

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

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

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

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

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

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

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

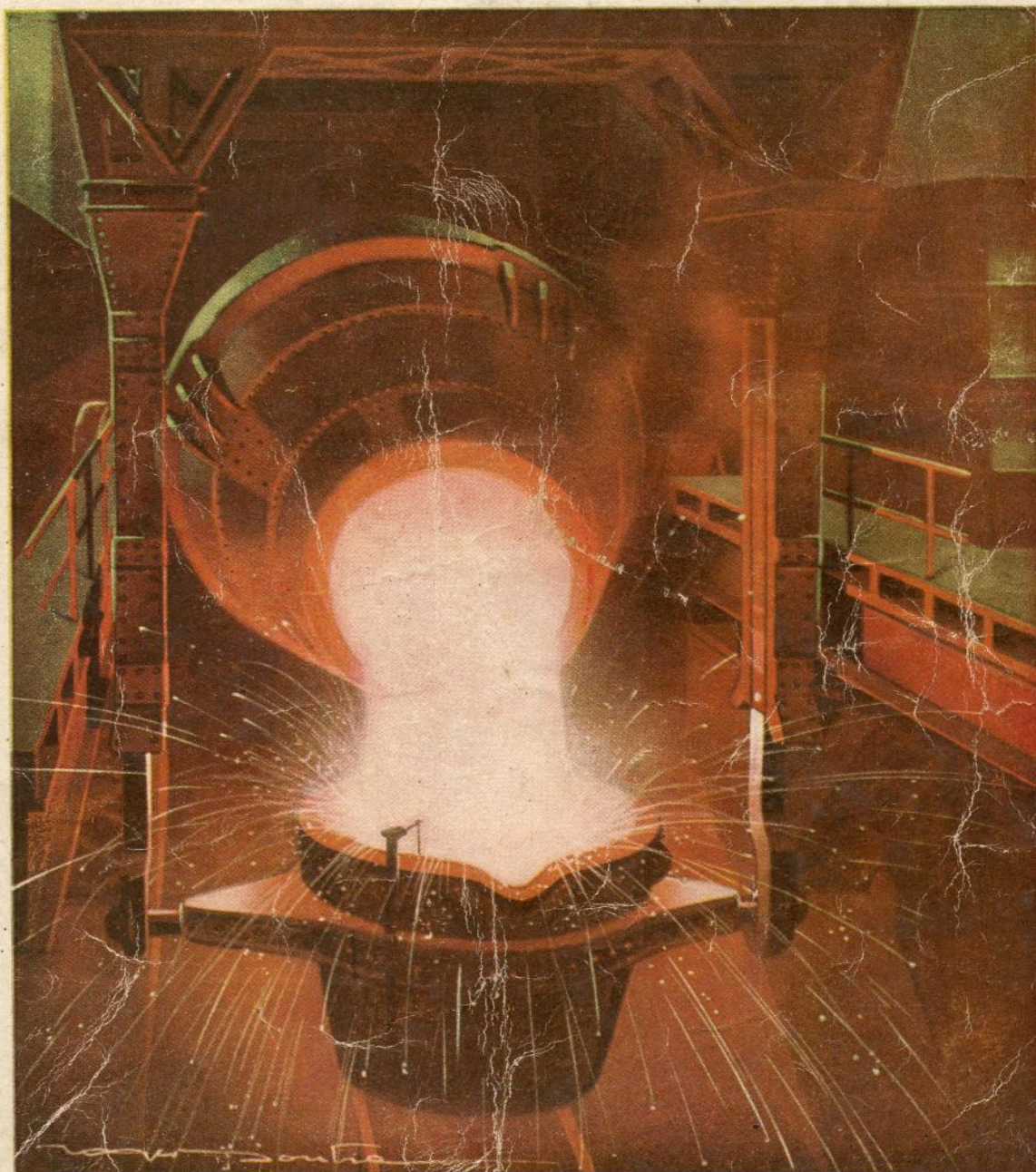
NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

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

Notice du Volume	
Auteur(s) volume	[s.n.]
Titre	La science et la vie
Volume	Tome 63. n. 308. Avril 1943
Adresse	Paris : La Science et la Vie, 1943
Collation	1 vol. (p.([147]-194).[2]p.) : ill., couv. ill. en coul. ; 24 cm
Cote	SCI. VIE 308
Sujet(s)	Sciences -- Vulgarisation Culture scientifique et technique Presse scientifique
Thématique(s)	
Typologie	
Langue	Français
Date de mise en ligne	10/12/2019
Date de génération du PDF	10/12/2019
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?SCVIE.308

AVRIL 1943

SCIENCE ET VIE



7 FRANCS

Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

VOTRE AVENIR



est dans la Radio



AYEZ CONFIANCE en VOUS

Vous pouvez TOUS suivre nos cours

Inscrivez-vous dès maintenant

8, rue Porte-de-France, à VICHY

ou demandez-nous franco, le

« Guide des Carrières »

“ Publicités Réunies ”



ÉCOLE CENTRALE DE T-S-F

12 rue de la Lune PARIS 2^e



Telephone Central 78-87

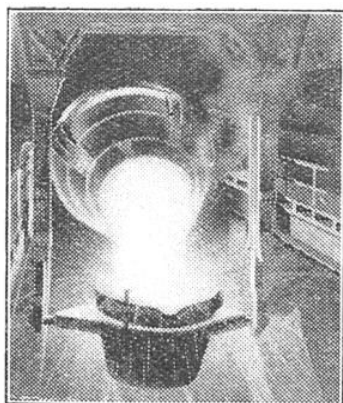
SCIENCE ET VIE

Tome LXIII - N° 308

SOMMAIRE

Avril 1943

- ★ Pour résoudre le problème des « Ersatz » métallurgiques : métaux légers, aciers spéciaux et alliages nouveaux, par André Moles..... 149
- ★ Du quartz de Curie aux ultrasons, par M.-E. Nahmias. 156
- ★ Les nouvelles applications industrielles des rayons X peuvent-elles menacer la santé des travailleurs? par Henri François..... 165
- ★ Le bois, rival de l'acier, par Pierre Devaux..... 173
- ★ Le canal de Nicaragua doublera-t-il le canal de Panama? par Edmond Delage..... 183
- ★ Tunnels sous-marins japonais..... 186
- ★ Les projets de l'exploitation de la chaleur solaire au Sahara, par André de Boucone..... 187

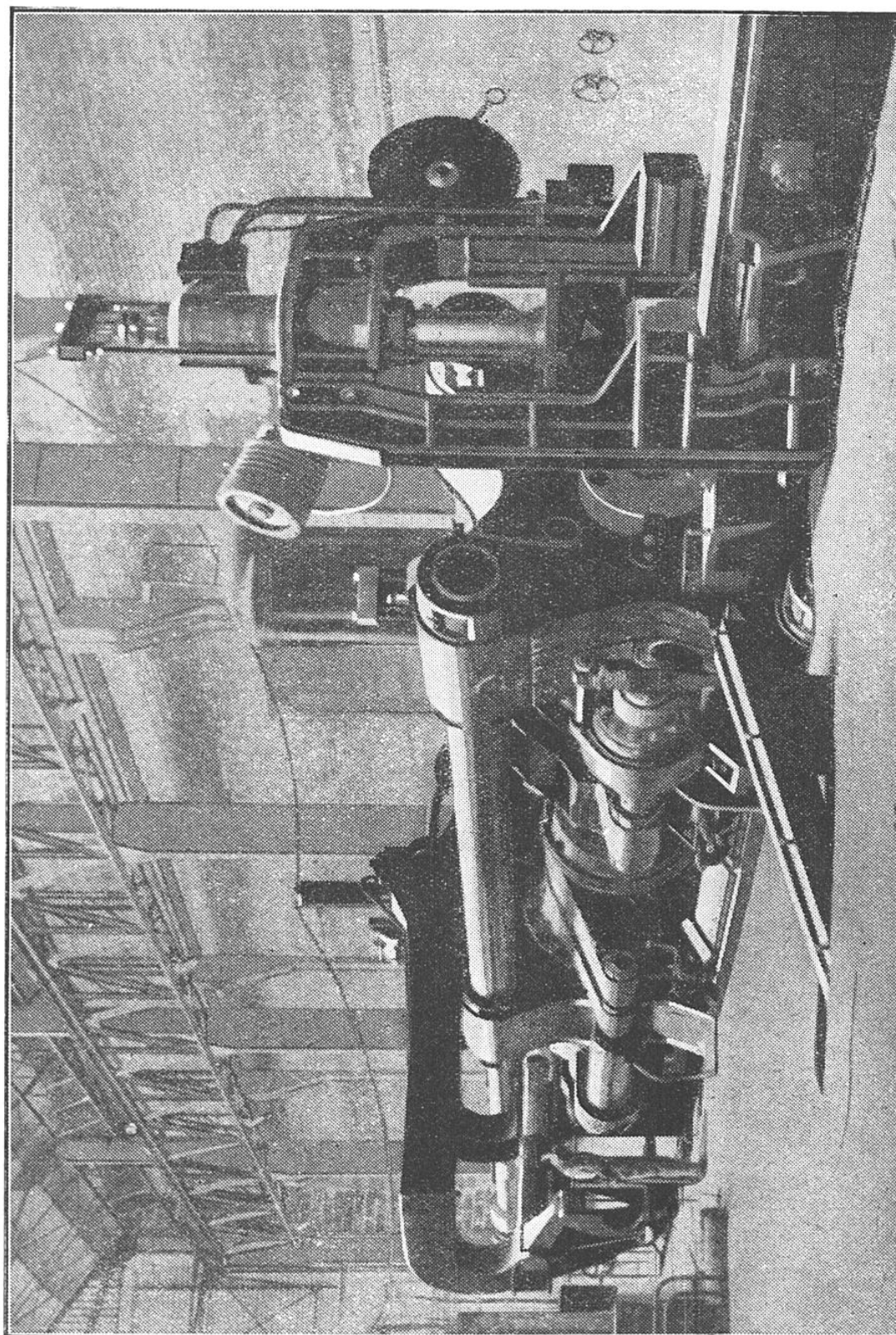


T W 23714

La guerre moderne est grande mangeuse de métaux. Nuit et jour, les usines métallurgiques produisent, pour alimenter les combattants des fronts et les services de l'arrière, d'énormes quantités d'acier, d'aluminium, etc. La cornue Bessemer que représente notre couverture fournit à chaque coulée 25 tonnes d'acier : le poids de 600 m de rail ou de 17 canons de 75 mm ou le quart du poids d'une locomotive « Pacific ». Et pourtant, la demande croissante des armées, jointe à la pénurie des constituants des aciers spéciaux de haute qualité, oblige les industriels à substituer aux alliages d'avant guerre des alliages de circonstance, ersatz dont certains se sont révélés excellents et auront sans doute un brillant avenir une fois la paix revenue. (Voir l'article page 149 du présent numéro.)

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

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



T W 23721

PRESSE A FILER DE 4 500 TONNES DE L'USINE DE COUZON DE LA SOCIÉTÉ DU DURALUMIN

POUR RÉSOUDRE LE PROBLÈME DES « ERSATZ » MÉTALLURGIQUES : MÉTAUX LÉGERS, ACIERS SPÉCIAUX ET ALLIAGES NOUVEAUX

par André MOLES
Ingénieur I. E. G.

Les fabrications métallurgiques en France subissent depuis deux ans une évolution profonde. Les stocks de matières premières vont s'amenuisant; l'interruption des échanges internationaux supprime pratiquement toute possibilité de les reconstituer par l'importation; l'inégale répartition dans le monde des ressources minières (1) limite à des tonnages notoirement insuffisants la fabrication de nombre de métaux jusqu'ici considérés comme indispensables, et même pour certains l'interdit complètement. La récupération des vieux métaux, la collecte de tous les déchets de fabrication, la mise en œuvre de méthodes constructives nouvelles ayant pour but d'épargner la matière ouvrée par une meilleure utilisation de ses propriétés mécaniques, telles sont les premières mesures qui se sont imposées et dont l'efficacité est loin d'être négligeable. Cependant, la recherche de produits de substitution est devenue inéluctable, et l'on voit aujourd'hui les matières plastiques, le bois même, et surtout les métaux légers, occuper, dans nombre d'applications, la place des métaux ferreux et non ferreux. Toute une gamme nouvelle d'aciers spéciaux a aussi fait son apparition, de qualités parfois supérieures, parfois égales aux anciens, mais avec des teneurs réduites en ces métaux « précieux » du temps présent que sont devenus les métaux d'addition des classiques aciers à outils, inoxydables et autres. Plusieurs de ces solutions révolutionnaires, que les circonstances ont obligé à mettre au point, constitueront des acquisitions définitives de la métallurgie et sont appelées à conserver leur place dans les fabrications normales du futur temps de paix.

LES circonstances économiques actuelles nous privent presque absolument d'un certain nombre de métaux nécessaires à l'industrie moderne.

Au premier rang de ceux-ci, par le tonnage, vient le cuivre dont la plus grosse consommation était faite par l'industrie électrique, industrie de l'énergie, industrie vitale.

Non moins importants sont les métaux dits « spéciaux » dont le tonnage utilisé peut être relativement faible, mais qui jouent, quand même, un rôle de premier plan dans le traitement et la fabrication des multiples nuances d'acier. Tels sont : le manganèse, nécessaire au traitement de tous les métaux ferreux; le nickel et le chrome, utilisés dans les aciers inoxydables, le tungstène, le molybdène, le vanadium, qui permettent la fabrication des aciers à outils dits rapides.

Manquent également de façon presque com-

plète le plomb et l'étain nécessaires pour les bronzes, soudures, alliages antifrictions, etc...

En regard de ce tableau très sombre, quelles sont nos disponibilités? Ce fut la première question que se posa le Secrétariat à la Production industrielle, submergé par le flot montant des demandes d'industriels menacés d'arrêter leurs fabrications, qu'il s'agisse de soldats de plomb ou de turbines à vapeur.

La récupération et ses difficultés

Notre seule ressource pour les métaux précités est la récupération des vieux métaux, ressource certes considérable si le ramassage est poursuivi activement; mais cette collecte est bien difficile à conduire auprès du grand public, là où cette récupération peut être la plus fructueuse. Remarquons cependant, pour ne prendre qu'un exemple, que beaucoup de petites industries électriques ont pu continuer à tourner grâce à l'échange du vieux cuivre contre le neuf avec un inévitable déchet.

On récupère de même nickel, chrome, etc..., mais pour ceux-ci l'opération est plus délicate, car ce ne sont plus des métaux purs, mais des alliages de composition complexe qu'on ramasse.

(1) Tel est le cas, par exemple, pour les métaux d'addition des aciers spéciaux : si la Turquie, la Yougoslavie et la Grèce disposent de chrome, le Portugal de tungstène, la Norvège de titane et de molybdène, l'U.R.S.S. de manganèse, tous les autres pays européens sont dépourvus de ressources naturelles appréciables en ces divers métaux.

La récupération des vieilles ferrailles est aussi entreprise; ce n'est pas là cependant un appoint aussi considérable qu'on pourrait le croire. Ce qui limite ici notre production, c'est moins la matière première que la capacité des installations de traitement et les produits nécessaires : houille, manganèse (1), etc...

Cependant, on pourrait envisager cette récupération sur une échelle beaucoup plus vaste (2), car les vieilles ferrailles constituent un « minerai » à très haute teneur. Elles nécessitent seulement 500 kg par tonne de coke métallurgique pour leur traitement au lieu des 1 200 kg nécessaires pour le minerai normal.

A remarquer qu'il se posera peut-être alors des problèmes nouveaux au métallurgiste. Dans certaines fabrications expérimentales au four Martin, alimentées presque exclusivement par des ferrailles, on a constaté des variations de propriétés mécaniques dues au fait que la composition des ferrailles plusieurs fois récupérées se modifie par des concentrations successives de corps impossibles à éliminer ou difficilement

Pays	Production en tonnes
Malaisie	44 000
Bolivie	26 000
Indes néerlandaises.....	22 000
Afrique	18 000
Thaïland	14 000
Chine	10 000

TABLEAU II. — PRODUCTION DE L'ÉTAIN EN 1938

La majeure partie de cette production était absorbée par la fabrication de 1 million de tonnes de fer-blanc.

Avec quelques stocks de divers métaux, telle se présentait la situation au lendemain de l'armistice. Remarquons qu'à ce moment les pays anglo-saxons se trouvaient dans une situation inverse : possédant en abondance cuivre, nickel, étain, etc..., ils se trouvaient démunis de métaux légers et furent contraints d'en établir le rationnement.

La métallurgie de remplacement

Dans tous les pays belligérants et dans ceux qui en dépendent économiquement s'est donc posé, quelque temps après les événements de 1940, le problème de l'emploi des métaux dans les diverses industries. Ce fut alors la naissance d'une nouvelle technique : la métallurgie de remplacement, chargée de créer des alliages de propriétés données en éliminant les corps devenus rares. Or, les possibilités du remplacement sont fonction de l'application particulière envisagée, et nous verrons

quelquefois éliminer le métal de domaines où jusqu'ici il régnait en maître, témoin les nouveaux paliers où le métal antifriction est remplacé par des matières plastiques, ou les engrenages en produits cellulosiques comprimés, insonores, graissés avec une émulsion d'huile et d'eau, témoin encore ces tubes en matières moulées, telles que le chlorure de polyvinyle qui remplacent, à la satisfaction des usagers, les anciens tubes en étain dans la vente des produits de parfumerie.

Ce sont là des exemples bien caractéristiques qui montrent qu'il est bien des domaines où le métal n'est utilisé que par tradition. L'expérience montre, en effet, qu'une industrie une fois mise en route, il devient très coûteux de modifier les procédés de fabrication, et que des problèmes techniques souvent simples demeurent

Production en tonnes.		Emplois en %.	
U. S. A.	360 000	Gaines de câbles	55 %
Australie	225 000	Emplois irremplaçables (soudure, alliages, etc.)	10 %
Mexique	220 000	Autres emplois	35 %
Allemagne	190 000		
Canada	188 000		
Belgique	89 000		
France	40 000		

TABLEAU I. — PRODUCTION ET EMPLOIS DU PLOMB

Ce tableau montre que le plomb servait principalement à faire des enveloppes de câbles électriques. La mise au point récente en Allemagne d'un alliage à base d'aluminium pouvant se substituer au plomb pour cet usage lui permettra de réduire considérablement ses importations après la guerre.

dosables. Le métal évoluerait ainsi et les traitements antérieurs influeraient légèrement sur ses propriétés présentes.

Seuls l'aluminium et le magnésium subsisteront en quantité suffisante tant que nous disposerons d'énergie électrique. C'est sur eux seuls que nous pouvons tabler pour le remplacement à grande échelle des métaux déficitaires : nous avons le minerai (3), nous avons l'énergie électrique, nous savons fabriquer la cryolithe (4) nécessaire à la fabrication de l'aluminium.

(1) Le manganèse est un élément capital de la métallurgie du fer : il est indispensable à l'élaboration de la fonte au haut fourneau, à cause de son action désulfurante et à celle de l'acier au convertisseur, au four Martin, etc., à cause de son action désoxydante.

(2) On prévoyait qu'en zone occupée, pour l'année 1942, les ferrailles récupérées atteindraient un tonnage de 400 000 t.

(3) La bauxite est exploitée en France dans plusieurs départements et ses gisements de Provence passent pour les plus riches du monde.

(4) C'est un fluorure double d'aluminium et de sodium. Le principe de la métallurgie de l'aluminium réside dans l'électrolyse d'une solution d'alumine dans la cryolithe fondue dans un four électrique.

Production en tonnes		Emplois en %	
Canada	78 000	Aciers spéciaux...	55 %
Nouv.-Calédonie ...	10 000	Alliages	28 %
Norvège	1 000	Nickelage	12 %

TABLEAU III. — PRODUCTION ET EMPLOIS DU NICKEL

non résolu, non parce qu'ils sont insolubles, mais parce qu'il faudrait les étudier par le détail, qu'une mise au point est toujours longue et délicate, et qu'on ne l'entreprend — surtout en France — que quand des cataclysmes mondiaux l'imposent.

Examinons maintenant les différentes applications des métaux, et voyons ce qui a été fait pour remédier à la pénurie de matières premières dont souffre actuellement notre industrie.

On peut d'ailleurs escompter d'ici peu l'apparition d'alliages légers à traitement thermique améliorés dont la charge de rupture serait de 30 % supérieure à celle des meilleurs duralumins.

Les métaux légers furent découverts par les industries aéronautiques dès 1914; ils se sont peu à peu répandus dans les constructions navales qui leur ont demandé de très sérieux progrès en matière de corrosion, l'eau et sur-

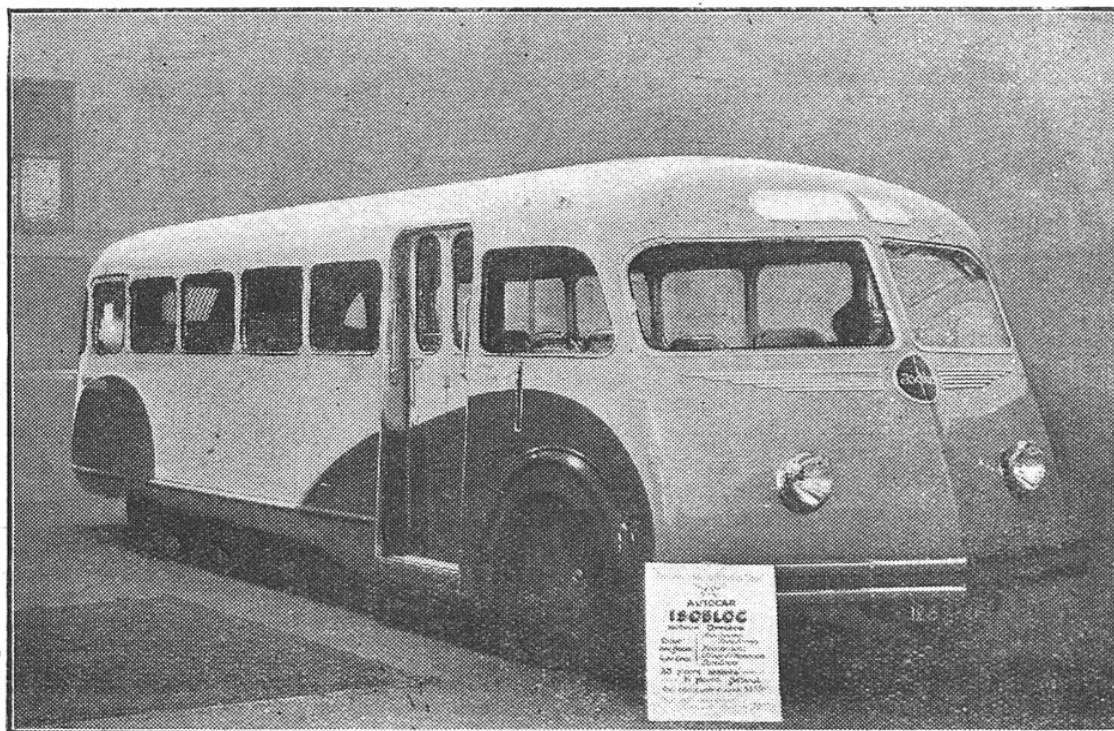


FIG. 1. — UN EXEMPLE DE VÉHICULE INDUSTRIEL ALLÉGÉ

T W 22115

Le poids total en ordre de marche de cet autocar est de 3 430 kg, soit, avec 44 voyageurs, 78 kg de poids mort par voyageur. Ce résultat est obtenu par la réalisation de la coque en poutre-caisse sans châssis, avec membrures tubulaires et revêtement d'alliage d'aluminium « duralinox ». Le moteur est à l'arrière.

Le classement le plus logique de ces applications se fera suivant les qualités demandées à la matière utilisée.

Les aciers classiques et les métaux légers

Nous examinerons ainsi d'abord les métaux auxquels on demande des propriétés mécaniques. On utilisait autrefois les ferro-carbones — les aciers — dont les multiples nuances (un catalogue récemment publié en contenait plus de 2 000) s'adaptaient à presque toutes les conditions de travail.

Dans bien des cas, on remplace actuellement ceux-ci par des alliages légers, le type d'alliage à traitement thermique susceptible de remplacer l'acier restant le duralumin qui, s'il n'atteint pas encore, et de loin, les très hautes résistances de certains aciers, présente sur ceux-ci l'avantage incontestable de la légèreté. Aussi est-il de plus en plus utilisé dans tout le matériel roulant : chemins de fer, automobiles, poids lourds.

tout le brouillard salin étant extrêmement nocifs vis-à-vis des alliages d'aluminium pour peu qu'ils contiennent un peu de cuivre, comme c'est le cas pour le duralumin. C'est alors qu'on vit apparaître successivement le *vedal*, duralumin protégé par une mince couche d'aluminium très pur évitant la formation des couples électrochimiques; le *thalassal*, alliage aluminium-manganèse; le *duralinox*, duralumin modifié par élimination du cuivre indésirable remplacé par du magnésium, etc...

