'indiquer ; mais ces éléments, comme tout organe mécanique, sont essentiellement déformables et élastiques. Sous l'effet des forces variables auxquelles ils sont soumis, ils changent donc de forme. D'autre part, ils ont, comme toutes les pièces élastiques, une période propre de vibration ; s'il y a coïncidence entre cette période propre de vibration et la fréquence des chocs, ou des variations de force qui leur sont imposées, les déformations prennent subitement une grande importance, d'où vibration intense.

Nous devons donc considérer, en dehors des questions d'équilibrage, toutes les

causes qui peuvent provoquer la déformation élastique des organes du moteur, et ces causes sont, on va le voir, assez nombreuses. Il y a d'abord la variation de l'importance du couple moteur : ce couple atteint son maximum au moment de l'explosion dans un cylindre, puis diminue pour devenir parfois négatif et repasser ensuite par les mêmes valeurs. Les variations de couple provoquent une oscillation de l'ensemble du moteur autour de l'un de ses axes principaux d'inertie, oscillation qui se transmet bien entendu au châssis et à la voiture.

Les forces qui agissent sur les pistons — et qui sont dues, d'une part, à la pression des gaz, d'autre part, aux forces alternatives d'inertie — se transmettent au vilebrequin, lequel est assujéti par l'une de ses extrémités au volant qui l'oblige à conserver une vitesse de rotation sensiblement constante. Le vilebrequin se trouve donc alternativement poussé dans le sens de marche et tiré dans le sens inverse, ce qui provoque encore des vibrations de torsion dont on n'a pas le droit de ne pas se préoccuper. Le régime vibratoire qui s'ensuit est connu sous le nom de *thrash*.

Enfin, un autre genre de vibration que l'on a observé depuis longtemps déjà, mais dont les causes sont restées longtemps inconnues, se traduit par ce qu'on appelle la « rudesse de marche » du moteur. Comme nous le verrons, cette rudesse de marche paraît liée, d'une part, à la croissance très rapide des pressions internes au-dessus du piston pendant la combustion des gaz et, d'autre part, à la rigidité insuffisante du carter du moteur.

Telles sont les causes principales de vibrations dont nous allons nous occuper. Résumons-les :

- 1° Manque d'équilibrage des pièces en rotation ;
- 2° Manque d'équilibrage des pièces à mouvement alternatif ;
- 3° Effet des variations du couple sur l'ensemble du moteur ;
- 4° Vibrations de torsion du vilebrequin ;
- 5° Enfin, rudesse de marche du moteur.

Nous allons essayer de caractériser chacun des types de ces phénomènes, d'en discerner l'origine et d'indiquer les remèdes qui y ont été appliqués.

### L'équilibrage rotatif, statique et dynamique

Considérons un arbre monté sur deux paliers et portant une masse excentrée en quelque'un de ses points. Si cet arbre est laissé libre, il est bien évident que la masse se placera dans le plan vertical qui contient son axe. Si l'on fait tourner l'arbre, cette masse provoquera une réaction d'inertie (force centrifuge) qui aura pour effet, d'abord, d'infléchir l'arbre dans le sens de la traction exercée et, ensuite, d'entraîner tout l'ensemble des coussinets et de leurs supports dans une vibration synchrone du mouvement de rota-

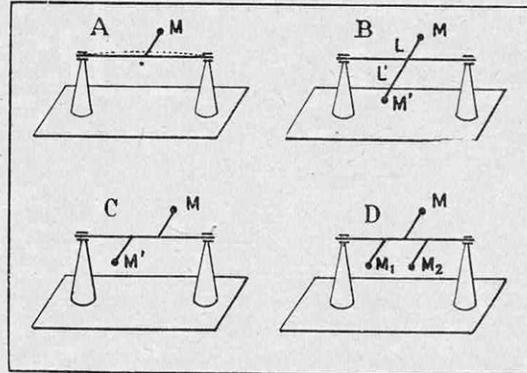


FIG. 1. — L'ÉQUILIBRAGE STATIQUE ET DYNAMIQUE DES MASSES EXCENTRÉES

A) A la masse  $M$  excentrée s'applique, quand l'arbre tourne, une force centrifuge normale à l'axe. L'arbre a, par suite, une tendance à fléchir et à entraîner ses supports. — B) La masse  $M$  peut être équilibrée statiquement au moyen d'une masse  $M'$  opposée à condition, bien entendu, que les masses  $M$  et  $M'$  soient inversement proportionnelles aux bras de levier qui les supportent. Mais l'arbre ne sera équilibré dynamiquement que si les masses d'équilibrage sont directement opposées. — C) Les masses  $M$  et  $M'$ , opposées mais non directement, font que l'arbre qui les supporte est en équilibre indifférent. Si l'arbre tourne, l'ensemble de ces masses provoque la formation d'un couple d'inertie. Dans ce cas, l'arbre est encore équilibré statiquement, mais non dynamiquement. — D) Les deux masses  $M_1$  et  $M_2$ , opposées à  $M$  et disposées symétriquement, peuvent réaliser à la fois l'équilibrage statique et dynamique de l'arbre qui les supporte, en choisissant convenablement leurs valeurs et celles des bras de levier.

tion. L'arbre, dans ce cas, est dit *non équilibré*.

Pour l'équilibrer, deux moyens : ou bien supprimer la masse excentrée, ce qui n'est, en général, pas possible, ou bien opposer à celle-ci une masse équivalente. Cette masse équivalente sera soit une masse égale, montée sur un bras de même longueur dans le même plan contenant l'axe de l'arbre, soit une masse différente montée au bout d'un bras de levier différent, mais tel en tout cas que le produit de la masse par le bras de levier conserve la même valeur.

Si la masse équivalente est montée simplement dans le plan déterminé par l'axe

de l'arbre et la masse à équilibrer, on remarque que cet arbre reste en équilibre indifférent autour de son axe. Il est dit *équilibré statiquement*.

Mais si l'on fait tourner cet arbre, chacune des deux masses va exercer sur lui une traction qui, s'appliquant en des points différents, va créer un couple : ce couple provoquera d'abord une déformation de l'arbre et ensuite une oscillation des coussinets et de leurs supports. L'arbre équilibré statiquement n'est pas équilibré dynamiquement.

Au contraire, si la masse compensatrice est directement opposée à la masse à équilibrer, aucun couple ne prend naissance quand l'arbre tourne : il est dit *équilibré*

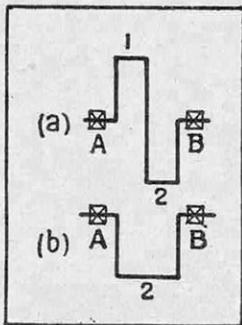


FIG. 2. — L'ÉQUILIBRAGE DU MOTEUR A DEUX CYLINDRES

a) Forme schématique du vilebrequin d'un moteur à deux cylindres avec manetons calés à  $180^\circ$  : ce vilebrequin est dit *improprement équilibré* ; l'équilibrage n'existe en effet qu'à l'état statique et non pas dynamique (formation d'un couple). —

b) Vilebrequin d'un moteur à deux cylindres à manetons dans le prolongement l'un de l'autre : l'équilibrage n'est pas meilleur que dans le monocylindre, mais le couple est amélioré. Dans la figure a, au contraire, le couple est irrégulier.

*statiquement et dynamiquement*. Remarquons d'ailleurs que tout arbre équilibré dynamiquement est par cela même équilibré statiquement, la réciproque n'étant pas vraie.

Il est souvent impossible, dans un organe d'automobile comme le vilebrequin, par exemple, d'équilibrer une masse par une masse compensatrice directement opposée.

Aussi est-on amené à effectuer l'équilibrage au moyen de deux masses compensatrices disposées symétriquement par rapport à la masse à équilibrer (fig 1, D) ; l'arbre sera équilibré dynamiquement si les résultantes des forces centrifuges de la masse à équilibrer, d'une part, et des masses d'équilibrage, d'autre part, sont égales et directement opposées.

Dans un arbre vilebrequin de moteur, qui est l'organe le plus important parmi les organes rotatifs, l'équilibrage dynamique est toujours réalisé avec le maximum de soins. On équilibre de même le volant, l'embrayage et, en général, toutes les masses tournantes.

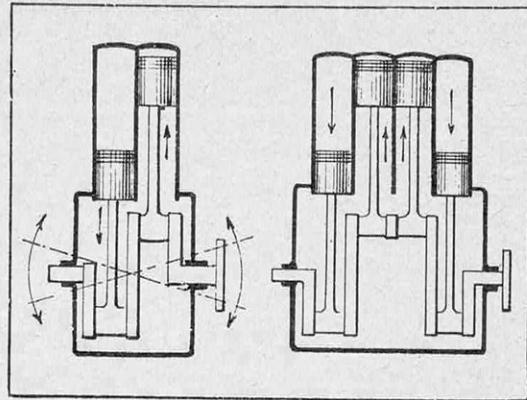


FIG. 3. — L'ÉQUILIBRAGE DES FORCES D'INERTIE ET DES COUPLES SUR LES MOTEURS A 2 ET A 4 CYLINDRES

À gauche, moteur à 2 cylindres à  $180^\circ$  : les flèches rectilignes indiquent les mouvements des pistons et les flèches courbes montrent que le moteur a tendance à osciller autour de son centre. — À droite, schéma d'un moteur à 4 cylindres à vilebrequin symétrique. L'équilibrage du premier ordre est complètement réalisé ; les couples du second ordre sont équilibrés, mais les forces du second ordre ne le sont pas.

Cet équilibrage doit d'ailleurs s'appliquer à des organes de la voiture différents du moteur : c'est ainsi, par exemple, qu'on a toujours grand intérêt, du point de vue de la qualité de la direction, de la tenue de route et de la suspension, à équilibrer les roues des voitures qui, autrement, présentent un balourd qui atteint fréquemment plusieurs centaines de grammes et engendre, aux vitesses d'utilisation, des forces d'inertie de plusieurs dizaines de kilogrammes.

### L'équilibrage des forces alternatives

Un moteur d'automobile se compose, du point de vue cinématique, d'un certain nombre de pistons animés d'un mouvement rectiligne et alternatif, pistons réunis au vilebrequin par des bielles. Le mouvement des pistons change de sens deux fois par tour de l'arbre manivelle. Leur vitesse passe, par conséquent, par zéro, augmente, atteint un maximum, diminue, revient à zéro et décrit deux fois ce cycle pour chaque tour du vilebrequin.

A chaque variation de vitesse du piston correspond la créa-

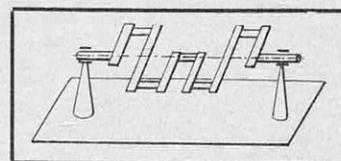


FIG. 4. — SCHÉMA D'UN VILEBREQUIN SYMÉTRIQUE DE MOTEUR A 4 CYLINDRES

tion d'une force d'inertie dirigée parallèlement au mouvement du piston.

Ces forces d'inertie sont toutes dans le plan où se déplacent les pistons ; il est, par suite, impossible de les équilibrer au moyen de masses tournantes qui, elles, engendrent des forces d'inertie qui se déplacent circulairement.

On peut essayer, et on le fait couramment, de compenser dans une certaine mesure les forces d'inertie alternatives par des forces d'inertie centrifuges appliquées à des masses montées sur le vilebrequin ; c'est ainsi, par exemple, que si l'on monte sur le vilebrequin une masse égale à la moitié de la masse du piston, la force d'inertie engendrée par le mouvement de celui-ci se trouvera diminuée de moitié, et en même temps prendra naissance dans le plan horizontal une force d'inertie alternative égale à la moitié de la force qu'on vient d'équilibrer. On aura, en somme, transporté la force d'inertie d'un certain plan dans le plan perpendiculaire ; mais, résultat appréciable, en diminuant de moitié la valeur de son maximum. C'est de cette façon que l'on résout pratiquement l'équilibrage des moteurs à un seul cylindre.

Quand un moteur a deux cylindres, par conséquent deux pistons, si ces pistons se meuvent en sens inverse, on peut concevoir que les forces d'inertie de l'un se trouvent équilibrées par celles de l'autre. Pour qu'il en soit rigoureusement ainsi, deux conditions sont nécessaires. D'abord que les pistons soient directement opposés et ensuite que la loi de leur mouvement soit symétrique, c'est-à-dire la même pendant chacune des deux moitiés de la course. Avec l'accouplement classique, par bielle, du piston et du vilebrequin, aucune de ces conditions n'est réalisée et, par suite, l'équilibrage n'est que très approximatif. En particulier, le fait que les pistons ne sont pas montés suivant le même axe provoque la formation d'un couple engendré par les forces d'inertie. Ce couple tend à faire basculer le moteur tout entier d'avant en arrière et d'arrière en avant.

Un moteur à 2 cylindres ne peut donc pas être complètement équilibré. Il le peut

d'autant moins que, ainsi que nous l'avons fait remarquer, la force d'inertie du piston qui descend n'est pas égale à celle du piston qui monte à un même moment de leur course, la vitesse des deux pistons étant en effet à chaque instant différente.

Une partie seulement des forces d'inertie se trouve équilibrée ; on dit que l'équilibrage du premier ordre des forces est assuré, tandis que l'équilibrage du second ordre ne l'est pas. Ces expressions « premier ordre » et « second ordre » s'appliquent au développement mathématique en série de l'expression des forces d'inertie. Les premiers termes des séries relatives à chacun des pistons sont égaux et opposés, tandis que les deuxièmes termes sont différents. Quant aux termes

suyvants, ils sont également différents, mais on a pris l'habitude de les négliger étant donné leur faible valeur.

Si nous juxtaposons deux moteurs à 2 cylindres, en disposant convenablement les coudes du vilebrequin (fig. 3), nous voyons qu'à chaque instant deux pistons montent et deux descendent. L'équilibrage du premier

ordre se trouve donc réalisé. D'autre part, l'ensemble du moteur est symétrique par rapport au plan perpendiculaire au milieu du vilebrequin : l'équilibrage des couples se trouvera donc réalisé. Il ne reste donc plus à équilibrer que les forces d'inertie du second ordre, puisque, comme dans le cas précédent, la loi de déplacement des pistons diffère suivant qu'ils montent ou qu'ils descendent. Dans un moteur à 4 cylindres, par conséquent, du point de vue forces, l'équilibrage du premier ordre est réalisé, celui du second ordre ne l'est pas. Quant aux couples, ils se trouvent complètement équilibrés.

Nous pourrions poursuivre ainsi l'examen de l'équilibrage des moteurs suivant le nombre de leurs cylindres : cette étude serait sans doute quelque peu fastidieuse ici. Contentons-nous d'indiquer que le moteur où forces et couples du premier et du second ordres se trouvent complètement équilibrés et qui comporte le moins grand nombre de cylindres verticaux est le moteur à 6 cylindres : d'où son succès pour l'équi-

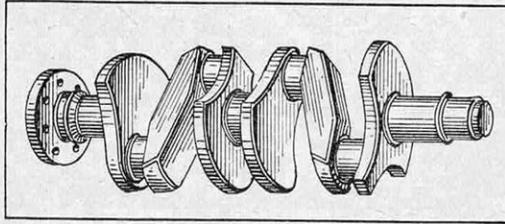


FIG. 5. — VILEBREQUIN D'UN MOTEUR A 4 CYLINDRES ET TROIS PALIERS AVEC SES CONTREPOIDS DE COMPENSATION

*La présence des contrepooids de compensation permet d'atténuer l'influence des forces d'inertie des pistons et de diminuer, par suite, le travail et la flexion du vilebrequin.*

pement des voitures automobiles modernes.

Le moteur à 8 cylindres, même lorsque son vilebrequin est symétrique, possède un équilibrage moins parfait (fig. 7, II).

Dans tout ce que nous venons de dire, il y a lieu de remarquer que l'équilibrage des forces d'inertie de chacun des pistons les unes par les autres ne s'effectue que par l'intermédiaire de l'arbre vilebrequin. Cet équilibrage ne sera théoriquement parfait que si le vilebrequin est complètement rigide et indéformable. Or, il est impossible qu'il en soit ainsi. Pour approcher aussi près que possible de l'équilibrage parfait, on donne aux vilebrequins de très fortes sections pour augmenter leur moment d'inertie et, d'autre part, on diminue l'importance des forces à équilibrer, en les compensant individuellement par des masses d'équilibrage centrifuges, ainsi que nous l'avons indiqué plus haut pour le moteur monocylindre.

Le défaut d'équilibrage des masses se traduit dans le fonctionnement de la voiture par des trépidations, ou vibrations, qui prennent d'autant plus d'importance que le moteur tourne à un régime plus rapide.

Il est facile de voir, en effet, que les forces d'inertie ont une intensité qui varie proportionnellement à la masse des pistons et au carré de la vitesse de rotation du moteur. Pour diminuer les forces, on cherche à faire des pistons le plus légers possible, d'où la règle absolument générale aujourd'hui d'employer pour la fabrication des pistons des alliages légers dérivés de l'aluminium ou du magnésium.

On ne peut naturellement agir sur la vitesse de rotation, puisqu'on tend au contraire, pour d'autres raisons, à faire tourner les moteurs de plus en plus vite.

Pour supprimer ou au moins atténuer la transmission des vibrations provenant des forces d'inertie depuis le moteur jusqu'au

châssis, on pratique depuis quelques années la suspension élastique du moteur : nous aurons l'occasion d'y revenir dans un instant.

### Influence de la variation du couple

Si l'on trace une courbe représentant en abscisses l'angle de rotation du vilebrequin du moteur, et en ordonnées l'importance du couple transmis au volant, on remarque que, pour un moteur de 1 cylindre, ce couple a la forme représentée par la figure 10 : il est par suite très irrégulier puisqu'il n'est posi-

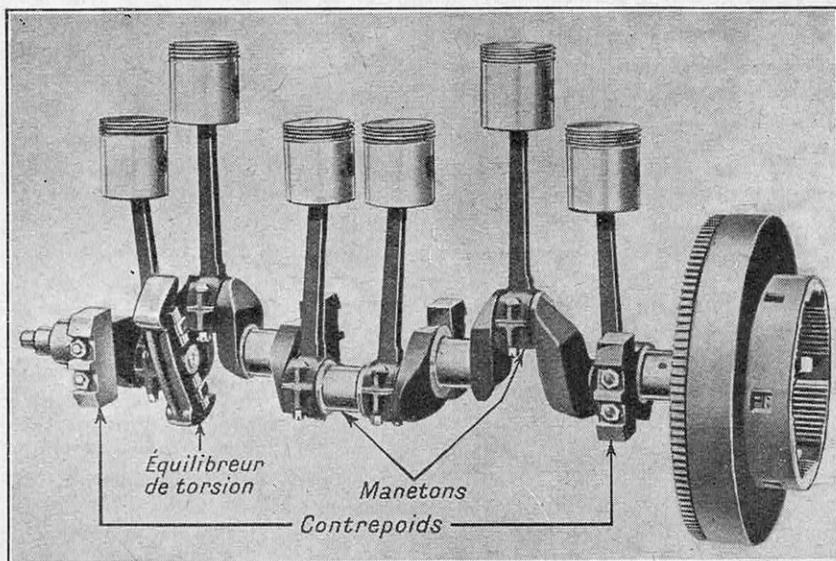


FIG. 6. — TYPE DE VILEBREQUIN D'UN MOTEUR A 6 CYLINDRES (BUICK) AVEC ÉQUILIBREUR DE TORSION ET CONTREPOIDS

Les contrepoids équilibrent le poids des manetons et des têtes de bielles. L'équilibreur de torsion du type « Harmonic-Balancer » comporte une masse pesante montée sur un bras du vilebrequin au moyen d'un ressort. Ce type d'équilibreur de torsion est actuellement abandonné. (Voir figure 9.)

tif que pendant un quart de cycle, soit une demi-course pour deux courses. Pour le rendre plus régulier, il n'y a d'autre moyen que d'augmenter l'inertie du volant. Ce qui importe, en effet, c'est beaucoup plus la régularité du couple sur l'arbre de transmission, c'est-à-dire après le volant, que sur le vilebrequin, c'est-à-dire avant le volant.

L'augmentation d'inertie du volant a deux graves défauts : d'abord elle augmente le poids général du moteur et ensuite, et surtout, elle interdit des variations rapides de vitesses de la voiture. La tendance actuelle est au contraire de diminuer le plus possible l'inertie du volant.

Le moteur monocylindre qui a été en usage dans les débuts de l'automobile n'a donc aucune chance de connaître la vogue actuellement, et nous pensons que c'est une

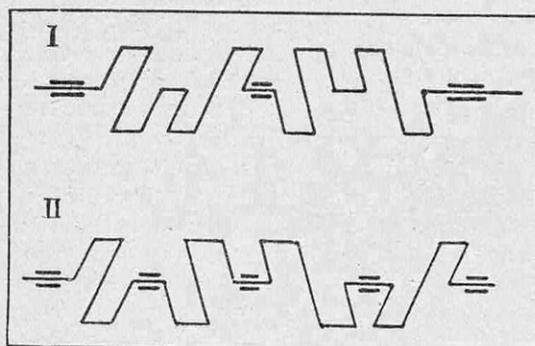


FIG. 7. — DEUX TYPES DE VILEBREQUINS POUR MOTEUR A 8 CYLINDRES

I) *Vilebrequin à 8 cylindres non équilibré formé de deux vilebrequins de moteur à 4 cylindres juxtaposés bout à bout après décalage de 90° (dispositif abandonné).* — II) *Vilebrequin symétrique de moteur à 8 cylindres formé par un vilebrequin de 4 cylindres au centre, portant à chacune de ses deux extrémités un demi-vilebrequin de 4 cylindres décalé de 90°.*

grave erreur que de chercher à établir des voitures économiques avec un moteur monocylindre à une époque où la clientèle est beaucoup trop difficile pour s'en contenter. Mais c'est là une considération complètement étrangère à la technique. Revenons donc à notre sujet.

Dans un moteur 2 cylindres, le couple est quelque peu plus régulier; cependant la régularité n'est pas doublée; nous avons remarqué, en effet, que dans un moteur à 2 cylindres on cherchait surtout à améliorer l'équilibrage, ce qui conduit à disposer les deux manetons du vilebrequin à 180° l'un de l'autre et, par conséquent, à provoquer les deux temps moteurs dans le même tour du vilebrequin, le tour suivant étant complètement résistant (forme *a*, fig. 2)

Aussi s'en tient-on en automobile au moteur à 4 cylindres au minimum.