Enfin, on mit au point des recouvrements étanches et adhérents, tels que le procédé *aluminium* d'oxydation anodique.

Aussi peut-on dire qu'actuellement le problème de la corrosion des alliages légers est résolu de façon satisfaisante, puisqu'on utilise dans la décoration certains d'entre eux susceptibles d'un beau poli, au lieu et place des aciers ou laitons nickelés ou chromés. C'est ainsi qu'on fabrique des garnitures de glaces, des poignées de portes, des articles décoratifs et que nous voyons même pénétrer les dérivés de l'aluminium dans le domaine des alliages mo-

nétaires au grand dam des sociétés de bascules automatiques.

A la veille de la guerre, les alliages légers de forge et de laminage étaient en train de conquérir le domaine de la traction automobile et de pénétrer dans la traction ferroviaire. Cette évolution se précipite actuellement. Elle semble devoir être définitive : après retour à des conditions économiques normales, les composés d'aluminium et de magnésium ne céderont pas le domaine ainsi acquis, à cause du gain sur le poids mort, conduisant à des accroissements de 30 à 40 % de la charge utile.

Remarquons bien cependant que dans la plu-

de navires et les organes en mouvement dans un fluide menacés de ce mal terrible : la cavitation.

Suivant les instructions des comités d'organisations, les efforts des métallurgistes se sont portés vers une diminution de la teneur en métaux spéciaux, particulièrement en nickel qui nous faisait le plus défaut. Le problème n'était pas simple : la mise au point de nouveaux alliages est une opération souvent très longue demandant des années d'efforts, car les conditions d'essai des laboratoires, surtout en matière de corrosion, diffèrent toujours des conditions d'emploi pratique.

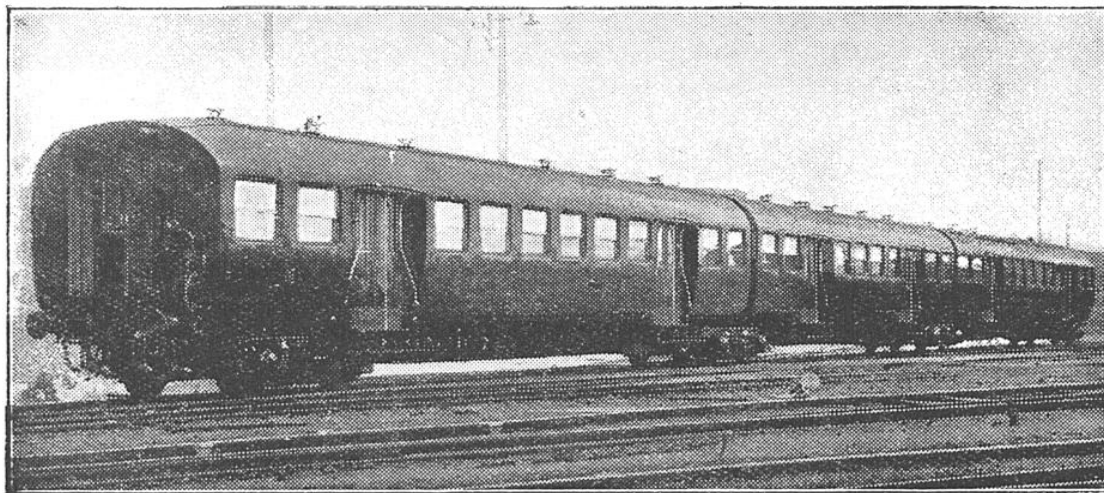


FIG. 2. — RAME ARTICULÉE DE LA S.N.C.F. (NORD) RÉALISÉE ENTIÈREMENT EN ALLIAGES LÉGERS D'ALUMINIUM : GAIN DE POIDS, 37,5 %.

part des cas on sera amené à recalculer complètement les pièces ainsi modifiées pour tenir compte de la variation des caractéristiques mécaniques : à résistance égale, une pièce en métal léger sera plus massive, encore que moins lourde, que la pièce correspondante en acier.

Mais il est de nombreuses circonstances où le calcul des pièces métalliques ne ressortit pas à la résistance des matériaux, mais plutôt à des conditions géométriques, esthétiques ou économiques les plus diverses, et le gain apporté par le remplacement sera souvent très appréciable. De telles considérations s'appliquent aussi aux aciers spéciaux. Il semble, en effet, qu'on ait bien souvent utilisé, au temps de l'abondance, des aciers à haute résistance sans que le besoin s'en fit réellement sentir, et plutôt comme argument de vente. Aussi sera-t-il possible de dimensionner les pièces pour une fabrication en acier ordinaire qui dispensera de l'emploi des métaux spéciaux.

Les aciers inoxydables

Une deuxième catégorie de métaux comprendra ceux auxquels on demande, en même temps que d'excellentes qualités mécaniques, une bonne tenue à la corrosion. Cet emploi était couvert jusqu'ici presque exclusivement par les aciers inoxydables dont le type pour les températures moyennes était le classique 18-8 (à 8 % de nickel et 18 % de chrome), utilisé universellement pour les turbines, les hélices

D'ailleurs, les études furent dominées par la question des approvisionnements, et les aciéries sortirent successivement plusieurs produits de remplacement dont la composition s'était modifiée en fonction des stocks disponibles. C'était là le plus gros écueil.

Un alliage, en effet, n'est pas généralement un simple mélange ; il correspond à ce qu'en chimie on appelle une combinaison définie et ses propriétés particulières dépendent étroitement d'une teneur critique de ses composants. Aussi ne peut-on, en principe, s'éloigner de cette teneur sans affecter ces propriétés d'une façon très sensible ou même les faire disparaître. Il faut alors rechercher une autre composition ayant les mêmes propriétés — et son existence n'est rien moins que certaine — ou alors, s'orientant dans une voie toute différente, trouver un nouveau système de propriétés identiques.

Un exemple de ces deux tendances nous sera donné par le cas des aciers pour turbines à vapeur : doués d'une très haute résistance mécanique pour subir sans déformation les efforts centrifuges aux grandes vitesses, condition du meilleur rendement thermodynamique, ils doivent, de plus, être parfaitement inoxydables à des températures allant de 300 à 450° C.

On utilisait autrefois un dérivé du 18-8 classique, amélioré par de faibles additions de manganèse et de molybdène.

La politique autarcique conduisit l'Allemagne, dès 1937, à la recherche de solutions nou-

velles évitant si possible l'emploi du nickel. On trouva d'abord un nouveau type d'alliage inoxydable : les alliages au chrome-aluminium. L'inoxidabilité serait due ici à la formation à chaud d'une mince pellicule continue d'alumine à la surface du métal. Les mêmes causes produisant les mêmes effets, on améliora la résistance mécanique de l'acier ainsi créé par des additions de 1 % de manganèse et de molybdène.

Ce sont de tels alliages qui permettront bientôt, espérons-le, la fabrication des turbines à grande vitesse — 6 000 tours — et à vapeur surchauffée que demandent les spécialistes.

Les aciers à l'azote

Répondant au même problème pour des températures encore plus élevées — 700 à 800° C — qu'on rencontre quelquefois dans l'industrie chimique, les métallurgistes allemands ont présenté, en 1940, une solution qui ouvre à la métallurgie des perspectives entièrement nouvelles.

Quel était au juste le rôle du nickel dans les aciers? Il revenait à empêcher la transformation de l'un des constituants, l'austénite, au cours du refroidissement. Or, l'introduction d'une faible proportion d'azote dans le métal conduit au même résultat, et l'effet obtenu avec 0,1 % d'azote est celui de 3 % de nickel. Incorporant sur ces bases de l'azote dans le métal en fusion, on a réalisé de véritables aciers à l'azote (1) de très grande résistance chimique à chaud, et cependant plus faciles à travailler que les aciers classiques au molybdène. Ainsi un acier de composition : 14 % de chrome, 6 à 9 % de manganèse, 0,25 % d'azote, a les mêmes qualités mécaniques qu'un acier clas-

(1) Ne pas confondre ici avec la nitruration, traitement superficiel de résultats analogues à la cémentation et connu déjà depuis quinze ans.

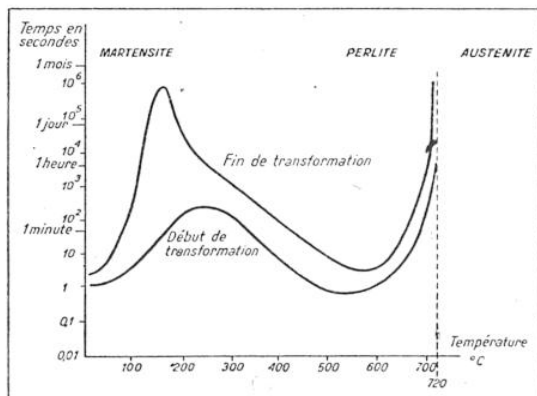


FIG. 3. — TEMPS DE TRANSFORMATION DE L'AUSTÉNITE AUX DIVERSES TEMPÉRATURES (ACIER A 0,9 % DE CARBONE)

L'austénite est le constituant stable de l'acier au-dessus de 720° C. Au-dessous, elle se transforme progressivement en divers constituants : la perlite entre 700° et 500°, la martensite au-dessous de 150°. Le diagramme ci-dessus donne les courbes de début et fin de transformation de l'austénite à diverses températures. On voit que le temps nécessaire pour la transformation (porté en échelle logarithmique) peut varier de quelques secondes à quelques jours. L'addition de nickel ou d'azote à l'acier permet de stabiliser l'austénite à froid presque indéfiniment.

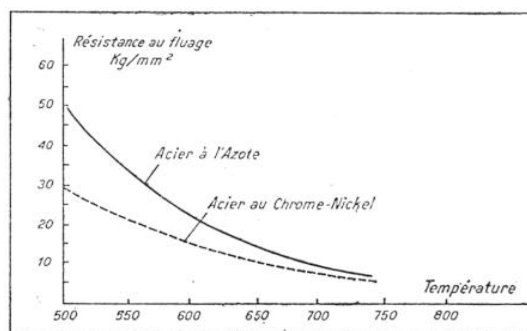


FIG. 4. — RÉSISTANCE AU « FLUAGE » D'UN ACIER A L'AZOTE

Une caractéristique importante des aciers destinés à travailler à chaud et spécialement des aciers pour aubes de turbines à vapeur est le « fluage » : déformation lente à toute température. Ce fluage se caractérise par l'effort en kg par mm² nécessaire pour amener une déformation. Il est fonction de la température. Les courbes ci-dessus donnent la résistance au fluage d'un acier à l'azote (en trait plein) comparée à celle d'un acier classique au chrome-nickel (en pointillé).

sique à 19 % de chrome, 9 % de nickel, 1 % de manganèse et de tantale, avec une inoxydabilité accrue.

L'importance de cette nouveauté est considérable. Alors qu'autrefois on considérait toujours la présence de tout gaz dans les métaux comme une calamité, car en se dégageant à la solidification il provoquait des bulles et des criques, les aciers à l'azote représentent le premier pas vers l'emploi de certains gaz comme constituants chimiques d'un alliage au même titre qu'un métal.

Les aciers à outils

Le cas des aciers chrome-aluminium nous a montré que si la teneur en métal d'addition était critique (8 à 10 %), par contre la nature de cette addition (nickel, aluminium) peut quelquefois être modifiée. On jouera aussi sur les proportions relatives de deux des constituants d'addition en conservant sensiblement la même teneur totale. On arrive, à condition de ne pas trop s'éloigner des teneurs initiales, à conserver la propriété essentielle de l'alliage au prix, par contre, d'une diminution de ses qualités secondaires, telles que : résilience (fragilité) et inoxydabilité. Précisons ces règles par une application : c'est le cas des aciers à outils au tungstène molybdène.

En 1939, on fabriquait des aciers « ultrarapides » à 22 % de tungstène. Dès 1940, ils furent supprimés, et l'on conserva seulement les aciers rapides classiques à 18 ou 19 % de tungstène, sans grand dommage pour la fabrication. On étudia ensuite des aciers à teneur réduite en tungstène et l'on arriva à sortir un acier très satisfaisant à 12 % de tungstène et 3 à 4 % de molybdène.

Ces efforts venaient juste d'aboutir quand les régressions continuelles des stocks les réduisirent à néant, et l'on dut reprendre l'étude en remplaçant la plus grande partie du tungstène par du molybdène. On obtint ainsi un acier à 8-10 % de molybdène — devenu le constituant principal — et 3 à 4 % de tungstène.

tène, dont les propriétés étaient cette fois fortement abaissées.

Enfin, les stocks de molybdène s'épuisant à leur tour, on abaissa sa teneur à 3 %, remplaçant l'excédent par 3 à 5 % de cobalt. Ainsi, la somme des pourcentages restant à peu près constante, on cherchait à conserver la propriété essentielle des aciers rapides, leur dureté à chaud, en substituant successivement les métaux d'addition suivant les disponibilités.

Cette évolution est très significative : en l'espace de deux ans et demi, les métallurgistes ont été amenés à sortir quatre nouveaux aciers à outils. Que valent-ils ? Seule une longue expérience dans des conditions d'emploi industrielles peut discriminer les meilleurs d'entre eux, et cette expérience est maintenant non seulement réalisable, mais sans intérêt, puisque l'emploi de telles compositions est imposé par les stocks et non par les qualités du produit.

Alliages de fonderie et de décolletage

Moins hasardeux est le remplacement des alliages de fonderie et de travail mécanique. C'est qu'en effet nous retrouvons ici les alliages légers dont l'approvisionnement n'est pas, heureusement, soumis à des modifications aussi fréquentes. Le stade laborieux de la mise au point avait d'ailleurs été déjà franchi avant la guerre, car la plupart de ces alliages ne sont pas récents. Aussi ne parlerons-nous ici que pour mémoire de l'emploi de l'A.P.M. et l'alpax à la place des fontes et bronzes qui se fait maintenant sur une grande échelle.

L'alpax (1), un des premiers alliages légers connus, datait de 1912 et avait été largement utilisé dans les culasses et cylindres de moteurs d'avions. L'A.P.M. (2), plus récent, s'est substitué à la fonte sans difficultés. Son prix plus élevé est compensé pour les pièces mobiles par leur moindre poids, donc leur moindre inertie.

Signalons l'impulsion donnée par les fabrications de guerre, à la technique de la fonderie sous pression qui permet d'obtenir par moulage des pièces très compliquées. Deux types de métaux se trouvent ici en concurrence : les

« zamaks » (1), alliages à base de zinc d'origine américaine, et les alliages légers de magnésium et d'aluminium dont de remarquables échantillons étaient exposés à la dernière foire de Lyon.

Nous terminerons enfin ce tour d'horizon de la métallurgie par les métaux d'emboutissage et de décolletage.

L'emploi généralisé des laitons diversément titrés a dû faire place dans ce domaine aux dérivés de l'universel aluminium. Pour les premiers, il fallait, tout en conservant la remarquable facilité d'emboutissage de l'aluminium, en augmenter la résistance mécanique. L'incorporation de 2 % de manganèse conduisit au

résultat cherché. C'est avec les duralumangs que sont faits maintenant tous ces petits objets : œillets, boutons pression, agrafes, capsules..., produits d'une importante industrie.

Quant au décolletage, le problème était beaucoup plus délicat : l'aluminium est un métal qui se travaille mal, les copeaux se détachent difficilement sous l'outil et sa faible résistance mécanique rend presque impossible

filetages fins ou pièces un peu compliquées.

Toutefois les recherches des laboratoires semblent près d'aboutir, et un métal de décolletage dérivé du duralumin par addition de plomb sera probablement mis sur le marché d'ici quelque temps. L'emploi tout nouveau des alliages à base d'aluminium dans certaines fabrications n'a pas été sans poser des problèmes inattendus d'outillage.

Il est assez paradoxal de constater que si, par exemple, on scie parfaitement des lingots d'alliages légers avec des scies à bois, par contre, malgré une modification adéquate des angles de coupe, les outils de tour s'usent trois ou quatre fois plus vite qu'avec le laiton pourtant plus dur, utilisé autrefois. De même, telle estampeuse qui débitait 500 pièces à l'heure avec le laiton n'en débitera plus que 300 avec les alliages légers. D'où provient cette usure anormale des outils ? Diverses théories ont été émises : l'une des plus satisfaisantes suppose la formation à la surface de l'outil d'un alliage aluminium-fer peu résistant qui émousserait le tranchant. On y remédierait en chromant les outils superficiellement.

Peut-être la mince couche d'alumine très dure, toujours présente à la surface des dérivés de l'aluminium, joue-t-elle également un rôle. La question n'est pas encore tranchée, et ce

(1) Les « zamaks » furent étudiés en Amérique vers 1939 spécialement en vue de la fonderie sous pression, et l'on améliora dans ce but les qualités du zinc par addition d'aluminium et de cuivre.

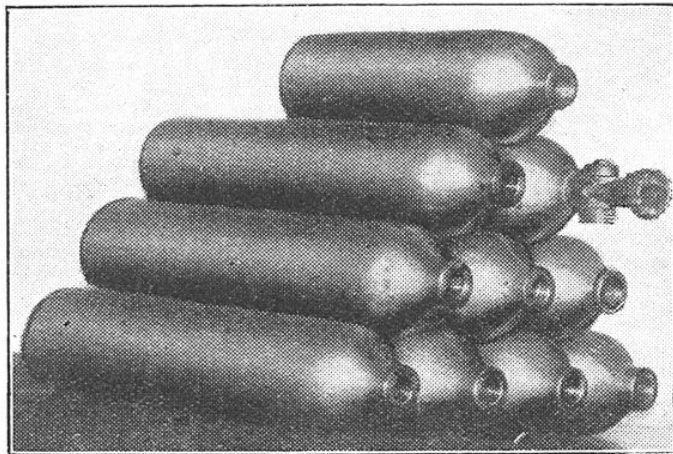


FIG. 5. — BOUTEILLES A OXYGÈNE EN ALLIAGE D'ALUMINIUM POUR LE SERVICE DES MINES

T W 23717

petit point de détail suffit à montrer à quels obstacles peut se heurter une mise au point.

Que devons-nous penser de la technique du remplacement ?

On pourrait croire que la technique du remplacement, née du manque de matières premières, disparaîtra avec les circonstances qui l'ont créée. Certes, il est illogique de remplacer, quand on ne peut faire autrement, un produit de bonne qualité par un Ersatz de qualité inférieure, souvent plus coûteux. Une partie des résultats nés de la situation économique paradoxale dans laquelle nous vivons disparaîtront-ils tous ? C'est peu probable. D'abord il peut être avantageux pour notre balance économique de conserver un certain nombre des substitutions, celles qui auront fait leurs preuves. La fabrication des boîtes de conserves en aluminium réduirait de 80 % nos importations d'étain, si le problème de l'étanchéité était résolu.

Rappelons encore que le conducteur haute tension aluminium-acier, né au cours de la dernière guerre du manque de cuivre, a peu à peu conquis toutes les lignes haute tension dont il constitue le type le plus moderne. Les recherches provoquées par la pénurie de certains métaux conduiront peut-être, et c'est là l'orientation la plus favorable que nous puissions souhaiter, à des alliages suffisamment intéressants pour être conservés. Les aciers rapides

à 13 % de tungstène semblent, avec l'expérience actuelle, un réel succès.

Les aciers à l'azote ouvrent aux efforts des métallurgistes une voie inexplorée, peut-être féconde.

Autre résultat important, la situation actuelle nous conduit à examiner d'un regard nouveau le problème des matières premières dans les fabrications. Les révolutions des approvisionnements amèneront à éliminer le métal de certains endroits où il est inutile, à le remplacer, par exemple, — triomphe de la chimie orga-

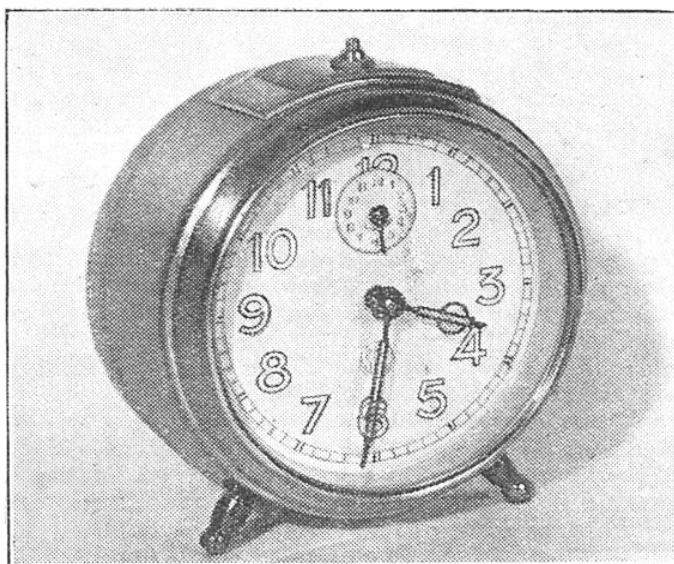
nique — par les matières plastiques les plus diverses.

Enfin, de même que la casserole en aluminium a supplanté complètement la casserole en cuivre à la satisfaction des utilisateurs, de même il semble certain que nous verrons après la paix un boom considérable dans l'emploi des alliages légers. A l'âge du fer, disait-on récemment ici-même, succèdera l'âge des métaux légers.

L'effort immense accompli pour sauver l'industrie d'un arrêt total par pénurie de matières premières métallurgiques ne doit pas se

borner à la résolution des problèmes de remplacement. S'il est imposé par le besoin immédiat, on doit cependant espérer que les laboratoires penseront aussi aux questions purement techniques qui se poseront demain quand seul demeurera à nouveau le problème de la qualité, qui doit régler spécialement l'industrie française.

André. MOLES.



T W 23718

FIG. 6. — UN RÉVEILLE-MATIN RÉALISÉ ENTIÈREMENT EN ALLIAGE LÉGER

C'est un exemple bien caractéristique du remplacement des métaux de décolletage par les alliages légers. On peut dire que ceux-ci ont sauvé l'industrie horlogère d'un arrêt presque complet.

L'avion est trente ou cinquante fois plus rapide que le navire. On a pu calculer que son emploi abaisse de trente-sept jours à vingt heures la durée d'un transport entre les Etats-Unis et la Grande-Bretagne. La liaison entre l'Amérique et l'Australie se trouve de même ramenée de deux mois à quarante-huit heures. Celle avec le Proche-Orient, l'Inde ou la Russie passe de cinq mois à trois jours et demi. Ces chiffres expliquent l'intérêt porté actuellement aux Etats-Unis à la création d'une flotte d'avions de transport gros porteurs. Rappelons seulement que 500 hydravions géants de 15 tonnes de charge utile équivalent à un seul cargo de 7 500 tonnes et qu'un quadrimoteur brûle 2 tonnes d'essence à haut indice d'octane pour voler du Brésil aux Indes avec 1 tonne de charge utile et revenir à son point de départ.

DU QUARTZ DE CURIE AUX ULTRASONS

par Maurice-E. NAHMIAS

Chef du Laboratoire de Radiobiologie au Centre Anti-Cancéreux de Marseille

Les frères Pierre et Jacques Curie découvrirent, en 1880, une curieuse propriété des cristaux de quartz. Ils observèrent que si une lame de quartz, convenablement taillée, est soumise à une pression ou à une traction suivant certaines directions, la lame se « polarise ». Autrement dit, une charge d'électricité positive apparaît sur l'une de ses faces, et une charge égale, mais négative, sur la face opposée. Ils donnèrent à ce phénomène, qui devait avoir des applications insoupçonnées, le nom de « piézoélectricité » (1). La piézoélectricité servit tout d'abord à Pierre et Marie Curie dans leurs minutieux dosages des minerais radioactifs. Qui aurait pu voir dans ce fragile et minuscule auxiliaire de laboratoire l'instrument capable de mesurer, quelque trente ans plus tard, les efforts exercés sur les rails par les locomotives ou les pressions développées dans l'âme des canons? Mais les oscillations du quartz sous l'action des courants de haute fréquence ont donné lieu aux applications de beaucoup les plus diverses et les plus importantes : c'est le quartz piézoélectrique, étalon de fréquence, qui stabilise les ondes porteuses des grands émetteurs de radiodiffusion et de radiotéléphonie, comme il règle la marche de nombreuses horloges astronomiques. C'est lui encore qui engendre les rayonnements ultrasonores des détecteurs d'icebergs et de sous-marins; des sondeurs automatiques traçant à bord des navires le profil des fonds des mers; des sélecteurs de télévision; des multiples appareils de recherche des propriétés encore mystérieuses des ultrasons, dans les domaines les plus variés de la physique, de la chimie et de la biologie.

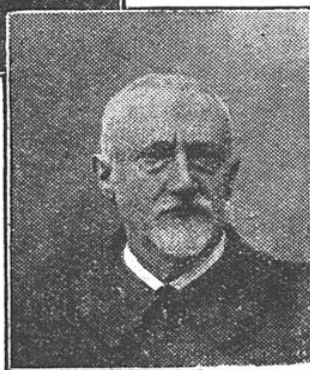
Qu'est-ce que la piézoélectricité?