Dans le moteur à 4 cylindres, le couple est maximum quatre fois par tour et s'annule également quatre fois. Bien entendu, le volant le régularise d'une façon suffisante surtout quand le moteur tourne à grande vitesse. N'oublions pas, en effet, que l'action régulatrice du volant varie comme le carré de la vitesse de rotation.

Les effets de variation du couple ne se feront donc sentir qu'aux basses vitesses du moteur. Dans ces conditions, on voit assez nettement un moteur tournant très lentement subir à chaque explosion une oscillation en sens inverse du mouvement du vilebrequin.

Aux grandes vitesses, au contraire, les

réactions sont trop rapides pour être perceptibles à la vue, mais elles ne s'en transmettent pas moins au châssis, provoquant la naissance de vibrations désagréables.

Comme on ne peut régulariser complètement le couple du moteur qu'au prix d'une grande complication — puisqu'il faut utiliser un grand nombre de cylindres, — on a cherché à empêcher la transmission des réactions du couple à la voiture. Et la suspension élastique du moteur a apporté ici une solution qui s'est très rapidement généralisée. A l'heure actuelle, les moteurs d'automobiles reposent sur le châssis par l'intermédiaire d'éléments largement déformables, soit des blocs de caoutchouc, soit des ressorts métalliques à course assez importante. Les oscillations dues à la variation du couple et aussi celles qui proviennent du défaut d'équilibrage restent localisées dans le moteur, grâce à la déformation des organes de suspension de celui-ci.

Comme contre-partie, il en résulte souvent une exagération de l'oscillation du moteur lorsqu'il marche à très faible régime. Il est courant de constater sur un moteur 4 cylindres à suspension élastique une oscillation très importante à la vitesse du ralenti, oscillation qui provoque un déplacement de plusieurs centimètres de la partie supérieure des cylindres. Les constructeurs avisés règlent, en général, le ralenti de leur moteur à un régime assez élevé pour que ces vibrations fâcheuses ne se produisent pas.

### Vibrations de torsion du vilebrequin

Les vibrations de torsion du vilebrequin apparaissent pratiquement avec les premiers 6 cylindres et restent longtemps quelque peu mystérieuses; elles provoquèrent en particulier de très nombreuses ruptures de vilebrequins dont on ne put déterminer la cause que longtemps après. C'est à l'ingénieur anglais Lanchester que l'on doit d'avoir élucidé le problème des vibrations de torsion qu'en langue anglaise on appelle le *thrash*.

Considérons le vilebrequin d'un moteur et son volant: l'inertie du volant et de toute

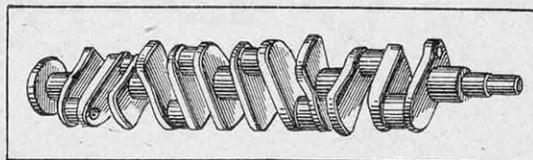


FIG. 8. — VILEBREQUIN DE MOTEUR A 8 CYLINDRES DU TYPE ÉQUILIBRÉ

*Ce vilebrequin, qui correspond au schéma II de la figure 7, est muni de contrepoids de compensation.*

la transmission qui lui est cinématiquement associée est suffisante pour que l'extrémité du vilebrequin qui le supporte soit obligée de tourner à une vitesse constante. Supposons, pour simplifier, que cette vitesse soit nulle : notre raisonnement restera valable lorsque nous donnerons à cette vitesse une valeur positive.

A l'autre extrémité du vilebrequin se trouve un tourillon de bielle auquel est accouplé un piston. Au moment où l'explosion se produit dans le cylindre correspondant, le piston se trouve fortement poussé vers le bas, imprimant ainsi à tout l'ensemble

Si l'on maintient systématiquement la vitesse de rotation d'un moteur au régime du *thrash*, il en résulte une fatigue considérable pour le vilebrequin, fatigue qui peut provoquer sa rupture.

Pour s'affranchir des effets du *thrash*, il n'y a d'autre procédé que de reporter le régime de vibration propre du vilebrequin à une valeur plus considérable que la vitesse d'utilisation maximum. Il faut, pour cela, agir sur deux facteurs : tout d'abord, donner au vilebrequin une section transversale plus importante, et, ensuite, autant que possible, diminuer sa longueur.

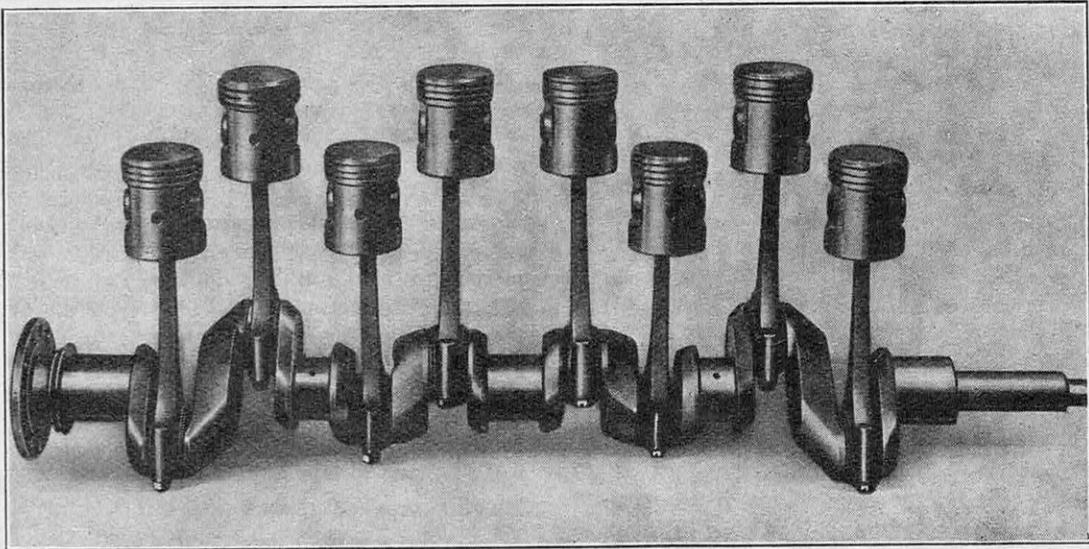


FIG. 9. — ENSEMBLE D'UN VILEBREQUIN AVEC PISTONS ET EMBIELLAGE DE MOTEUR A 8 CYLINDRES TYPE ÉQUILIBRÉ (VILEBREQUIN SANS CONTREPOIDS)

du vilebrequin une torsion en avant (puisque nous avons admis que l'extrémité arrière était maintenue fixe). Le vilebrequin se déforme élastiquement sous cet effort. L'effort cessant ou diminuant, l'élasticité de l'arbre le ramène en arrière. Si, à ce moment, un autre piston se trouve au temps du travail, il va produire une deuxième impulsion vers l'avant, suivie d'un deuxième retour du vilebrequin. Et ainsi va s'engendrer un mouvement de vibration intense de l'arbre, si, comme nous le supposons, la répétition de ces coups-moteurs coïncide avec les périodes d'oscillation propre de l'arbre : c'est le *thrash*.

Pendant la marche d'un moteur, le *thrash* se révèle par un phénomène bien net : il prend naissance à une vitesse de rotation parfaitement déterminée et, la vitesse augmentant, il atteint très rapidement son maximum pour disparaître immédiatement après.

Le *thrash* sera donc d'autant plus à craindre que les moteurs seront plus longs et tourneront plus vite.

Sans supprimer le *thrash*, on peut au moins essayer de l'amortir. C'est ce qu'a fait Lanchester, avec son fameux éteigneur de vibrations qu'il appelait *Damper*, et qu'il plaçait à l'avant du vilebrequin ; il utilisait dans cet appareil le frottement d'un disque calé sur le vilebrequin contre un disque à grande inertie monté fou et serré par des ressorts sur le premier. En temps normal, les deux disques tournent sans mouvement relatif. Au moment du *thrash*, au contraire, le disque libre tend à garder une vitesse constante, tandis que le disque relié au vilebrequin prend un mouvement alternativement accéléré et retardé et frotte par conséquent énergiquement sur le disque mobile. L'énergie absorbée par ce frottement atténue notablement l'importance des vibrations.

Depuis le *Damper* de Lanchester, on a utilisé d'autres systèmes d'éteigneurs de vibrations dans lesquels un volant auxiliaire est relié à l'arbre par l'intermédiaire de ressorts en acier ou en caoutchouc.

À l'heure actuelle, presque tous les moteurs

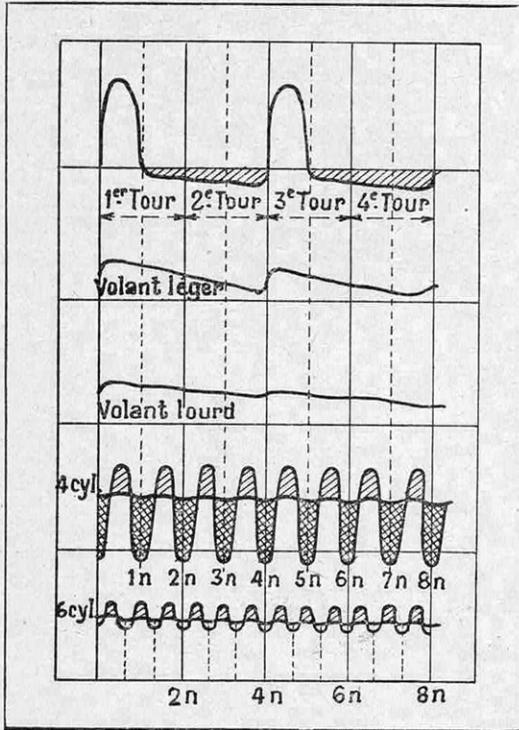


FIG. 10. — COMMENT VARIE LE COUPLE MOTEUR POUR DIVERS TYPES DE MOTEURS COMPORTANT 1, 4 ET 6 CYLINDRES

La première courbe se rapporte à un moteur à 1 cylindre sans volant ; on remarquera les variations considérables du couple qui n'est positif que pendant le temps moteur. La deuxième et la troisième courbe mettent en évidence l'action régulatrice du volant, d'autant plus efficace qu'il est plus lourd. Sur le quatrième graphique, deux courbes sont superposées correspondant, l'une, au moteur sans volant (le couple s'annule à chaque tour du moteur), l'autre, à un moteur muni du volant classique. Le cinquième graphique se rapporte au moteur 6 cylindres. On voit que, même sans volant, le couple moteur ne s'annule jamais et que même ses valeurs extrêmes s'écartent relativement peu de sa valeur moyenne.

rapides des voitures modernes et comportant plus de quatre cylindres sont pourvus d'un amortisseur de vibrations de torsion.

### Rudesse de marche du moteur

Nous abordons maintenant un chapitre un peu moins connu des vibrations des moteurs d'automobiles. On a constaté depuis longtemps que certains moteurs,

aussi bien équilibrés que possible, à grande régularité de couple, n'ayant pas de *thrash* appréciable, se mettaient, à partir d'une certaine vitesse angulaire, à vibrer, l'importance de la vibration allant toujours en

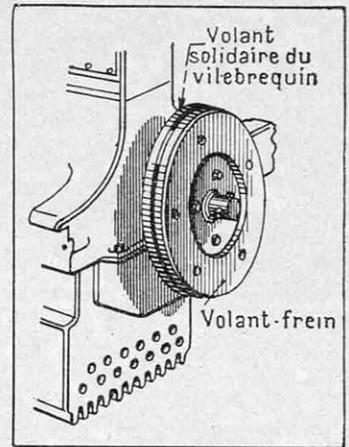


FIG. 11. — AMORTISSEUR DE TORSION DE LANCHESTER, OU « DAMPER », MONTÉ À L'AVANT DU VILEBREQUIN

*C'est le type d'amortisseur de torsion le plus ancien et aussi le plus employé, même maintenant.* Les causes de cette rudesse de marche (en anglais *roughness*) ont été étudiées il y a un peu plus d'un an, par l'auteur américain Heldt qui en a établi une théorie, laquelle apparaît comme très satisfaisante et que nous allons exposer ici en quelques mots.

Tous les efforts qui s'exercent sur les pistons, efforts d'inertie et efforts dus à la pression des gaz, sont à l'origine dirigés

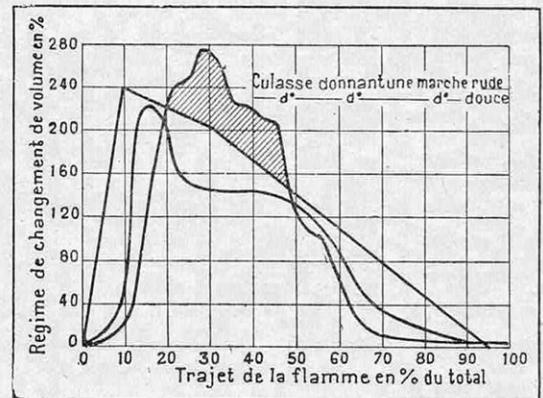


FIG. 12. — CES COURBES METTENT EN ÉVIDENCE LA VARIATION DANS L'ALLURE DE LA COMBUSTION POUR DEUX TYPES DE CULASSES. La courbe supérieure a été obtenue avec la même chambre de combustion que la courbe inférieure, mais avec une bougie écartée de 10 mm de son emplacement original. La deuxième donne un fonctionnement « doux », la première un fonctionnement « rude ». La ligne brisée représente la frontière entre les deux domaines à partir de laquelle commence la « rudesse du moteur » et les vibrations du carter.

dans un plan vertical. Ces efforts sont transmis au bâti par l'intermédiaire du vilebrequin et ont pour effet de tendre à fléchir tout le bâti du moteur et éventuellement à le faire entrer en vibration ; aussi s'est-on, en général, attaché à donner au carter du moteur qui lui sert de bâti une grande rigidité dans le plan vertical. Néanmoins, les moteurs ainsi construits ont souvent présenté une rudesse de marche considérable.

Si l'on veut bien examiner le problème de plus près, on constatera que les efforts qui s'exercent verticalement sur les pistons sont transmis au vilebrequin par les bielles qui, elles, sont obliques ; en réalité, les forces qui agissent sur le vilebrequin et par conséquent sur le bâti du moteur peuvent toujours se décomposer en une force horizontale et une force verticale. Les forces qui provoquent éventuellement la vibration du carter agissent donc dans une direction quelconque. Et la vibration qui s'ensuit peut par conséquent se produire, elle aussi, dans une direction quelconque, et c'est ce qui explique que cette vibration, provoquant la rudesse de marche, commence à un certain régime de rotation du moteur pour se prolonger sur une gamme très étendue de vitesse.

Le carter du moteur est, en effet, un solide dont la rigidité est loin d'être la même dans les divers plans rayonnant autour de l'axe géométrique du vilebrequin. En général, et surtout dans les moteurs anciens, la rigidité

dans le plan horizontal est beaucoup plus faible que dans le plan vertical où elle se trouve renforcée par le bloc des cylindres lui-même.

Pour une fréquence relativement basse des forces excitatrices, le carter va donc se mettre à vibrer dans le plan horizontal.

La fréquence augmentant, le plan de vibration tournera pour se rapprocher du plan vertical ; mais la vibration ne cessera pas. En général, la vitesse d'utilisation du moteur n'atteindra jamais celle pour laquelle la période de synchronisme de l'excitation et de la vibration propre dans le plan vertical se trouve dépassée, d'où la persistance de la rudesse.

On améliore beaucoup cet état de choses en augmentant la rigidité transversale du carter. Déjà, en faisant venir d'une seule pièce de fonte les cylindres et la partie supérieure du carter, on avait rendu la situation meilleure, mais actuellement, on renforce couramment la section horizontale du carter au moyen de cloisons, de nervures qui élèvent sa fréquence propre de vibration. Voilà donc comment on a cherché à parer aux inconvénients de la rudesse de marche ; mais on a cherché également à en pénétrer les causes, ce qui a ouvert une voie nouvelle aux recherches.

L'ingénieur anglais Ricardo avait constaté depuis longtemps déjà que la rudesse de marche d'un moteur déterminé dépendait étroitement de la rapidité avec laquelle augmente la pression dans les cylindres après l'allumage des gaz ; il avait constaté, dans un moteur soumis à ses expériences, que quand l'accroissement de pression était supérieur à 2 kg par cm<sup>2</sup> pour chaque degré de rotation du vilebrequin, la rudesse apparaissait.

On peut donc agir d'une façon très efficace sur la rudesse de marche en modifiant les conditions de combustion dans la culasse

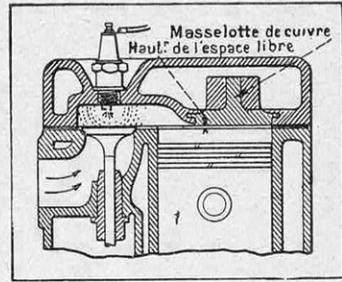


FIG. 14. — COUPE TRANSVERSALE D'UNE CULASSE COMPOSITE FONTE-CUIVRE

*Dans la culasse en fonte ont été insérées des masselottes de cuivre rouge en vue d'obtenir un refroidissement plus intense des parois et, par suite, une marche plus douce. Ces culasses à insertion de cuivre ont été essayées assez récemment en Amérique.*

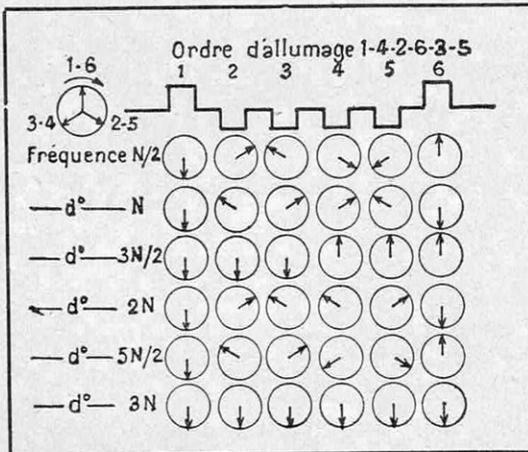


FIG. 13. — SCHÉMA DONNANT LA DIRECTION ET LE SENS DES FORCES D'INERTIE AUX DIFFÉRENTES HARMONIQUES POUR UN VILEBREQUIN DE 6 CYLINDRES

*On voit que, pour la fréquence 3 N/2, les forces forment un couple, et que, pour la fréquence 3 N, elles s'ajoutent. Pour les autres fréquences, elles s'annihilent complètement ou forment des couples moins importants que celui de la fréquence 3 N/2.*

du moteur. Pour cela, on possède plusieurs moyens : d'abord le choix du combustible ; les combustibles à nombre élevé d'octane brûlent moins vite que les autres et, par conséquent, provoquent moins qu'eux la rudesse de marche. La forme de la culasse joue également un rôle important dans l'allure de la combustion. Enfin, la nature des parois de la culasse se révèle comme un facteur très important. Dans cet ordre d'idées, les culasses en alliage léger, en particulier, donnent des résultats très appréciables. Il en est de même de certaines culasses en fonte avec insertions de cuivre rouge, qui ont été essayées assez récemment.

### Les « harmoniques » et leur influence sur la rudesse de marche

Si on cherche à calculer la fréquence propre de vibration d'un carter de moteur ou d'un vilebrequin, on trouve qu'elle est toujours beaucoup plus considérable que la fréquence des causes excitatrices de vibrations et que, par suite, il ne devrait théoriquement pas y avoir de résonance. En réalité, il faut considérer non pas seulement la fréquence de la répétition des causes excitatrices, mais les harmoniques de celles-ci.

Ce n'est pas ici le lieu d'expliquer par le menu ce que sont les harmoniques d'une fonction périodique. Rappelons simplement que toute fonction périodique dont la variation peut être aussi compliquée qu'on peut l'imaginer peut toujours être décomposée en une somme algébrique de vibrations sinusoïdales dont les périodes sont, entre elles, comme des nombres entiers consécutifs ou non.

Il arrive que les éléments d'excitation sont en quelque sorte discordants lorsqu'on les examine suivant leur période propre,

mais deviennent, au contraire, concordants lorsqu'on les considère dans une de leurs harmoniques. Nous donnons par exemple (fig. 13) la direction des forces d'inertie sur les manetons du vilebrequin d'un moteur 6 cylindres pour la fréquence propre et les cinq premières harmoniques. On voit que pour la fréquence  $\frac{N}{2}$  qui est celle de la rotation du vilebrequin, ces forces sont discordantes. Elles engendrent un couple pour la fréquence  $\frac{3N}{2}$ . Elle deviennent concordantes pour la fréquence  $3N$  : ce sont évidemment les fréquences  $\frac{3N}{2}$  et  $3N$ , dites harmoniques « troisième » et « sixième », qui provoqueront les vibrations redoutables.

Nous croyons en avoir assez dit pour avoir montré combien le problème des vibrations dans un moteur d'automobile apparaît comme complexe et difficile à résoudre. Il n'est pas surprenant, par conséquent, de voir que les efforts dépensés sans compter par les ingénieurs et les constructeurs de l'automobile n'arrivent que lentement à leur but et ne l'atteignent pas toujours. L'automobile, qui apparaît aux profanes comme une chose bien simple, se révèle au contraire comme un ensemble terriblement compliqué et rebelle à l'analyse quand on cherche à le perfectionner au maximum.

La construction automobile a commencé dans l'empirisme pur. Elle est passée progressivement dans le domaine de la science, et l'on voit que la mathématique devient maintenant d'utilisation courante pour qui veut chercher à approcher de la perfection.

HENRI PETIT.

L'approvisionnement en matières premières de l'industrie textile allemande a été rendu fort difficile, au cours de ces dernières années, par le manque des devises nécessaires pour l'importation. Aussi le Reich a-t-il cherché à accroître la production nationale tant dans le domaine agricole qu'industriel. L'Institut de Conjoncture de Berlin vient de faire connaître la situation actuelle, sensiblement améliorée depuis cinq ans. Ainsi, la production de *lin* est passée de 3 100 t en 1932 à 33 200 t en 1937, couvrant ainsi 80 % des besoins de l'industrie textile. Pour le *chanvre*, le tonnage, qui atteint 7 500 t en 1937 contre 200 t en 1933, est encore très insuffisant. Enfin, la production indigène de *laine* demeure faible (7 500 t, 10 % des besoins), mais le cheptel ovin s'est accru de 1 million de têtes depuis 1935. C'est cependant dans le domaine des produits de synthèse que la progression est la plus importante : laine de cellulose (*Zellwolle*), 100 000 t en 1937 contre 5 400 t en 1933 ; soie artificielle 57 000 t contre 28 700 t. Grâce à cet accroissement de la production industrielle des fibres de remplacement, l'industrie textile allemande a pu franchir la période critique où le manque de devises risquait de ralentir son activité.