EN 1817, le cristallographe Haüy observa que le spath calcaire s'électrise lorsqu'on le comprime. En 1828, Antoine-César Becquerel observa à son tour l'électrisation de certains cristaux à la suite d'un traitement thermique et appela ce phénomène *pyroélectricité*. Ce n'est toutefois que vers 1880 que les frères Jacques et Pierre Curie étudièrent minutieusement les propriétés piézoélectriques du quartz.

Chacun connaît les cristaux naturels de quartz, en forme de prismes hexagonaux terminés par une pointe. Prenons un tel cristal, représenté schématiquement par la figure 1 (le corps seul du cristal est présent, la pointe étant omise). Taillons une lame mince suivant AA'BB'. Supposons qu'elle fasse 4 cm de long sur 3 cm de large et 0,5 mm d'épaisseur. (Pour des commodités évidentes d'exposition, l'épaisseur de la lame sur la figure a été exagérée.) Montons



T W 23754
Pierre CURIE
né en 1859, mort en 1906.

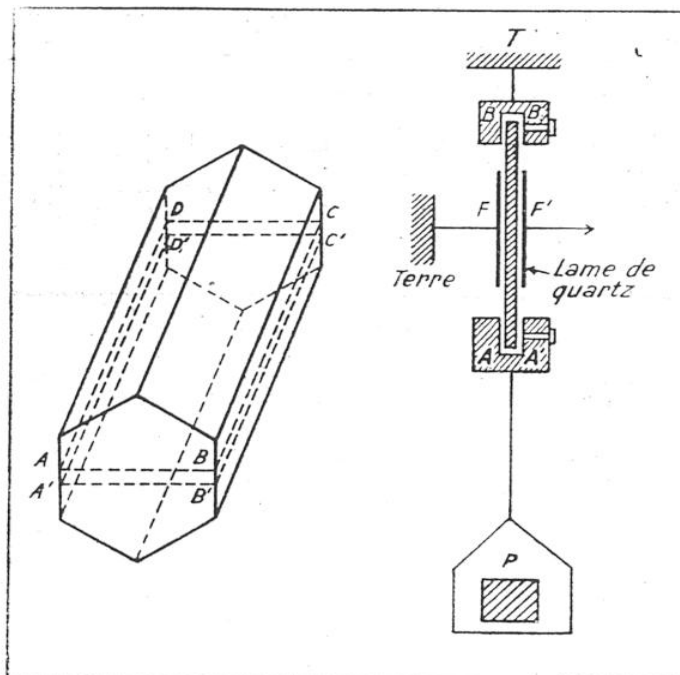


T W 23755
Jacques CURIE
né en 1855, mort en 1941.

cette lame suivant le schéma de la figure 2, l'extrémité BB'CC' étant fixée rigidement, et un poids P étant suspendu à l'extrémité AA'DD'. Sur chaque face de la lame (correspondant à ABCD et A'B'C'D'), nous collerons une feuille mince d'aluminium et nous relierons l'une d'elles à la terre. Nous observerons, en posant le poids P sur le plateau, l'apparition d'une certaine quantité d'électricité sur la face isolée de la lame. Après avoir déchargé cette face, enlevons le poids :

nous observerons l'apparition d'une quantité d'électricité identique à la précédente, mais de signe inverse. En faisant varier les conditions de l'expérience, nous verrions que les charges développées par une lame de quartz piézoélectrique sont proportionnelles à la longueur de la lame, à la force mécanique appliquée, et en raison inverse de l'épaisseur du cristal. Pour une lame ayant les dimen-

(1) Pièze dérive d'une racine grecque qui veut dire comprimer.



T W 23756

FIG. 1 ET 2. — LE PRINCIPE DE LA PIÉZOÉLECTRICITÉ

A gauche : découpage d'une lame mince dans un cristal de quartz. A droite : la lame mince de quartz est suspendue par son extrémité $BB'CC'$ et supporte en $AA'DD'$ un poids P . Des charges électriques apparaissent sur les armatures F et F' .

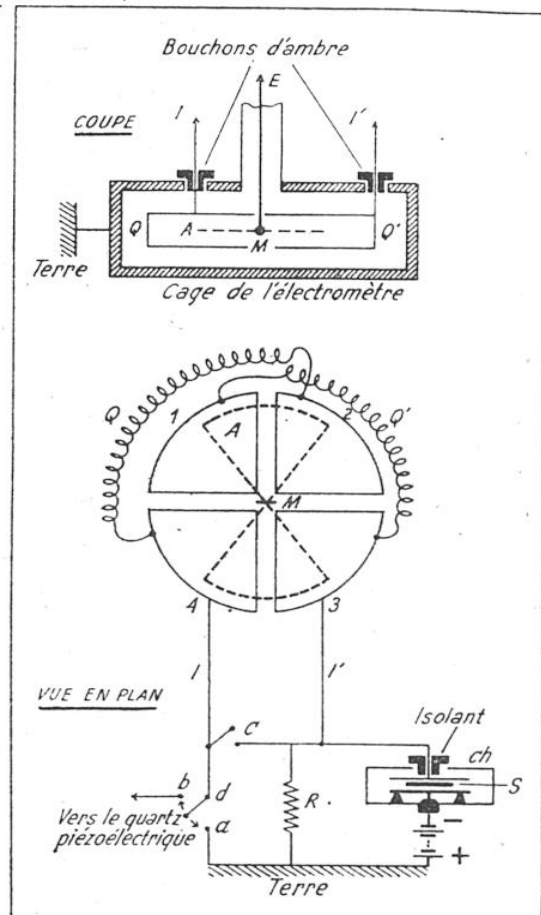
sions indiquées et pour un poids de un kilogramme, nous recueillerions un milliardième de coulomb, ce qui est amplement suffisant pour faire dévier l'aiguille d'un électromètre du type Kelvin-Debierne, par exemple (voir fig. 3).

Qu'est-ce que les ultrasons ?

Le quartz et ses armatures d'aluminium, tels que nous venons de les décrire, constituent un condensateur d'une certaine capacité. Ce condensateur se trouvant chargé avec cette minime quantité d'électricité, présentera une différence de potentiel entre ses faces métalliques isolées par le quartz. Ce voltage atteint une dizaine de volts dans le cas considéré. Inversement, si nous appliquons une certaine différence de potentiel entre les faces métalliques, nous remarquerions que le quartz est capable de fournir un effort mécanique. Si le voltage appliqué est alternatif et change de signe plusieurs fois par seconde la lame cristalline entrera en vibration mé-

FIG. 3. — PRINCIPE DE L'ÉTUDE DES PRÉPARATIONS RADIOACTIVES PAR LA MÉTHODE PIÉZOÉLECTRIQUE

On voit ici les vues en plan et en coupe d'un électromètre Kelvin-Debierne avec les deux paires de quadrants Q et Q' , l'aiguille mobile A , portée à 90 volts, à laquelle est fixé le miroir M et qui est suspendue à l'équipage E . La préparation à étudier S est placée dans la chambre d'ionisation ch . Le quartz piézoélectrique est branché à volonté au moyen des jeux de contacts da et db .



T W 23759

LES APPLICATIONS DE LA PIEZOELECTRICITE

En radioactivité

Lorsque Henri Becquerel, en 1896, signala que certains sels d'uranium émettaient des rayons analogues à ceux de Roëntgen (rayons X), capables d'impressionner une plaque photographique, Pierre et Marie Curie décidèrent d'approfondir la question. C'est au moyen du quartz piézoélectrique qu'ils poursuivirent les recherches qui les amenèrent à la découverte du radium. Voici en quoi consiste cette méthode de mesure de la radioactivité d'une substance.

On sait que les radioéléments

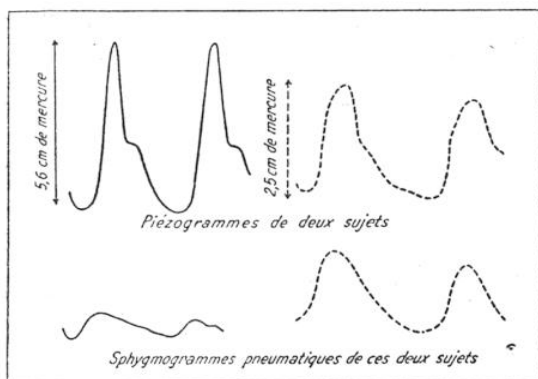


FIG. 4. — COMPARAISON D'ANALYSES PULSATOIRES EFFECTUÉES AU SPHYGMOGRAPHE ET AU PIÉZOGAPHE GOMEZ-LANGEVIN

En bas : sphygmogrammes pneumatiques de deux sujets; en haut : piézogrammes des deux mêmes sujets.

émettent des rayons qui possèdent la propriété d'arracher des électrons aux molécules qu'ils rencontrent sur leur passage à travers la matière.

On voit en ch (figure 3) une chambre d'ionisation, c'est-à-dire un espace où l'air est ionisé par les préparations radioactives à étudier. On y trouve deux électrodes entre lesquelles on établit une différence de potentiel. Les électrons libérés sont repoussés par l'une et attirés par l'autre; il y a donc transport d'électricité de l'une à l'autre, la quantité d'électricité transportée étant fonction du nombre d'électrons li-

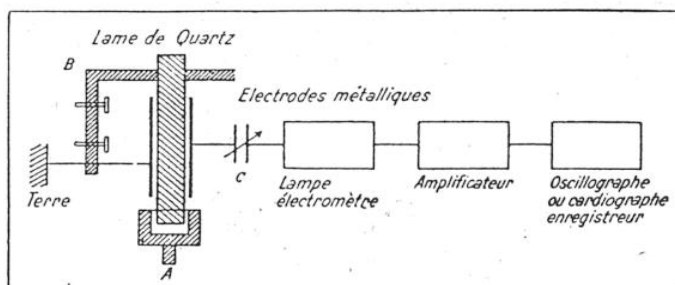


FIG. 5. — SCHÉMA DE PRINCIPE DU PIÉZOGAPHE DE D. GOMEZ ET A. LANGEVIN

Le patin A est posé sur l'organe à ausculter (veine, artère, etc.), tandis que le point B est fixé d'une manière rigide.

bérés, donc de l'intensité de la source radioactive et d'autres conditions de température, de pression, etc., que nous supposons invariables. L'électrode collectrice est reliée à une paire de quadrants d'un électromètre. Le plateau sur lequel repose la source radioactive S sera porté à un potentiel négatif, ce qui aura pour effet de repousser les électrons libérés dans cette enceinte vers l'électrode supérieure. La charge que prend cette électrode collectrice sera transmise à la paire de quadrants 1-3. Si nous mettons au sol l'autre paire de quadrants, l'aiguille A suspendue entre ces quatre électrodes, au moyen de l'équipage E, sera soumise à une force électrostatique qui la fera tourner dans son plan. Le miroir M qui est collé à l'aiguille A tournera avec celle-ci. Si un spot lumineux tombe sur ce miroir et se trouve réfléchi sur une échelle divisée, on observera une déviation du spot sitôt qu'on introduira la source S dans la chambre d'ionisation, que l'interrupteur c sera ouvert et l'interrupteur d fermé en a.

Ayant reconnu, par la déviation du spot, que

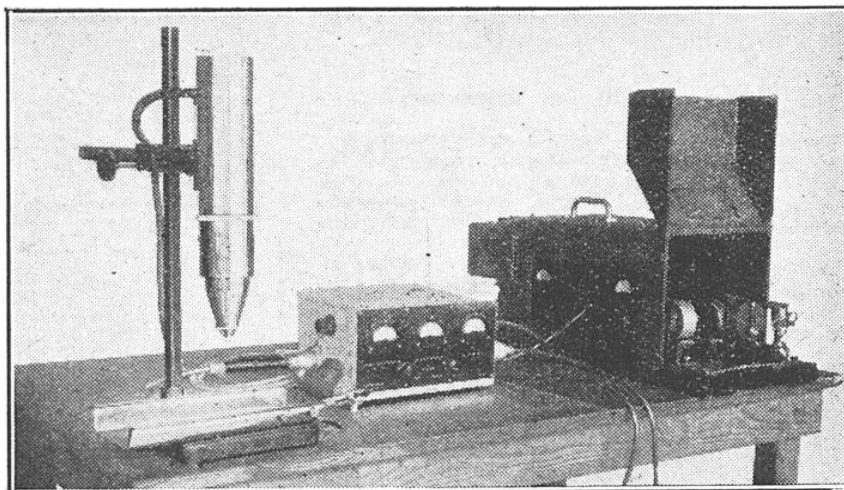


FIG. 6. — LE PIÉZOGAPHE GOMEZ-LANGEVIN POUR L'ÉTUDE ET L'ENREGISTREMENT DE LA PRESSION SANGUINE DANS LES ARTÈRES

On voit ici, à gauche, le piézographe proprement dit; il comporte une lame de quartz piézoélectrique solidaire du patin qui affleure à la partie inférieure, un condensateur variable commandé par la bague visible à mi-corps de l'appareil et destiné à régler la sensibilité, et une lampe électromètre; au centre est l'amplificateur à deux lampes; à droite, l'oscillographe (Ets. Ch. Beaudouin).

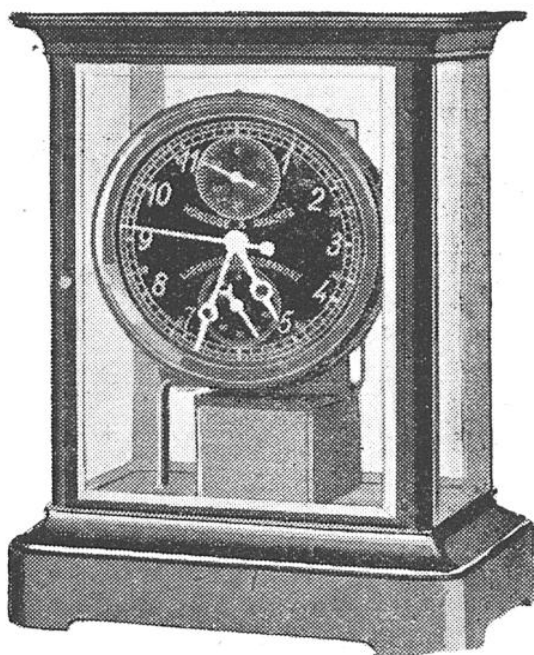


FIG. 7. — UNE HORLOGE « GARDE-TEMPS » CONTRÔLÉE AU MOYEN DE QUARTZ PIÉZOÉLECTRIQUES, RÉALISÉE AU LABORATOIRE DE GRAMONT

Cette horloge est contrôlée par le « battement » de deux quartz dont les fréquences sont de l'ordre de 1 et 2 millions respectivement. Ces quartz, soigneusement sélectionnés et taillés, sont montés de telle manière que la variation globale de fréquence du battement par degré centésimal se trouve égale à 0,004 périodes par seconde, ce qui correspond à une précision de 4 milliardièmes par degré. L'aiguille du petit cadran supérieur fait une révolution par minute et indique la seconde. La grande aiguille fait un tour par seconde et donne par lecture sur la division extérieure le centième de seconde. La petite aiguille inférieure fait dix tours à la seconde et donne le millième de seconde.

le produit présente une propriété ionisante, il nous reste à déterminer son intensité radioactive. Il suffira pour cela d'isoler une paire de quadrants en la reliant au quartz piézoélectrique au moyen de l'interrupteur *d* fermé sur *b*. L'aiguille sera maintenue immobile (méthode de zéro ou de déviation nulle) tant que le courant fourni au moyen du quartz compensera celui de la source *S*. Ce temps sera d'autant plus court, pour un poids *P* donné appliqué sur le quartz, que la source sera plus forte. Au lieu de poser brusquement le poids sur le plateau suspendu à la lame de quartz, on fait, au contraire, apparaître les charges électriques de compensation graduellement en posant le poids doucement. On chronomètre le temps depuis le moment où on relie *d* à *b* et celui où la main ne soutenant plus le poids *P*, celui-ci repose librement sur le plateau et ne pouvant plus fournir des charges n'est plus à même de compenser celles amenées par l'électrode collectrice de la chambre d'ionisation.

On suit donc ainsi d'une façon quantitative l'intensité radioactive d'un échantillon soumis à différentes purifications chimiques.

La méthode du quartz piézoélectrique sert aussi à mesurer dans le temps l'activité d'un produit radioactif donné et à en déduire sa période caractéristique, qui est un élément qualitatif d'une importance extrême tant au point de vue théorique que pratique, et qui représente le temps au bout duquel l'intensité radioactive décroît de moitié.

En médecine

La figure 5 schématise un appareil dont la réalisation est due à D. Gomez et A. Langevin. Ces auteurs ont montré que, dans les études médicales d'hémodynamique, il y a des variations brusques dans le système sanguin que l'inertie des méthodes classiques rend difficile à mettre en évidence. Ces méthodes introduisent d'ailleurs de profondes perturbations dans le régime du phénomène que l'on étudie. Ces perturbations sont différentes suivant les appareils employés (pour la mesure de la tension artérielle il y en a au moins trois) et, pour un même appareil, dépendent de la méthode du praticien.

Avec le piézographe de la figure 5 on obvie à ces inconvénients et les courbes comparatives de la figure 4 sont assez éloquentes par elles-mêmes.

Le problème de la mesure de l'acuité auditive présente des difficultés analogues. Les audiomètres existants sont souvent rudimentaires et peu comparables entre eux. Ils introduisent des erreurs personnelles considérables et sont par conséquent destinés à disparaître. Le Dr Jouffray a montré les avantages de la méthode piézoélectrique dans ce domaine, par l'emploi d'un générateur d'ondes acoustiques, dû à Gramont et Beretzki, et constitué par un bilame de quartz piézoélectrique.

En psychotechnique, les réflexes ou les mouvements imperceptibles d'un patient peuvent être mis en évidence, presque à son insu, grâce à l'extrême sensibilité des piézographes d'un type analogue à celui représenté sur la figure 6.

Dans la technique industrielle

On imagine facilement que des piézographes peuvent être employés dans l'étude de phéno-

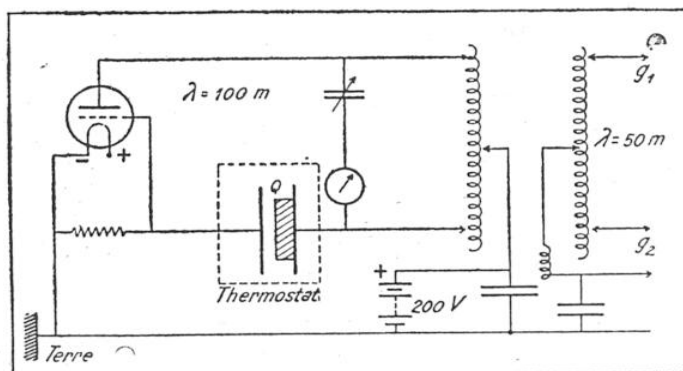


FIG. 8. — SCHÉMA D'UN MAÎTRE-OSCILLATEUR A QUARTZ POUR ÉMETTEUR A ONDES COURTES (S.F.R.)

La lame de quartz est en *Q* dans le thermostat. A droite, la self d'attaque des grilles du doubleur de fréquence.

mènes considérablement plus importants qu'une pulsation, par exemple. Ainsi les coups de béliers dans les canalisations, la résistance des matériaux soumis à différentes épreuves, le « travail » des ouvrages suspendus comme les ponts, ou importants comme les gratte-ciel, sont pour ainsi dire auscultés au moyen de piézo-graphes. Les efforts exercés par les formidables masses d'eau qui franchissent les crêtes des barrages, ainsi que celles qui agissent sur les coques et les infrastructures des transatlantiques relèvent de la même technique de contrôle continu. Le piézo-graphe analyse de même les trépidations sismiques, les efforts sur les châssis des voitures de course ou sur les différentes parties de la voilure des avions. En plus des essais effectués sur des maquettes ou en vraie grandeur dans les souffleries aérodynamiques, on tend à généraliser l'emploi de piézo-graphes enregistreurs tout au moins sur les avions prototypes lors des épreuves de réception.

La science des explosifs, si complexe et encore si empirique, tirera certainement profit de l'étude des ondes de choc au moyen de piézo-graphes.

Dans un tout autre domaine de la technique expérimentale moderne, le quartz piézoélectrique est employé comme oscillateur primaire dans les émetteurs radiotélégraphiques à ondes courtes où sa stabilité de fréquence est inégalée. Comme appareil de mesure des longueurs d'onde des postes émetteurs et comme contrôleur des garde-temps fonctionnant sur moteur synchrone dont la vitesse de rotation est déterminée par un maître oscillateur stabilisé au quartz, le procédé piézoélectrique est également très répandu.

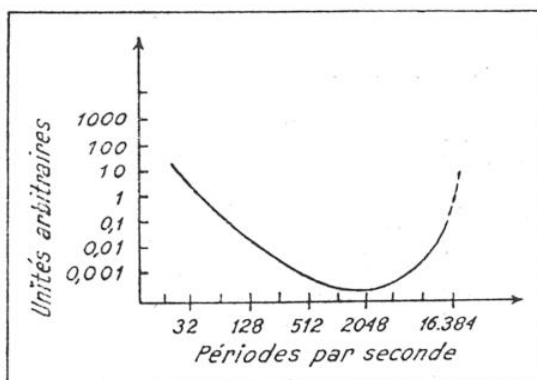


FIG. 9. — LES VARIATIONS DU SEUIL ÉNERGÉTIQUE D'AUDIBILITÉ AVEC LA HAUTEUR DES SONS

La gamme audible est représentée en trait plein. Elle s'arrête à droite vers 10 000 périodes par seconde. Les ultrasons de l'ordre de 50 000 périodes par seconde exigeraient une énergie énorme pour être perçus.

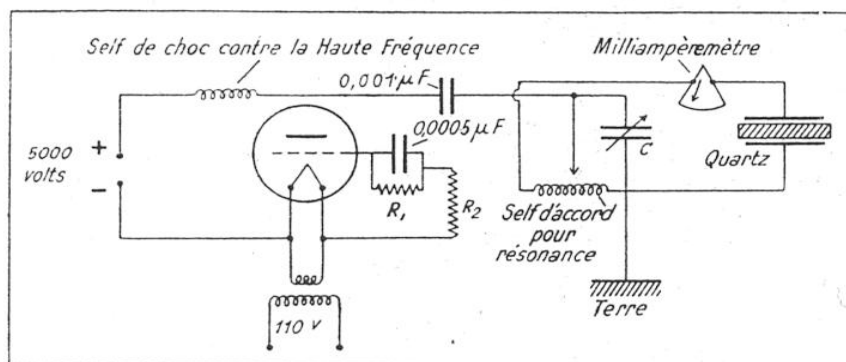


FIG. 10. — SCHÉMA D'UN MONTAGE POUR L'ENTRETIEN DES OSCILLATIONS D'UN QUARTZ PIÉZOÉLECTRIQUE (GÉNÉRATEUR LANGEVIN-CHILOVSKI DE 500 WATTS)

Enfin citons les emplois des quartz piézoélectriques comme étalons acoustiques, comme voltmètres, comme microphones sélectifs, filtres et présélecteurs de basse, moyenne et haute fréquence, etc.

LES APPLICATIONS DES ULTRASONS

On peut distinguer *grosso modo* deux domaines d'applications des ultrasons. Celui du repérage en général et celui des effets mécaniques.

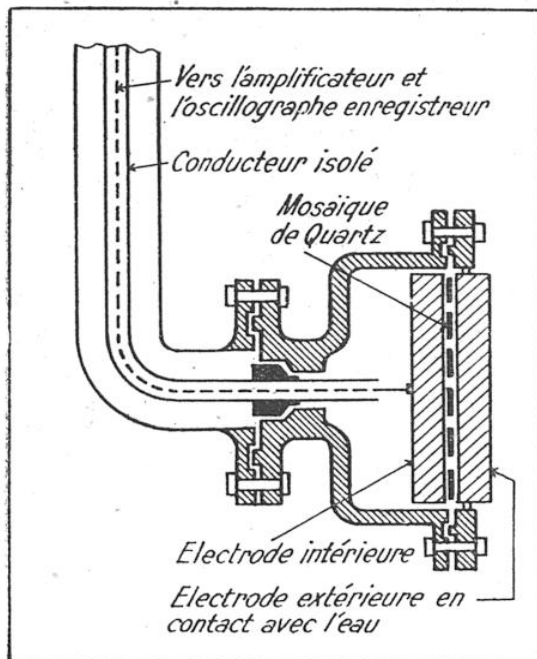
Les repérages

Si la bataille navale de Jutland du 31 mai 1916 avait eu lieu la nuit, les résultats en auraient été très probablement catastrophiques pour la Home Fleet. A cette époque, seuls les bâtiments de guerre du Reich étaient équipés avec des émetteurs-récepteurs d'ultrasons, constitués par des membranes ferromagnétiques actionnées par le courant modulé d'un alternateur.

L'avantage tactique de la formation serrée maintenant le contact au moyen de ces signaux invisibles et inconnus de l'adversaire aurait pu, durant la nuit, grandement avantager la flotte allemande.

Aujourd'hui, grâce surtout aux travaux de Langevin en France et de Pierce en Amérique, le repérage par ultrasons engendrés et reçus par des quartz piézoélectriques est devenu de pratique courante. Voici en quoi il consiste :

Une lame de quartz piézoélectrique, ou une mosaïque de petits cristaux de même orientation, est maintenue en vibration par un courant alternatif de haut voltage et de très grande fréquence. La figure 10 représente un montage capable d'entretenir de telles oscillations. Sur la figure 11 on voit le schéma du dispositif émetteur-récepteur d'ultrasons tel qu'il est employé de nos jours. Voici quelques chiffres pour fixer les idées. Si la puissance vibratoire émise est de un watt, pour une lame de un centimètre carré de surface, on trouve que cette lame plongée dans l'eau de mer présente des déplacements de l'ordre du dix-millième de millimètre, lorsque la fréquence d'excitation est de 40 000 périodes par seconde. Pour une même puissance d'émission, le déplacement est encore plus petit pour des fréquences plus élevées. La pression développée dans l'eau par une lame émettant un watt par centimètre carré est de près de 2 kg/cm²; la vitesse de propagation de cette



T W 23761

FIG. 11. — SCHÉMA D'UN ÉMETTEUR-RÉCEPTEUR D'ULTRASONS MODERNE POUR SONDES SOUS-MARINS

perturbation atteint 1 500 mètres par seconde. Son intensité diminue exponentiellement avec la distance au point émetteur, c'est-à-dire que lorsque les distances augmentent en progression arithmétique, les intensités recueillies décroissent en progression géométrique. La nature du milieu intervient aussi dans l'amortissement de l'intensité des ondes ultrasoniques à grande distance de l'émetteur. Ainsi, dans l'air, une radiation ultrasonique de fréquence 100 000 voit son intensité décroître de moitié sur une distance de 2,2 mètres, tandis que dans l'eau il faut 4 000 mètres. Ces portées sont très inférieures à celles du son, mais les ultrasons leur sont préférés à cause de la possibilité de diriger et de concentrer le faisceau, ce qui rend l'émission plus puissante et plus secrète.

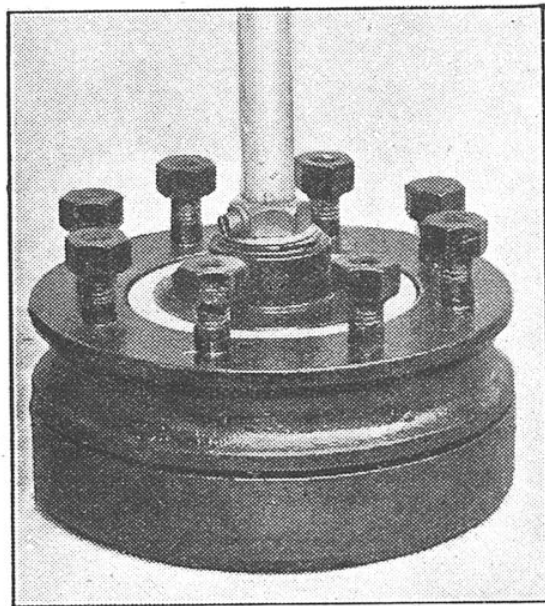
Il faut en effet, pour capter un signal ultrasonique, posséder, comme en T.S.F., la longueur d'onde, la direction et le code. Le quartz piézoélectrique agissant comme récepteur transmettra les vibrations mécaniques qu'il reçoit, sous forme d'oscillations électriques, à un circuit préalablement réglé sur une fréquence donnée. Chaque bande de fréquences comporte l'emploi d'une lame de quartz de dimension appropriée et la recherche d'un poste ultrasonique n'est donc pas aussi aisée que celle d'une émission radiotélégraphique. Il faut ajouter à ces difficultés celle de l'interprétation des variations dans l'intensité et dans la durée des perturbations qui constituent le « code » des émissions ultrasoniques.

L'observation de l'écho d'un train d'ondes ultrasoniques, réfléchies par un obstacle, permet de déterminer la distance à laquelle se trouve cet obstacle, par la simple mesure de la vitesse de propagation de ces ondes dans le milieu et par le chronométrage du temps mis par le signal à aller et venir de l'émetteur à l'obstacle, puis

au récepteur. Ainsi le repérage des épaves sous-marines, celui des icebergs dérivant traitreusement sur les voies maritimes (catastrophe du Titanic en 1912 dans l'Atlantique-nord), la mesure de la profondeur des mers, l'établissement du profil du fond des mers, la détection de la présence à grande distance d'un sous-marin, utilisent le pouvoir que possèdent les ultrasons de se réfléchir sur une surface et de venir exciter en retour le quartz même qui les avait émis.

Si le milieu réflecteur n'est ni indéfini ni homogène, la grandeur de la réflexion — c'est-à-dire l'intensité du signal au retour — dépend de l'épaisseur et de la nature chimique et physique de l'obstacle (gaz, liquide, densité, etc.) comme aussi de la longueur d'onde du faisceau ultrasonique incident. En faisant varier cette longueur d'onde, on arrive à déterminer le volume de certaines cavités ou poches sous-marines et terrestres contenant des nappes de pétrole par exemple. La prospection de ces gisements comme ceux de charbon ou de gaz, comme l'hélium, est faite aujourd'hui systématiquement dans certains pays en utilisant des émetteurs-récepteurs d'ultrasons.

Les phénomènes d'interférence de la radiation ultrasonique incidente avec celle qui est réfléchie permettent de déterminer certains éléments de la constitution géologique des terrains. Ainsi une croûte de terre recouvrant une poche pleine de gaz présentera une réflexion minimum si son épaisseur est égale à un multiple entier de la demi-longueur d'onde, tandis que l'on observera une réflexion maximum sur une croûte d'épaisseur égale à un multiple impair du quart de la longueur d'onde. De même, on tirera des renseignements précieux en mesurant la vitesse de propagation des ultrasons à travers un obstacle. Ainsi, dans la matière vitreuse, elle sera de l'ordre de 4 000 m/s, de 5 000 m/s dans



T W 23762

FIG. 12. — PROJECTEUR ULTRASONORE A QUARTZ POUR LA MESURE DES PROFONDEURS SOUS-MARINES

Les projecteurs ont un diamètre utile de 10 à 22 cm suivant les modèles (SCAM).

l'acier, de 1 435 à 1 550 m/s dans l'eau suivant sa teneur en sels, de 1 261 m/s dans l'hydrogène, de 331 m/s dans l'air, etc.

Utilisation des effets mécaniques des ultrasons

Nous avons vu que les pressions exercées par une lame de quartz piézoélectrique en vibration dans l'eau sont de l'ordre du kilogramme par centimètre carré. En certains points d'un liquide, cette pression peut atteindre momentanément plusieurs dizaines de kg/cm², comme différence avec la pression régnant entre ces points et ceux voisins d'une demi-longueur d'onde. On conçoit que cet état de chose est capable de donner naissance à divers phénomènes chimiques, physiques et biologiques. Citons-en quelques-uns :

Effets chimiques. — On a obtenu avec les ultrasons la déflagration de certains explosifs comme l'iodure d'azote. Les plaques photographiques enregistrent les ondes stationnaires des ultrasons. Certains composés, tels que l'amidon, la gélatine, etc., sont dépolymérisés; l'agitation provoquée dans un bain où plonge une lame de quartz en vibration provoque non seulement l'expulsion des gaz occlus, mais aussi la liquéfaction de la plupart des gels (thixotropie), la formation de systèmes colloïdaux, etc., phénomènes qui peuvent provoquer des réactions chimiques ou les accélérer, comme celles du type hydrolytique. Des substances catalytiques en suspension dans des liquides sont plus actives

lorsque brassées par les ultrasons. Les états métastables tendent vers la stabilité, comme le phosphore surfondu qui se solidifie brusquement lorsqu'il est soumis aux ultrasons (Marinesco).

Effets physiques. — La surface des liquides soumis aux ultrasons se soulève en petites vagues qui peuvent atteindre un centimètre de hauteur et qui se brisent en essaims de gouttelettes. La température du liquide s'élève de plusieurs degrés; le point d'ébullition des liquides purs est abaissé; des phases liquides non miscibles, comme l'huile de vaseline et l'eau ou même le mercure et l'eau, peuvent s'émulsionner; les dispersions augmentent; les liquides sont troublés par suite des variations locales de densité, etc. Au point de vue optique, il se produit un curieux phénomène de diffraction de la lumière par les nœuds et les ventres de vibration du réseau transitoire formé par les oscillations de la lame dans le liquide (ce phénomène a reçu des applications en télévision).

Effets biologiques. — Les premiers effets des ultrasons sur les organismes vivants furent observés dans la rade de Toulon lors des essais de transmission entre sous-marins. Ce fut l'occasion d'une pêche miraculeuse. Si divers procédés expéditifs de pêche sont interdits, celui des ultrasons n'a pas encore attiré l'attention des pouvoirs publics.

A une échelle beaucoup plus petite, on observe au microscope des mouvements violents et tourbillonnaires du protoplasme « irradié » avec déplacement des corpuscules intracellulaires (chloroplastes, vacuoles, etc.). On peut désagréger des noyaux cellulaires par le cisaillement dû aux différences énormes de pression de deux points voisins.

Tout comme pour les faibles ir-

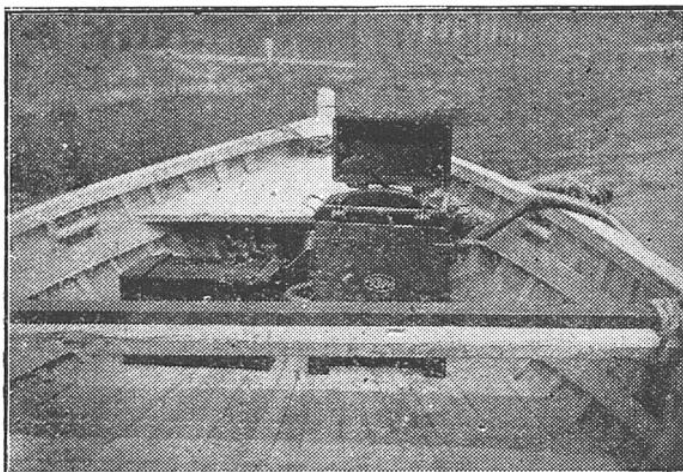


FIG. 14. — UN SONDAGE EN SEINE AVEC LE SONDEUR ULTRASONORE PORTATIF INSTALLÉ DANS UNE EMBARCATION

Ce type de sondeur convient pour les faibles profondeurs dans les rivières, les estuaires et les ports, entre 0 et 60 m (SCAM).

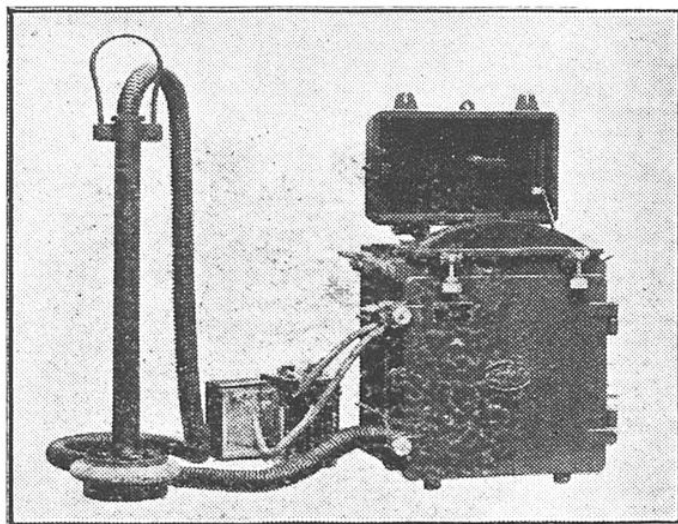
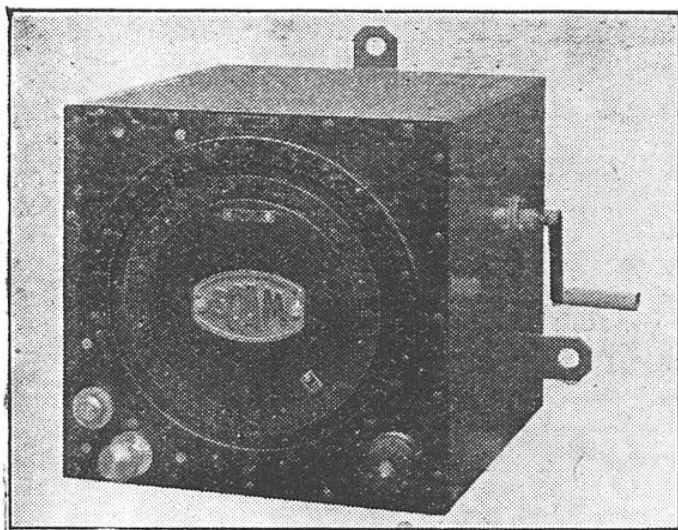


FIG. 13. — ENSEMBLE D'UN SONDEUR ULTRASONORE PORTATIF AVEC « ÉCHOSCOPE » LANGEVIN-FLORISSON

On voit à gauche le projecteur ultrasonore destiné à être immergé; au centre, les batteries d'alimentation et à droite l'indicateur. A la partie supérieure de ce dernier, sur la partie en arc de cercle, se trouve une échelle graduée sur laquelle apparaît toutes les secondes un point lumineux indiquant la profondeur. La lecture s'effectue à l'aide d'une loupe (SCAM).



T W 23753

FIG. 15. — L'INDICATEUR D'UNE INSTALLATION DE SONDAGE PAR ULTRASONS A BORD D'UN NAVIRE

L'émetteur-récepteur est monté dans les fonds du navire et le projecteur fixé sur un piétement spécial, rivé dans la coque. L'indicateur est placé dans la passerelle et porte deux graduations circulaires concentriques, l'une en mètres, l'autre en « fathoms » (brasses). Derrière ce cadran se trouve une lampe à néon; un arbre tournant à vitesse constante porte une came d'émission et un bras muni d'un miroir et d'une lentille qui donnent de la lampe une image sur l'espace translucide entre les deux graduations. Ainsi on observe toutes les demi-secondes un trait lumineux rouge correspondant à l'émission d'un train d'ondes ultrasonores, sur le zéro de la graduation, ou plus exactement sur le chiffre du tirant d'eau du navire (6 m par exemple); et aussi un trait lumineux correspondant à l'écho sur le fond, sur le chiffre de la profondeur. L'appareil est gradué de 0 à 400 m (ou 219 brasses); les profondeurs supérieures sont lues en ajoutant, à l'aide du bouton de droite, 400 m au chiffre relevé (SCAM).

radiations avec des rayons X ou avec les rayons et particules des produits radioactifs, on observe, avec de faibles amplitudes des ultrasons, une stimulation cellulaire (karyokinèse). Avec de fortes amplitudes, au contraire, les destructions sont massives et encore plus radicales qu'avec d'autres rayonnements, témoin les poissons qui meurent ou sont étourdis durant les expériences.

On a remarqué que les cellules jeunes sont plus résistantes aux ultrasons que les cellules vieilles, ce qui est, *grosso modo*, l'inverse avec les rayons X. On arrête la fermentation lactique du lait; on stérilise l'eau avec les ultrasons; mais le moyen est trop coûteux pour être utilisé dans la pratique.

Les effets des ultrasons sont parfois passagers. Ainsi, si on excite le protoplasme d'une amibe avec une aiguille vé-

hiculant des ondes ultrasonores (Schmidt), celle-ci subit une véritable désagréation, mais sitôt que l'irradiation cesse et si elle n'a pas duré trop longtemps, la cellule se reforme.

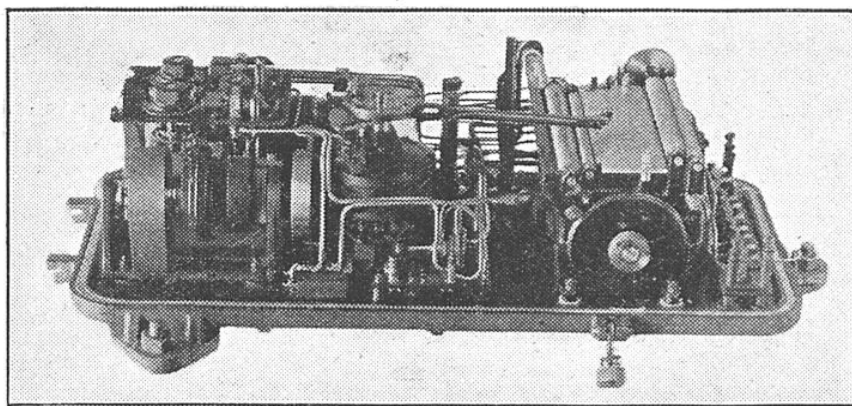
Chez certains arthropodes (Daphnie ou puce d'eau) de un millimètre de diamètre, on observe progressivement en les irradiant : d'abord l'arrêt des mouvements des pattes, puis des branchies des globes oculaires et enfin du cœur.

Si on plonge un doigt dans un bain soumis à un brassage ultrasonore, on sent, outre une bonne chaleur locale, une douleur aiguë à la racine de l'ongle (Dognon et Biancani).

Des paramécies disparaissent dans un tube à essai irradié suffisamment; il s'y produit une pulvérisation totale. Les globules rouges éclatent (hémolyse) dans un bain très dilué, tandis que dans des concentrations aussi fortes que dans le sang humain, l'hémolyse n'a pu être observée. Une hémolyse comparable a été provoquée en comprimant les hématies dans du sérum physiologique jusqu'à 700 kg/cm², pendant trois heures (Dognon et Biancani).

La destruction des cellules hépatiques et des bactéries est plus difficile. Les progrès de la technique des ultrasons nous réservent sûrement des surprises. Que l'on songe qu'il n'y a pas encore bien longtemps qu'on est arrivé à détruire des sous-marins en faisant exploser dans leur voisinage des charges importantes. Le phénomène de cavitation provoqué par les ultrasons n'est pas très différent de ce spectacle.

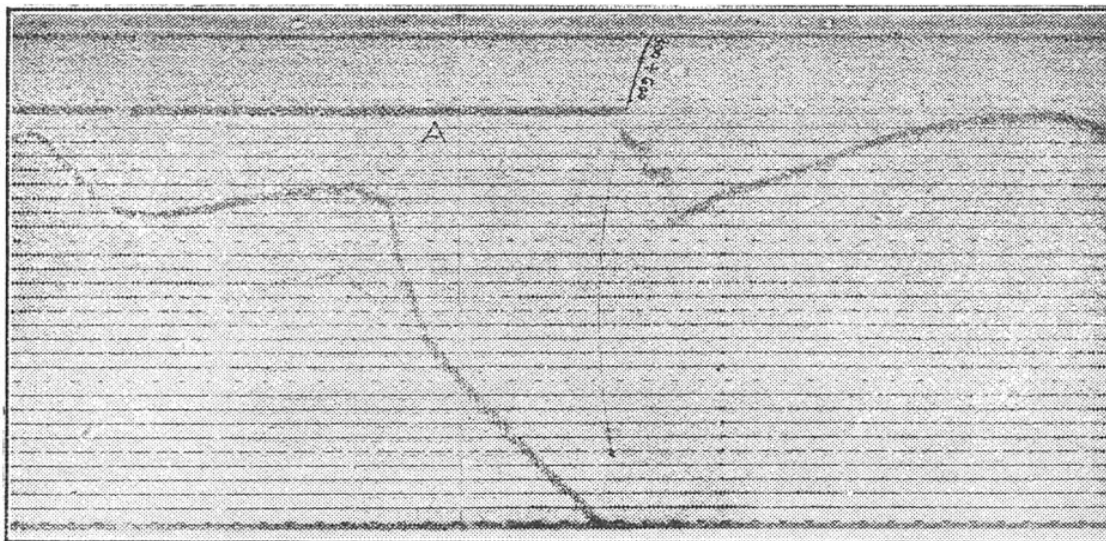
La figure 18 montre le dispositif utilisé dans l'étude au microscope de l'effet des ultrasons sur les liquides biologiques. On remarquera que



T W 23746

FIG. 16. — ENREGISTREUR LANGEVIN-TOULY POUR SONDAGES ULTRASONORES

L'appareil utilise une bande de papier humide qui se déroule lentement sous le style inscripteur, guidée par les rouleaux qui marquent les lignes horizontales du graphique. La largeur entre deux lignes consécutives correspond à 10 m d'eau. L'inscription se fait par décomposition électrolytique du produit qui imprègne le papier (SCAM).



T W 23750

FIG. 17. — EXEMPLE DE BANDE D'ENREGISTREMENT DE SONDAGES PAR ULTRASONS

En A, on voit les taches correspondant aux émissions, et, en dessous, celles des échos. La partie de gauche du graphique correspond à des fonds de 0 à 300 m. A droite, comme le fond devenait plus grand, on a décalé les organes d'émission de manière à inscrire les fonds de 300 à 600 m.

le tube du microscope est mis à la terre. Cette précaution est indispensable si on veut éviter de recevoir des décharges de haute fréquence, aux mains et surtout aux yeux.

Les expériences entreprises jusqu'ici en biologie avec les ultrasons ont toutes ce caractère qualitatif du début d'une science. La radiologie n'a vraiment progressé qu'à partir du moment où on a pu chiffrer les traitements. La dosimétrie dans le domaine des ultrasons reste à faire, et c'est seulement d'une documentation quantitative que nous pouvons voir surgir des éléments capables de fournir des bases à des théories et des suggestions pour la conduite d'expériences systématiques. Quelle que soit la radiation utilisée, la radiobiologie ne saurait se contenter de descriptions expérimentales. Il n'y a de science que dans les nombres, et lorsque les appareils

de mesure ne manquent pas il ne devrait pas y avoir de dérogation à cette règle.

Nous ne saurions terminer cette rapide revue

sans mentionner certaines suggestions (Wolffers), d'après lesquelles les insectes qui possèdent le sens « topographique » le devraient aux ultrasons qu'ils émettent peut-être. Il existe des poissons capables de fabriquer du courant électrique, pourquoi certains organismes n'émettraient-ils pas des ultrasons? Le chant du grillon est déjà très proche de la limite supérieure de l'audibilité humaine; ne faut-il donc point s'étonner que l'on essaye aux États-Unis d'enregistrer, sur disques, non seulement les chants et les bruits « audibles », mais aussi d'explorer, avec des détecteurs piézoélectriques, le domaine « silencieux » de la vie dans les forêts, les marécages et les champs?

M.-E. NAHMIA.

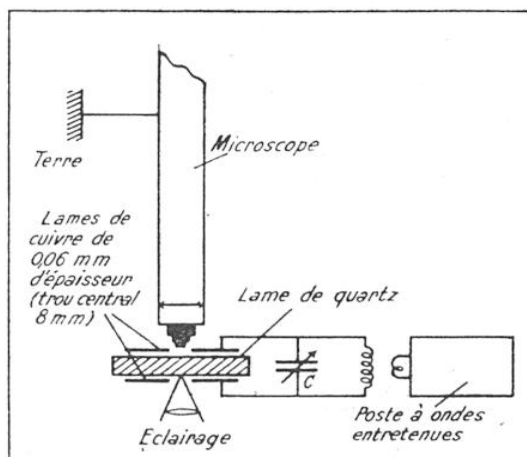


FIG. 18. — SCHÉMA DU MONTAGE D'UN MICROSCOPE POUR L'ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES DES ULTRASONS

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

LES NOUVELLES APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES RAYONS X PEUVENT-ELLES MENACER LA SANTÉ DES TRAVAILLEURS ?

par Henri FRANÇOIS

Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique

L'histoire des techniques humaines offre de nombreux exemples de métiers dont l'exercice ruinait plus ou moins rapidement la santé du travailleur, amenait son vieillissement et parfois sa mort précoces. On peut dire que le progrès les a fait disparaître pour la plupart et que l'hygiène et l'amélioration rationnelle des conditions de travail ont supprimé aujourd'hui pratiquement, sauf là où l'ignorance et la routine perpétuent des errements condamnés, le plus grand nombre des maladies professionnelles. En même temps, il a fait apparaître d'autres dangers, en particulier dans les industries chimiques, dans les mines et plus récemment avec l'utilisation des rayons X et du radium pour les études et le contrôle industriels. La protection du travailleur contre ces rayonnements glorieusement célèbres dans les annales de la médecine présente de sérieuses difficultés, car il est impossible d'arrêter intégralement des radiations aussi pénétrantes que celles mises en œuvre dans ces applications métallurgiques, et aussi parce que les dommages causés dans le cas de précautions insuffisantes se révèlent souvent trop tardivement. Ce problème peut cependant être considéré comme résolu d'une manière satisfaisante par un ensemble de mesures (examens périodiques du sang du personnel, emploi d'écrans blindés, interdiction des zones dangereuses) dont la mise en œuvre ne saurait être négligée, quelque onéreuse que puissent être les installations qu'elles entraînent.