# A PROPOS D'ARTILLERIE

## A GRANDE PUISSANCE (A. L. G. P.)

Par le général A. NIESSEL

*L'artillerie à grande puissance utilise à leur limite extrême les « possibilités » de la technique industrielle, dans l'état actuel de cette technique. Pour ses canons et ses projectiles, elle exige donc, notamment, le meilleur acier ; comme propulseurs et détonants, les explosifs les plus stables comme les plus puissants ; pour ses appareils d'observation et de pointage, les optiques et dispositifs mécaniques les plus parfaits. En moins d'un demi-siècle, la puissance d'une bouche à feu, caractérisée par la force vive du projectile à la bouche, a été multipliée par six pour les canons à longue portée de la marine et même par vingt pour des pièces exceptionnelles comme la fameuse « Bertha » de 1918. Les progrès de la sidérurgie (emploi d'aciers spéciaux à forte teneur en nickel, chromé, manganèse, molybdène) ont permis d'obtenir des limites élastiques dépassant 60 kg/mm<sup>2</sup> contre 35 à 40 seulement au début de 1914, tout en réduisant notablement la résilience (fragilité) et en augmentant la résistance à l'usure particulièrement rapide pour les pièces de gros calibres. La « Grosse Bertha » développait une vitesse initiale à la bouche de 1 600 m/s et son projectile portait à 128 km en parcourant la plus grande partie de sa trajectoire dans les couches élevées de l'atmosphère (entre 30 et 40 km d'altitude). Le général Niessel expose ici, d'après les derniers renseignements inédits, ce que nous savons de cet engin, le plus puissant réalisé, à ce jour, dans le monde. Les artilleurs allemands se sont toujours efforcés, depuis la guerre, à tenir aussi secrètes que possible les caractéristiques techniques de ces puissants engins.*

**O**n s'est beaucoup étonné, en mars 1918, quand des obus allemands, lancés par la pièce qu'on a qualifiée de « Grosse Bertha » tombèrent sur Paris, vu l'énorme portée atteinte, 128 km.

Il ne s'agissait pourtant pas de l'application de principes tout à fait nouveaux. Dès 1909, un chef d'escadron d'artillerie français, le commandant Charbonnier, dans des études de balistique intérieure, avait montré la possibilité, grâce à une vitesse initiale atteignant de 1 450 à 1 500 m/s et en établissant un tube capable de résister à des pressions de 4 000 kg par cm<sup>2</sup>, de lancer un projectile de 100 kg à une distance d'environ 125 km.

Aucun Français n'ayant vu la « Grosse Bertha », il est prudent d'accueillir avec réserve les renseignements à son sujet. Pourtant, un de nos artilleurs les plus distingués, le regretté général Challiat, avait réuni toutes les données connues sur le tir de la « Grosse Bertha ».

Nous allons résumer après lui cette documentation en la complétant par quelques renseignements puisés dans la revue américaine *Army Ordnance* et dans diverses autres revues françaises et étrangères, en particulier dans notre *Revue de l'Armée de l'air*.

### Le canon de 34 m de long et l'obus à fausse ogive

La pièce allemande était constituée par un tube de 38 cm de marine dans lequel une chemise intérieure ramenait le calibre à 21 cm. Sa longueur était de 160 calibres, c'est-à-dire de 34 m environ. Elle pesait 200 t et l'ensemble, pièce, affût et accessoires, atteignait l'énorme poids de 750 t. Le diamètre extérieur, à hauteur de la chambre contenant la charge, atteignait 1 m. En prévision de l'usure rapide et inévitable par suite de l'énorme vitesse initiale, la chemise intérieure était amovible et il avait été calculé qu'il faudrait changer ce tube au bout de 65 coups ; ce renseignement est donné sous toute réserve.

Ces 65 obus étaient munis d'une fausse ogive très effilée pour améliorer le trajet dans l'air. Leur calibre passait progressivement de 21 à 23,5 cm pour tenir compte de l'usure du tube, si bien que leur poids variait de 100 à 115 kg ; leur longueur variait également de 0,90 m pour le n° 1 de la série à 1,11 m pour le n° 65. Les obus avaient deux fusées, l'une de culot, l'autre dans le diaphragme, de façon à éviter tout raté d'éclatement, afin qu'un projectile non éclaté ne pût fournir des renseignements.

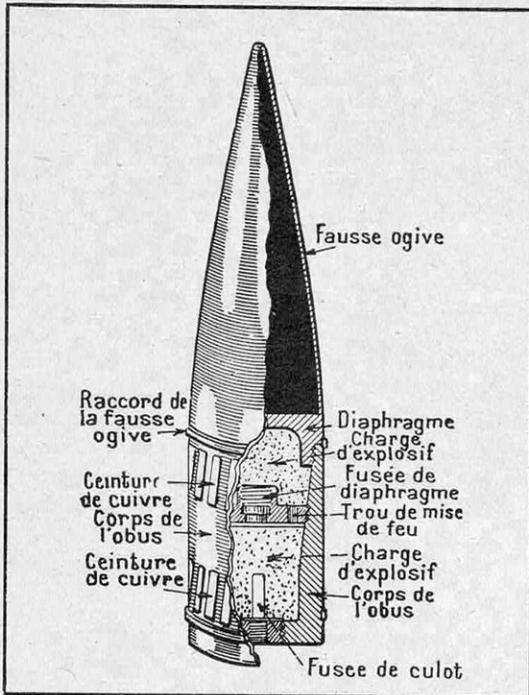


FIG. 1. — COUPE D'UN OBUS DE LA « BERTHA » Munis d'une fausse ogive, les obus — dont le calibre passait de 21 à 23,5 cm pour tenir compte de l'usure de la pièce au cours des soixante-cinq coups qu'elle devait tirer — pesaient de 100 à 115 kg et leur longueur variait de 0,90 m à 1,11 m. Ils étaient munis de deux fusées afin d'éviter tout raté d'éclatement, un projectile non éclaté pouvant fournir d'utiles renseignements à l'armée française.

La charge était de 150 kg de poudre tubulaire dont chaque élément avait le diamètre d'une forte canne. Elle devait assurer une vitesse initiale considérable, de l'ordre de 1 600 m environ. D'après un renseignement non certain, à l'avant les rayures étaient prolongées par une partie lisse, disposition qui aurait permis d'obtenir un gain de portée intéressant.

Le tube intérieur a été, paraît-il, changé régulièrement au bout de chaque série de 65 coups.

Le coup de canon revenait à 35 000 marks.

La longueur de la pièce était telle qu'elle avait tendance à se courber ; aussi, la volée était-elle soutenue par un haubanage. Avant chaque coup, on vérifiait avec soin, au moyen d'une glace en verre dépoli placée à la bouche et d'une lunette à réticule introduite à la place de la culasse, que l'âme était bien rectiligne.

Son nom officiel était *Ferngeschütz* (canon à longue portée). On l'appelait aussi *Pariser Geschütz* (canon de Paris). Le terme *dicke Bertha* (grosse Bertha) n'avait rien d'officiel.

## L'installation et la manœuvre de la pièce à très longue portée

L'installation de cette énorme pièce exigeait la construction d'une puissante plateforme bétonnée, en partie enterrée. Son camouflage avait été assuré avec le plus grand soin pour la protéger contre l'observation aérienne et, en outre, dix escadrilles étaient spécialement consacrées à barrer la route aux avions français qui seraient venus la reconnaître. Enfin, de nombreuses batteries étaient employées à gêner l'observation par le son.

Tous ces moyens étaient à la disposition



FIG. 2. - CE FRAGMENT D'OBUS DE LA « GROSSE BERTHA » A PERMIS DE RECONSTITUER LA FORME ET LES DÉTAILS DU PROJECTILE

Le corps de l'obus mesurait de 500 à 511 mm de hauteur ; l'épaisseur de ses parois mesurait 25 mm à la partie supérieure, 40 mm à la partie inférieure. La charge d'explosif de ce projectile était formée de 12 kg de tolite environ.

du vice-amiral Rogge, chargé de diriger le tir avec le concours du professeur Rausenberger, qui avait eu une large part dans la construction de la pièce et dans l'établissement des tables de tir qui avaient été très minutieusement calculées en tenant compte des poids variables des projectiles. La hauteur de la flèche devait atteindre 40 km et la durée du trajet être de 3 minutes et demie, dont 2 minutes dans la stratosphère. La direction originale du tir avait été très exactement déterminée par des procédés géodésiques.

Soixante canonniers marins assuraient le service de la « Grosse Bertha ». Il fallait de 15 à 20 minutes pour charger et pointer la pièce.

### Le camouflage et les trois emplacements de la « Bertha »

Pour protéger cette pièce précieuse contre un envahissement possible des troupes françaises, une solide position défensive avait été établie en avant d'elle.

Afin d'assurer le réglage de son tir, pour lequel on ne pouvait recourir de jour à l'aviation, un service de renseignements spécial avait été organisé par agents, dans le courant de février, à Paris même, avec transmission des résultats par la Suisse.

Il a été utilisé par les Allemands trois emplacements différents pour ces pièces :

a) Un près de Laon, à 122 km de Paris,

utilisé du 23 mars au 1<sup>er</sup> mai et du 5 au 9 août, duquel trois pièces ont tiré sur Paris de trois points différents ;

b) Un à Ham, près de la voie ferrée de Laon à Amiens, à 100 km de Paris (1) ;

c) Un à 16 km au nord de Château-Thierry, près de Fère-en-Tardenois, à envi-

ron 80 km de Paris ; ce dernier ne fut utilisé qu'à partir de mai. Notre victorieuse offensive du 18 juillet força à l'évacuer en grande hâte.

Le premier coup fut tiré le 23 mars 1918. Pour le préparer, des sondages avaient été poussés jusqu'à 35 000 m d'altitude, moins par conséquent que la flèche de la trajectoire, puisque celle-ci atteignait 40 km.

A 5 heures, la pièce fut chargée et pointée sous l'angle de 62°. A 6 heures, les batteries annexes étaient prêtes, à 6 h 15 les avions prirent leur vol. Le pointage fut soigneusement vérifié et tout le personnel s'abrita. Le commande-

ment de « feu » fut donné à 7 h 9 mn 50 s. Le feu cessa à 14 heures quand le soleil se leva, par crainte de l'aviation française.

Le tir fut repris le 24 avec toutes les mêmes précautions de camouflage, bien entendu,

(1) D'après l'observation des points de chute et des ellipses de dispersion, ces deux premiers emplacements auraient été occupés simultanément, ainsi qu'un troisième abandonné peu après. Les trois pièces en question auraient tiré en série de manière à dépister le repérage.

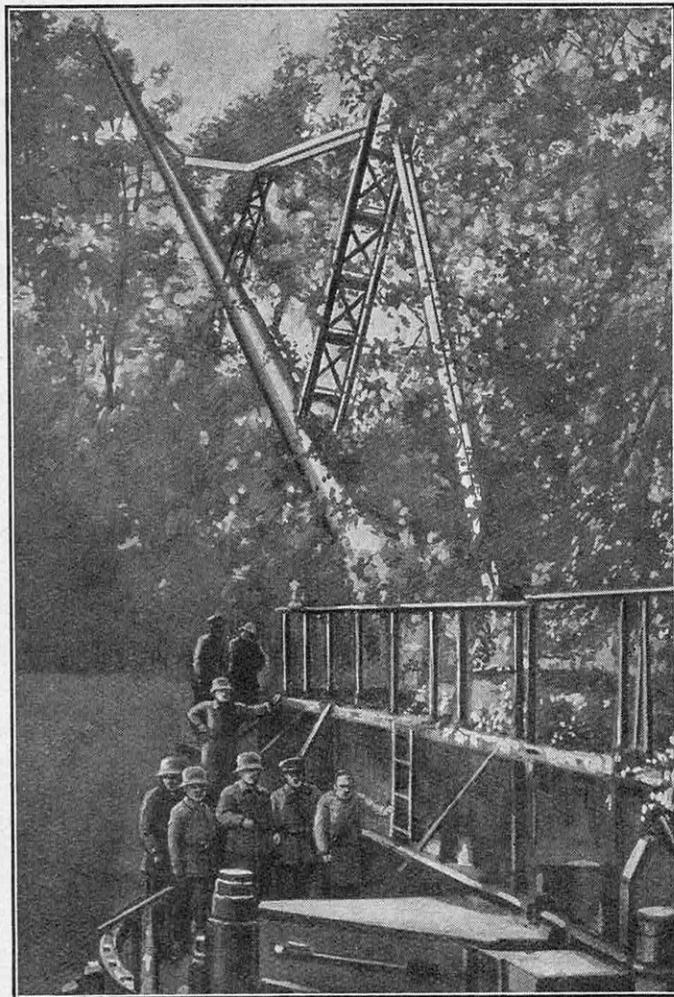


FIG. 3. - LA GROSSE « BERTHA » EN POSITION DE TIR  
La longueur du tube (34 m) était telle qu'il avait tendance à se courber. Aussi la volée était-elle soutenue par un dispositif spécial, analogue aux câbles supportant le tablier d'un pont suspendu.

bien qu'on n'eût pas encore reçu de renseignements sur l'effet produit la veille. Le premier coup fut tiré à 7 heures, un second à 7 h 20, un troisième à 7 h 45. Cette fois, ces trois coups tombèrent sur Paris. On sut dans la journée, par la Suisse, que les journaux parisiens avaient annoncé la chute d'obus dans Paris. Le tir fut donc continué. On se rappelle les graves conséquences d'un obus qui atteignit l'église Saint-Gervais. D'après les documents allemands, la « Grosse Bertha » (1) tira en tout 320 coups, dont 180 auraient — d'après les observateurs — atteint Paris et 140 seraient tombés en dehors de la capitale. D'après un rensei-

L'artillerie française lourde sur voie ferrée entra bientôt en action. Dès le 24 mars, un de nos obus tomba à 250 m du poste de commandement, bientôt suivi d'un second. Toutefois, des écoutes établies à 4 km en avant de la pièce permettaient d'avertir de nos tirs. Le passage des obus français était annoncé de là par téléphone, et le personnel avait le temps — 5 à 6 secondes pour la durée du trajet restant à parcourir par le projectile (1) — de rentrer dans les abris.

L'aviation avait cependant pu commencer le 11 avril à repérer les trois emplacements de pièce de la région de Laon, mais, jusqu'au 3 mai, l'état de l'atmosphère et la nécessité

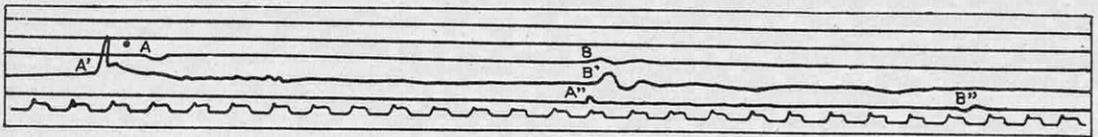


FIG. 4. — VOICI LA BANDE D'ENREGISTREMENT, CORRESPONDANT A L'OBUS TOMBÉ LE 1<sup>er</sup> JUIN 1918 ENTRE DUGNY ET LE BOURGET, QUI A SERVI AU REPÉRAGE PAR LE SON DE LA « BERTHA » INSTALLÉE PRÈS DE HAM

On remarque sur cette bande, en A, A', A'', l'enregistrement de l'onde balistique aux trois sommets du triangle d'observation installé à Stains, près de Saint-Denis (Seine); en B, B', B'', l'enregistrement de l'onde d'éclatement aux sommets de ce même triangle. La ligne sinueuse du bas représente les temps donnés par un chronographe, la distance séparant deux sommets consécutifs correspondant à 1/10 de seconde. La méthode mise en œuvre pour le repérage de la pièce consistait à déterminer trois points de la portion terminale de la trajectoire : d'une part son point de chute, d'autre part deux autres points résultant des mesures effectuées aux sommets de deux triangles, dont l'un était à Stains et l'autre au fort de l'Est, à Saint-Denis. Le temps mis par le projectile pour franchir la distance entre ces deux points, mesurée en centièmes de seconde, fournissait la valeur de la vitesse restante du projectile au voisinage de son point de chute. Ces éléments suffisaient pour calculer toute la trajectoire.

gnement non vérifié, une des pièces aurait éclaté au bout de quelques coups; une ou deux autres auraient été loin de pouvoir tirer les soixante-cinq coups prévus pour chaque série.

Les Allemands avaient cru que ce tir, au moment où se déclenchait leur première grosse offensive de 1918, ébranlerait, par sa surprise, le moral de la population parisienne. Malgré le coup malheureux de l'église Saint-Gervais, leur attente fut trompée.

### Comment les « Grosses Bertha » furent découvertes

Malgré les précautions prises par les Allemands pour camoufler le tir des « Grosses Bertha », le repérage au son et l'aviation fournirent, à leur grande surprise, des éléments suffisants pour permettre la riposte. Le mauvais temps gêna les observations précises de notre aviation jusqu'au 3 mai, mais, d'après le repérage au son, le tir fut cependant exécuté sur zone.

(1) Ou les différentes « Grosses Bertha ».

d'installer un appareil émetteur-récepteur de T. S. F. à bord de l'avion d'observation ne permit pas d'exécuter un réglage précis. Ce jour-là, premier où ce fut possible, un coup tomba à 10 m du but. Une des pièces ne tirait plus depuis le début d'avril; une autre dut être atteinte par ce tir; la troisième fut retirée et ne tira plus.

Quand la pièce de Fère-en-Tardenois entra en action, elle fut tout de suite très vigoureusement contrebattue par l'artillerie française à grande portée et par le bombardement d'avions, de jour et de nuit.

Le dernier tir eut lieu le 9 août, de l'emplacement voisin de Ham; après quoi, la pièce fut démontée et ramenée en Allemagne.

Chose curieuse, nos commissions de contrôle n'ont trouvé nulle part en Allemagne la moindre trace de la « Grosse Bertha ».

Général A. NIESSEL.

(1) Nous avons employé le même procédé, à Dunkerque, dès 1915. Les obus allemands à grande portée étaient signalés à leur passage sur nos lignes et avis étaient donnés aux sirènes d'avertissement de la ville; on avait largement le temps de gagner les abris.

# LA PRODUCTION ÉCONOMIQUE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE : TURBINE A VAPEUR, TURBINE HYDRAULIQUE, MOTEUR DIESEL

Par M. GAUTIER  
INGÉNIEUR EN CHEF DE LA MARINE

*L'organisation rationnelle de la production et de la distribution de l'énergie électrique constitue un problème complexe où doivent entrer en ligne de compte non seulement l'importance et la distribution des ressources naturelles en combustibles dont disposent la métropole et ses colonies, mais encore la sécurité des centres de production en cas de conflit extérieur. En France, à cet égard, les grandes centrales hydrauliques semblent être, dans les conditions actuelles, particulièrement vulnérables, au point de vue militaire comme au point de vue économique. L'examen systématique des éléments qui entrent dans le prix de revient du kWh (à la production) met en évidence ce fait : les grandes centrales hydrauliques ou thermiques (vapeur) ne fonctionnent économiquement qu'au voisinage de leur capacité maximum. C'est à elles que doivent donc incomber la prise en charge, la fourniture d'« énergie de base » qui correspond à la portion sensiblement constante de la demande journalière. Par contre, l'« énergie de pointe » pourrait être avantageusement fournie par des centrales à moteurs Diesel, de rendement élevé, de construction et d'exploitation moins onéreuses. En effet, leur souplesse de fonctionnement leur permet de mieux s'adapter à des variations même rapides de la charge. Les récents progrès réalisés dans la construction mécanique permettent maintenant d'établir des unités « géantes » dont la puissance peut atteindre jusqu'à 30 000 kW. Aussi, dans certains pays (Danemark, Angleterre, Etats-Unis), le moteur Diesel de grande puissance unitaire concurrence-t-il déjà la turbine à vapeur pour la production de l'énergie électrique. En France, de lourdes taxes frappent les combustibles liquides (Diesel oil en particulier) et nuisent, sans doute, à un essor comparable de ces moyens de production.*

**L** convient d'envisager la production de l'énergie électrique sous le double aspect, d'une part, de la sécurité (en tout temps et en toutes circonstances) et, d'autre part, de l'économie.

Aucune partie des pays dont les dimensions transversales n'excèdent pas sensiblement 600 à 800 km ne serait, aujourd'hui, à l'abri d'une incursion aérienne partant des pays limitrophes. L'agresseur prendrait évidemment pour objectifs leurs centres vitaux et, tout particulièrement, leurs centrales. C'est le cas de la France, en particulier. Aussi convient-il tout d'abord de ne pas placer, autant que possible, les centrales au voisinage des frontières les plus exposées, de les multiplier, dans une certaine mesure, afin de ne pas « placer tous ses œufs dans le même panier » et de disposer, pour ainsi dire, de centrales de rechange, en cas de coup heureux au but ; enfin, il convient sinon de protéger les centrales, du moins de les masquer, autant que possible,

aux vues de l'ennemi. On conçoit alors qu'un dispositif constitué uniquement par quelques grosses centrales hydrauliques ne serait pas absolument satisfaisant. Il est, en effet, impossible de les protéger et même simplement de les masquer, en raison de leur situation particulière isolée et du lac de retenue qui les précède généralement. Elles sont, par conséquent, fort vulnérables. En tout cas, un tel ensemble paraît devoir être complété par un réseau de centrales thermiques installées dans des régions convenablement choisies.

Nous allons voir que l'examen de la question au point de vue économique conduit à des conclusions analogues.

Plus que jamais, en effet, en raison des charges qui pèsent sur elle, l'industrie est obligée de comprimer au maximum ses frais généraux et, en particulier, de réduire au minimum ses dépenses de force motrice.

Or, le prix de vente au tableau d'arrivée de courant, qui seul intéresse l'utilisateur,

est la résultante de plusieurs termes. Il comprend, d'une part, le prix de revient à la production, lequel est fonction :

1° Des dépenses d'amortissement et de l'intérêt du capital engagé relatifs aux bâtiments et aux ouvrages d'art de la centrale, au matériel de production, aux auxiliaires et aux installations accessoires ;

2° Des dépenses d'exploitation : salaires et appointements du personnel d'exploitation, dépenses de combustible, d'huile de graissage, d'eau et frais généraux correspondants ;

3° Des dépenses d'entretien et de réparations : salaires et appointements du personnel d'entretien, dépenses de matières et de matériel d'entretien et de réparations.

Il comprend, d'autre part, les frais de distribution, lesquels sont fonction des mêmes catégories de dépenses que ci-dessus relatives au réseau de distribution ainsi qu'aux postes et aux sous-stations.

Parmi ces diverses catégories de dépenses, il convient de remarquer que les dépenses d'exploitation et, dans une certaine mesure, celles d'entretien, varient en quelque sorte proportionnellement à la quantité d'énergie livrée, tandis que les dépenses d'amortissement et l'intérêt du capital engagé, dont l'ensemble constitue les charges de premier établissement, en sont entièrement indépendantes.

Il en résulte que le prix de vente, par kWh, de l'énergie sera d'autant plus faible que la quantité d'énergie livrée sera plus grande. En conséquence, il y a le plus grand intérêt à ce que la centrale fournisse constamment la quantité d'énergie maximum compatible avec la puissance de ses installations.

Malheureusement, il ne peut généralement pas en être ainsi.

Tout d'abord, en effet, la demande d'énergie varie beaucoup au cours d'une journée. De nuit, la centrale n'a à fournir, en général, que l'éclairage urbain, ainsi que la force motrice et l'éclairage des usines à fonctionnement continu. Le matin et l'après-midi, la demande d'énergie devient, au contraire, très importante, lorsque les usines sont en marche. Il se produit même, par moment, des pointes notables, lorsque certaines grosses machines sont mises en route ou lorsque les gros moteurs de traction viennent à démarrer. Le soir, la demande d'énergie s'accroît encore brusquement, lorsque l'éclairage commence à fonctionner.

Par ailleurs, certaines industries, dites « saisonnières », ne fonctionnent que pendant certaines périodes de l'année.

Il convient d'ajouter, enfin, qu'en période de crise, la demande d'énergie arrive quelquefois à diminuer notablement.

On conçoit donc que, si la centrale a été conçue pour pouvoir répondre à toute demande d'énergie qui peut lui être faite, le rapport moyen de la quantité d'énergie livrée à la quantité totale d'énergie disponible à la centrale, qu'on nomme encore le *facteur de puissance moyen*, peut être très inférieur à l'unité. C'est, en particulier, le cas des centrales américaines, dont le facteur moyen de puissance, d'après les statistiques, oscille entre 0,50 et 0,75, et c'est aussi le cas pour la France.

Or, c'est un fait que les charges de premier établissement paraissent notablement plus grandes pour les centrales hydrauliques que pour les centrales thermiques. Dans un rapport de 1934 sur la production de l'énergie électrique en France, en effet, M. le sénateur Mollard indique que ces charges représentent 70 % du prix de revient, tandis qu'elles ne représentent que 37 % de ce prix, pour les usines thermiques à 250 km de la région desservie, et que 20 % pour les usines thermiques au lieu d'utilisation. Ces pourcentages sont à rapprocher de ceux indiqués, en 1935, par M. E. Mercier : les charges en cause représentaient 80,9 % du prix de revient pour les usines hydrauliques, et 50 % de ce prix pour les usines thermiques. Il résulte de ces constatations que les usines hydrauliques sont beaucoup plus sensibles aux variations du facteur de puissance que les usines thermiques ; il paraît donc rationnel de ne pas les multiplier outre mesure, en raison des crises éventuelles toujours à craindre et, en tout cas, il est incontestablement utile de les libérer, tout au moins de la fourniture de l'énergie saisonnière et de l'énergie en pointe.

### **La centrale à moteurs Diesel est de construction moins onéreuse qu'une centrale à vapeur**

C'est un fait incontestable que, parmi les machines motrices, c'est le moteur Diesel qui possède le rendement le plus élevé. Il peut atteindre et même dépasser 37,5 %, en particulier, en suralimentant le moteur par turbo-compresseur fonctionnant sur les gaz d'échappement. Le rendement total peut même dépasser 60 % lorsqu'on utilise l'eau de circulation et les gaz d'échappement en vue du chauffage urbain (1). Le rendement du groupe chaudières-turbines est bien moins élevé ; il n'a pu être amélioré d'ailleurs qu'au

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 226, page 284.

prix de perfectionnements nombreux : réchauffeurs d'eau d'alimentation, surchauffeurs de vapeur, chaudières à haute pression à alimentation automatique, extraction mécanique des mâchefers et des cendres, tous perfectionnements qui se traduisent par une augmentation importante de l'encombrement des installations, du volume des bâtiments destinés à les loger et de la surface totale de terrain à immobiliser.

utilisée par une centrale à moteurs Diesel est beaucoup plus petite que celle utilisée par une centrale à vapeur, ou, en d'autres termes, que la puissance totale installée par mètre carré de surface de terrain est beaucoup plus grande pour la centrale à moteurs Diesel que pour la centrale à vapeur.

Ainsi, tandis qu'elle ne dépasse pas  $13,6 \text{ kW/m}^2$  pour la centrale Arrighi, de Paris, de 220 000 kW, qui est une des plus

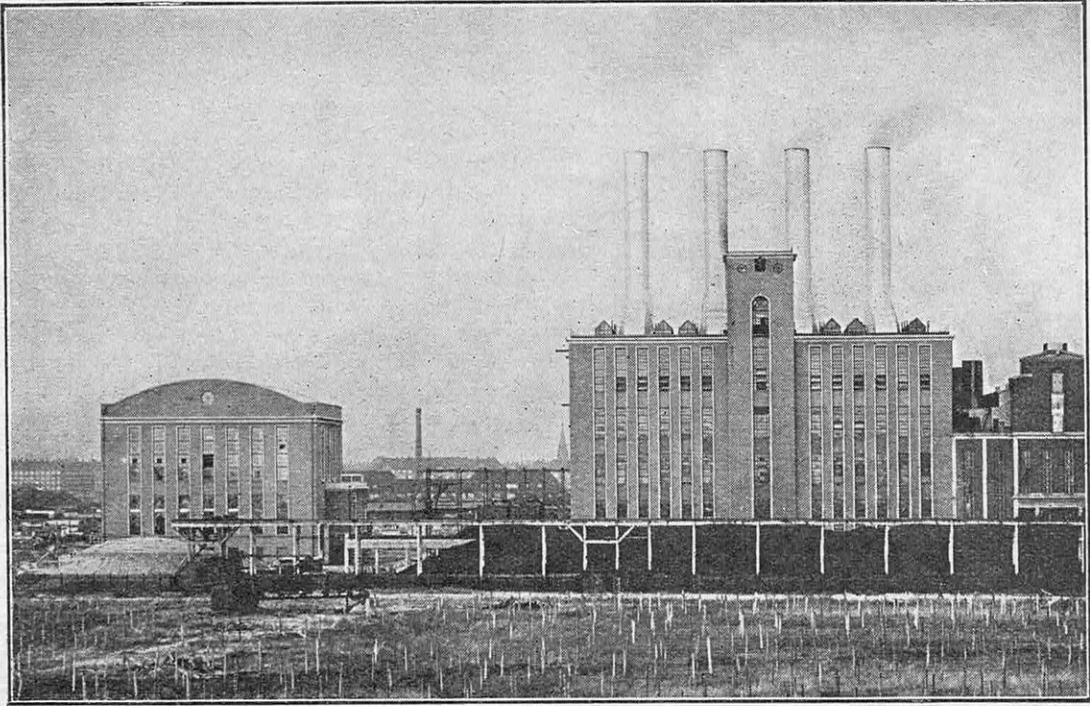


FIG. 1. — DEUX CENTRALES ÉLECTRIQUES DE PUISSANCES SENSIBLEMENT ÉGALES : A GAUCHE, CENTRALE A MOTEURS DIESEL (1) (60 000 kW) ; A DROITE, CENTRALE A VAPEUR (64 000 kW)

*La centrale Ørstedt, de Copenhague, est une des plus puissantes centrales à moteurs Diesel du monde. On notera la grande différence de volume entre les deux bâtiments qui abritent des puissances installées équivalentes. La surface du parc à combustible est aussi moins importante dans le cas du fuel oil que pour le charbon, sans compter la place nécessaire à l'évacuation des résidus et aux pompes.*

C'est ainsi, par exemple, que le parc à charbon d'une centrale à vapeur occupe une surface environ six fois plus grande que le parc à combustibles liquides d'une centrale à moteurs Diesel de même puissance, à égalité de durée de fonctionnement. En outre, la centrale à vapeur requiert de nouvelles surfaces de terrains pour le stockage provisoire des mâchefers et des cendres, et pour l'importante station de pompage destinée à alimenter l'installation de condensation qui comporte de très grosses tuyauteries.

Il en résulte immédiatement qu'à égalité de puissance la surface totale de terrain

(1) Le premier groupe de 15 000 kW est seul installé.

grandes centrales modernes à vapeur, elle atteint  $23,3 \text{ kW/m}^2$  pour la centrale de Copenhague de 60 000 kW, qui est une des plus grandes centrales modernes à moteurs Diesel. La figure 1 et le tableau page 68 montrent, d'une façon saisissante, la comparaison entre les dimensions des installations, à Copenhague, d'une centrale à vapeur et d'une centrale à moteurs Diesel de 60 000 kW environ chacune.

Les maisons Burmeister et Wain's, de Copenhague, et MAN, de Nuremberg-Augsbourg, ont étudié, d'ailleurs, d'intéressants projets de centrales à moteurs Diesel de  $4 \times 30\,000 = 120\,000 \text{ kW}$  pour lesquels la

Caractéristiques	Centrales à vapeur	Centrales à moteurs Diesel
Surface du bâtiment ..	4 602 m <sup>2</sup>	2 574 m <sup>2</sup>
Surface du parc à combustible .....	8 300 m <sup>2</sup>	1 260 m <sup>2</sup>
Surf. totale du terrain.	12 902 m <sup>2</sup>	3 734 m <sup>2</sup>
Hauteur approximative du bâtiment...	36 m	23 m 20

ENCOMBREMENTS DES CENTRALES DE 60 000 kW, A VAPEUR ET A MOTEURS DIESEL

surface d'implantation est encore plus faible que celle de la centrale de 60 000 kW de Copenhague, puisqu'elles sont susceptibles de loger plus de 30 kW/m<sup>2</sup>.

Les charges de premier établissement relatives aux terrains et aux bâtiments sont donc, pour la station centrale à moteurs Diesel, très inférieures à celles de la centrale à vapeur de même puissance.

En ce qui concerne les installations de production d'énergie, il est indéniable que le moteur Diesel comprend des organes plus compliqués et, par suite, plus coûteux que la turbine à vapeur. Mais il convient de remarquer que ce type de moteur se suffit à lui-même ; ses auxiliaires, en partie mûs par le moteur lui-même, comprennent seulement une pompe à eau, une pompe de graissage, une pompe de transfert de combustible et un compresseur d'air indépendant pour assurer le remplissage des bouteilles de lancement à l'arrêt. La turbine à vapeur, au contraire, nécessite une installation complexe de chaudières et de condenseurs avec leurs multiples auxiliaires et d'importantes installations de transport et de manutention de charbon.

Il semble, de ce fait, pouvoir s'établir une compensation.

D'après de nombreux exemples, tant en France qu'à l'étranger, il semble qu'en 1936 le kW installé, dans les centrales de faible puissance (quelques centaines de kilowatts), pouvait revenir en moyenne aux environs de 1 800 f pour les centrales à moteur Diesel et de 2 400 f pour les centrales à vapeur.

Le prix de revient du kW installé baisse d'ailleurs rapidement, en ce qui concerne les centrales à moteurs Diesel, quand la puissance s'accroît. C'est ainsi qu'en 1936 une société française qui construit des moteurs type «MAN», estimait que le prix de revient du kW installé pouvait varier entre 1 470 f environ pour les centrales de moyenne puissance et 735 f environ pour les centrales de grande puissance. Ce dernier prix est à rapprocher de celui estimé par M. Black, direc-

teur technique de la centrale Øerstedt de Copenhague, d'après lequel le prix de revient du kW installé ne devait pas dépasser 835 f pour une centrale d'une puissance totale de 60 000 kW répartie en quatre groupes de 15 000 kW.

### Qui produit l'énergie à meilleur compte : le moteur Diesel ou la turbine à vapeur ?

Les dépenses d'exploitation d'une centrale thermique portent sur le combustible, l'huile de graissage, la main-d'œuvre et l'entretien du matériel.

En ce qui concerne les dépenses de combustible à pleine charge, les courbes de la figure 2 indiquent la valeur de la consommation en kilogrammes par kWh produit pour différentes valeurs de la puissance installée, compte tenu de l'énergie absorbée par le fonctionnement des auxiliaires. Pour les centrales à vapeur, il s'agit de charbons dont le pouvoir calorifique inférieur est voisin de 7 000 cal/kg. Pour les centrales à moteurs Diesel, il s'agit de fuel oils dont le pouvoir calorifique inférieur est voisin de 10 000 cal/kg.

Bien entendu, les prix de ces deux combustibles, solide et liquide, sont loin d'être semblables ; vers la fin de 1936, ils variaient, pour le charbon, entre 120 et 150 f la tonne sur wagon-départ, et pour le fuel oil, entre 518 et 628 f la tonne sur wagon-citerne.

Mais, pour avoir une idée exacte des dépenses de combustible par kWh, il ne suffit pas de multiplier les prix indiqués précédemment par la quantité correspondante de combustible consommée à pleine charge par kWh, parce qu'en fait les centrales sont loin de travailler toujours à pleine charge. Leur facteur de puissance est compris entre 0,50 et 0,75 en général. Or, la consommation de combustible par kWh de la centrale à vapeur croît beaucoup plus rapi-

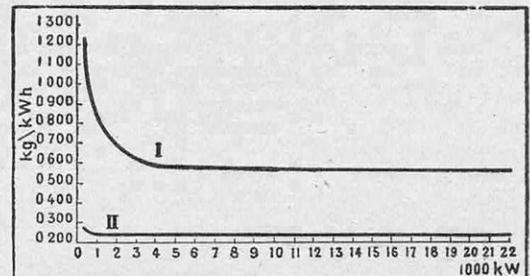


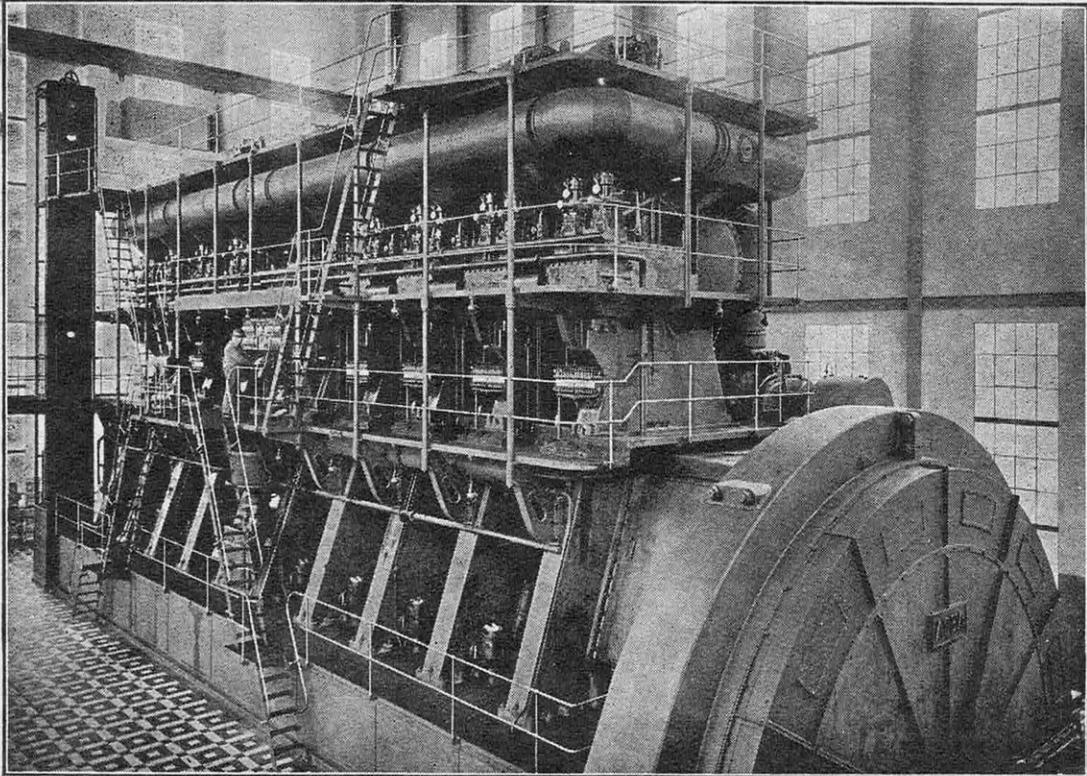
FIG. 2. — COURBES DE LA CONSOMMATION DE COMBUSTIBLE PAR kWh D'UNE CENTRALE A VAPEUR (I) ET D'UNE CENTRALE A MOTEURS DIESEL (II)

dement que celui de la centrale à moteurs Diesel (1) lorsque la puissance décroît à partir de la puissance maximum (fig. 2).

Si l'on tient compte de ces nouveaux facteurs (nous laissons au lecteur le soin de faire ce calcul simple), on trouve que, vers la fin de 1936, lorsque le facteur de puissance est compris entre 0,50 et 0,75, les dépenses de combustibles par kWh sont moindres pour

moteur Diesel ne dépasse pas 2 g par ch.h ; aussi, bien que le prix de l'huile de graissage soit assez élevé, la dépense d'huile de graissage ne représente qu'une faible partie de la dépense de combustible et ne saurait par suite modifier sensiblement les conclusions précédentes.

En ce qui concerne l'eau, c'est l'inverse de ce que nous avons dit pour l'huile de grais-



(Burmeister et Wain's.)

FIG. 3. — VUE D'ENSEMBLE DE L'UN DES TROIS MOTEURS DE 15 000 kW (22 000 CH) DE LA CENTRALE A MOTEURS DIESEL DE COPENHAGUE (DANEMARK)

*Ces moteurs, du type à deux temps, double effet, sont parmi les plus puissants construits jusqu'à ce jour dans le monde. Ils possèdent 8 cylindres et tournent à 115 t/mn. Chacun d'eux pèse 1 250 t et mesure 19 m de longueur. Les alternateurs sont accouplés au moteur par l'intermédiaire d'un « damper » (amortisseur) qui étouffe les vibrations provenant du moteur à combustion interne.*

les centrales à Diesel utilisant des groupes de puissance unitaire égale ou inférieure à 2 000 kW que pour les centrales à vapeur correspondantes.

En ce qui concerne l'huile de graissage, la dépense est certainement plus faible pour la turbine à vapeur que pour le moteur Diesel, en raison du plus grand nombre d'organes à lubrifier et de la perte d'huile dans la chambre de combustion. Toutefois, la consommation d'huile de graissage d'un bon

sage : la centrale à vapeur nécessite un très grand débit d'eau froide pour le refroidissement de ses condenseurs, et d'autant plus que le vide doit être poussé davantage. Le moteur Diesel, au contraire, n'a besoin que d'un faible débit d'eau, de l'ordre de 25 litres par ch, pour le refroidissement de ses organes et de l'huile utilisée pour le graissage, et, le cas échéant, pour la réfrigération des pistons. La quantité d'eau effectivement nécessaire peut d'ailleurs être réduite aux pertes, c'est-à-dire à une quantité insignifiante, si — ce qui est aisé en raison du faible débit ci-dessus — on installe un aéro-

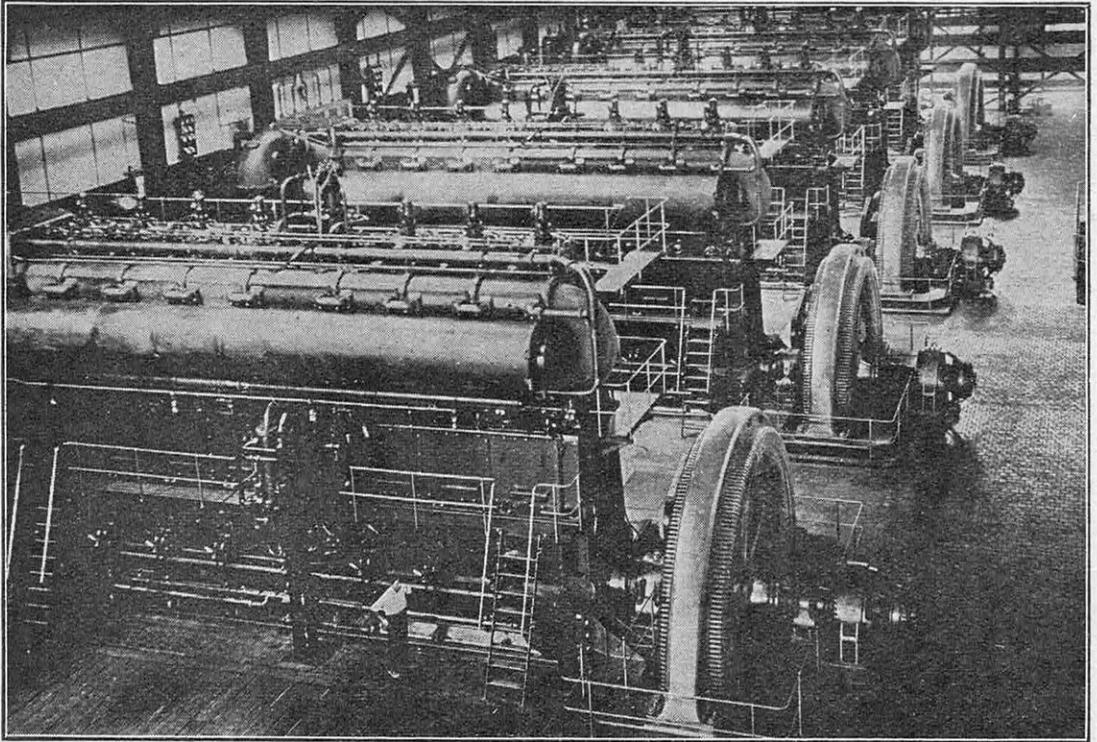
(1) En ce qui concerne le moteur Diesel lui-même, la consommation passe même par un minimum aux trois quarts de la puissance maximum.

réfrigérant, ce qui permet de réaliser la circulation d'eau en circuit fermé.