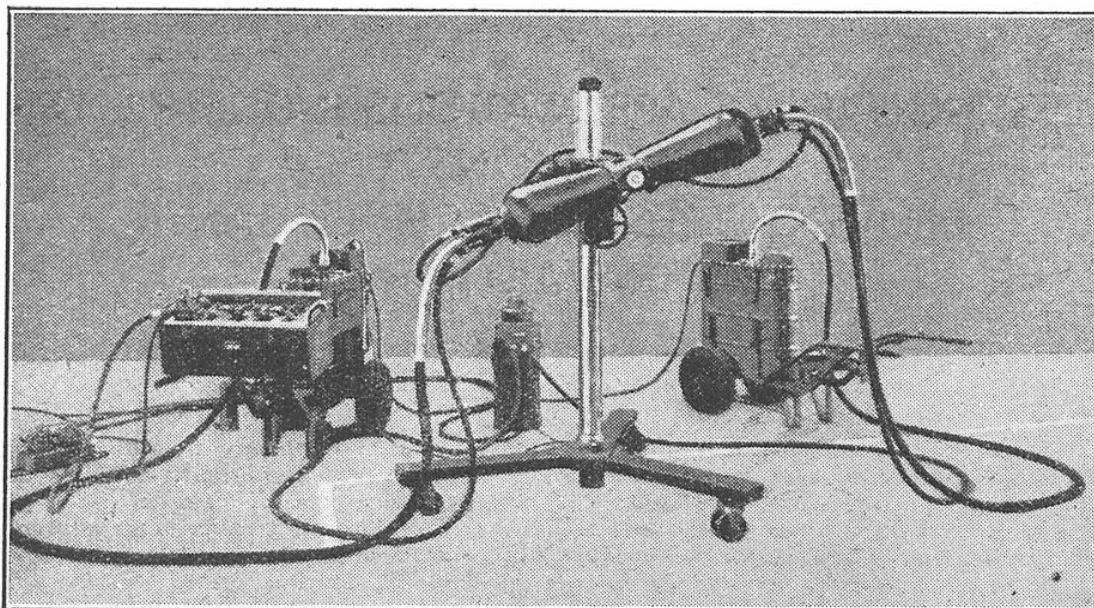
Il y a quelques années, la médecine constituait encore le principal champ d'application des rayons X, tant pour l'exploration du corps humain que pour le traitement du cancer. Aujourd'hui, leur emploi dans l'industrie tend à prendre une importance comparable à celle de leurs applications médicales. A l'échelle macroscopique, ils servent à déceler les défauts des pièces métalliques, les failles provoquées par la corrosion dans les parois des réservoirs, etc... Dans le domaine des observations microscopiques, ils fournissent d'utiles indications sur la structure des alliages (1); enfin, à l'échelle moléculaire, leur diffraction par les cristaux et les molécules géantes permet de connaître les dimensions des mailles du réseau cristallin, la disposition des divers atomes dans ce réseau et la structure moléculaire de nombreux corps complexes de la chimie organique. Dans la métallurgie, l'industrie céramique, l'industrie textile, celle des matières plastiques, du caoutchouc, etc., on peut prédire le plus bel avenir aux applications des rayons X.

Malheureusement, ces radiations ne sont pas sans présenter de graves dangers pour ceux qui sont appelés à les fréquenter quotidiennement

(1) et, avant qu'on eût mis au point la protection des radiologues dans les hôpitaux, la longue suite des martyrs de la science a abondamment démontré leur action nocive, à doses répétées, sur les organismes supérieurs. Les médecins et les constructeurs d'appareils de radiologie et de radiothérapie ont maintenant appris à réaliser une protection satisfaisante des opérateurs, et il pourrait sembler qu'il n'est pas plus difficile d'obtenir la même sécurité dans une usine que dans un hôpital. Cela est vrai pour les rayons utilisés en microradiographie et dans l'étude des structures moléculaires et cristallines, lesquels n'ont pas nécessairement une très grande puissance de pénétration et sont mis en œuvre dans des installations fixes dont, par suite, les sources peuvent être aisément isolées. Mais il en va tout autrement des radiations auxquelles on fait appel pour l'exploration microscopique des métaux lourds. Ces rayons doivent être considérablement plus « durs » (c'est-à-dire de plus petite longueur d'onde) que ceux que l'on emploie en radiothérapie pour détruire une tumeur cancéreuse. Enfin, l'exploration des gran-

(1) Lire : « La Radiographie microscopique des alliages », dans *La Science et la Vie*, n° 302 (oct. 1942).

(1) On pourra consulter à ce sujet une communication du Dr H. Schaefer du Kaiser-Wilhelm-Institut de Francfort, d'où ont été extraites plusieurs des figures de cet article.



T W 23734

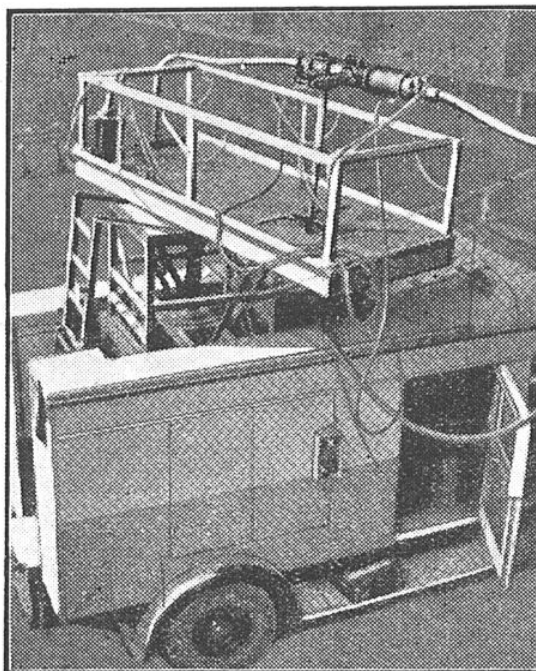
FIG. 1. — UN APPAREIL A RAYONS X POUR L'EXAMEN MACROSCOPIQUE DES MATÉRIAUX (PHILIPS)

Cet appareil, qui travaille sous une tension maximum de 300 kV, est décomposé en organes de dimensions réduites qui en rendent le transport aisé. Le générateur haute tension est constitué par un assemblage symétrique de deux générateurs de 150 kV que l'on aperçoit au second plan sur des chariots à deux roues qui donnent une idée des dimensions de l'appareil. La lampe est montée sur un pied à trois roues.

des pièces mécaniques (poutres, parois de réservoirs) nécessite l'emploi d'installations mobiles (fig. 1, 2, 3, 4, 5), et l'on conçoit que, dans ce cas, la protection des travailleurs du voisinage soit particulièrement délicate.

Deux raisons, l'une physique, l'autre biologique, viennent compliquer le problème de la sécurité au voisinage des sources de rayons X. Tout d'abord, il n'existe pas de corps complètement opaque aux rayons X; tous, même le plomb, sont plus ou moins transparents. De plus, chaque volume de corps irradié devient à son tour une source de rayonnement secondaire. Il ne suffit donc pas de se garder des rayons primaires, il faut encore supprimer ces rayons secondaires.

Le deuxième fait est que les lésions graves et même incurables peuvent être aussi bien provoquées par plusieurs années d'exposition à des radiations d'intensité



T W 23736

FIG. 2. — UNE VOITURE RADIOGRAPHIQUE INSPECTANT LES SOUDURES D'UNE POUTRE D'UN PONT DE CHEMIN DE FER (SIEMENS)

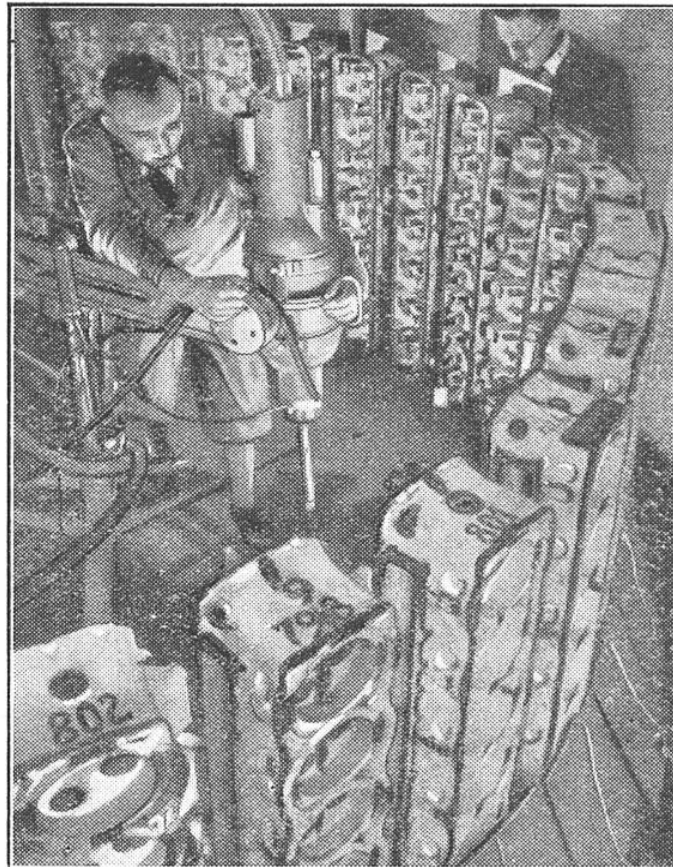
La lampe est portée par un échafaudage et les appareils accessoires de l'installation sont placés dans la voiture.

presque imperceptible que par quelques minutes d'une irradiation intense. Il existe même des lésions tardives qui se manifestent seulement plusieurs années après une irradiation en apparence parfaitement bien tolérée et qui sont déclenchées par une irritation absolument inoffensive pour un tissu sain : par exemple, le contact d'un vêtement rugueux.

L'absorption des rayons X par la matière

Que se passe-t-il quand des rayons X traversent un corps? Rappelons que l'on considère aujourd'hui le rayonnement X (ainsi d'ailleurs que la lumière visible) comme constitué par des particules : les photons, qui se déplacent à la vitesse de la lumière et qui sont associés à une onde électromagnétique. L'énergie du rayonnement est tout entière transportée par le photon. L'énergie

de chaque photon varie en raison inverse de la longueur d'onde de l'onde associée, c'est-à-dire qu'elle est d'autant plus grande que cette longueur d'onde est petite. Les radiations utilisées dans l'industrie pour les observations microscopiques ont une longueur d'onde comprise entre 3 et 40 milliardièmes de millimètre, contre 4 à 8 millièmes de millimètre pour la lumière visible. Le « quantum » d'énergie que véhicule chaque photon X considéré est donc environ 10 000 à 100 000 fois plus important que le « quantum » d'un photon de la lumière visible. Il est également de 10 000 à 100 000 fois plus grand que l'énergie d'activation ou de combinaison des molécules complexes des substances biologiques, qui se trouve à peu



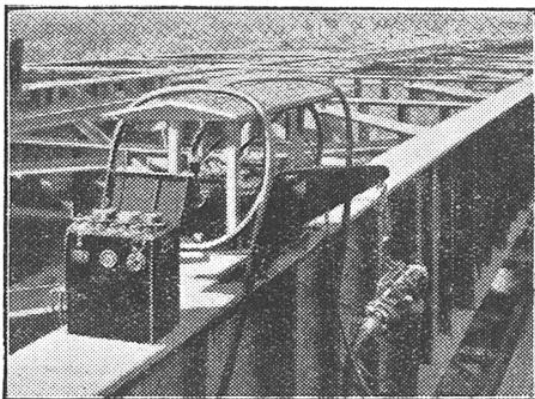
T W 23735

FIG. 3. — L'EXAMEN RADIOSCOPIQUE DES CARTERS DE MOTEURS D'AVIATION AUX USINES JUNKERS

Les carters sont disposés sur un cercle au centre duquel la lampe à rayons X tourne autour d'un pivot. On dispose derrière chaque pièce à examiner un film sensible irradié pendant la même durée. La radiographie permet d'éliminer les pièces défectueuses.

près dans le domaine des énergies quantiques des radiations visibles de plus courte longueur d'onde.

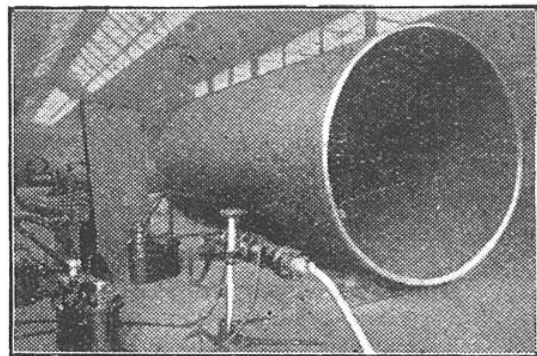
Quand un photon X traverse un corps, il peut, soit passer sans rencontrer aucun atome, soit le heurter et être dévié de sa route, ce qui donne naissance au rayonnement diffusé, soit enfin disparaître en communiquant toute son énergie à un électron planétaire de l'atome. Cet électron, animé d'une très grande vitesse, est arraché à son atome, et poursuit sa route, tel un projectile, jusqu'à ce qu'il ait dépensé toute son énergie dans des chocs avec les atomes voisins. Il leur arrache ce faisant des électrons auxquels il communique une part plus ou moins considérable de son énergie. Si l'énergie cédée est



T W 23737

FIG. 4. — L'EXAMEN AUX RAYONS X D'UNE POUTRE SOUDÉE D'UN PONT D'AUTOSTRASSE (SIEMENS)

L'appareil est monté sur un petit chariot protégé par un toit et qui contient les générateurs de 200 kV. L'ampoule (en bas et à droite) est suspendue à un bras porté par le chariot.



T W 23738

FIG. 5. — L'EXAMEN DES SOUDURES LONGITUDINALES D'UNE CHAUDIÈRE AU MOYEN D'UN APPAREIL A RAYONS X DE 200 KV (SIEMENS)

La lampe se déplace à l'extérieur de la chaudière et le film photographique devant lequel on interpose des écrans renforceurs et que l'on enferme dans une cassette de caoutchouc recouverte de plomb est à l'intérieur de la chaudière. Il faut onze opérations pour explorer toute la longueur de la chaudière.

grande, l'électron heurté devient à son tour un projectile qui dissipe son énergie dans un nombre plus ou moins grand de chocs. Les atomes heurtés, qui ont perdu un électron, et qui ont par conséquent acquis une charge électrique positive, constituent des ions. Ils peuvent d'ailleurs se reconstituer par une série de passages des électrons des trajectoires périphériques aux trajectoires plus proches du noyau, et par capture d'un électron libre. Ils émettent alors des radiations dites « secondaires ». On a pu photographier la série de ces effets dans un milieu gazeux; l'atmosphère sursaturée d'humidité d'une chambre de Wilson; les ions qui apparaissent sur le trajet des électrons se comportent, en effet, comme autant de centres de condensation de la vapeur d'eau, et les traînées qui en résultent sont aisément photographiables (figure 6). Le calcul des probabilités montre que la répartition dans l'espace et dans le temps des chocs entre atomes et électrons a la même allure dans un milieu semi-fluide, tel que celui qui constitue les tissus vivants, que dans la vapeur d'eau de la chambre de Wilson. Les chocs sont seulement plus rapprochés. Dans ces conditions, il suffit de reporter à une échelle convenable le trajet des électrons dans une chambre de Wilson, sur la photographie d'une coupe de tissu, pour imaginer ce qui se



T W 23741

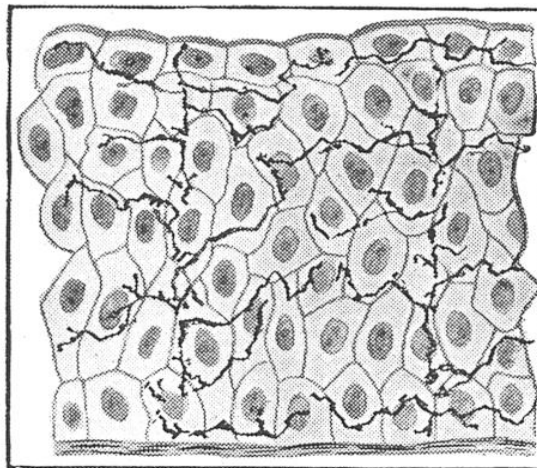
FIG. 6. — L'IONISATION PAR LES RAYONS X DE L'ATMOSPHÈRE D'UNE CHAMBRE DE WILSON

Les électrons arrachés aux atomes par les rayons X et animés d'une grande vitesse se comportent comme des projectiles qui sont à leur tour capables d'enlever à d'autres atomes des électrons, auxquels ils communiquent parfois une grande énergie, donnant naissance à de nouveaux projectiles. Sur le passage de ces électrons, les atomes endommagés, chargés positivement par la perte d'un électron, se comportent comme des centres de condensation de la vapeur d'eau saturée, et une photographie des gouttelettes de condensation met en évidence le trajet des électrons.

passé pendant un petit instant dans un tissu irradié (fig. 7).

La répartition statistique des « blessures » dans le tissu vivant

On voit alors sur une telle représentation que certaines cellules ne sont pas touchées, tandis que d'autres portent une, deux et jusqu'à six blessures. La figure 8 représente le même tissu sur lequel on a dénombré les blessures de chaque cellule. Si on connaît d'une part les dimensions des cellules et de leurs constituants, et d'autre part la fréquence moyenne des projectiles dans le temps et dans l'espace, le calcul

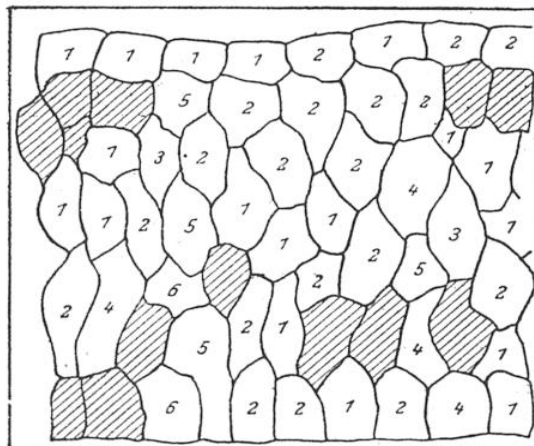


T W 23739

FIG. 7. — LE BOMBARDEMENT D'UN TISSU VIVANT PAR LES ÉLECTRONS APPARUS DANS UN FAISCEAU DE RAYONS X

On a reporté à une échelle convenable sur une coupe de tissu le trajet des électrons photographiés dans la chambre de Wilson (fig. 6). Cette figure donne une image satisfaisante du bombardement des cellules par les électrons libérés par les rayons X. Chacune des ramifications du trajet des électrons correspond à l'entrée en jeu d'un nouveau projectile et par conséquent à une nouvelle blessure infligée à la cellule. Le dénombrement de ces blessures est effectué à la figure 8.

des probabilités permet d'évaluer, pour différentes durées d'irradiation, le nombre des cellules qui auront reçu au moins une, deux..., six blessures. Les courbes ont des allures différentes suivant le nombre des atteintes. Si nous prenons les deux extrêmes, une ou six blessures, nous voyons que le nombre des cellules atteintes au moins une fois augmente d'abord très vite : les « projectiles » sont répartis assez



T W 23740

FIG. 8. — LA RÉPARTITION STATISTIQUE DES BLESSURES PROVOQUÉES DANS LE TISSU VIVANT PAR LES RAYONS X

On a porté sur une représentation schématisée des cellules du tissu (fig. 7) le nombre des blessures reçues par chacune d'elles. Ce nombre va ici de 0 (cellules indemnes, hachurées) à 6.

uniformément dans l'espace et, au début, tous les coups comptent. Puis, quand presque toutes les cellules ont au moins une blessure, la croissance de la courbe devient très lente. Au contraire, si nous dénombrons les cellules qui ont totalisé six blessures, il y a très peu de chances au début pour qu'une même cellule soit atteinte six fois. La courbe s'élève lentement, et ce n'est qu'au bout d'un temps appréciable que l'on obtient une croissance sensible (fig. 9).

La mesure des « doses » de rayons X

Pour étudier les effets des rayons X, il faut, tout d'abord pouvoir mesurer la « dose » de cette radiation administrée dans l'unité de volume du tissu irradié. On pourrait penser à mesurer l'énergie transportée par les radiations, mais il est bien évident qu'une radiation ne devient efficace que lorsqu'elle est absorbée par le tissu. Or, le tissu vivant absorbe beaucoup plus énergiquement les rayons « mous » (de grande longueur d'onde) que les rayons « durs » (de petite longueur d'onde). Aussi a-t-on choisi pour le dosage biologique des rayons X un de leurs effets physiques qui varie de la même façon que les effets biologiques en fonction de la longueur d'onde : l'ionisation de l'air. Les effets biologiques des rayons X sont dus, en effet, aux dommages infligés aux édifices atomiques du tissu vivant par les électrons rapides (1). Dans l'air, le même bombardement se traduit par l'ionisation, que l'on peut mesurer. De plus, l'expérience montre que l'absorption des rayons X par la matière est un phénomène atomique, c'est-à-dire qu'elle est indépendante de l'état des atomes, libres ou à l'état de combinaison. Cette absorption ne dépend que du poids atomique des constituants de la matière absorbante. Or, pour l'air, mélange d'azote et d'oxygène, l'absorption des rayons X varie sensiblement de la même façon en fonction de la longueur d'onde que pour le tissu vivant, composé surtout de carbures d'hydrogène, d'oxygène et d'azote, qui se rangent dans la catégorie des poids atomiques moyens. C'est pourquoi on a adopté comme unité internationale de mesure biologique des doses de rayons X, la dose qui fait apparaître une unité électrostatique dans l'unité de volume. L'unité biologique d'intensité est le « röntgen par seconde » désigné par la lettre *r*. Pour fixer les

idées, il faut environ 700 *r* pour provoquer l'érythème de la peau et plusieurs milliers de röntgen pour le traitement d'un cancer.

La gravité des blessures infligées aux cellules

De même qu'un coup de revolver est plus ou moins grave suivant qu'il atteint sa victime au cœur, au cerveau ou dans une partie non vitale du corps, la gravité des blessures reçues par la cellule vivante dépend essentiellement de leur siège. C'est ainsi que les blessures du noyau de la cellule auront beaucoup plus de chances de la tuer que celles de son protoplasma périphérique.

Certaines lésions de la cellule sont guérissables, d'autres sont incurables. Ces lésions peuvent abolir une partie seulement des fonctions de la cellule ; par exemple, celle-ci peut perdre le pouvoir de se multiplier. Elles peuvent aussi abolir la totalité de ses fonctions, et la cellule meurt immédiatement. Enfin, sans l'empêcher, ni de vivre, ni de se reproduire, elles peuvent cependant la modifier d'une façon définitive que nous préciserons tout à l'heure. Si, de la cellule isolée nous passons à la considération de l'ensemble du

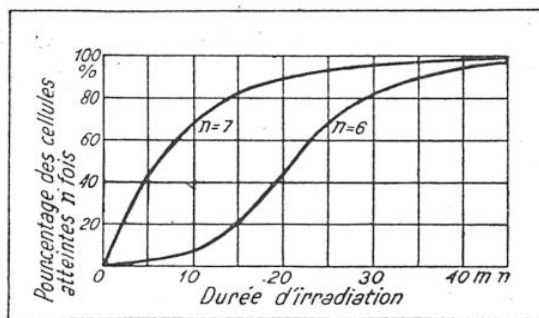


FIG. 9. — L'ACCROISSEMENT EN FONCTION DU TEMPS DU POURCENTAGE DES CELLULES BLESSÉES

L'intensité de l'irradiation restant constante, la courbe $n = 1$ représente, en fonction de la durée d'irradiation, le pourcentage des cellules atteintes au moins une fois ; et la courbe $n = 6$ le pourcentage des cellules atteintes au moins six fois.

tissu, nous devons examiner dans quelle mesure il est capable, après l'irradiation, de résorber les cellules mortes et de les remplacer par le jeu normal de la multiplication des cellules restées intactes, et dans quelle mesure les modifications permanentes de certaines cellules peuvent retentir sur les fonctions de cet organisme ou sur sa descendance.

Les effets biologiques des rayons X sur l'individu

Entre le bombardement de la matière vivante par les photons X et les premiers symptômes qui révèlent une altération de la santé, il existe une longue série de réactions qui sont encore loin d'être élucidées. On distingue deux grands groupes de lésions dues à l'irradiation par les rayons X : les lésions générales et les lésions locales.

La lésion générale survient après une irradiation de tout ou presque tout le corps, comme c'est le plus souvent le cas dans les locaux de travail mal protégés et les pièces traversées par des rayons diffusés de faible intensité agissant pendant une très longue durée. Les premiers symptômes sont complexes : disparition de la sensation de bien-être qui caractérise la santé, fatigue, pâleur, neurasthénie et en premier lieu anémie. Les tissus producteurs des globules sont, en effet, particulièrement sensibles à l'action des rayons X. Les globules blancs sont les plus sensibles et les premiers atteints. Un examen régulier du sang des personnes qui travaillent au voisinage des sources de rayons X

(1) L'absorption est un phénomène atomique ; de cette absorption résulte l'émission d'un électron de fluorescence ou d'un électron de recul (Compton). A partir de ce moment, l'effet sur le tissu vivant résulte de modifications ioniques ou moléculaires : modification de charges électriques dans le milieu colloïdal protoplasmique ou démolition de molécules complexes.

est une des mesures de sécurité les plus importantes, car il est possible d'obtenir une guérison complète des dommages causés par les rayons X, quand on enlève le malade de la place dangereuse à la première alerte donnée par l'examen hématologique.