La centrale à vapeur — avec sa chaufferie, sa chambre de machines, sa chambre de condensation, ses auxiliaires nombreux et complexes, son parc à charbon étendu, ses installations de manutention et de transport de charbons, des cendres et des scories — nécessite, à priori, un personnel d'exploitation et de surveillance beaucoup plus nom-

route et à la surveillance de deux moteurs lorsque les tableaux de manœuvre de ces deux moteurs sont placés en face l'un de l'autre, ces moteurs fussent-ils d'ailleurs d'une puissance élevée, de l'ordre de 22 500 ch (15 000 kW), par exemple.

On conçoit que la différence d'effectifs nécessaires dans les deux cas ne peut que s'accroître avec l'accroissement de la puissance qui accompagne nécessairement le



(Maschinenfabrick Augsburg-Nürnberg.)

FIG. 4. — CENTRALE ÉLECTRIQUE A MOTEURS DIESEL « PEDRO DE VALDIVIA » (CHILI), ÉQUIPÉE DE CINQ MOTEURS DE 4 700 CH CHACUN

*Cette centrale travaille en liaison avec une autre centrale à moteurs Diesel (« Maria Elena ») d'une puissance de 14 000 kW. Elles développent donc à elles deux une puissance maximum de 31 500 kW (45 000 ch).*

breux que la centrale à moteurs Diesel, avec sa seule chambre des machines, où sont installés les auxiliaires, peu nombreux, dont la plupart sont souvent directement actionnés par les moteurs. La mise en route et le réglage initial des moteurs, qui fonctionnent ensuite automatiquement à la demande de la charge, s'effectuent très aisément au moyen de deux ou trois organes simples (leviers ou volants à main, sans ou avec servo-moteur) placés à un poste de manœuvre bien dégagé, complété par un tableau d'appareils indicateurs des pressions et des températures des divers circuits (air, eau, huile, combustible). De sorte qu'en principe un seul mécanicien peut suffire à la mise en

développement des installations à vapeur.

Il n'est donc pas exagéré de chiffrer de 50 à 75 % l'économie de main-d'œuvre d'exploitation et de surveillance de la centrale à moteurs Diesel par rapport à la centrale à vapeur.

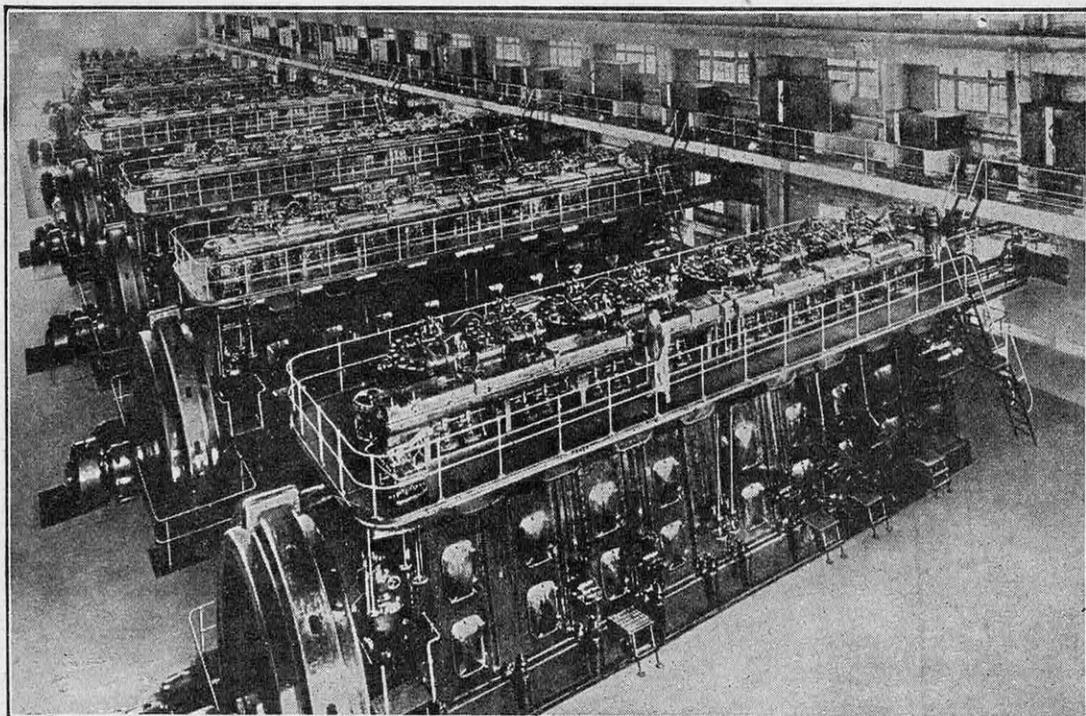
Reste à comparer les deux types de centrales, du point de vue des dépenses d'entretien. On les estime généralement à 2 % de la valeur du matériel en service.

Le matériel de production de force motrice de la centrale à moteurs Diesel coûtant sensiblement plus cher que celui de la centrale à vapeur, on serait tenté d'en conclure que les dépenses d'entretien de la première doivent nécessairement être sensi-

blement plus élevées que celles de la seconde.

La pratique cependant a montré que les différences entre les dépenses des deux catégories de centrales sont peu élevées. A bien réfléchir, il ne saurait en être autrement. La centrale à vapeur, complexe de par sa nature, comporte des chaudières à vapeur et de nombreux auxiliaires. Or, les réparations de chaudières sont particulièrement coûteuses et, de ce fait, les chaudières néces-

organes soumis à des températures ou à des efforts élevés ; on a étudié de près les vibrations et les oscillations de torsion et découvert les moyens d'en atténuer considérablement les effets, sinon de les supprimer entièrement ; on a dégagé largement les organes les plus délicats afin d'en faciliter la surveillance en marche, la visite et l'entretien à l'arrêt. Il en résulte que le moteur Diesel est actuellement robuste, susceptible de



(C<sup>ie</sup> de Constructions Mécaniques. Procédés Sulzer.)

FIG. 5. — VUE GÉNÉRALE DE LA NOUVELLE CENTRALE DE SHANGHAI (CHINE), ÉQUIPÉE DE MOTEURS DIESEL D'UNE PUISSANCE TOTALE D'ENVIRON 50 000 CH

*Cette installation comprend huit groupes à deux temps simple effet, d'une puissance totale de 27 000 kW (37 000 ch), et un groupe à deux temps double effet, de 8 000 kW (11 000 ch).*

sitent des soins constants afin de retarder le moment où les retubages deviennent inévitables.

Le moteur Diesel possède bien certains organes compliqués et présente peut-être des risques d'avaries plus grands que la turbine à vapeur, en raison de l'importance de ses masses alternatives ; mais sa conception et sa construction ont fait de remarquables progrès depuis plusieurs années. Le tracé de certains organes a été heureusement modifié, en profitant de l'expérience acquise en matière de concentration des efforts au droit des discontinuités des pièces. On a, d'autre part, utilisé les ressources nouvelles de la métallurgie en ce qui concerne les

fonctionner longtemps à pleine charge sans le moindre incident, si l'on utilise des combustibles soigneusement centrifugés et filtrés et des huiles de graissage de bonne qualité. De sorte que les réparations sont devenues très rares, et les révisions inévitables peuvent se faire à échéance beaucoup plus longue et beaucoup plus économiquement qu'autrefois.

**Les centrales hydrauliques et à vapeur produisent l'énergie de « base » ;  
les centrales à moteurs Diesel fournissent l'énergie de « pointe »**

Après avoir ainsi passé en revue tous les facteurs qui conditionnent le prix de

revient de l'énergie dans les deux cas, il est peut-être assez difficile de conclure, d'une façon ferme, en faveur de l'une ou de l'autre des deux catégories de centrales thermiques, particulièrement en raison des variations parfois brusques et importantes des cours des combustibles. Pour faire une comparaison absolument équitable entre des centrales de puissances installées voisines, il faudrait d'ailleurs ramener tout d'abord leurs bilans à un même facteur de charge et à des combustibles de qualités équivalentes. Un tel rapprochement serait délicat et difficile, sinon impossible à réaliser.

Quoi qu'il en soit, cependant, il semble que, pour le réseau des stations centrales thermiques complétant celui des centrales hydrauliques, la préférence puisse aller, en France, dans les conditions actuelles tout au moins, aux centrales à vapeur pour les très grosses puissances unitaires, la solution Diesel étant réservée, en tout cas, pour les moyennes et les petites puissances unitaires, du moins tant que le prix des fuel oils n'aura pas été réduit dans de justes proportions par la suppression des taxes abusives qui les frappent.

Quoi qu'il en soit, d'ailleurs, le rôle des grandes centrales, tant hydrauliques qu'à vapeur, semble devoir être limité à la production de la partie sensiblement constante de l'énergie journalière ; l'énergie complémentaire saisonnière, l'énergie d'appoint, en cas d'insuffisance ou d'arrêt des grandes centrales hydrauliques ou à vapeur et, surtout, l'énergie journalière de pointe semblent devoir être réservées, au contraire, aux centrales à moteurs Diesel, dont on peut tirer le parti maximum en suralimentant les moteurs par turbo-compresseur fonctionnant sur l'échappement des gaz, procédé qui conduit à une réduction substantielle des prix de revient du kW installé, à une réduction appréciable des dépenses de combustible, surtout aux puissances élevées, et à une très grande souplesse de fonctionnement.

Il est, du reste, des cas où la centrale à moteurs Diesel s'impose tout particulièrement à la place de la centrale à vapeur : c'est le cas, par exemple, des régions où l'eau est rare ou souillée d'impuretés, et de celles où le charbon manque et, par suite, coûte cher ou bien est de mauvaise qualité (1).

En fait, en raison des multiples et précieux avantages présentés par les centrales à moteurs Diesel, particulièrement pour la fourniture d'énergie d'appoint, saisonnière ou en pointe, ces centrales se sont multipliées notablement dans le monde, depuis la fin de la guerre, et font même parfois une concurrence sérieuse aux centrales à vapeur normales situées dans certains pays qui possèdent cependant du charbon, mais où le fuel oil se vend à un prix relativement modéré par rapport à celui du charbon, ce qui est le cas des Etats-Unis et de la Grande-Bretagne, en particulier.

M. GAUTIER.

(1) On a pu opposer à l'installation des centrales à moteurs Diesel la gêne qu'elles apportent à leur voisinage. Or, les vibrations des moteurs peuvent être énergiquement combattues par un tracé convenable des organes en mouvement et grâce à l'interposition de masses élastiques appropriées entre les moteurs et leurs assises ; d'autre part, l'échappement se fait généralement sans fumée et n'est pas bruyant si l'on a pris soin d'installer un silencieux convenable sur le trajet de l'échappement des gaz. La turbine d'entraînement du compresseur d'air (dans le cas d'un moteur suralimenté par turbo-compresseur) fonctionnant sur l'échappement, joue d'ailleurs ce rôle d'une façon parfaite. Enfin, il convient de rappeler que la circulation d'eau peut se faire en circuit fermé, moyennant un aéro-réfrigérant peu encombrant. Il en résulte que la centrale à moteurs Diesel peut, sans inconvénient, être installée au milieu d'une ville. Elle présente, alors, l'avantage de permettre de réaliser d'une façon très simple et très économique le chauffage urbain à l'eau chaude, grâce à l'installation de chaudières peu encombrantes placées sur les gaz d'échappement et alimentées par l'eau de circulation du moteur : la dépense supplémentaire correspondante de combustible ne paraît pas devoir excéder 10 % de celle du moteur lui-même.

Les « Grands Magasins du Louvre » et les « Galeries La Fayette » n'ont pas hésité à installer des centrales à Diesel dans leurs sous-sols et il n'en résulte aucune gêne pour leurs services.

Au retour d'un récent voyage en Extrême-Orient (au cours de l'année 1938), Claude Farrère vient d'écrire : « Les deux quotidiens « colossaux » de l'Empire nippon, l'*Asuchi* et le *Nichi-Nichi*, publient chacun quotidiennement deux éditions entièrement différentes ; l'une est destinée au centre de Tokio, l'autre au centre d'Osaka... Pas une feuille d'Amérique ni d'Europe ne peut soutenir la comparaison des deux grands organes japonais. L'activité, la souplesse, l'ingéniosité de ces techniciens modernes de la presse défient, en effet, toute concurrence. L'aspect même du journal imprimé impose une considération qui touche au respect, la qualité des informations, de l'illustration, des articles de fond, des commentaires attentifs et perspicaces n'est pas inférieure à la quantité de la documentation offerte au public ».

# VOICI L'HÉLICE MARINE A PAS VARIABLE

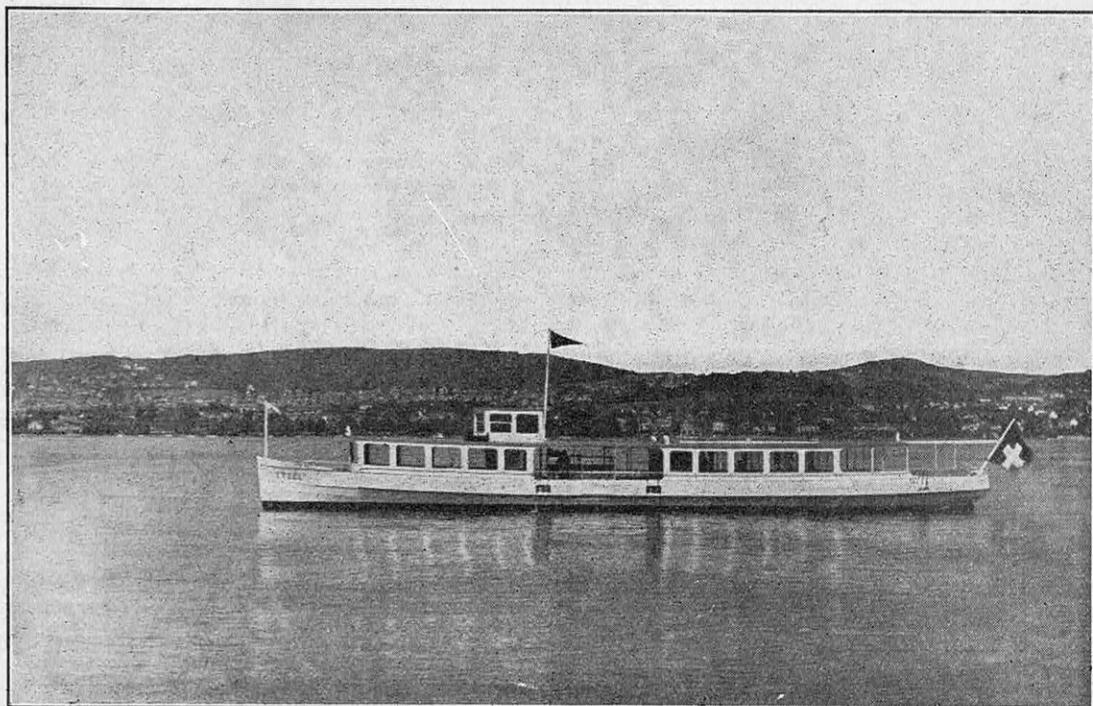
Par Jean MARIVAL

L'HÉLICE d'avion ne peut, on le sait, conserver un rendement constant en altitude (lorsqu'elle prend appui sur un air de plus en plus raréfié) qu'à la condition de « brasser » à chaque tour un volume d'air plus grand, ce que l'on obtient par une modification, automatique ou non, de l'orientation des pales. Autrement dit, si on la compare à une portion de vis s'insinuant en tournant dans le milieu qui l'enveloppe, et avançant d'une longueur voisine de son *pas* à chaque tour (1), il faut allonger ce pas, lorsque l'air se raréfie, pour que le rendement diminue le moins possible.

(1) Si une vis à bois, par exemple, progresse à chaque tour d'une longueur égale à son pas, une hélice aérienne ne progresse à chaque tour que d'une quantité inférieure, par suite de la mobilité de son point d'appui (l'air). De cette différence, appelée *recul*, naît précisément la réaction de l'air, c'est-à-dire l'effort de traction ou de propulsion de l'hélice.

## L'hélice marine à pas variable, changement de vitesse continu ; marche avant et marche arrière

Le problème de l'hélice marine paraît, *a priori*, bien différent, puisque celle-ci se meut dans un milieu de densité constante. Cependant, toujours en la considérant comme une vis, il est clair que, pour une vitesse de rotation donnée, elle avancera d'autant plus que son pas sera plus grand. Par suite, il devient possible de conserver aux moteurs d'entraînement une vitesse constante et de faire varier, en agissant sur le pas de l'hélice, l'effort de propulsion, c'est-à-dire la vitesse du bateau depuis son maximum jusqu'à l'arrêt (en plaçant les pales de l'hélice dans la position correspondante à un pas nul). On peut même *renverser le sens de la marche, les moteurs conti-*



(Escher-Wyss.)

FIG. 1. — LA VEDETTE « ETZEL », MUNIE D'UNE HÉLICE A PAS VARIABLE, SUR LE LAC DE ZURICH  
Ce bateau de 200 places environ, mû par un moteur Diesel de 250 ch, a accompli aujourd'hui 150 000 km et 80 000 manœuvres d'abordage en utilisant uniquement les propriétés de l'hélice à pas variable qui permet de changer très rapidement le sens de la marche et la vitesse du bâtiment.

nuant à tourner dans le même sens. L'hélice marine à pas variable constitue donc un changement de vitesse continu éliminant en outre les dispositifs assez onéreux de marche arrière. Considérée du point de vue de l'effort de propulsion, l'hélice à pas variable apparaît aussi avantageuse, puisque l'orientation des pales peut assurer le réglage de cet effort indépendamment de la vitesse du bateau. Cet aspect de la question intéresse au premier chef les bâtiments dont la charge est susceptible de varier dans de larges limites (chalutiers et remorqueurs notam

faible quantité. La réaction de l'eau sur les aubes est donc plus grande que lorsque le bateau avance plus rapidement. Le couple exigé du moteur, en général du type Diesel, devrait donc croître, et l'on sait que le couple de ce genre de moteur ne peut être augmenté dans de grandes proportions. On est donc amené à réduire sa vitesse et, par suite, sa puissance, la force de propulsion de l'hélice et la vitesse du bateau.

Les conditions changent totalement avec l'hélice à pas variable. Le moteur tournant constamment à son régime normal, il est en

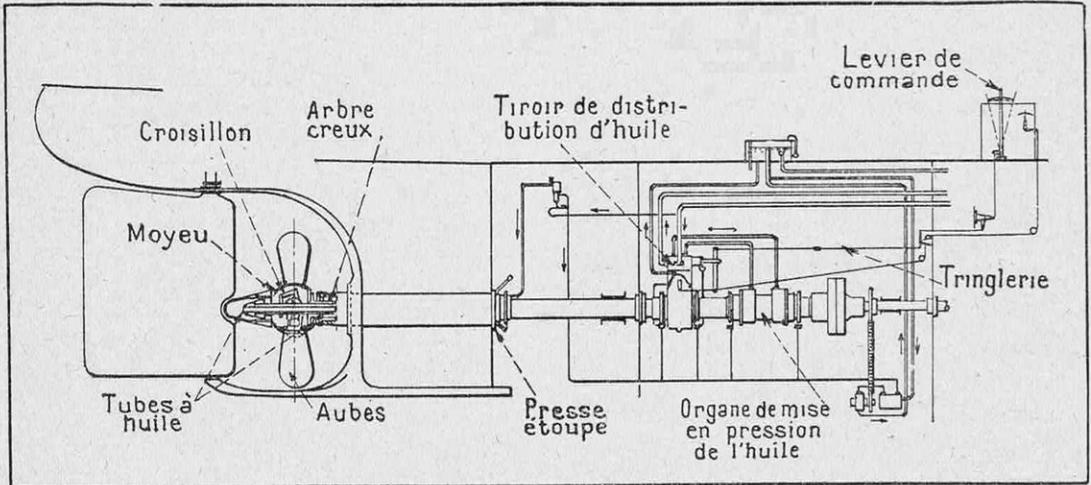


FIG. 2. — DISPOSITION SCHEMATIQUE DE LA COMMANDE DE L'HÉLICE A PAS VARIABLE

Le moyeu de l'hélice, fixé sur l'arbre creux, porte les paliers de pivotement des aubes. Un servo-moteur situé dans la pointe arrière du moyeu reçoit l'huile sous pression, et son piston commande le croisillon qui, par l'intermédiaire de bielles, agit sur les tourillons des aubes en vue de faire varier le pas de l'hélice. L'huile sous pression est envoyée dans le servo-moteur par un tiroir de distribution actionné par une tringlerie aboutissant au levier de commande placé dans la cabine de pilotage.

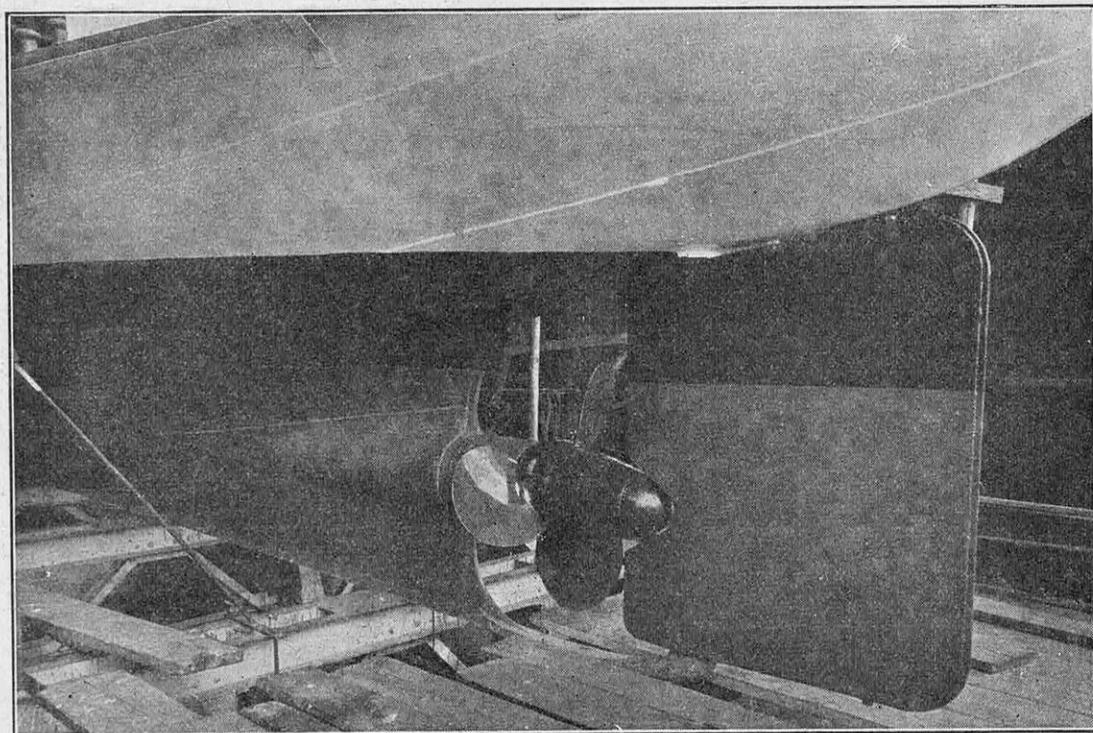
ment). Ainsi, pour un chalutier qui marche librement à une vitesse de 12 nœuds, la force de propulsion exigée de l'hélice doit vaincre simplement la résistance à l'avancement à cette vitesse. Mais lorsque le bateau traîne le chalut à 3 nœuds environ, la résistance due au déplacement du filet dans l'eau devient prépondérante. L'hélice doit donc fournir, à faible vitesse, un effort de propulsion supérieur à celui qu'elle développait à vitesse plus grande lorsque le bateau était seul. Or, avec une hélice à pas constant, si celle-ci tourne à son régime normal pour une vitesse de 3 nœuds, elle crée une force de propulsion dépassant sensiblement la force normale en marche libre (12 nœuds), puisque le « recul » dont nous avons déjà parlé est considérable. Elle « brasse », en effet, toujours la même quantité d'eau (le régime de rotation étant supposé normal), mais en ne se « vissant » dans le fluide que d'une

effet possible de transmettre toujours la pleine puissance à l'hélice. Il suffit de régler son pas pour que le produit de la puissance de la machine par le rendement de l'hélice soit maximum. La poussée à vitesse réduite peut alors dépasser la poussée en marche libre de 20 à 30 %, ce qui autorise une augmentation soit des dimensions du chalut, soit du tonnage des péniches « tirées » par le remorqueur.

Ce « changement de vitesse » réalisé par l'hélice à pas variable a fait ses preuves, depuis quatre ans, sur une vedette du lac de Zurich — *Eitel* — qui a couvert aujourd'hui près de 150 000 km au cours desquels l'hélice a assuré environ 80 000 manœuvres d'abordage avec une grande souplesse. En outre, pendant les courts arrêts du bateau, il est inutile de stopper l'hélice, puisqu'il suffit d'orienter ses pales de telle manière que l'effort de propulsion soit nul. Enfin,

sur les bâtiments munis de plusieurs hélices, il est possible, sans dispositifs de changement de marche, de faire fonctionner les hélices d'un même côté en marche avant, les autres en marche arrière en vue d'un virage. On sait qu'avec des hélices fixes, il faut prévoir deux turbines distinctes indépendantes comportant chacune des étages de marche arrière. Le pilotage devient donc très aisé. De plus, dans la navigation fluviale, il devient facile d'accoster dans le sens du courant, par

succès, par suite de dispositions mécaniques défectueuses. Le principe consiste à monter les pales sur des tourillons dont la rotation provoque celle de la pale correspondante. La difficulté consistait à assurer le guidage des tourillons, à effectuer leur manœuvre avec un effort de réglage minimum, à réaliser un moyeu central de l'hélice absolument étanche. Ce moyeu, qui contient tout le mécanisme, est naturellement de dimensions supérieures à celui d'une hélice ordi-



(Liscner-Wyss.)

FIG. 3. — L'HÉLICE A PAS VARIABLE DE LA VEDETTE « ETZEL »

On remarquera la dimension du moyeu qui contient les organes de pivotement et de commande des aubes.

suite de la possibilité d'adapter rapidement la poussée axiale de l'hélice.

### Comment est réalisée l'hélice à pas variable

Nous avons signalé (1) comment, pour obtenir un meilleur rendement des turbines hydrauliques, on avait été amené à régler leur puissance non par l'ouverture plus ou moins grande de la vanne d'admission, mais par une orientation convenable des aubes (turbines Kaplan). Le même principe devait s'appliquer à l'hélice à pas variable. Depuis longtemps, ce problème était à l'étude (1867) et, au début de ce siècle, des essais furent entrepris, mais sans grand

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 196, page 290.

naire. Dans la solution adoptée, le tourillon de chaque pale est guidé par deux paliers. La commande des pales est obtenue par un croisillon attelé à des leviers clavetés sur les tourillons (entre les paliers), croisillon actionné lui-même par un servo-moteur à huile.

Tout le mécanisme baigne dans l'huile qui assure le graissage permanent des articulations. Le réservoir d'huile étant situé au-dessus de la ligne de flottaison, la pression de l'huile est un peu supérieure à celle de l'eau autour de l'hélice. Un dispositif d'étanchéité évite toute fuite d'huile. Dans ces conditions, le mécanisme est à l'abri de toute corrosion.

La commande de l'hélice à pas variable peut d'ailleurs être utilisée pour des puissances de l'ordre de 20 000 ch. JEAN MARIVAL.

# LA T. S. F. ET LA VIE

Par André LAUGNAC

## Transmission d'images par modulation de temps

LORSQUE l'on transmet des images par ondes courtes avec le procédé de modulation ordinaire, c'est-à-dire avec modulation en amplitude, la réception est profondément affectée par le fading ; les variations d'amplitude qu'il fait subir à l'onde porteuse se traduisent par l'apparition de lignes noires parallèles sur la surface de l'image reçue. Cet inconvénient est inhérent à ce genre de modulation, puisque l'amplitude est proportionnelle à chaque instant à la teinte du point de l'image transmis.

Pour parer à cet inconvénient, plusieurs méthodes de transmission ont été expéri-



FIG. 1. — INFLUENCE DU FADING SUR LA TRANSMISSION D'IMAGES PAR LA MODULATION ORDINAIRE EN AMPLITUDE

*Les variations d'amplitude de l'onde porteuse se traduisent par des lignes noires parallèles.*

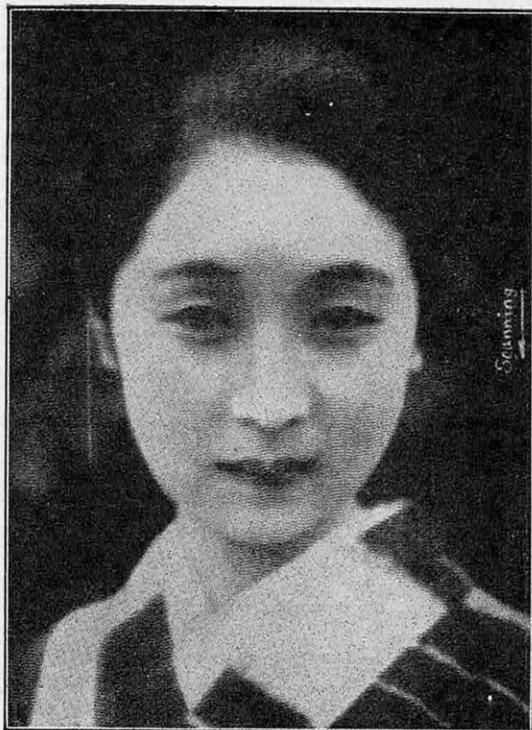


FIG. 2. — IMAGE TRANSMISE AU MOYEN DU PROCÉDÉ PAR « MODULATION DE TEMPS »

*Le fading n'a aucune influence, la haute fréquence étant modulée à amplitude constante suivant des traits dont la longueur est fonction de la teinte de l'image transmise, mais est complètement indépendante de l'amplitude de l'onde.*

mentées avec plus ou moins de succès ; parmi elles, la « modulation de temps » semble avoir donné d'excellents résultats. Dans ce nouveau système de modulation, la haute fréquence est modulée à amplitude constante suivant des traits, la longueur de ces traits étant proportionnelle à la teinte de l'image transmise. Il est évident que si le fading affecte l'amplitude de l'onde porteuse, il sera sans effet sur la longueur des traits transmis.

Plusieurs dispositifs permettent de réaliser la modulation de temps : nous ne décrivons que celui qui donne les résultats les plus satisfaisants.

Les figures ci-jointes schématisent le fonctionnement du système. La lumière d'une lampe  $S$  (fig. 3), concentrée par une lentille  $L_1$  sur la fente étroite d'un écran  $E_1$ , tombe

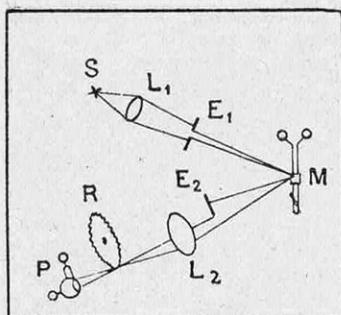


FIG. 3. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA TRANSMISSION PAR MODULATION PAR TEMPS

En plaçant un écran  $E_2$  de façon à intercepter la lumière au-dessous du trait interrompu (c), on obtient un faisceau lumineux avec modulation de temps.

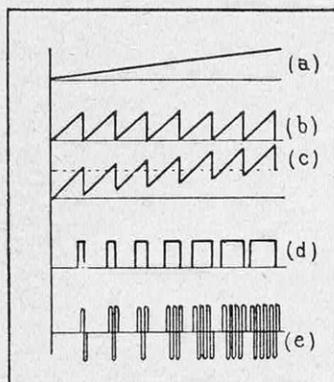


FIG. 4. — FORMES DES DIFFÉRENTES TENSIONS EXCITANT LE GALVANOMÈTRE

a) courant d'image ; b) tension en dents de scie ; c) tension résultante ; d) temps pendant lesquels l'onde est modulée ; e) forme de l'onde.

Le faisceau lumineux ainsi modulé est recueilli par la cathode d'une cellule photoélectrique. Une roue dentée, placée sur le trajet du faisceau lumineux, le module à 2 300 p/s. Le courant fourni par la cellule modulé à son tour l'émission suivant le procédé habituel.

Les ondes ainsi transmises sont captées par un récepteur superhétérodyne ordinaire  $A$  et ensuite passées par un filtre  $B$  limiteur d'amplitude qui élimine l'effet du fading. L'énergie recueillie à la sortie de ce filtre excite l'équipage mobile d'un

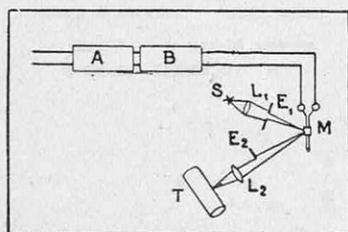


FIG. 5. — SCHÉMA DU DISPOSITIF DE RÉCEPTION DE L'IMAGE

galvanomètre à faible inertie, type oscillographe. En excitant ce galvanomètre par la superposition (fig. 4) d'une tension en dents de scie (b), fournie par un oscilateur à relaxation (1) et par le courant d'image (a) de la cellule photoélectrique d'exploration (non représentée sur la figure), l'équipage mobile entre en vibration.

En plaçant un écran  $E_2$  de façon à intercepter la lumière au-dessous du trait interrompu (c), on obtient un faisceau lumineux avec modulation de temps. Le faisceau lumineux ainsi modulé est recueilli par la cathode d'une cellule photoélectrique. Une roue dentée, placée sur le trajet du faisceau lumineux, le module à 2 300 p/s. Le courant fourni par la cellule modulé à son tour l'émission suivant le procédé habituel. Les ondes ainsi transmises sont captées par un récepteur superhétérodyne ordinaire  $A$  et ensuite passées par un filtre  $B$  limiteur d'amplitude qui élimine l'effet du fading. L'énergie recueillie à la sortie de ce filtre excite l'équipage mobile d'un

(1) Voir La Science et la Vie, n° 188 page 97.

galvanomètre disposé comme celui utilisé à l'émission. Le faisceau lumineux résultant tombe, cette fois, sur le papier sensible du tambour enregistreur  $T$  (fig. 5).

En modifiant la position de l'écran  $E_2$ , on obtient au choix un « positif » ou un « négatif ».

Des transmissions d'images ont été faites entre Tokio et Londres et entre Tokio et Berlin avec le système de modulation de temps que nous venons de décrire : les résultats ont été excellents ; l'exploration était faite à raison de 4 cm par seconde et 25 points par cm.

### La transmission des nuances en radiodiffusion

LES musiciens reprochent à la radiodiffusion deux défauts caractéristiques : la déformation des timbres, ou distorsion, et la suppression relative des nuances.

Les récents progrès accomplis par la radiotechnique, entre autres l'utilisation d'étages amplificateurs symétriques (push pull) et l'emploi de la contre-réaction aussi bien en haute fréquence qu'en basse fréquence, permettent aujourd'hui des transmissions musicales à peu près exemptes de distorsions.

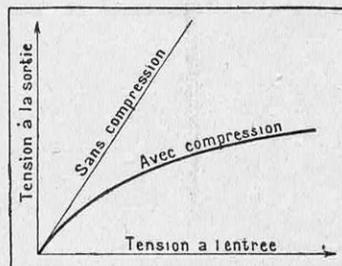


FIG. 6. — CARACTÉRISTIQUES D'UN AMPLIFICATEUR AVEC ET SANS DISPOSITIF DE COMPRESSION DES NUANCES

La reproduction des nuances exactes, par contre, n'est pas encore vulgarisée ; elle n'est pas, en effet, compatible avec une bonne utilisation des émetteurs, si on ne fait appel à certains artifices.

Les « nuances », que les techniciens désignent sous le nom de « contrastes », varient avec la profondeur de modulation de l'onde porteuse. La limite inférieure de ce taux de modulation est déterminée par le bruit de fond de l'onde porteuse, c'est-à-dire par la modulation parasite due à l'imperfection des filtrages des sources d'alimentation et aux inductions parasites, par exemple entre les fils du secteur alternatif et les différents circuits de l'amplificateur de modulation. Dans les émetteurs de construction récente, ce taux de modulation parasite est d'environ 2/1 000. En pratique, le taux minimum de modulation ne sera pas inférieur à 1 %. Entre cette limite inférieure 1 % et la limite supérieure correspondant à la modulation totale de l'onde porteuse, soit 100 %, il peut donc transmettre les nuances dans le rapport de 1 à 100.

Le microphone, placé devant le speaker ou dans une salle de concert, donne une tension alternative de fréquence audible (de 40 p/s à 15 000 p/s environ); l'amplitude de cette tension varie dans de très grandes proportions. C'est ainsi que la puissance moyenne recueillie aux bornes du microphone, lorsque le speaker parle, est parfois deux cents fois plus faible que la puissance des pointes correspondant aux syllabes accentuées. Pour la musique, ce rapport est encore beaucoup plus grand. Il est communément admis que, pour la bonne reproduction d'un morceau d'orchestre, le rapport entre « pianissimo » et « fortissimo » doit être d'environ 5 000. Or, nous venons de voir que la variation du taux de modulation ne pouvait dépasser 100. Il est donc nécessaire de « comprimer » ces nuances avant de les utiliser pour moduler l'onde porteuse. A la réception, évidemment, il faudra rétablir les nuances réelles par une opération inverse: en plaçant avant le haut-parleur un « expanseur de contrastes. »

Il faut remarquer de plus que la portée des émetteurs de radiodiffusion augmente avec le *taux moyen* de modulation; ainsi a-t-on intérêt à le prendre le plus élevé possible. Il faut, d'autre part, que les pointes de tension de fréquence audible au moment des « fortissimo » ne provoquent pas de surmodulation. Ainsi, pour accroître ce taux moyen sans nuire à la qualité de la transmission, il est nécessaire de « comprimer » suivant une loi simple, en général logarithmique, les nuances de la parole ou de la musique.

Dans les stations d'émission, on se contente souvent de faire varier à la main le potentiomètre de réglage de l'amplification basse fréquence. L'opérateur s'efforce de réduire l'amplification au moment des pointes, d'après l'indication fournie par le « moniteur de modulation ».

Ce réglage manuel tend à faire place de plus en plus au réglage automatique.

L'appareil compresseur de volume doit entrer en jeu instantanément, pour éviter les surmodulations, mais ne doit cesser

d'agir que progressivement afin de ne pas introduire de distorsion sur les fréquences basses. Il existe plusieurs dispositifs permettant de « comprimer » les nuances; le schéma (fig. 7) montre un modèle très simple qui augmente le niveau moyen de la musique ou de la parole, de façon à doubler le pourcentage moyen de modulation par rapport à l'ancienne méthode. Ce doublement du pourcentage moyen est pratiquement aussi efficace qu'une augmentation de quatre fois la puissance de l'onde porteuse, et a l'avantage d'éviter les surmodulations.

L'appareil comprend une amplificatrice dont le gain est contrôlé à tout instant par

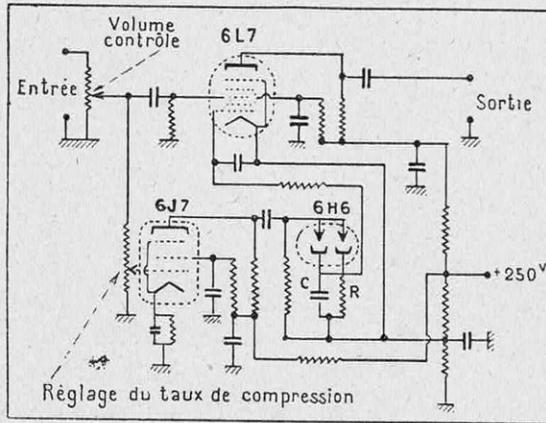


FIG. 7. — SCHÉMA D'UN AMPLIFICATEUR AVEC COMPRESSEUR DE NUANCES

une pentode à pente variable suivie d'une double diode. Les valeurs de la combinaison résistance-capacité du circuit de charge de la diode sont un compromis entre deux besoins divergents. Le temps de décharge d'un tel système doit être assez court pour que tout signal faible suivant immédiatement un signal fort ne soit pas perdu à cause de la persistance de la polarisation; d'autre part, le temps doit être assez long pour

éviter que les fréquences audibles les plus graves ne soient déformées. Ce compresseur se place entre le microphone et l'amplificateur de modulation.

L'« expanseur de contrastes », à la réception, est un dispositif analogue au « compresseur de volume »: la valeur moyenne de la tension basse fréquence détectée augmente le gain de l'étage amplificateur, au lieu de le réduire comme précédemment. L'expanseur s'intercale dans la partie amplificatrice basse fréquence des récepteurs, mais il doit être suivi d'un amplificateur basse fréquence et d'un haut-parleur pouvant reproduire sans distorsion la musique avec une échelle de contraste beaucoup plus vaste que dans les récepteurs ordinaires.

Dans un avenir très proche, tous les émetteurs de radiodiffusion seront pourvus de compresseurs de volume. De même l'expanseur de contraste s'étendra prochainement aux récepteurs courants.

ANDRÉ LAUGNAC.

Pour une nation, il est impossible d'accroître le niveau général des salaires sans un accroissement parallèle et équivalent de la production, faute de quoi on court inévitablement à un appauvrissement général et continu du pays.

## LES LIVRES QU'IL FAUT MÉDITER

Sous cette rubrique, une personnalité éminemment qualifiée pour chaque genre d'ouvrage analyse les livres les plus récents, qui font époque dans les différents domaines de la pensée humaine appliquée à l'interprétation des faits et des idées humaines.