Une lésion locale apparaît quand une partie du corps reçoit une dose supérieure à celle qu'elle peut tolérer sans dommage. Les doigts et les mains sont naturellement exposés en première ligne, puis le nez, les yeux et la bouche, l'irradiation se produisant quand l'opérateur examine l'objet à explorer; ensuite viennent la partie antérieure du tronc et les pieds qui sont irradiés par les fentes de la plaque inférieure mobile de protection. La peau est naturellement atteinte la première. Suivant l'intensité du rayonnement la lésion peut prendre tous les degrés. Dans les cas les plus bénins, c'est une légère rougeur (érythème) suivie d'un brunissement par apparition de pigments comme après un coup de soleil. Pour des doses plus élevées, on observe des brûlures banales guérissant en trois ou quatre semaines; ensuite viennent les nécroses profondes avec atteinte des aponeuroses et des muscles, très longues à guérir et cicatrisant mal. Dans certains cas, enfin, on peut observer, après une période de modification chronique de la peau s'étendant sur des années, une malignisation des lésions et l'apparition d'un véritable cancer des rayons X.

Les effets des rayons X sur la descendance de l'individu

En dehors de ces lésions provoquées par une irradiation excessive du corps humain, il existe d'autres effets biologiques des rayons X, qui sont complètement différents dans leur conséquence de ceux que nous venons d'énumérer, puisqu'ils ne se manifestent pas sur l'individu lui-même, mais éventuellement sur sa descendance. Ces effets sont la conséquence des blessures qui, sans empêcher la cellule de vivre et de se reproduire, la modifient pourtant irrémédiablement. Ils se produisent quand un électron atteint un point, appelé « gène », d'une certaine partie, appelée chromosome, du noyau de la cellule. Les chromosomes sont des filaments dont le nombre et la structure, uniformes pour toutes les cellules d'un même individu, sont caractéristiques de l'espèce à laquelle il appartient et conditionnent dans leurs moindres détails tous les caractères qui constituent sa personnalité.

Les chromosomes sont des chaînes de molécules géantes ou d'associations de molécules : les gènes, remarquablement stables et très actifs. On admet que les gènes sont les porteurs

des qualités héréditaires de l'individu. Ces caractères se retrouvent dans les gènes des cellules sexuelles (œuf et spermatozoïde), puisque celles-ci renferment la moitié du lot de chromosomes de chacun de leurs parents. Ils se transmettent donc à la cellule initiale du nouvel individu formée de la fusion des deux cellules reproductrices.

Si, dans les conditions normales, les gènes sont stables, ils peuvent pourtant présenter des variations soudaines, sous l'influence d'une cause connue ou inconnue, après quoi ils retrouvent un nouvel état d'équilibre. Une telle altération d'un gène s'appelle une mutation.

Les mutations peuvent se produire spontanément; on peut aussi les provoquer artificiellement. Si elles affectent une cellule sexuelle, il naîtra de cette cellule un nouvel individu, qui porte dans le gène atteint une qualité nouvelle qui reste dans sa descendance, alors que les ascendants ne la présentaient pas.

Une mutation peut améliorer le patrimoine héréditaire de la cellule où elle se produit; elle peut aussi avoir des effets déplorablement. On a parfois considéré que c'est par une série de mutations que sont apparues les espèces vivantes actuelles, les mutations favorables donnant des individus mieux adaptés qui ont éliminé les autres,

moins bien partagés. Si cela était, il faudrait donc admettre que, par suite d'une longue sélection, les espèces actuelles ont acquis dans leurs chromosomes une combinaison de gènes de haute valeur et que la sélection n'a, le plus souvent, qu'à conserver cette combinaison en éliminant les variantes fâcheuses. Dans cette combinaison, très peu probable statistiquement parlant, une mutation est le plus souvent aussi fâcheuse que le changement d'un seul chiffre au billet gagnant d'une loterie. Les mutations sont donc indésirables.

Or, le moyen le plus puissant que l'on connaisse pour les provoquer artificiellement est l'irradiation de la cellule par les rayons X ou les rayons gamma du radium. En plus des dommages causés à l'individu, les rayons X, agissant sur ses cellules reproductrices, risquent de l'atteindre également dans sa descendance.

Les mesures de protection

Pour protéger soit les opérateurs, soit les ouvriers travaillant ou passant dans le voisinage des sources de rayons X, on emploiera soit des écrans, soit des vêtements protecteurs, dans lesquels entrent du plomb, du verre au plomb, du caoutchouc au plomb ou du sulfate de baryum.

Les écrans peuvent être fixes; c'est le cas où les pièces à examiner sont déplacées devant

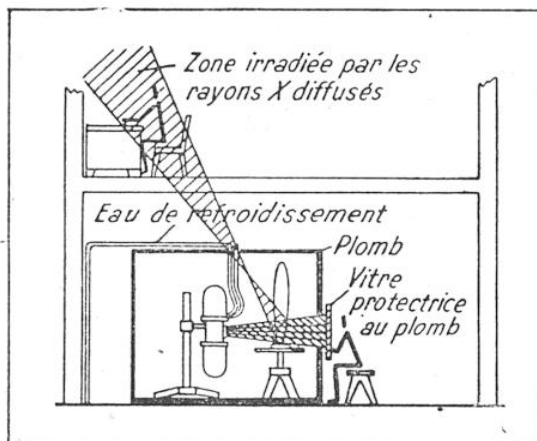


FIG. 10. — UN EXEMPLE DE FUITE DANS UNE ENCEINTE HERMÉTIQUE DE PROTECTION CONTRE LES RAYONS X

L'entrée des conduites d'eau pour le refroidissement du tube à rayons X laisse une ouverture très petite, mais cependant suffisante pour laisser passer un large faisceau de rayons diffusés de faible intensité.

une source fixe; les observations pourront se faire au travers d'une vitre de verre au plomb. Même quand l'espace où se trouve la source est parfaitement étanche aux radiations, on doit pourtant ouvrir périodiquement l'enceinte pour placer et retirer les objets à examiner, et pendant ce temps il importe que les radiations ne filtrent pas à l'extérieur, même pendant un temps très court. On adjoint donc à l'enceinte hermétique un certain nombre de dispositifs de sécurité : par exemple, un interrupteur peut éteindre la lampe un instant avant l'ouverture d'une porte, ou une plaque épaisse de plomb peut venir se placer devant la fenêtre de la lampe.

Quand on réalise une enceinte hermétique, il importe de vérifier qu'elle ne présente pas de fuites. La figure 10 montre avec quelle minutie cette vérification doit être effectuée.

Les écrans mobiles : plaques de plomb ou vitre de verre au plomb, sont très utiles pour assurer la protection du tableau de commande des générateurs mobiles et leur emploi devrait être généralisé.

La protection par des vêtements spéciaux est tout à fait exceptionnelle : le poids très élevé du caoutchouc au plomb rend très malcommode le port des tabliers et des gants protecteurs, sauf pour les médecins qui les utilisent couramment lorsque l'examen à l'écran comporte la palpation des organes pour l'étude de leur mobilité (estomac). Mais, dans certains cas, on peut envisager le port d'un tablier court qui, protégeant les organes sexuels, multiplie par dix, comme nous le montrerons, l'intensité que peut supporter sans dommage la personne à protéger.

La difficulté de cette protection par les écrans réside, comme nous l'avons dit au début, en ce qu'il est impossible d'arrêter totalement les rayons X, aucune substance n'étant parfaitement opaque pour eux comme le plus grand nombre des corps le sont pour la lumière visible. Les corps de poids atomique élevé sont les plus opaques, et l'isolant par excellence est le plomb; mais sa transparence augmente avec la « dureté » des radiations. Tandis que pour les rayons engendrés par des ampoules fonctionnant sous 100 kV, il suffit d'une traversée de 2 mm de plomb pour absorber les neuf dixièmes des rayons, pour les radiations beaucoup plus dures : rayons gamma du radium, qui seront employés dans certains cas, 10 mm de plomb n'arrêtent que la moitié des radiations. On voit donc que les dépenses à faire pour la protection sont très variables suivant les radiations employées. Dans certains cas, elles sont prohibitives, surtout si l'on a affaire à une source mobile (exploration des pièces de très grandes dimensions : poutres, etc.).

On n'aura alors d'autres ressources que de déterminer les zones dangereuses et de les interdire par une signalisation appropriée. Qu'il s'agisse de la détermination de ces zones dan-

gereuses ou de la vérification de l'efficacité d'un dispositif protecteur, on est donc ramené à la détermination des intensités limites que l'organisme peut supporter sans dommage.

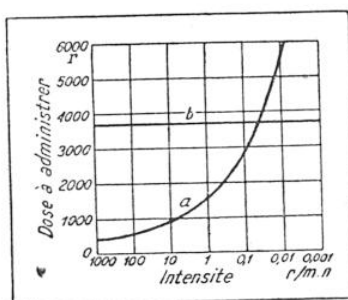
La limite supérieure des doses tolérées par l'organisme

Pour éclairer cette notion de dose tolérée, nous commencerons par étudier deux exemples d'effets des rayons X. Supposons d'abord que nous cherchions à obtenir un certain degré de noircissement d'une plaque photographique et que nous ayons pu obtenir ce noircissement par une exposition de 6 secondes avec une intensité de 0,1 r/s. L'expérience montre que le même résultat sera obtenu avec 0,01 r/s administrée pendant 60 secondes, ou 0,0001 r/s administré pendant 6 000 secondes. Dans tous les cas, la dose à administrer est constante et égale à 0,6 r.

Les faits observés sont différents lorsque l'on s'adresse à un matériel vivant. Supposons que nous voulions provoquer un érythème de la peau. Si on administre à une surface donnée de la peau la dose de 650 r en 6,5 mn (l'intensité étant de 100 r/mn), on observe dans les heures et les jours qui suivent une réaction caractéristique : rougissement, puis pigmentation de la peau. Mais si on administre la même dose de 650 r en 12 heures (intensité : 0,76 r/mn), la réaction d'érythème est très affaiblie, et il faut, pour obtenir le même effet avec cette intensité plus faible, allonger la durée d'irradiation, et on sera amené à administrer 1 650 r. La raison de cette augmentation de la dose nécessaire pour faire apparaître l'érythème est que, si on espace dans le temps les impacts des projectiles sur la cellule vivante, celle-ci est capable de guérir un certain nombre de blessures avant d'être de nouveau atteinte. Il est donc plus difficile de la tuer

et il faut pour cela augmenter la dose (fig. 11). On comprend que si on abaisse suffisamment l'intensité de l'irradiation, on pourra arriver à une limite au-dessous de laquelle la cellule pourra réparer toutes les blessures et supporter sans dommage cette irradiation. Toutes les lésions que les rayons infligent à l'individu et qui se traduisent par la destruction totale de certains de ses tissus appartiennent à ce type d'action et suivent, quoi qu'avec des coefficients numériques différents, une loi analogue. Il est donc possible de trouver dans ce cas une limite de tolérance.

Au contraire, dans le premier exemple, le résultat (décomposition d'un certain nombre de grains de sel d'argent) ne varie pas avec la rapidité plus ou moins grande d'application de la dose, parce que l'émulsion, substance non vivante, ne répare pas les « blessures » qui lui sont infligées. Existe-t-il des effets biologiques du même type, tels que la « blessure » soit irrémédiable et atteinte du premier coup? C'est



T W 23742

FIG. 11. — VARIATION, EN FONCTION DE L'INTENSITÉ, DE LA DOSE DE RAYONS NÉCESSAIRE POUR OBTENIR UN CERTAIN EFFET BIOLOGIQUE.

La courbe a représente, en fonction de l'intensité, la dose nécessaire pour obtenir l'érythème de la peau. Cette dose s'accroît quand l'intensité diminue, car les « projectiles » s'espaçant dans le temps, la cellule peut réparer un certain nombre de ses blessures avant d'en recevoir d'autres. Au contraire (courbe b), la dose nécessaire pour provoquer 10 % de mutations chez la mouche *Drosophile* ne dépend pas de l'intensité, car l'effet d'un projectile n'est pas guérissable et la dose n'augmente pas si on espace les impacts dans le temps.

précisément le cas des mutations de gènes, et nous allons ici retrouver la dualité des effets des radiations sur l'individu et sur sa descendance.

La courbe b (fig. 11) montre que la dose nécessaire pour obtenir une certaine proportion (10 %) de mutation dans les cellules reproductrices de la mouche drosophile est indépendante de la rapidité avec laquelle cette dose est administrée. Si faible que soit l'intensité, au bout d'un temps très long on arrivera toujours à obtenir 10 % de mutations de gènes dans les cellules reproductrices d'un individu irradié. Toutes les doses, si faibles soient-elles, sont nuisibles au point de vue de la descendance de qui les reçoit. Jusqu'à quelle valeur devons-nous abaisser l'intensité d'irradiation pour que les dommages soient négligeables? Il convient ici de se rappeler que les mutations de gènes se produisent aussi spontanément. On pourra donc considérer que l'intensité à ne pas dépasser est celle qui donne une probabilité de mutations provoquées de même ordre que la probabilité des mutations spontanées.

L'étude expérimentale des effets génétiques des rayons sur les animaux et la transposition à l'homme des résultats obtenus donne une estimation de la dose quotidienne que l'individu peut « absorber » sans dommage pour sa descendance éventuelle. Cette dose est de 0,025 r/jour. Pour les personnes pour lesquelles cette limite n'a pas d'intérêt, la dose quoti-

dienne peut être dix fois plus forte, car il suffit ici d'éviter les lésions somatiques.

L'individu peut absorber, sans dommage pour lui-même, 0,25 r/jour ou 1,25 r/semaine (on retrouve le fait qu'une dose « diluée » est moins efficace). La moyenne sur de plus grandes périodes de temps n'a pas d'intérêt pratique. Si une personne n'est exposée qu'une fois par mois aux rayons, elle ne pourra pas absorber 5 r, mais 1,25 r.

La mesure d'intensités de l'ordre de 0,025 r/jour dans de grands espaces qu'il faut explorer avec un soin extrême et où il faut par conséquent multiplier les sondages, nécessite des appareils à la fois très sensibles et d'une lecture très rapide (dérivés du compteur de Geiger et Muller, utilisé en particulier pour l'étude des rayons cosmiques).

Ainsi, la protection des travailleurs contre l'action des rayons X est un problème assez complexe : il nécessite la mise en œuvre d'un faisceau de précautions : protection par écrans, interdiction des zones dangereuses, contrôle de l'efficacité des enceintes protectrices par des mesures très précises, et détection précoce des lésions des rayons X par l'examen du sang. L'ensemble de ces mesures assure une sécurité très satisfaisante et les applications des rayons X pourront se multiplier dans l'industrie sans entraîner l'apparition de nouvelles maladies professionnelles.

Henri FRANÇOIS.

On sait que l'industrie automobile a pris ces dernières années, aux Etats-Unis, une extension unique au monde. On y compte, en effet, une moyenne de 1 véhicule pour 4 habitants, et il y avait en circulation, au début de la guerre, 28 millions d'automobiles de tourisme, 5 millions de camions et 150 000 autobus. On cite une ville de l'Ouest des Etats-Unis où 80 % des travailleurs se rendent à leur travail au moyen de leur propre voiture. L'équipement en pneumatiques de ce nombre énorme de véhicules absorbe à lui seul 60 % de la production mondiale de caoutchouc. Comme le continent américain n'en produit que 2 %, les Etats-Unis ont dû importer 500 000 tonnes de caoutchouc brut en 1939, 800 000 tonnes en 1940, et environ 1 000 000 tonnes en 1941. Les pays producteurs de l'Asie sud-orientale étant passés sous le contrôle japonais, les Etats-Unis en sont à présent réduits, eux aussi, à pratiquer une politique autarcique et à développer leur industrie de caoutchouc synthétique, qui devait produire 400 000 tonnes l'an passé et doit en produire 700 000 l'an prochain. Les besoins militaires seuls étant évalués à quelque 500 000 tonnes, on comprend que des mesures de restriction de la circulation chaque jour plus sévères soient édictées aux Etats-Unis (réduction de la vitesse maximum autorisée, etc...).

On comprend plus difficilement la promulgation de mesures de restriction sur l'essence, dans un pays qui fournit 62 % de la production mondiale de pétrole. Il y a là, certes, un problème de transports causé par la menace sous-marine qui pèse sur les 20 000 pétroliers qui ravitaillent en carburants les Etats de l'Est, principaux consommateurs, éloignés de plus de 3 000 km des plus importants lieux de production (Texas, Louisiane, Oklahoma). Néanmoins, il semble que le rationnement de l'essence vise principalement à limiter le trafic routier, et, par là même, l'usure des pneumatiques, par une mesure moins radicale que la mise hors circulation d'un certain nombre de véhicules.

LE BOIS RIVAL DE L'ACIER

par Pierre DEVAUX

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

La technique d'autrefois faisait un large usage du bois pour la fabrication des outils et des machines et pour la construction des édifices et des navires. Le métal était réservé à certains organes appelés à résister à des efforts intenses. Depuis deux siècles, l'avènement de la grande métallurgie a mis à la disposition des techniciens des quantités énormes de métaux et d'alliages les plus divers (1), doués des caractéristiques mécaniques que réclamait précisément l'apparition des machines à régime élevé, remplaçant, avec l'invention des moteurs thermiques et électriques, les engins antiques à régime lent. Cette révolution a fait presque complètement disparaître le bois de la fabrication des machines, tandis que le fer, le béton et le béton armé, inaltérables à la chaleur, aux insectes, aux champignons, et permettant des réalisations toujours plus hardies, l'éliminaient peu à peu de la construction des édifices, des ouvrages d'art et des navires. Mais voici que le bois revendique une partie au moins de son ancien domaine. Grâce à des traitements appropriés, et surtout grâce à l'appoint des matières plastiques, on est parvenu à améliorer notablement ses caractéristiques mécaniques et sa résistance aux agents de destruction. Le bois comprimé, le bois imprégné de résines ou de métaux fusibles, le bois reconstitué fournissent aujourd'hui toute une gamme de matériaux qui semblent appelés à des applications très nombreuses dans la construction aéronautique, la fabrication des pièces mécaniques, etc., et qui, par la facilité avec laquelle ils permettent d'adapter leurs fibres résistantes aux efforts à subir, peuvent rivaliser avec les créations les plus récentes de l'industrie métallurgique.

LE métal, « matériau » moderne par excellence, est-il menacé de passer prochainement au second rang? On est tenté de le croire devant les récents progrès de substances entièrement nouvelles, telles que les bois comprimés, résinifiés, bakélisés, les résines armées, les bakélites. Malgré leur apparence robuste et leur facilité d'usinage, les métaux sont loin de répondre aux exigences actuelles. Le métal, en effet, est sensiblement homogène et « isotrope »; il se présente en masse, avec des propriétés uniformes; et les traitements tels que la trempe, la cémentation, l'écrouissage, s'ils modifient localement les caractéristiques mécaniques, ne sauraient donner au métal la « fibre » judicieusement disposée d'une poutre de bois naturel. Seuls, la forge et le laminage, en produisant dans le métal une orientation moléculaire, lui procurent — mais dans une mesure très réduite — les ressources d'une « résistance préférentielle » dans un sens déterminé.

Résister « intelligemment », suivant les axes exactement prévus par l'épure... Le problème n'est pas nouveau. Il s'est posé, voici des années, aux architectes qui utilisaient le béton non armé; formé d'un mélange de ciment et de cailloux, d'une « granulométrie » variable, ce matériau hétérogène était essentiellement isotrope et ne se prêtait correctement qu'aux grands efforts de compression. La création du *béton armé*, avec ses armatures, ou « ferrailage » complexe, matérialisant les lignes de force dûment prévues sur plans par l'ingénieur, est venue apporter des ressources insoupçonnées et a

permis les réalisations grandioses que l'on sait.

C'est une révolution analogue qui se produit actuellement dans le domaine du bois et des produits dérivés.

Un matériau capricieux : le bois naturel

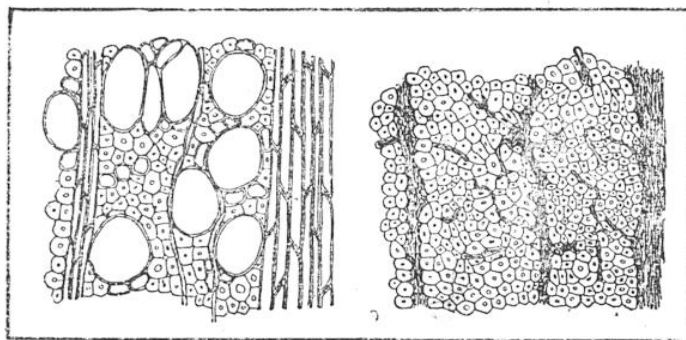
Un professeur de technologie de l'Ecole centrale commençait naguère son cours par ces mots : « Messieurs, le bois ne se forge pas ! »

Ce technicien serait sans doute fort étonné aujourd'hui de voir employer, dans la fabrication des « bois améliorés », un matériel et des procédés de laminage, de moulage et d'emboutissage directement empruntés à la métallurgie des alliages légers ou à l'industrie des matières plastiques.

Que faut-il entendre par « bois améliorés »? On connaît certes depuis longtemps des procédés tels que le *flottage* ou l'*immersion*, l'*étuvage*, le *séchage* ou le *vieillissement artificiel*, la *lignification*, sans oublier certaines techniques d'emploi comme le *placage* et le *contre-placage*, qui ont pour objet de conférer au bois la plénitude de ses qualités ou de pallier certains de ses inconvénients. Il ne s'agit là, à proprement parler, que de mises en œuvre particulières qui n'entraînent aucune modification profonde des propriétés du bois, mais une amélioration de ses résistances intrinsèques.

Il convient de laisser également de côté les produits tels que les *panneaux de fibres de bois*, de *copeaux* ou de *laine de bois*, les *bois agglomérés au ciment*, produits entièrement artificiels, qui ont leur intérêt, mais ne possèdent

(1) Voir dans ce numéro, page 149.



T W 23729

FIG. 1. — L'EFFET D'UNE FORTE PRESSION TRANSVERSALE SUR LA STRUCTURE MICROSCOPIQUE DU BOIS DE HÊTRE

A gauche, coupe d'un bois de hêtre avant la compression. Entre les cellules du bois, il existe un certain nombre de vides (vaisseaux, etc.). A droite, après la compression suivant une direction perpendiculaire aux vaisseaux, les vides ont été écrasés et le bois est réduit au volume de ses cellules. Sa densité est plus forte, et il est devenu plus résistant.

plus les caractères du bois. On peut en dire autant de certains bois traités pour des emplois purement décoratifs et qui ont l'avantage d'une rétractibilité réduite; ces bois « valorisés » ou « malléables » sont généralement très inférieurs au bois naturel au point de vue mécanique.

La nature met à notre disposition une gamme de bois extrêmement étendue; la densité des essences ligneuses varie de 100 à 1 450 kg/m³; les résistances — notons ceci — varient sensiblement dans la même proportion. Le bois naturel est élastique, résilient, c'est-à-dire peu fragile, facile à mettre en œuvre et à usiner sans outillage coûteux; il est à peu près insensible aux variations de température et offre vis-à-vis de la chaleur et de l'électricité des qualités isolantes appréciables, à la condition qu'il soit bien sec.

Au point de vue mécanique, ce matériau fibreux offre dans son sens axial des résistances remarquables qui, pour les meilleures espèces, sont supérieures — à poids égal — à celles des aciers spéciaux ou des alliages légers employés dans la mécanique, la carrosserie, l'aviation. Dans ces conditions, il bénéficie d'une rigidité beaucoup plus grande, du fait qu'on est conduit à l'employer en sections plus larges. C'est pour cette même raison que l'on emploie de préférence des essences tendres, procurant l'inertie, la raideur et la résilience maximum. Pratiquement, les bois de densité supérieure à 1, buis, cormier, gaïac, sont réservés à des usages spéciaux exigeant une grande dureté, une bonne résistance à l'usure et un faible coefficient de frottement: pièces de mécanique, roues de poulies, coussinets d'engrenages, galets, outils, etc.

A côté de ces précieuses qualités, le bois possède une hétérogénéité fâcheuse de structure, des variations de densité et de résistance, une mauvaise cohésion transversale: il est hygroscopique, rétractile et altérable aux intempéries; il est la proie des insectes. Par ailleurs, les es-

sences les plus appréciées, telles que l'épicéa, le spruce, le frêne, le robinier, l'hickory, et spécialement leurs individus de gros diamètres, tendent à se raréfier par suite d'une exploitation abusive. Les espèces coloniales ne parviennent pas toujours régulièrement sur nos marchés.