### CALIFORNIE : TERRE DES FRUITS <sup>(1)</sup>

UN ouvrage sur l'arboriculture californienne dépasse de beaucoup le domaine du fruit californien lui-même. Les idées générales sont, en effet, indispensables pour « éduquer » le lecteur, mais elles ne se justifient que si elles reposent sur une observation scrupuleuse et rigoureuse des phénomènes étudiés. Dans le cas examiné ici, c'est tout le problème de la *qualité* dans ses rapports avec la *standardisation* qui est envisagé. La résolution d'un tel problème économique et technique dépend d'un certain nombre de facteurs déterminants : du choix et de la réduction du nombre des variétés, de la recherche et du maintien de cette qualité par les *standards*, de l'association des producteurs et d'une économie sagement *dirigée*. L'éminent professeur A. Siegfried, qui connaît si bien toutes les « choses » d'Amérique, a affirmé à ce propos que les Français pourraient trouver dans un semblable exposé (présenté par un économiste qui a séjourné aux Etats-Unis pour mener à bien son enquête) un magistral enseignement qui leur permettrait de mieux comprendre comment la victoire américaine dans ce domaine arboricole a été obtenue et ajoutons, hélas ! à nos dépens. Or, la qualité s'oppose à la quantité et surtout à la *série*, en ce sens qu'elle paraît comporter — du moins en France — de la part du producteur une création *individuelle*. Mais, à côté de la qualité proprement dite, il y a la bonne qualité, ce qui n'est pas tout à fait la même chose. On ne peut concevoir, en effet, des fruits de qualité rationnellement cultivés dans des vergers sélectionnés, mais qui seraient par contre mal présentés, mal emballés, mal surveillés, d'où, par voie de conséquence, plus ou moins avariés et détériorés à l'arrivée ! Ce que le consommateur recherche avant tout, c'est la *sécurité* en ce qui concerne la denrée qu'il achète. En appliquant ces principes, le résultat ne s'est pas fait, du reste, longtemps attendre : la clientèle est maintenant acquise aux produits standardisés de beaucoup supérieurs à cause de la « conscience » de *fabrication*. Dès lors, la *série* de bonne qualité élimine pratiquement la qualité individuelle non

contrôlée. Aujourd'hui, qu'on le reconnaisse ou non, en France notamment, la clientèle internationale contemporaine a changé de méthodes et de goûts : elle exige la propreté intégrale, la stabilité du produit, la présentation impeccable. C'est grâce précisément à la sélection qu'aux Etats-Unis on est parvenu à la stabilité des denrées offertes au public, aussi bien aux consommateurs du pays qu'à ceux des autres nations. C'est pourquoi l'Amérique élargit de plus en plus sa conquête des marchés internationaux, dans l'ancien monde comme dans le nouveau. La régularité de l'article ainsi livré à la vente est une garantie essentielle de la faveur du consommateur. L'avenir — surtout en période de ralentissement économique — est voué à la bonne qualité dans la grande série. Il suffit de lire l'ouvrage de M. Guérin pour en être aisément convaincu. Si la « Californie, terre des fruits », ne peut être systématiquement comparée à notre région, à bien des points de vue, il n'en résulte pas moins que l'arboriculteur français aurait beaucoup à apprendre des méthodes californiennes : certains principes modernes de production et de vente, qui ont fait leur preuve, ne s'appliquent-ils pas à tous les pays ? Si l'Amérique exporte plus de 15 % de sa production fruitière californienne et si elle alimente un marché intérieur de 130 millions d'habitants, dont chacun d'eux consomme cinq fois plus de fruits (par tête) qu'un Français ou un Allemand, c'est à ces méthodes qu'elle le doit. La nature (climat) intervient certes dans l'établissement de cette suprématie qui revient aux rivages du Pacifique, mais l'organisation scientifique de cette production a seule permis la conquête progressive des marchés extérieurs. Production, commerce, économie en général, sont maintenant indéfectiblement liés à la technique et à l'organisation. A ce point de vue, méditons cette définition qui est à la base du succès même des Américains : le standard est la description minutieuse de la condition dans laquelle doit se présenter un fruit pour pouvoir être *admis* et être *classé* dans une catégorie déterminée. C'est dire que le consommateur est ainsi *assuré* d'acheter une marchandise *réalisable normalement* par la technique de la production,

(1) *Arboriculture californienne*, par P. GUÉRIN. Prix franco : France, 43 f 50 ; étranger, 47

Mais une économie scientifiquement dirigée exige, par contre, une sévère discipline collective unanimement consentie ou, ce qui revient au même, justement imposée. Si les Californiens, par exemple, ont obtenu cette « stabilité dans l'article », c'est précisément parce qu'ils ont su imposer une discipline suffisante aux producteurs. La structure économique actuelle de l'arboriculture californienne nous en apporte — une fois de plus — le probant témoignage. C'est pourquoi le planteur californien doit, pour cela, savoir choisir avec discernement le *chef* de l'association et lui faire confiance. Il ne doit pas non plus regretter de le bien payer et ne pas hésiter à verser une part de ses gains pour une publicité et un *service commun* de vente. Enfin, il doit aussi savoir résister à la tentation de se retirer de son association s'il estime, à tort ou à raison, avoir été lésé par une décision de la majorité de ses collègues. Il doit donc comprendre qu'il est parfois

nécessaire de *sacrifier* ses plus mauvais fruits pour ne pas compromettre la propriété commune. Là git, pour une grande part, le secret du succès de la « collectivité » agricole californienne ; là réside aussi le meilleur moyen de mieux résister aux oscillations de l'activité économique, variations *inévitables* surtout en Amérique où la mentalité du producteur s'apparente beaucoup plus à celle de l'industriel que de l'agriculteur. Escomptant trop favorablement l'avenir, il semble qu'il ne *tient* à sa terre qu'en fonction de l'*accroissement de richesse* qu'elle lui procure. Le caractère du « fermier » américain est en contradiction formelle, à ce point de vue, avec la tradition du « paysan » français. Cette antithèse n'est pas, selon nous, péjorative vis-à-vis de nos compatriotes, dont les qualités foncières, au contraire, sont indéniables, et cette contestation n'est pas sans valeur.

GEORGES BOURREY.

## A TRAVERS NOTRE COURRIER...

Chaque mois, des milliers de lettres arrivent à « La Science et la Vie » de tous les points du monde. Nous nous efforçons toujours d'y répondre avec précision. Mais ce courrier abondant et varié aborde parfois des questions d'ordre scientifique et industriel qui peuvent être portées à la connaissance de tous. Aussi, sous cette rubrique, nous nous proposons de sélectionner les plus intéressantes d'entre elles pour la majorité de nos lecteurs.

### *Piezoelectricité et mesure de la vitesse des projectiles*

LA piezoelectricité (1) est depuis peu appliquée (Joachim et Illgen) pour la mesure précise de la vitesse des projectiles. On sait qu'un disque découpé dans un morceau de quartz (perpendiculairement à son axe électrique) se charge, lorsqu'il est soumis à une pression, d'une quantité d'électricité proportionnelle à cette pression. Un tel disque, convenablement placé dans le canon d'un fusil, et, par suite, soumis à la pression des gaz résultant de la combustion de la poudre tant que la balle n'a pas quitté le canon, se charge donc électriquement. Un circuit amplificateur à tubes permet de rendre les variations de courant assez intenses pour agir sur un oscillographe cathodique dont le spot fluorescent est projeté sur un cylindre recouvert de papier photographique et tournant à 3 000 tours/mn. En même temps, un indicateur lumineux, commandé par un diapason, trace sur le cylindre, à des intervalles de 0,001 s, des points servant à mesurer le temps. Pendant que la balle parcourt le canon du fusil, le quartz se charge et le diagramme tracé sur le cylindre permet de mesurer le temps mis par la balle pour effectuer ce trajet. On peut donc calculer sa vitesse. Cette mesure peut

être complétée en installant, à une distance connue de la bouche de l'arme, une grille de Bensberg formée de fils d'acier très fragiles que la balle est obligée de briser. La « coupure » du circuit électrique s'inscrit également sur le diagramme tracé par l'oscillographe cathodique.

### *Le lignite et les gazogènes*

TRÈS riche en lignite, l'Allemagne utilise déjà industriellement ce combustible pour la préparation de carburants de remplacement. Ils se prêtent très bien, en effet, à la distillation à basse température en vue de produire du semi-coke, combustible domestique sans fumée, et du goudron primaire dont on peut tirer une quantité assez abondante d'essences et de combustibles liquides. Quant au coke, on cherche également à l'utiliser pour la traction routière par gazogène. Seules des difficultés d'ordre mécanique et, par suite, aisées à surmonter, ont retardé cette application. Cependant, un gazogène vient d'être mis au point qui ne diffère que par quelques détails des gazogènes à bois ou à charbon de bois (1). Ainsi, l'abondance des cendres a nécessité une grille à barreaux oscillants commandés par vis sans fin et rappelés brusquement par l'action d'un ressort ; de même, une forte admission de vapeur est

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 145, page 17.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 252, page 437.

nécessaire à une bonne gazéification. En outre, il a fallu supprimer les revêtements réfractaires auxquels adhèrent fortement les cendres et prévoir la protection de la partie inférieure du gazogène par une chemise d'eau. Enfin, un « cyclone » sépare, par centrifugation, les poussières entraînées par les gaz, qui traversent ensuite un épurateur avant de se rendre, mélangés à l'air secondaire carburant, vers le moteur du véhicule.

## L'aviation et le moteur à huile lourde

**L**'HYDRAVION Dornier *Do-18* — qui a porté, du 27 au 29 mars 1938, le record de distance en ligne droite pour appareils marins de 7 021 à 8 400 km — était bien propulsé par deux moteurs à huile lourde à combustion interne Junkers, type « Jumo-205-C », mettant ainsi en évidence les remarquables progrès effectués en Allemagne sur ce genre de moteurs (1). Pesant 520 kg pour une cylindrée de moins de 17 litres et une puissance de 600 ch, la consommation n'atteint que 155 à 160 g d'huile lourde par ch.h, alors que celle du moteur à essence est voisine de 230 g ! Cette économie de 60 g par ch.h, pour 1 000 ch et pour 43 heures de vol, se traduit soit par un allègement au départ (de 2 500 kg), soit, à charge égale, par un accroissement considérable du rayon d'action. La question du catapultage est également importante. En effet, l'envol d'appareils lourdement chargés présente de notables difficultés par suite de la surface portante relativement faible des ailes. Mais, par contre, en vol, l'appareil, plus fin, possède une plus grande vitesse. Le catapultage, en donnant à l'hydravion l'impulsion nécessaire, résout donc le problème de l'envol. Il ne serait donc pas étonnant que, de ce fait et grâce à l'emploi de moteurs à huile lourde puissants, on s'acheminât vers un nouvel ordre de grandeur des records de distance. Cependant, leur mise en œuvre pour les transports aériens réguliers ne paraît pas devoir se généraliser, l'aviation militaire préoccupant actuellement au premier chef les aéronautiques mondiales. Même en Allemagne, le moteur à huile lourde est un peu délaissé au profit du moteur à essence qui autorise les hautes performances requises des avions de combat, même aux dépens de la sécurité. En effet, le carburant spécial du moteur à explosions, très cher, très inflammable, émettant des vapeurs constituant avec l'air des mélanges détonants, est trop souvent la cause de la mort, par carbonisation, des passagers, lorsque l'avion tombe ou heurte un obstacle (2). L'huile lourde, par contre, réduit consi-

dérablement ce risque. Quant à l'économie, elle a été chiffrée récemment par un dirigeant de l'aéronautique marchande italienne, M. Venturini, ainsi que le rappelle notre confrère H. Bouché. Pour un avion de 2 000 ch couvrant en quatre étapes les 6 000 km qui séparent Rome d'Addis-Abeba, cette économie atteindrait 13 920 litres sur le combustible. D'autre part, le rendement de l'accroissement de charge payante rendue possible par la consommation plus faible d'huile lourde pourrait être évaluée à 25 980 litres. Ainsi, à chaque voyage, c'est une différence de près de 40 000 litres (65 000 l environ) que l'on constaterait en faveur de l'avion à moteurs à huile lourde. Malheureusement, le point de vue militaire qui domine aujourd'hui fait passer cette considération au second plan et, par suite, ne favorise pas les études poursuivies pour l'amélioration du moteur Diesel d'avion.

## La hausse des carburants pousse aux solutions « mécaniques » d'économie de consommation

**L'**ACCROISSEMENT de la puissance spécifique du moteur d'automobile est dû non seulement au progrès mécanique qui a autorisé des régimes de rotation et des vitesses linéaires des pistons plus élevées (allègement des masses en mouvement), un remplissage plus parfait des cylindres et une distribution plus rationnelle, mais encore à l'étude scientifique de la combustion (dessin correct de la chambre de combustion en vue d'utiliser au maximum les calories contenues dans le carburant). Tous ces perfectionnements — auxquels il faut ajouter les progrès de l'aérodynamisme — dont la voiture utilitaire a bénéficié après les essais réalisés sur les voitures de courses ont abouti à l'accroissement de la vitesse moyenne, à une économie de carburant et à l'essor de la voiture de faible puissance. Si nous prenons comme base l'année 1905, où il fallait consommer environ 26 litres d'essence aux 100 km, nous constatons, en 1913, une économie de près de 8 % ; en 1930, 20,8 % sur 1905 ; en 1937, 26,5 % sur 1930. Au total, de 1905 à 1937, 46 % d'économie (14 litres contre 26). La dépense d'huile a d'ailleurs suivi la même diminution (pour 100 km : 1 litre en 1905 contre 1/6 de litre en 1937). D'autre part, la moyenne horaire est passée de 65 km à plus de 90 km. Enfin, l'essor de la voiture moyenne a été considérable. Si nous admettons (ancienne formule fiscale qui peut servir de base, puisqu'il ne s'agit que de comparaisons) que 2 litres de cylindrée correspondent à 11 ch, le pourcentage des voitures de cette catégorie (ou en dessous) est passé, en France, de 18 % en 1927 à 66 % en 1937. En An-

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 245, page 386.

(2) Témoin l'accident de l'avion commercial américain qui, ayant heurté une montagne, prit feu et dont les neuf passagers furent carbonisés.

gleterre, il atteint 68 %. C'est donc grâce à la réduction de la dépense d'essence par cheval et à la meilleure utilisation de cette puissance (1) que la consommation moyenne par voiture (2) et par an a considérablement diminué (1 750 litres en 1937 au lieu de 2 000 litres en 1935 et 3 200 litres en 1905), et non à la diminution du nombre de kilomètres parcourus. N'en est-il pas de même pour la consommation de pneumatiques, qui est passée de 5 pneus par an et par voiture en 1905 à 2 pneus par an en 1937, par suite des progrès réalisés dans le travail du caoutchouc (3)?

### Pluies et trombes artificielles

L'AIR contient naturellement de la vapeur d'eau : même dans des régions semi-désertiques, comme le Sud tunisien, les mesures effectuées ont permis d'évaluer sa teneur de 5 à 9 g d'eau par mètre cube, au voisinage du sol. L'absence de pluies est due à la non condensation de cette vapeur par suite de la température trop élevée des couches inférieures de l'atmosphère. Or, il suffit de s'élever à 300 m environ pour rencontrer des zones plus froides, mais pauvres en vapeur d'eau. Amener l'air humide et chaud du sol au contact de couches plus froides apparaît donc comme une solution susceptible de condenser cette vapeur, de former un nuage et de provoquer la pluie. Il ne peut être évidemment question d'utiliser des « soufflantes » mécaniques pour déplacer les milliards de mètres cubes d'air nécessaires si l'on veut obtenir un résultat intéressant. La nature nous offre, heureusement, une réalisation que l'on peut essayer d'imiter : les trombes. On sait que le tourbillon qu'elles forment produit en son centre une dépression considérable dont la puissance suffit à aspirer jusqu'à des arbres, des toits de maisons, etc. C'est en s'inspirant de ce phénomène que M. Bernard F.-Dubos prétend produire la pluie à volonté. Il suffirait de construire un entonnoir géant, de 300 m de haut, dont le diamètre, d'une trentaine de mètres au sol, atteindrait une centaine de mètres à la partie la plus élevée. Des événements seraient pratiqués autour de cette base supérieure et dirigés de telle sorte que le vent, dont la vitesse est toujours considérable à cette altitude, — au sommet de la tour Eiffel elle est de 12 m/s en moyenne, — tourne à l'intérieur de cet entonnoir. Entraîné par frottement, l'air calme situé au centre du cône tourbillonnerait à son tour et la force centrifuge tendrait à l'appliquer contre les parois. D'où une région à faible pression au centre. Il suffirait alors d'ouvrir

des vannes à la partie inférieure pour que l'air ambiant contenant la vapeur d'eau soit aspiré jusqu'au sommet où il rencontrerait une température plus basse. N'a-t-on pas remarqué qu'une trombe est toujours surmontée d'un nuage noir? Les gouttelettes d'eau en suspension dans l'air, qui ne dépassent pas 0,1 mm au ras du sol, pourraient mesurer 2 mm à leur sortie de l'entonnoir. M. Dubos estime qu'un tel « tube météorologique » serait capable d'élever 700 000 t d'eau en l'air à la vitesse de 40 m/s en douze heures de marche et le nuage obtenu suffirait à arroser 200 à 300 000 hectares! Construire un tel « tube » n'est pas impossible, en ciment armé par exemple. Mais la dépense ne peut être engagée que pour un résultat certain. Il est malheureusement impossible d'effectuer une expérience à petite échelle, puisque le succès dépend précisément des grandes masses mises en jeu. La théorie est cependant séduisante. Aussi M. Dubos propose-t-il de créer en France, en creusant le mont Ventoux, un entonnoir de ce genre, plus facile à établir qu'une tour géante en ciment armé. Si l'expérience réussissait, ce serait évidemment une source immense de prospérité pour les régions où la pluie est extrêmement rare.

### Le haricot de soja et l'industrie automobile

LA Société *Ford Motor Company* a, en effet, créé d'importantes plantations pour la culture du soja nécessaire à ses fabrications. Originaire de Chine, aujourd'hui cultivé en Europe comme plante potagère et fourragère, la graine de cette plante (haricot de soja) renferme près de 37 % de protéines (substances albuminoïdes constituant, à l'état colloïdal, la majeure partie des substances animales ou végétales vivantes), près de 19 % de matières grasses, 26 % d'extrait exempt d'azote, 4 % de fibres, le reste représentant la teneur en eau et en cendres. L'huile de soja peut être utilisée pour l'éclairage, pour la fabrication de la margarine, des savons, des vernis et du lait synthétique ; sa farine est employée dans l'alimentation ; mais ce sont les protéines qui intéressent l'industrie automobile. En effet, par traitement à la formaldéhyde (formol), elles permettent de préparer des matières plastiques résistant à l'humidité et pouvant servir au moulage d'un grand nombre de pièces entrant dans la constitution des voitures modernes. La glycine (protéine du soja) remplace ainsi la caséine du lait. Elle peut être également utilisée pour l'encollage des papiers, pour la fabrication des colles ou pour obtenir des résines synthétiques mixtes, par condensation avec les protéines du phénol et de l'urée et avec la formaldéhyde.

(1) On atteint aujourd'hui 120 km/h avec 55 ch, alors qu'il en fallait 90 en 1905.

(2) Obtenue en divisant le nombre de litres de pétrole et de ses dérivés importés par le nombre de voitures en service.

(3) Voir *La Science et la Vie*, n° 233, page 365.

## BRONZES AUTOLUBRIFIANTS

Les alliages spéciaux d'origine américaine (brevet Chrysler) assurant l'autolubrification des surfaces en contact existent depuis quelques années (1).

Ces alliages sont des bronzes très particuliers formés de cuivre et d'étain. Réduits en poudre extrêmement fine, ces deux éléments, mélangés dans la proportion de 90 % de cuivre pour 10 % d'étain, sont d'abord agglomérés sous une très forte pression et soumis ensuite à un traitement thermique approprié basé sur la propriété des alliages métalliques d'achever leur solidification dans un intervalle de température plus ou moins étendu. On réalise ainsi le maximum de porosité du métal et une parfaite homogénéité de structure qui, seule, peut autoriser des caractéristiques très élevées : grande résistance à la compression ; haute limite élastique ; ductilité et plasticité remarquables ; précision élevée dans l'exécution.

La matière obtenue est enfin imprégnée d'huile minérale et, par suite de sa structure cellulaire, elle se comporte comme une véritable éponge métallique retenant dans sa masse environ 35 % en volume d'huile.

Dans ces conditions, des surfaces frottantes constituées par ce bronze — l'*oilite* — peuvent parfaitement dispenser de l'emploi d'un autre lubrifiant sans qu'il y ait à craindre un échauffement exagéré suivi de grippage. C'est ainsi que l'on a fabriqué des coussinets d'aspirateurs électriques dans lesquels l'arbre d'acier de ces appareils a effectué 456 millions de tours en 800 heures (à 9 500 tours/mn) sans apport supplémentaire d'huile. Après l'essai, l'usure de l'arbre n'était pas appréciable ; celle de la bague *oilite*, de 0,01 mm ; le pourcentage d'huile était encore de 31 % en volume (36,99 % avant l'essai), soit une consommation de 5,9 %.

Dans un autre essai de *durée*, un arbre chargé à 4,22 kg/cm<sup>2</sup> a tourné pendant 4 010 heures à 1 100 tours/mn, soit plus de 264 millions de tours, et la bague contenait encore 23,38 % d'huile (consommation, 11,81 %). Enfin, dans une bague chargée à 5,62 kg/cm<sup>2</sup>, un arbre a tourné à 2 000 tours/mn, soit 119,8 m par minute environ de vitesse linéaire, pendant 250 heures, soit 30 millions de tours. L'élévation moyenne de température constatée fut de 21°8 C ; l'usure de l'arbre, nulle ; celle de la bague, de 0,005. Le pourcentage d'huile (29,43 % avant l'essai) était encore de 26,37 % après l'essai. La consommation d'huile ressort donc à 3,06 % seulement.

Il va de soi que, selon la charge et le diamètre de la bague, la vitesse admissible varie : une bague de 50,8 mm chargée à

8 kg/cm<sup>2</sup> autorise une vitesse de 250 tours/mn ; à 4 kg/cm<sup>2</sup>, 1 500 tours/mn ; à 3 kg/cm<sup>2</sup>, 3 500 tours/mn. Comme on le voit, la vitesse autorisée croît très rapidement lorsque la charge diminue, et on étudie actuellement des bagues de compresseurs pour automobiles dont l'arbre tourne à 42 000 tours/mn !

Les applications de tels bronzes — qui, grâce à la permanence, à la pureté et à la continuité du film d'huile, assurent l'absence totale de contact direct de métal à métal — sont évidemment aussi nombreuses que variées, à condition de respecter certaines limites dans la charge et la vitesse (pour un diamètre donné). En dehors de ces limites, le film d'huile pourrait être rompu et il faut alors prévoir, dans certains cas, le renouvellement du lubrifiant. Le supplément de graissage, lorsqu'il est reconnu nécessaire, peut d'ailleurs être obtenu sans aucune difficulté. En effet, il est inutile de forer le coussinet et d'y pratiquer des gorges ou « pattes d'araignées ». La structure cellulaire du bronze est en effet telle que le lubrifiant supplémentaire l'imprègne complètement lorsqu'il est mis en contact avec lui (par un simple trou de graissage s'arrêtant à la surface extérieure de la bague). De plus, l'huile est ainsi automatiquement filtrée avant de parvenir aux surfaces frottantes. Ajoutons d'ailleurs qu'il est très aisé de « regarnir » d'huile une bague *oilite*. Il suffit de la faire tremper pendant 45 mn dans de l'huile chauffée pour la rendre très fluide. Parmi les applications principales, citons l'automobile (sur certaines voitures françaises près de trente roulements ou articulations), les moteurs électriques, l'aviation (commandes, hélices à pas variables, moteurs, démarreurs, etc.), les machines agricoles, les machines textiles, les machines-outils, les appareils domestiques, les chemins de fer (fonctionnement des signaux assuré même par temps froid, le givrage ne se produisant pas sur ce bronze), les pivots et glissières des bogies, etc. Ainsi, dans l'expédition de Byrd, le matériel utilisé put supporter sans défaillance des températures extrêmes de — 46° C au-dessus du continent antarctique et de + 38° C au-dessus des Etats-Unis.

Ainsi, le problème de la lubrification, de la solution duquel dépend non seulement la sécurité de fonctionnement d'organes métalliques soumis au frottement, mais encore le rendement mécanique des machines industrielles, se trouve résolu de la façon la plus élégante.

ETABLISSEMENTS PLAISTOWE, 11 bis, rue Volney, Paris (2<sup>e</sup>). — Brochure explicative sur demande.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 203, page 388.

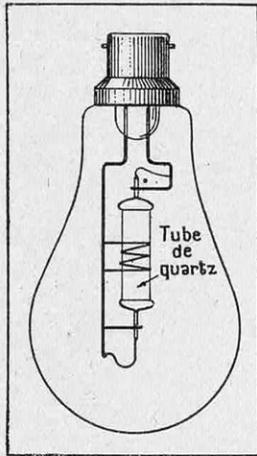
# LES A COTÉ DE LA SCIENCE

## INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

Par V. RUBOR

### La « lumière noire » au théâtre

**S**ous le nom de « lumière noire », on désigne le rayonnement émis notamment par les tubes à vapeur de mercure. Ce terme est évidemment incorrect, car ces lampes émettent à la fois — comme d'ailleurs toutes les sources lumineuses — des radiations situées



LAMPE A VAPEUR DE MERCURE SURPRESSÉE

Le tube de quartz contenant une goutte de mercure constitue la source lumineuse.

dans la zone visible du spectre et des radiations invisibles, infra-rouges et ultraviolettes. C'est donc uniquement aux rayons ultraviolets, contenus en quantité considérable dans l'émission de la vapeur de mercure lumineuse, que s'applique le nom de « lumière noire ». D'ailleurs, on filtre les radiations émises, afin de ne laisser passer que les ultraviolettes pour obtenir la lumière invisible utilisée en vue de produire certains effets lumineux. En effet, tandis que les rayons provenant des lampes à incandescence sont simplement réfléchis par les corps qu'ils frappent en les rendant à leur tour lumineux, certains corps, dits « luminescents » (phosphorescents ou fluorescents), ont la propriété de devenir lumineux sous l'action des rayons ultraviolets. Leur action suit en cela la loi de Stokes, c'est-à-dire qu'ils transforment les radiations reçues en d'autres de longueur d'onde plus grande. Ainsi, l'ultraviolet invisible (de longueur d'onde plus courte que celle du violet du spectre visible) peut devenir visible, et la couleur obtenue dépend de la nature de la substance lumineuse frappée par lui. Cette propriété a été notamment utilisée récemment pour les *ballets en lumière noire* représentés à Paris. Les spectateurs, placés dans l'obscurité, n'apercevant aucun faisceau lumineux, voient cependant évoluer sur la scène des personnages dont les costumes sont illuminés par les faisceaux d'ultraviolet émis par des lampes à vapeur de mercure à haute pression comportant une ampoule filtrante en verre de Wood.

Quant aux produits phosphorescents utilisés, ils sont, soit à base de sulfure de zinc, soit à base de sulfures alcalino-terreux. Les premiers donnent des couleurs vives,

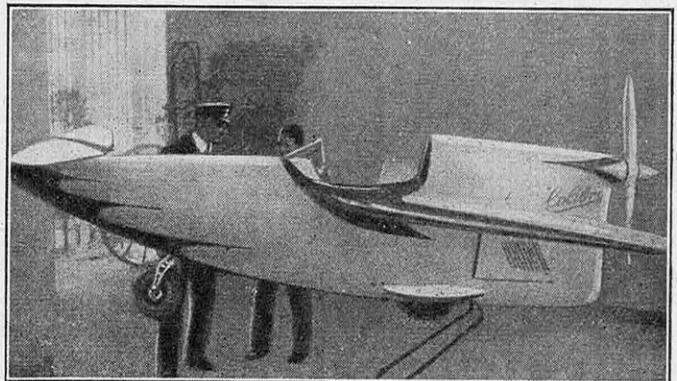
bleu, vert, jaune citron ou jaune d'or, orangé, rouge pâle ou foncé. Les seconds permettent d'obtenir du violet, du bleu, du vert marin. On connaît actuellement près de deux mille colorants fluorescents différents. Il est donc possible de réaliser, selon les concentrations et les mélanges, toutes les teintes désirées.

En dehors des tissus, on peut aussi utiliser, comme supports de produits luminescents, certaines matières plastiques comme les verres organiques *pollopas* et *rhodoïd*. Le premier, — qui existe sous forme de blocs, plaques, bâtons, tubes et peut être travaillé comme du bois dur — a permis d'obtenir sept couleurs allant du rouge-violet au bleu-violet. Le second — que l'on trouve sous forme de fils, tressés ou tissés (rideaux, voiles, costumes) — peut recevoir des produits de fluorescence verte, bleue, orangée ou rouge. Le rhodoïd et le pollopas, découpés en feuilles minces, appliquées sur les costumes et les voiles ont permis ainsi de nouvelles décorations artistiques.

### Le plus petit avion du monde

**I**L s'agit d'un véritable avion, capable d'emporter son passager à 500 km à la vitesse de 140 km/h. Mais il est si petit que certains, en le voyant, se sont demandé s'il ne représentait pas un modèle réduit, une maquette... ou un jouet. Voici en effet ses caractéristiques : envergure, 6,06 m ; longueur, 3,55 m ; hauteur, 1 m ; surface des ailes, 4,5 m<sup>2</sup> ; poids à vide, 70 kg ; poids en ordre de marche, 160 kg ; charge alaire, 35,5 kg/m<sup>2</sup> ; poids spécifique, 8,9 kg/ch ; vitesse maximum, 160 km/h ; vitesse de croisière, 140 km/h ; vitesse d'atterrissage, 60 km/h ; distance d'arrêt, 125 m ; distance d'envol, 50 m ; autonomie, 500 km.

Cet avion de tourisme italien, construit par Quinto Belbrame, est du type « canard », c'est-à-dire qu'il vole le fuselage en avant, l'hélice propulsive et les ailes étant à l'arrière. Le fuselage, en bois, de section circulaire à l'avant,



VUE D'ENSEMBLE DE L'AVION DE TOURISME « COLIBRI »

devient elliptique vers le siège du pilote et se termine à l'arrière par une ligne verticale. Les ailes sont recouvertes de bois sur leur bord d'attaque et de toile vers l'arrière. Leurs extrémités sont protégées par du bois car elles viennent en contact avec le sol, à l'arrêt, l'avion ne reposant que sur deux roues : une à l'avant, éclipable en vol, sous le gouvernail de direction, l'autre un peu à l'arrière du siège. La direction n'est assurée que par deux petits plans à l'avant (1/5 de la surface des ailes) qui peuvent s'incliner soit dans le sens de la marche (gouvernail de profondeur) de  $+12^{\circ}5$  à  $-2^{\circ}5$ , soit latéralement (gouvernail de direction) de  $30^{\circ}$ .

Le moteur est monocylindrique, à deux temps. Le cylindre est disposé verticalement à l'arrière de la carlingue ; l'air de refroidissement lui parvient par des fentes ménagées dans la coque du fuselage. Sa cylindrée est de  $450 \text{ cm}^3$  et la puissance développée de 18 ch à 4 200 tours/mn.

Construit en série, cet avion ne devrait coûter que 12 000 livres.

### A propos d'astronautique

DANS le but de coordonner les efforts de tous ceux qui se préoccupent de l'astronautique, MM. Hirsch (1) et Ananoff viennent de créer une section spéciale au sein de la Société Astronomique de France. Ainsi le rassemblement méthodique des résultats

(1) Fondateur, avec M. Esnault-Pelterie, du Prix international d'Astronautique.

tats des recherches concernant le moteur à réaction facilitera la tâche des inventeurs.

### Les « à côté » de l'autarcie en Allemagne

L'ALLEMAGNE cherche par tous les moyens à diminuer ses importations pour vivre sur ses ressources nationales, en régime autarcique. A côté des grandes questions, telles que celle des carburants de remplacement, elle envisage également la solution de petits problèmes, dont la solution appliquée à de nombreux objets d'usage courant doit améliorer la balance commerciale du pays. Voici par exemple, afin d'économiser le fer, la fabrication des clefs en alliage de magnésium qui, en outre, allège les trousseaux de clefs et les rend inoxydables ; les chaussures en peau de poisson colorée ; l'emploi du verre à la place du fer et du plomb pour les tubes d'un certain diamètre, avec joints spéciaux bien entendu. A la cuisine, la farine de poisson, dont un traitement approprié permet d'extraire une albumine absolument inodore, peut, paraît-il, remplacer le blanc d'œuf dans la préparation des plats et des gâteaux.

Ainsi, on estime en Allemagne qu'il ne suffit pas de rechercher des « ersatz » aux produits de grande consommation comme l'essence, les textiles, etc., pour s'affranchir des importations. L'ingéniosité des chercheurs s'exerce dans tous les domaines.

V. RUBOR.

## CHEZ LES ÉDITEURS (1)

**Epurage, séchage, agglomération et broyage du charbon**, par Ch. Berthelot. Prix franco : France, 100 f ; étranger, 103 f.

De nos jours, le développement et l'orientation actuelle de la technique de l'épuration, du séchage, de l'agglomération, du broyage de la houille, constitue l'une des branches les plus importantes de l'industrie minière. Nul n'était plus qualifié que l'auteur de cet ouvrage — de par ses recherches et ses travaux — pour exposer en détail les méthodes les plus modernes concernant notamment le classement et l'épuration des combustibles qui ont été récemment mises au point, en Europe et en Amérique, au cours de ces dix dernières années. Bien qu'un tel sujet relève plus du technicien spécialiste que des lecteurs à culture scientifique générale, cette question mérite d'être connue, car les exploitations minières ont réalisé dans ce domaine de tels progrès qu'ils intéressent l'économiste comme l'ingénieur. Les nouveaux procédés appliqués aujourd'hui en France ont, en effet, permis de lutter avantageusement, notamment contre la concurrence étrangère. La documentation recueillie par l'auteur concerne donc les différents pays industriels qui ont eu à envisager les mêmes problèmes en vue de les résoudre pratiquement pour le ravitaillement en produits minéraux extraits de leur sol. Cet examen a été mené à bien, en dépit du nombre, de la variété, de la complexité des sujets à étudier, car ils dépendent de la nature du combustible disponible, de l'opération industrielle à effectuer, des nécessités commerciales à satis-

faire. Néanmoins, l'ouvrage que nous analysons ici offre un caractère synthétique qui en accroît, par suite, la portée et en élargit le champ de diffusion. Les principes de telles opérations industrielles ont été suffisamment dégagés pour que l'on puisse se rendre compte des applications « technologiques » qui en dérivent en vue d'obtenir au meilleur prix le meilleur produit (coke de qualité, etc.). L'examen sur place des méthodes en usage dans les bassins houillers français et étrangers (Belgique, Pologne, Tchécoslovaquie, Roumanie, entre autres) a permis à l'auteur de se rendre compte des progrès accomplis et de leur valeur d'utilisation pratique dans les exploitations les plus récemment perfectionnées. Aussi rendement, prix de revient ont-ils retenu plus particulièrement l'attention de l'ingénieur, dans de semblables voyages d'études à travers les charbonnages en exploitation, non seulement pour répondre aux besoins nationaux, mais encore pour affronter les compétitions des marchés étrangers. Il est superflu d'ajouter que chaque pays s'efforce, par suite, de tirer le meilleur parti de ses gisements. Les bassins lignifères ont été également, dans le même but, mis à profit pour compléter la « gamme » des produits minéraux provenant de la houille proprement dite. Nous avons tenu à présenter ici un tel ouvrage non pas seulement aux ingénieurs de mines (qui ont à leur disposition les revues spécialisées), mais surtout à appeler l'attention du public instruit qu'aucun de ces problèmes d'économie industrielle ne doit laisser indifférent. De leur solution dépend, en effet, l'évolution économique d'un pays et leurs conséquences doivent être envisagées et méditées par l'élite

(1) Les ouvrages annoncés peuvent être adressés par LA SCIENCE ET LA VIE, au reçu de la somme correspondant aux prix indiqués, sauf majoration.

d'une nation : la science appliquée est d'autant plus féconde qu'elle demeure en liaison constante avec l'économie nationale. A ce point de vue, la préparation « scientifique » du charbon d'après les procédés les plus modernes en fournit, à cet égard, un nouvel exemple démonstratif dans les multiples et complexes manifestations de la production industrielle.

G. B.

**Les principes de relativité et la mécanique invariante**, par *Dive*. Prix franco : France, 19 f ; étranger, 21 f.

Cet ouvrage, bien que s'adressant exclusivement aux initiés, intéressera tous ceux qui cherchent à se tenir au courant de l'évolution de la mécanique rationnelle, d'après les conceptions les plus modernes.

**Carnet du bon automobiliste**, par *Desclaux*. Prix franco : France, 17 f ; étranger, 20 f.

C'est le livre du conducteur prudent. Voilà donc un manuel qui s'impose, puisque, chaque année, la France perd plus de 5 000 de ses habitants par accidents mortels. La lecture de ce « carnet » diminuerait-elle le nombre de ces morts violentes de 20 % seulement qu'il aurait amplement justifié le but que son auteur s'est proposé.

**L'apogée de la guerre sous-marine**, par *Marcel Rondeleux*. Prix franco : France, 16 f 60 ; étranger, 18 f 60.

Nul sujet n'est plus d'actualité ni plus controversé que l'arme sous-marine. Les uns — et c'est la majorité — en sont de fervents partisans (surtout pour détruire les bâtiments de commerce de l'ennemi) ; les autres considèrent le sous-marin comme une arme de faible efficacité (aveugle, armement insuffisant). Parmi ces adversaires du submersible, l'on compte des marins éminents, d'autant plus compétents que « sous-marinières » ! Aussi nous devons recommander la lecture d'un journal du com-

mandant d'escadrille de patrouille au cours de la guerre 1917-1918, car il offre, à ce point de vue, un réel intérêt documentaire. De plus, il met une fois encore en évidence le rôle glorieux de ceux qui firent la guerre navale comme chasseurs de submersibles ! Sous sa forme anecdotique, il intéressera vivement tous ceux — jeunes et vieux — que ne laissent pas indifférents les choses de la mer... surtout lorsqu'il s'agit de la défense nationale.

**Encyclopédie de la radioélectricité**, par *Michel Adam*. Un volume d'environ 600 pages 21 x 27, 5 740 articles, 748 schémas, 2 539 figures ; Etienne Chiron, éditeur, 40, rue de Seine, Paris.

Cette œuvre remarquable présente, pour la première fois, la radio tout entière condensée en un seul volume. C'est à la fois un dictionnaire complet, un formulaire, un ouvrage technique et un ouvrage de vulgarisation. Professionnels et amateurs, y trouveront aisément et rapidement le renseignement cherché, le chiffre, la théorie ou le montage désirés.

« **Very low temperatures** » (Très basses températures), par *T.-C. Crawhall* ; 3 volumes. Editeur : « Science Museum », South Kensington, Londres S. W. 7.

**Le pont à travers le lac Majeur : les travées flottantes en béton armé du docteur-ingénieur Alfredo Varni pour les grands ports et les ouvrages de ports**, *Alfredo Varni* (Lago Maggiore), Pallanza (Italie).

**Fards** (Quarante formules simples et de valeur), par *R. Le Florentin*. Prix franco : France, 6 f 50 ; étranger, 8 f 50.

**Extraits de parfums** (Trente-neuf formules simples et de valeur), par *R. Le Florentin*. Prix franco : France, 6 f 50 ; étranger, 8 f 50

## TARIF DES ABONNEMENTS A « LA SCIENCE ET LA VIE »

### FRANCE ET COLONIES

Envois simplement affran-	{ 1 an..... 55 fr.	Envois recommandés.....	{ 1 an..... 65 fr.
chis.....	{ 6 mois... 28 —		{ 6 mois... 33 —

### BELGIQUE

Envois simplement affran-	{ 1 an... 70 f. (français)	Envois recommandés.....	{ 1 an... 90 f. (français)
chis.....	{ 6 mois. 36 f. —		{ 6 mois. 45 f. —

### ÉTRANGER

Pour les pays ci-après : *Afghanistan, Australie, Bolivie, Chine, Danemark, Etats-Unis, Grande-Bretagne et Colonies, Iles Philippines, Indes Néerlandaises, Irlande, Islande, Italie et Colonies, Japon, Norvège, Nouvelle-Zélande, Palestine, Pérou, Rhodésia, Suède.*

Envois simplement affran-	{ 1 an..... 90 fr.	Envois recommandés.....	{ 1 an.... 110 fr.
chis.....	{ 6 mois... 46 —		{ 6 mois.. 55 —

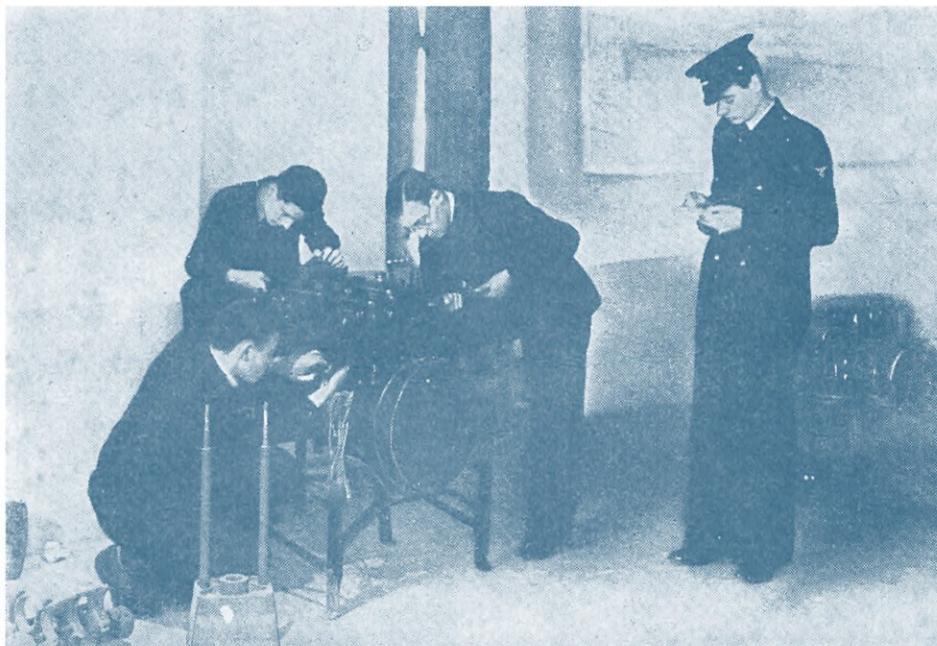
Pour les autres pays :

Envois simplement affran-	{ 1 an..... 80 fr.	Envois recommandés.....	{ 1 an..... 100 fr.
chis.....	{ 6 mois... 41 —		{ 6 mois.. 50 —

Les abonnements partent de l'époque désirée et sont payables d'avance, par mandats, chèques postaux ou chèques tirés sur une banque quelconque de Paris. — Tout changement d'adresse doit être accompagné de la somme de 1 franc en timbres-poste.

« LA SCIENCE ET LA VIE » — Rédaction et Administration : 13, rue d'Enghien, Paris-X<sup>e</sup>  
CHÈQUES POSTAUX : 91-07 PARIS

# LES OFFICIERS-MÉCANICIENS DE LA MARINE MARCHANDE



ÉLÈVE-OFFICIER MÉCANICIEN SURVEILLANT LE DÉMONTAGE D'UN MOTEUR

Les officiers-mécaniciens embarqués à bord des navires sont chargés de la conduite et de l'entretien des machines du bord. Ils ont sous leurs ordres, pour la partie matérielle, un personnel d'élèves-officiers, de chauffeurs, graisseurs, ouvriers.

Ils ont le même uniforme d'officier de la marine marchande que les capitaines au long-cours et le même nombre de galons à grade égal. Lorsqu'ils ont 25 ans de service et 50 ans d'âge, les officiers-mécaniciens ont droit à une retraite. A bord, ils mangent au carré et ont une cabine personnelle.

Ils sont chefs de quart pendant leur service, mais le chef mécanicien, en général, ne fait plus le quart. Les quarts sont de 8 heures par jour par séries de 4 heures, mais avec la semaine de 40 heures, des permissions de compensation s'ajoutent aux 30 jours de permission annuelle.

Leurs traitements varient de 1.500 à 2.000 francs par mois au début jusqu'à 50 ou 60 000 francs par an, et même 100 000 sur les grands chalutiers, sans compter les avantages en nature : logement, nourriture, primes de charbon, etc.

Ils obtiennent en général avant la fin de leur carrière la Croix du Mérite maritime ou la Légion d'Honneur et peuvent devenir, quand ils sont de 1<sup>re</sup> classe, ingénieur-mécanicien de réserve de la Marine de Guerre.

**Places.** — Alors que la plupart des carrières sont encombrées, il y a au contraire de nombreuses places d'officiers-mécaniciens.

L'examen peut être passé à 18 ans pour les élèves-officiers et pour les officiers de 2<sup>e</sup> classe.

C'est donc une carrière vers laquelle les jeunes gens qui aiment la vie active, libre, les voyages, la vie assurée, ainsi que le prestige d'une carrière d'officier doivent se diriger immédiatement.

**IL FAUT SE PRÉPARER LE PLUS TOT POSSIBLE.**

**L'Ecole de Navigation Maritime et d'Officiers mécaniciens de Nice**, placée sous le patronage de la Ville et de la Chambre de Commerce, prépare aux examens d'officiers-mécaniciens les jeunes gens, **soit sur place, soit par correspondance.**

Renseignements et programmes gratuits (1 timbre pour réponse) au siège de l'Ecole, **56, boulevard Impératrice-de-Russie, à Nice.**

PHOTO B. BELLOW

# Geugeot

# 202

6 cv. 4 places. 4 portes

MOINS DE

8 LIT. D'ESSENCE AUX

100 KM A 65 DE MOYENNE

AVEC 4 PERSONNES A BORD

CONSOMMATION CONTROLEE PAR L'A. C. F.

LA 202 EST LA NOUVELLE VOITURE DE TOUS LES FRANÇAIS...