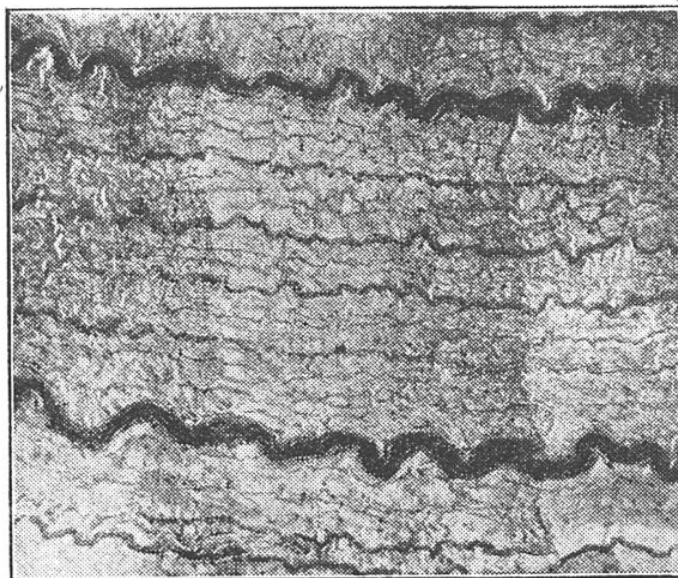
De là l'idée de tirer parti des essences indigènes communes: hêtre, charme, bouleau, peuplier, moyennant des traitements appropriés, capables de leur donner des caractéristiques comparables ou même supérieures à celles des essences de provenances les plus appréciées.

Deux grandes catégories de traitements peuvent être envisagées: la lamellation et la résinification.

Les bois lamellés « reconstitués »

L'industrie aéronautique utilise depuis longtemps, pour la fabrication des pièces essentielles de structure, le procédé de construction « à lamelles collées » qui permet, en faisant chevaucher les légers défauts d'un bois ordinaire, d'obtenir des pièces de toute sécurité. On utilise des planchettes de 8 à 12 mm d'épaisseur, recollées avec un certain décalage, les défauts se trouvant soigneusement écartés des sections dangereuses et des couches extrêmes, les plus fatiguées en traction ou compression.

C'est sur le même principe qu'on réalise aujourd'hui des pièces de bois lamellé « reconstitué », obtenues à partir de placages très minces, tranchés ou déroulés, empilés et collés ensemble sous faible pression, de manière à réaliser une masse robuste. L'épaisseur des « plis », ou lamelles, est généralement comprise entre



T W 23728

FIG. 2. — L'ASPECT MACROSCOPIQUE D'UNE SECTION PERPENDICULAIRE AUX FIBRES DANS UN HÊTRE COMPRIMÉ (LIGNOSTONE)

Le « lignostone » est obtenu en comprimant le hêtre à refus, perpendiculairement à ses fibres.

0,5 et 3 mm, les collages étant réalisés de préférence à l'aide de résines synthétiques, *caurite* ou *bakélite*; on « polymérise » ces substances en soumettant la pièce à une température de 135 à 150° C sous une pression d'une quinzaine d'atmosphères, à l'aide d'une presse chauffante.

Les bois lamellés, beaucoup plus résistants et moins sujets à se fendre que le bois naturel, sont de 10 à 25 % plus denses et plus raides.

Il n'est pas souhaitable que le nombre des coupes dépasse 25 ou 30 par centimètre d'épaisseur, ce qui correspond à l'optimum de résistance à poids égal, et donne lieu à des difficultés d'exécution déjà considérables.

Il est remarquable que l'on puisse obtenir par ce procédé des pièces composites, spécialement étudiées pour fournir, au flambage ou en flexion, le maximum de résistance aux points particulièrement fatigués. Des longerons d'avions, par exemple, pourront être constitués dans leur partie médiane par un bois léger avec quelques fils diagonaux formant l'âme, supportant seulement le cisaillement, tandis que les bois usuels seront formés de placages d'excellente qualité mécanique, exempts de tous défauts. On taille ainsi directement des poutres ou des longerons d'avions dans un matériau « préfabriqué », au lieu de préparer individuellement les pièces comme l'ont fait jusqu'ici les constructeurs.

La « densification » du bois par compression accroît sa résistance

Le bois naturel est essentiellement poreux. Chez les résineux, sa masse est traversée de « trachéides », chez les feuillus, de vaisseaux. Ecraser le bois transversalement pour supprimer ces vides, en conservant uniquement la matière résistante, est une idée toute naturelle, qui a donné naissance à la technique du *bois comprimé* (fig. 1 et 2).

Les premières applications industrielles furent réalisées par laminage, des planches ou feuillets de peupliers ou d'autres bois tendres étant aplatis par passages successifs entre les cylindres d'un laminoir. Cette méthode, simple mais assez brutale, est encore utilisée aujourd'hui pour préparer les « semelles sous rails » de chemins de fer; il importe, pour éviter la rupture transversale des fibres et la production de

fentes, d'opérer sur des bois incomplètement secs et de multiplier les passes.

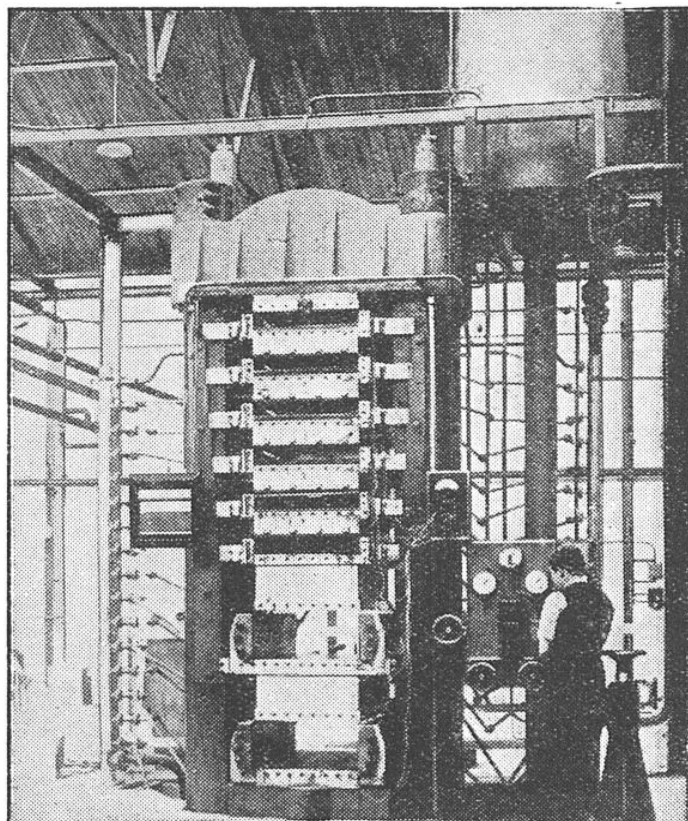
Actuellement l'opération est faite à la presse hydraulique (fig. 3); elle diffère, suivant que l'on a affaire à des blocs de bois massifs ou à des placages minces.

Dans le premier cas, on part habituellement de blocs de hêtre nets de tout nœud ou défaut, de section carrée, débités dans le fil. Ces blocs, maintenus latéralement par les parois du moule, subissent perpendiculairement aux fibres, une pression pouvant atteindre 400 atmosphères, qui ramène l'épaisseur aux deux tiers de sa valeur initiale. Si l'on recherche la « densification » maximum, une deuxième compression est ensuite exercée dans les mêmes conditions, en direction orthogonale, opération

qui a pour effet de rendre au bloc sa forme carrée. La nouvelle section étant sensiblement la moitié de la section initiale, la densité et la résistance se trouvent à peu près doublées.

En pratique, il n'est pas désirable de doubler la compression jusqu'à son maximum (densité 1,54 environ), car, à partir d'un certain chiffre, l'augmentation de résistance ne suit plus celle de la densité.

Le bois comprimé n'est pas fragile, tout au moins pour les compressions modérées. L'opération est simple, mais assez délicate à conduire et les bois doivent être très bien choisis. Ce matériau, aux applications multiples, est surtout employé dans l'industrie textile, pour des navettes, des sabres et des fouets de chasse.



T W 23732

FIG. 3. — PRESSE A PLATEAUX MOULES DE 1 450 TONNES POUR LA PRÉPARATION DU BOIS « DENSIFIÉ » (PERMALI)

La pièce de bois rectangulaire est placée dans un plateau moulé sur lequel elle s'appuie sur cinq de ses faces. La sixième face est pressée par le deuxième plateau de la presse. Ainsi la pièce de bois se trouve comprimée suivant l'une de ses trois dimensions sans pouvoir s'écraser par aplatissement, ce qui produirait la dislocation et la rupture des fibres.

ainsi que pour l'outillage : manches d'outils, maillets, et pour l'industrie mécanique : coussinets, alluchons de roues dentées, etc.

En raison des difficultés que nous venons de signaler, on tend à abandonner la compression de pièces de bois massives pour s'adresser à des placages minces, tranchés ou déroulés. Ces placages peuvent être soit comprimés individuellement (ou par 2 ou 3) à l'aide de presses à plateaux, pour être collés ensuite, soit, le plus souvent, comprimés et collés en une seule opération. On utilise pour le collage des résines synthétiques « thermodurcissables » (phénoplastes ou aminoplastes) ou « thermoplastiques » (résines vinyliques ou acryliques), la bakélite étant la plus généralement employée. Il y a lieu de remarquer que la proportion de résine incorporée dans le produit devient alors relativement importante et qu'elle pénètre à l'intérieur des plis, réalisant une sorte d'imprégnation. L'imprégnation du bois est la deuxième technique d'amélioration de ce matériau, et, suivant le produit qu'on introduit dans les tissus du bois, on lui confère des propriétés très diverses.

Les bois imprégnés

On sait depuis longtemps assurer la protection du bois contre divers agents destructeurs en imprégnant plus ou moins profondément ses tissus de substances hydrofuges, ignifuges, insecticides ou fongicides. Ces substances ne peuvent cependant pénétrer dans les espaces cellulaires que sous forme de solutions salines ou de liquides extrêmement fluides; encore faut-il généralement recourir à l'injection en autoclave, sous vide et pression alternés.

Les produits employés, huile, paraffine, borates, sels d'ammonium, sulfate de cuivre, bichlorure de mercure, créosote, etc., n'accroissent pas la résistance mécanique du bois; les sels alcalins ou fortement acides, au contraire, hydrolysent à la longue la cellulose et nuisent à sa résistance. Plus récemment on a songé à remplir de façon plus ou moins complète les vides du bois avec des matières inertes susceptibles de modifier dans un sens favorable les caractéristiques physiques et mécaniques du matériau.

L'imprégnation du bois par les métaux fondus

Des résultats intéressants ont été obtenus au Kaiser-Wilhelm-Institut de Düsseldorf, en imprégnant le bois avec des métaux à bas point de fusion : plomb, étain et antimoine ou leurs alliages. On peut obtenir un matériau de densité variant de 3 à 5, plus dur et plus résistant

à l'usure que le métal injecté lui-même — car les parois ligneuses s'opposent à son écoulement — incombustible, bon conducteur de la chaleur et de l'électricité. Les bois métallisés conviennent pour la fabrication des coussinets antifriction autolubrifiants, grâce à une injection de 3 à 4 % d'huile.

Les résines artificielles ou « résites »

Bakeland, inventeur de la bakélite, songea à incorporer cette dernière dans le bois, mais, rebuté par les difficultés d'injection, tourna le problème en mélangeant au contraire à la résine des farines de bois. Ainsi prit naissance l'industrie actuellement florissante des matières moulées. Mais si, sous la forme extrêmement divisée des farines, le bois apporte déjà de la cohésion aux résines synthétiques et en réduit la fragilité, on conçoit que des caractéristiques encore meilleures seraient obtenues s'il était possible de conserver au bois sa structure et sa résistance propres dans le matériau composite.

Rappelons qu'il existe deux grandes catégories de résines synthétiques. Les résines thermoplastiques possèdent un cycle réversible,

c'est-à-dire qu'elles se ramollissent à chaud pour durcir à nouveau en refroidissant. Telles sont les résines acryliques et métacryliques, les résines vinyliques et polyvinyliques, les polystyrènes, enfin les esters de la cellulose. Ces résines thermoplastiques ne sont guère utilisées pour l'imprégnation du bois, mais conviennent pour le collage et la protection superficielle.

Les résines thermodurcissables possèdent au contraire un cycle irréversible, c'est-à-dire que, d'abord plastiques à chaud et solubles dans différents liquides tels que l'alcool, elles durcissent et se polymérisent pour une température suffisamment élevée et deviennent alors insolubles.

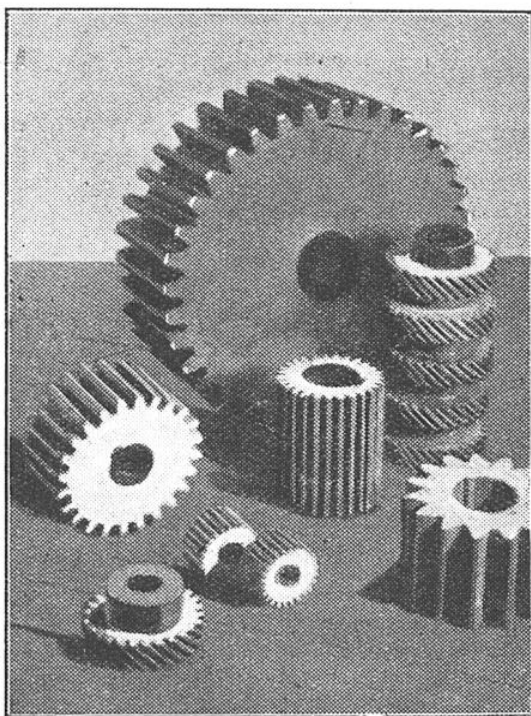


FIG. 4. — ROUES D'ENGRENAGE EN BOIS LAMELLÉ RÉSINIFIÉ (LIGNOFOLD Z)

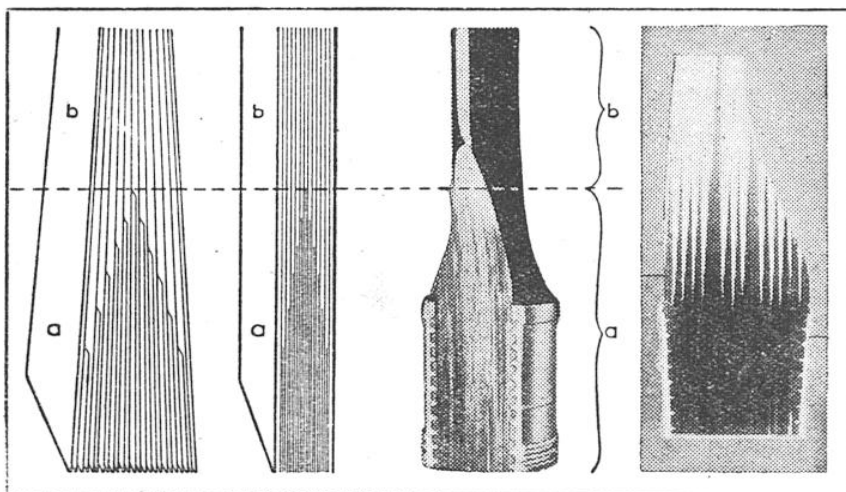
Le bois amélioré qui sert à fabriquer ces engrenages est constitué par un assemblage de feuilles de hêtre qui sont collées par compression à l'aide d'une résine synthétique. Les engrenages de bois résinifié ont la propriété très intéressante d'être silencieux. Le « lignofold », qui est livré sous forme de blocs parallélépipédiques, doit être travaillé avec des outils en aciers spéciaux très durs, et refroidi pendant le travail par un jet d'air comprimé, le refroidissement par liquide étant à proscrire. On peut le scier, le raboter, le fraiser, le percer, le meuler, le coller, le tourner, le polir, lui donner une forme filetée. Mais, en raison de sa grande compacité, il est impossible de le clouer.

infusibles et chimiquement inertes. Ces résines thermodurcissables comprennent les phénoplastes, tels que le phénol-formol et le crésol-formol, type bakélite et les aminoplastes tels que l'urée-formol, type caurite ou pollopas.

Pratiquement, ce sont les phénoplastes qui ont été le plus généralement utilisés pour l'amélioration des bois par imprégnation. Ces phénoplastes, chauffés progressivement, présentent trois états successifs A B C. A l'état A, c'est-à-dire pour les températures les plus basses, ces résines artificielles, dites alors « résols », sont fusibles et solubles dans l'alcool et divers autres solvants. A l'état B, correspondant à des températures plus élevées, elles sont encore fusibles. Pour des températures plus élevées encore, les résines artificielles atteignent leur état définitif C, prenant alors le nom de « résites ».

Comment on « résinifie » les bois

Pour l'imprégnation du bois, on utilise les phénoplastes aux états A et B sous forme de vernis alcooliques, ce qui facilite la pénétration dans le tissu ligneux. Par une action suffisante



T W 23726

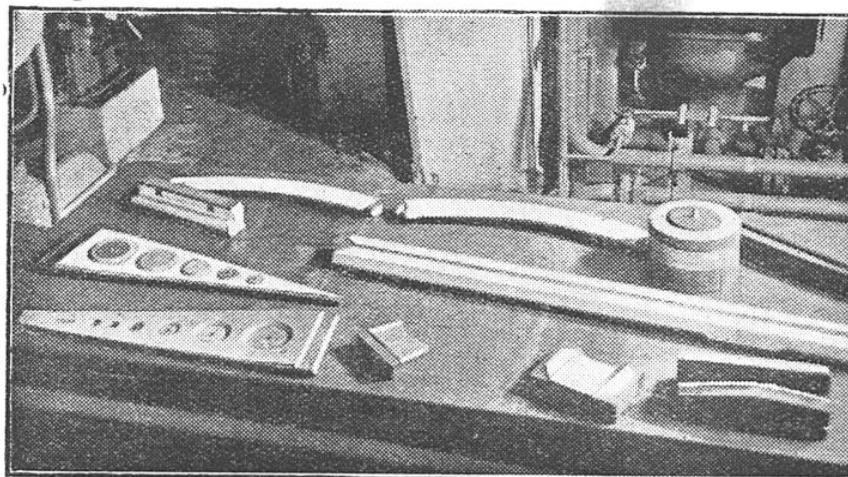
FIG. 6. — LA FABRICATION D'UNE PALE D'HÉLICE EN BOIS ÉLABORÉ

A gauche, trois étapes de la fabrication d'une hélice Heine. La pièce de bois dans laquelle est taillée l'hélice est constituée par des placages minces, assemblés au tégoform (feuille de papier recouverte de bakélite) par chauffage et compression. Le pied de l'hélice devant subir des efforts beaucoup plus considérables que la pale est renforcé. A cet effet, on interpose entre les placages qui servent à la fabrication des pales (région b) d'autres lamelles de bois (région a); la compression, qui ramène toute la pièce de bois à une épaisseur uniforme, est donc beaucoup plus forte dans la partie a qui correspondra au pied de la pale. Le bois y est beaucoup plus dense et plus résistant qu'au niveau de la pale elle-même. A droite, l'hélice Swartz : les planches formant le corps de la pale viennent s'assembler par collage en sifflet sur des lames de bois amélioré constituant le pied.

de la chaleur à une température de 150 à 160° en autoclave (fig. page 178), le résol est alors polymérisé sur place et transformé en résite parfaitement stable, qui assure au bois ses caractéristiques nouvelles.

Les caractéristiques des résites pures sont remarquables. Infusibilité : la substance se carbonise directement vers 300°; bonne tenue mécanique jusqu'à 140°; insolubilité dans tous les solvants habituels; résistance parfaite aux acides; bonne résistance aux bases peu concentrées; imperméabilité aux liquides et aux gaz; dureté comparable à celle du saphir, mais s'accompagnant d'une certaine fragilité au choc; très mauvaise conductibilité de la chaleur; haute rigidité diélectrique, une tension de 20 000 volts étant nécessaire pour perforent 1 mm de matière; résistivité superficielle dépassant celle du quartz.

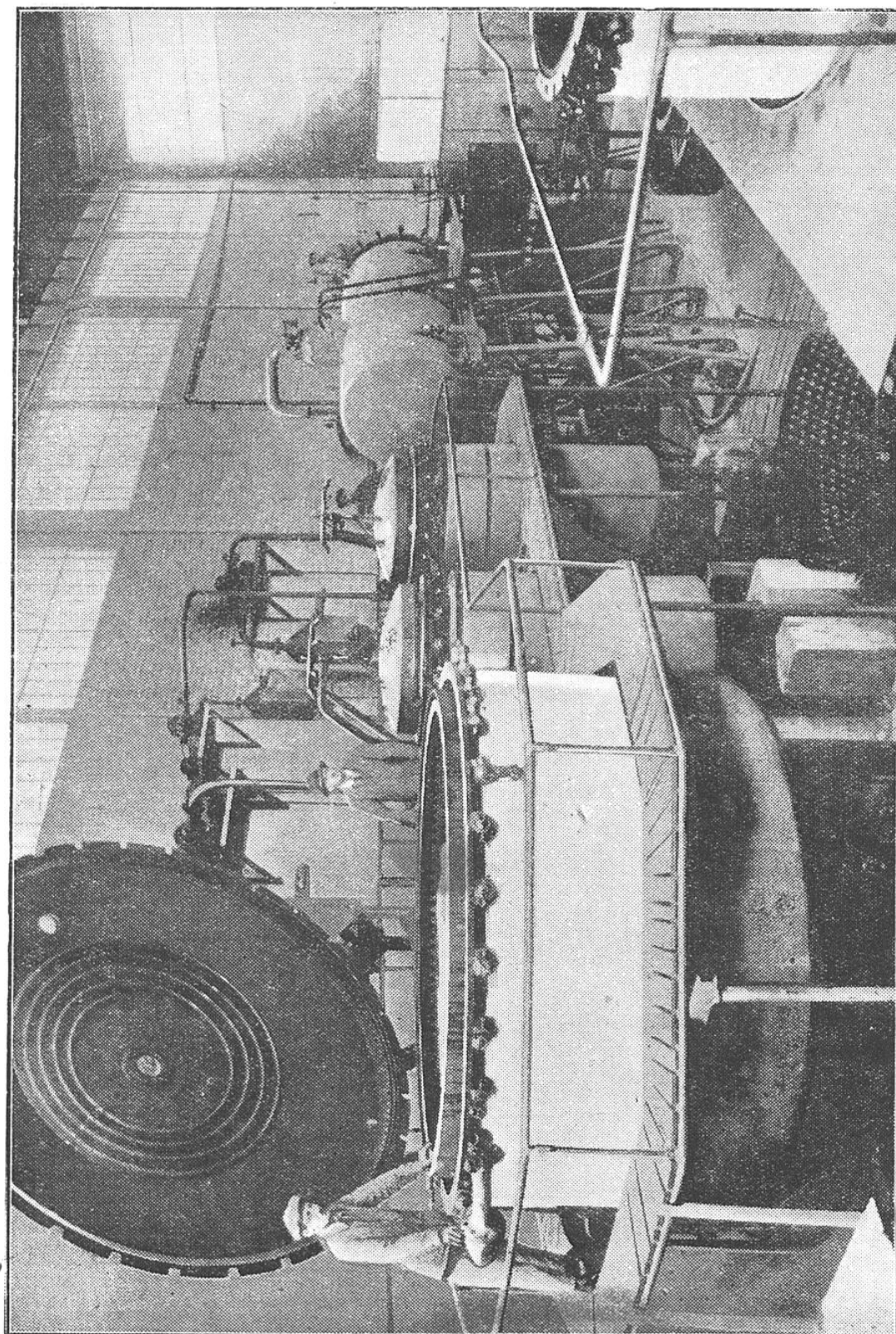
Sans atteindre à des caractéristiques aussi exceptionnelles, les bois résinifiés présentent des propriétés intéressantes. La densité est voisine de



T W 23733

FIG. 5. — DU BOIS PLUS DUR QUE LE MÉTAL !

On aperçoit des poinçons et des matrices qui servent à l'emboutissage d'objets en métaux légers. Ces poinçons sont en bois améliorés par résinification et compression et sont beaucoup plus durs que les métaux à travailler.



T W 23731

FIG. 7. — AUTOCLAVES POUR L'IMPREGNATION DU BOIS AUX RESINES SYNTHÉTIQUES

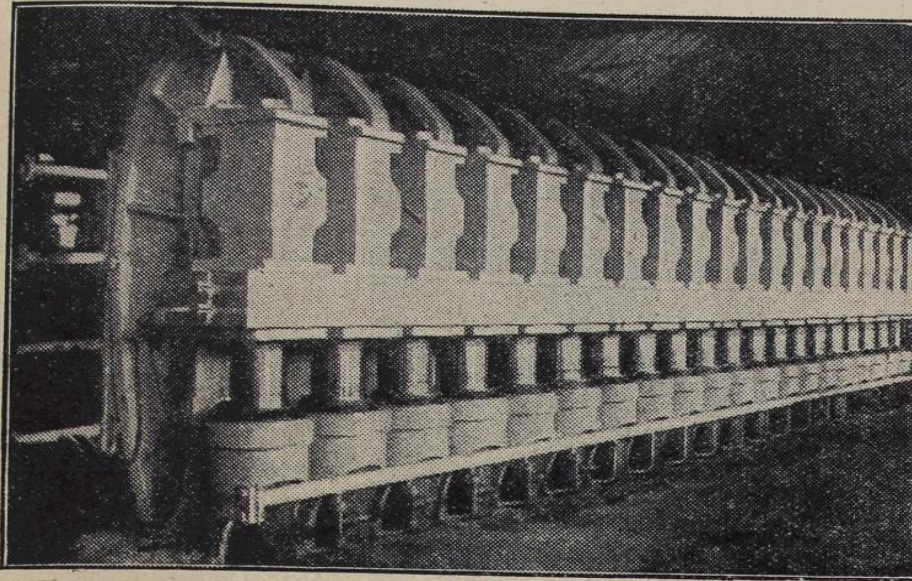


FIG. 8. — UNE PRESSE LONGUE DE 20 M POUR LA FABRICATION DES LONGERONS D'AVIONS EN BOIS AMÉLIORÉS A CARACTÉRISTIQUES VARIABLES

T W 23730

1,15; les pièces deviennent à peu près insensibles aux variations hygrométriques et sont ainsi stabilisées dans leurs formes et leurs dimensions. La résistance à l'usure est accrue, le coefficient de frottement diminué; la résine assure une protection efficace contre les insectes, les champignons, les agents chimiques. Ce matériau offre des propriétés isolantes remarquables, précieuses dans l'industrie électrique.

Quant aux propriétés mécaniques, nous venons de voir que les résines polymérisées sont très dures et résistantes aux compressions ou aux cisaillements, mais fragiles et peu résistantes en traction et flexion, propriétés exactement inverses de celles du bois naturel. L'excellente tenue mécanique du bois résiné s'explique donc facilement; mais il ne semble pas que l'on ait affaire à une participation directe de la résine à la résistance globale du matériau, car cette résine se trouve répartie sous une forme granuleuse ou diffuse. Il semble plutôt que les gouttelettes solidifiées de résine interviennent en contrevenant les parois cellulaires et en retardant l'écrasement local des membranes et le flambage général des fibres qui se trouvent ainsi mises à même de fournir leur résistance maximum en compression. La résine joue en outre le rôle d'un adhésif et empêche

la séparation transversale des fibres.

La raideur et la fragilité relatives des bois résinifiés les ont longtemps écartés de la construction aéronautique, de la carrosserie, de la fabrication des manches d'outils et du matériel textile. On sait pallier aujourd'hui ces inconvénients par l'addition de plastifiants appropriés ou par l'emploi de résines moins cassantes.

Les usages les plus courants des bois résinifiés sont actuellement les suivants : Dans la construction électromécanique, on les utilise pour les pièces isolantes de transformateurs, de disjoncteurs, de moteurs et d'alternateurs : calages, tiges de commandes, boulons, plaques de bornes, cales d'enroulement, etc. Pour les réseaux électriques et lignes de transport d'énergie, on les emploie pour les traverses, tiges d'isolateurs, dispositifs de protection contre les oiseaux, perches, tabourets isolants, tableaux d'appareillage, panneaux de compteurs. Les chemins de fer les utilisent pour les semelles sous rails, les éclisses isolantes du « block-system », les supports de rails conducteurs, les planchers d'automotrices. Dans l'industrie mécanique, ils conviennent pour les engrenages silencieux (fig. 4), les alluchons, coussinets de laminoirs, poulies, tandis que l'industrie textile et la teinturerie les emploient pour les sabres et fouets de chasse, les navettes de métiers à tisser, les bagues, agitateurs, bâtons de teinture, chariots pour séchoirs.

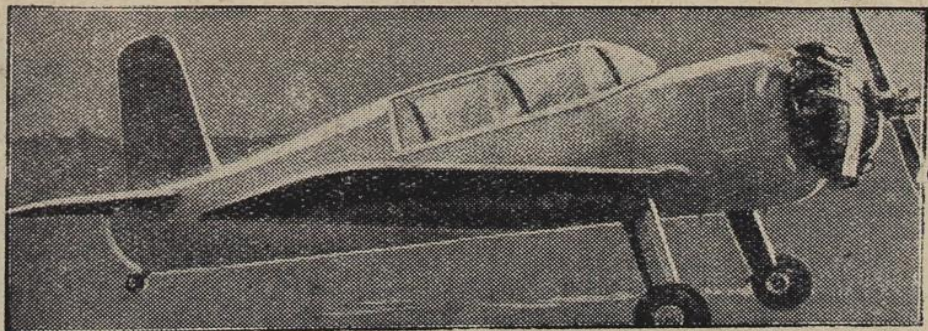


FIG. 9. — L'AVION D'ENTRAÎNEMENT AMÉRICAIN FLETCHER, CONSTRUIT EN BOIS (PLASTIS PHY)

T W 23727

L'ossature de l'avion est en contre-plaqué. Les revêtements sont constitués par un contreplaqué dont les fibres sont collées à basse pression au moyen d'une résine synthétique à base d'urée qui durcit à la température ordinaire. Le moulage des feuilles de bois s'effectue en les pressant entre un gabarit qui leur donne la forme désirée et un sac de caoutchouc dans lequel on fait le vide et que la pression atmosphérique applique fortement sur le gabarit. La coque de l'appareil est constituée par deux feuilles dont les fibres sont inclinées de 25° sur l'axe longitudinal du fuselage.

Les bois comprimés et résinifiés

Nous avons vu que la densification du bois massif par compression en flanc augmente surtout les résistances en traction et en flexion, tandis que ce sont surtout la dureté, les résistances en compression axiale et au cisaillement qui sont améliorées par l'imprégnation aux résines synthétiques thermodurcissables. On a donc été tout naturellement conduit à combiner les deux méthodes en faisant intervenir à la fois l'imprégnation à la résine et la compression. En fait, la plupart des fabricants emploient aujourd'hui les deux procédés en combinaison.

S'il s'agit de pièces massives, celles-ci sont tout d'abord soumises à une imprégnation profonde, puis comprimées selon une seule ou deux directions perpendiculaires, tandis que la résine est encore plastique. La polymérisation s'effectue ensuite sous la presse même, afin de fixer la pièce à ses dimensions définitives. La compression fait disparaître les fentes internes, résultant de l'extraction du solvant, ce qui est d'importance capitale pour les applications électriques.

En partant de feuillots ou placages minces, on obtient des produits beaucoup plus réguliers, l'imprégnation et la compression s'effectuant plus correctement. Si l'on désire une forte teneur en résine, les feuillots, préalablement imprégnés en autoclave ou par trempage, sont empilés après évaporation du solvant, puis agglomérés à chaud sous des pressions considérables, atteignant 400 atmosphères. Pour des teneurs moindres, les placages, nécessairement très minces (moins de 0,8 mm) enduits d'une colle à base de résine synthétique au pinceau, au pistolet ou à l'encolleuse, sont comprimés à la presse chaude. La difficulté de manipuler

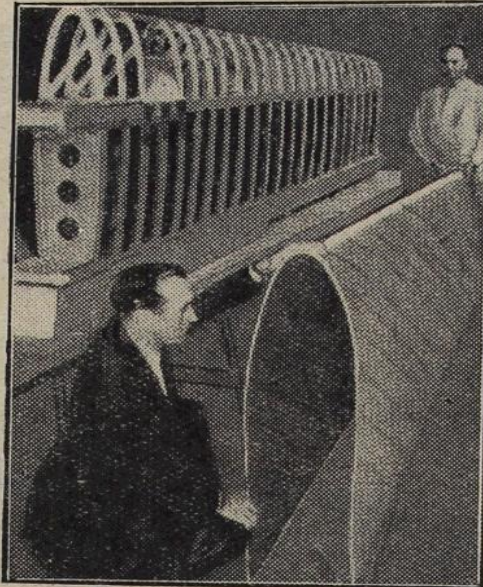


FIG. 10. — LA CONSTRUCTION DE L'AILE DE L'APPAREIL D'ENTRAÎNEMENT FLETCHER

T W 23724

litter les assemblages par ferrures et boulons.

Les pièces à « caractéristiques variables »

Les techniques combinées du contreplacage et de l'amélioration du bois ont permis des réalisations plus complètes encore, à savoir l'exécution de pièces moulées en forme ou embouties, et de pièces à caractéristiques variables.

Des placages minces, imprégnés ou enduits de résine, demeurent souples et déformables tant que celle-ci subsiste à l'état plastique. On peut donc les cintrer sur des modèles ou les empiler dans des moules en couches successives, puis les coller ensemble sous les formes voulues.

On réalise ainsi des coques de canoës ou de flotteurs, des fuselages d'avions, des éléments de carrosseries; des jointages en biseau permettent d'éviter toute solution de co. 'inuité ou



FIG. 11. — L'AVION DE TOURISME AMÉRICAIN CLARK F 46 A

T W 23722

Cet appareil à cinq places, muni d'un moteur Ranger de 400 ch, est fabriqué en bois amélioré suivant le procédé Duramold Plastic.

tout plissement, même pour l'obtention de surfaces non développables.

Citons notamment le « procédé Pleyel » où l'on utilise, pour exercer une pression élastique régulière, de tous les côtés, sur la pièce à mouler, un tapis de caoutchouc formant tente; on fait le vide sous le tapis, que la pression atmosphérique applique fortement sur la pièce; la prise de la colle (généralement de la caurite) est activée par un chauffage modéré, obtenu au moyen de courants électriques envoyés dans une feuille de plomb interposée entre le tapis de caoutchouc et la pièce. Ce procédé a permis des réalisations remarquables : nervures, capotages, cornières, roues; mais la faiblesse des températures et des pressions mises en jeu interdit l'emploi des phénoplastes; seuls les aminoplastes (caurite, rhodapas) et la caséine sont utilisables. Or, ils n'offrent pas une stabilité et une inaltérabilité comparables à celles de la bakélite, par exemple.

Le collage en forme et une légère densification par compression peuvent être obtenus au moyen de coquilles, de moules et de contre-moules, serrés sous presse hydraulique ou à l'aide de presses à matelas de caoutchouc, du type employé pour l'emboutissage des métaux légers. C'est par ces moyens qu'ont été réalisés aux Etats-Unis des coques et fuselages « Duramold » pour avions de tourisme construits en grande série, et que l'on a longtemps cru faits d'une matière synthétique moulée. En opérant en autoclave à 200 atmosphères et en utilisant pour la transmission de la pression des liquides conducteurs de la chaleur : huile, asphalte, alliages fusibles, on a pu réaliser des ébauches de pales d'hélices, amenées sensiblement aux cotes définitives et ne nécessitant qu'une finition superficielle.

Le terme de « pièce à caractéristiques variables » souligne un des avantages les plus marquants des matériaux que nous venons d'étudier; la possibilité d'en faire varier à volonté la constitution et les propriétés, au besoin à l'intérieur d'une même pièce, de façon à l'adapter parfaitement aux contraintes qui la sollicitent. Grâce à des pressions considérables mises en jeu localement, il est possible de densifier plus ou moins fortement certaines parties d'une même pièce; on peut en outre augmenter en certains points le nombre des placages élémentaires, ou encore modifier progressivement ou localement les résistances en faisant varier le degré d'imprégnation ou l'orientation des placages aux endroits voulus. L'industrie aéronautique semble jusqu'ici avoir été la seule à tirer parti de cette possibilité, notamment dans la fabrication des longerons d'aviation et des pales d'hélices.

La fabrication des pales d'hélices en bois lamellés

Contrairement à ce que l'on pense généralement, le bois, en raison de sa légèreté et de

ses fortes résistances en traction et en flexion, demeure le matériau idéal pour la fabrication des hélices d'avions; il dut être abandonné toutefois lors de l'apparition des hélices à pas variable, car il paraissait difficile, en raison de la faible cohésion transversale du bois, de fixer correctement les pales orientables sur leur pivot.

Le problème qui occupait de nombreux chercheurs consistait à améliorer fortement le bois au voisinage du pied de la pale, afin de pouvoir le bloquer directement dans le moyeu, ceci sans augmenter de façon appréciable la densité dans le corps de la pale et à son extrémité libre. Une des solutions les plus originales et les plus logiques consiste à densifier le bois du côté de l'attache par étirage à travers une coque en acier, ce qui permet de rassembler dans l'embase de fixation, de faible diamètre, toutes les fibres qui s'épanouissent dans la pale.

On sait aujourd'hui construire les hélices à l'aide de planches de bois naturel formant le corps de la pale et qui viennent s'assembler sur des lames en bois amélioré, constituant le pied, par des collages en sifflet très allongés et décalés (hélice Schwartz : fig. 6, à droite). Dans l'hélice Heine (fig. 6, à gauche), toute la pale est

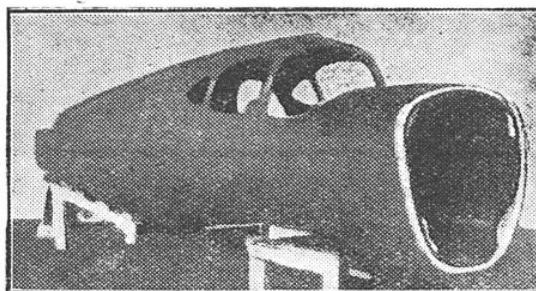


FIG. 12. — LE FUSELAGE EN BOIS MOULÉ DE L'APPAREIL D'ENTRAÎNEMENT AMÉRICAIN SUMMIT HM 5 (DURAMOLD)

formée de planches de bois amélioré à densité variable, épaisses de 15 à 20 mm, collées à chaud au tégoform; des placages supplémentaires sont collés du côté de l'attache, en sorte qu'il faut, pour amener la planche à une épaisseur uniforme, appliquer une pression beaucoup plus élevée de ce côté, soit 250 atmosphères contre 30 atmosphères seulement à l'autre extrémité. On obtient ainsi une variation de densité de 1,35 à 0,8 sur la longueur. Ces blocs sont ensuite recollés ensemble pour constituer les ébauches dans lesquelles les pales de l'hélice seront taillées.

On réalise aujourd'hui sur des presses de 10 à 20 m de longueur d'une force de 3 000 à 12 000 tonnes (fig. 8), des semelles de longerons ou des longerons complets d'avions, qui peuvent être convenablement renforcés, ou, au contraire, allégés aux endroits voulus. Les placages, préalablement biseautés et jointés en bout, sont imprégnés ou enduits de résine artificielle à l'aide d'encolleuses, puis mis en paquets sur un plateau roulant avant d'être poussés sous la presse. Lorsque la pièce présente des courbures ou une flèche, il est nécessaire de réaliser des montages spéciaux ou d'utiliser des moules, matériel coûteux qui ne peut être amorti que sur de grosses séries.

Des caractéristiques supérieures à celles des métaux

Si les bois naturels ou améliorés forment actuellement la gamme la plus étendue et restent les matériaux les plus légers, les résines synthétiques, moulées ou stratifiées par de la toile ou du papier, se placent immédiatement ensuite, puis viennent les alliages légers de ma-

gnésium, d'aluminium et enfin les aciers traités dont le poids spécifique est sensiblement constant. Les résistances de tous ces matériaux sont *grosso modo* proportionnelles à leurs densités. En traction et en flexion, toujours à poids égal, le bois résiste mieux que tous les matériaux métalliques actuellement employés; il n'est approché que par les aciers spéciaux, dont l'utilisation demeure assez limitée. En compression, le bois l'emporte sur le duralumin et les aciers doux; il est dépassé par le magnésium, les meilleurs alliages d'aluminium et les aciers spéciaux traités à chaud ou écrouis.

Au cisaillement, le bois est le plus faible de tous les matériaux. Or, les différents procédés d'amélioration du bois tendent précisément à corriger ce défaut. L'imprégnation à la bakélite permet de porter à une valeur voisine de la résistance en traction la résistance en compression, normalement deux fois ou deux fois et demie plus faible.

La compression en flanc accroît la résistance en traction et en flexion d'une manière au

moins proportionnelle à l'augmentation de densité. Ainsi, le hêtre amélioré par procédés chimiques est plus résistant, à poids égal, dans le sens axial que les alliages d'aluminium et les aciers courants; il peut rivaliser avec le magnésium dans la construction aéronautique, avec un avantage, au point de vue de la rigidité, du fait qu'on est conduit à l'employer en sections plus fortes. L'avantage le plus marquant de ces bois améliorés réside néanmoins dans la possibilité de faire varier à volonté leur constitution et leurs différentes résistances, au besoin à l'intérieur d'une même pièce, de façon à les adapter parfaitement à l'emploi considéré.

— Nous entrons dans l'« ère des plastiques. » C'est ainsi que M. Jean Collardet concluait une conférence sur les Bois améliorés. En nous associant à cette heureuse formule, souhaitons que notre pays, qui fut parmi les premiers à obtenir des réalisations dans ce domaine, ne se laisse pas distancer par l'étranger.

Pierre DEVAUX.

Les océans sont d'immenses réservoirs où des richesses inépuisables sont diluées dans une telle quantité d'eau que leur exploitation est extrêmement difficile. Heureusement, les êtres vivants qui la peuplent concentrent certains composants de l'eau de mer, et l'homme les trouve rassemblés dans leurs tissus. Les algues marines, en particulier, constituent une source extrêmement précieuse de soude, de potasse, d'iode et de brome. En France, des procédés primitifs, pratiqués surtout sur la côte bretonne, permettent d'extraire 45 tonnes d'iode par an, alors que nos besoins s'élèvent à 80 tonnes. En perfectionnant le traitement des algues marines, M. G. Chamagne estime à 200 tonnes la production possible de nos côtes, et l'industrie des algues fournirait, d'autre part, une grande quantité d'autres produits précieux. La composition des algues, les produits qu'on peut en extraire, et par suite les traitements qu'elles doivent subir, varient suivant les époques de l'année. Les algues récoltées de juin à septembre sont riches en matières mucilagineuses et en huiles contenant les vitamines A et D. L'extraction de l'iode se fera par une méthode qui ne détruit pas ces précieuses substances organiques. Une tonne d'algues fraîches donne 160 kg d'algue sèche dont on retire les stipes qui seront carbonisées. Les frondes, séchées et coupées, sont débarrassées des sels solubles qu'elles renferment dans des batteries de diffuseurs analogues à celles que l'on utilise en sucrerie. Séchées de nouveau, elles constituent l'algine brute, que l'on peut employer pour nourrir le bétail, et qui entre dans la fabrication du linoléum, de cuirs artificiels, des savons, etc... A l'aide de dissolvants, on peut séparer l'algine pure (mucilage) des graisses et des pigments qu'elle contient. L'algine pure sert d'apprêt aux tissus de laine. La lessive saline qui sort des diffuseurs est oxydée, ce qui libère l'iode et le brome, puis soumise à des cristallisations fractionnées qui séparent la potasse de la soude. Le rendement par tonne d'algue fraîche est de 60 kg d'algine pure, 15 kg de matières azotées, 15 kg de cellulose, 2 kg de matières grasses, 30 kg de sels de potasse, à peu près autant de sels de soude et de magnésie et 1 kg d'iode. Les algues d'hiver, au contraire, ne sont traitées que pour leurs sels minéraux. Les pertes d'iode (50 %) dans le procédé primitif de calcination à l'air libre tiennent à la volatilité des sels minéraux de l'algue. On les ramène à 3 % en opérant de la manière suivante : une carbonisation partielle en vase clos à basse température donne des goudrons qui renferment tous les produits précieux de la distillation du bois, et un charbon où se trouvent tous les sels minéraux de l'algue. Ce charbon est brûlé dans un four et les sels, chlorures, iodures et bromures sont volatilisés et recueillis dans une lessive très concentrée.

LE CANAL DE NICARAGUA DOUBLERA-T-IL LE CANAL DE PANAMA ?

par Edmond DELAGE
de l'Académie de Marine

Des préoccupations militaires et stratégiques ont fait décider récemment aux Etats-Unis la réalisation d'un deuxième canal transocéanique, doublant le canal de Panama, à travers l'isthme de Nicaragua. La liaison actuelle entre les deux océans apparaît en effet comme très vulnérable par des attaques aériennes menées avec détermination et susceptibles de causer des dommages catastrophiques aux portes gigantesques tant des barrages que des écluses. Bien que celles-ci ne forment pas aujourd'hui moins de trois lignes indépendantes, il est apparu indispensable au maintien de la liberté de passage des flottes américaines entre les deux océans de créer un deuxième canal : long de 280 km et coûtant en première estimation un milliard de dollars, le canal de Nicaragua exigera huit années de travaux.

L'impérialisme américain et le canal de Panama

LE percement du canal de Panama fut déjà pour les Etats-Unis un triomphe, non seulement économique, mais politique. Il a modifié profondément le dessin des routes de la planète, car il a rendu possible, dès 1914, année de son inauguration, des trajets jusque-là impraticables, du moins pour une navigation ininterrompue. Il permit d'aller en bateau de New York à Los Angeles ou San Francisco sans faire le détour par le Cap Horn. Il mit surtout la côte occidentale de l'Amérique du Sud à portée utile de New York et rapprocha, ainsi, des grands centres européens ou américains — en premier lieu New York et toute la partie du continent sud-américain qui regarde vers le Pacifique. Chiliens et Péruviens, jadis si lointains, purent gagner rapidement les Etats-Unis ou l'Europe. New York devint non seulement capitale américaine, mais mondiale. Reliée par un réseau aérien très dense à la Floride, aux Antilles, à Panama, elle est désormais, à ce dernier point, surtout par la voie de l'air, en liaison étroite avec l'Equateur, le Pérou, la Bolivie,

le Chili, sur la côte occidentale du continent. L'Amérique centrale et l'Amérique du Sud ont été rendues si proches des Etats-Unis que l'attraction tend à devenir irrésistible : « Que le gouvernement américain, remarque André Siegfried, soit ou non impérialiste, le résultat est le même : toute cette partie du continent doit

logiquement tomber sous son influence... »

L'essor économique du canal ne s'était arrêté qu'à la veille même de la guerre. Le trafic, qui s'était chiffré, en 1929-1939, par 27 583 000 tonnes brutes, qui s'était presque maintenu à ce niveau en 1938-1939 — 27 millions 170 000 tonnes — n'avait fléchi sérieusement qu'avec le premier trimestre de la guerre mondiale; la diminution fut de 1 million 310 000 tonnes en janvier-mars 1940, et de 1 669 000 en avril-juin. A cette date, le nombre de navires utilisant le canal n'avait plus été que de 5 220, au lieu de 6 889 l'année précédente. Le poids des marchandises transportées fut encore, cependant, de 27 299 000 tonnes en 1939-1940, contre 27 867 000 l'année précédente.

Ce trafic eût, d'ailleurs, pu être infiniment supérieur. Le nombre des « écluses », qui n'était en moyenne que de seize par jour, eût été aisément porté à quarante-



FIG. 1. — LE CANAL DE PANAMA, AUXILIAIRE DE L'IMPÉRIALISME DES ETATS-UNIS

L'ouverture du canal a non seulement permis le voyage par mer de New York à San Francisco (9 800 km, y compris la traversée du canal), mais aussi la liaison directe et presque en ligne droite de New York avec les républiques sud-américaines de la côte du Pacifique.

huit, et le rendement total du canal eût pu atteindre 100 millions de tonnes.

Ce n'est donc pas pour un motif économique que les Etats-Unis se sont récemment décidés à doubler le canal de Panama par un second, utilisant le territoire du Nicaragua. Celui-ci a bénéficié d'une longue tradition jouant en sa faveur depuis des siècles, et surtout de préoccupations militaires et stratégiques nées de la guerre actuelle.

L'histoire du canal de Nicaragua

L'idée d'un canal de Nicaragua remonte à quatre siècles. Dès 1524, Cortez avait reconnu l'intérêt que présentait une liaison maritime entre les côtes atlantique et pacifique, et s'était fait, dans ce dessein, céder de grandes surfaces de terrain sur les côtes d'Amérique centrale. Dix ans plus tard, le roi Charles 1^{er} d'Espagne donna l'ordre d'étudier la possibilité d'une liaison artificielle interocéanique en Amérique centrale. La carte ré-

vélaît trois points favorables : 1^o l'isthme de Nicaragua, moyennant l'utilisation du grand lac et du rio San Juan ; 2^o l'isthme de Panama ; 3^o entre le golfe de Mexique et celui de Tehuantepec, grâce à la canalisation du rio Coatzacoalcos. Mais le roi d'Espagne n'avait, à ce moment, ni l'argent ni les moyens techniques indispensables à la réalisation de ces projets.

Ce n'est qu'en 1800 que les études du grand géographe Alexandre de Humboldt appelèrent de nouveau l'attention sur cette zone. Goethe s'y intéressa dans des lettres à Eckermann. Quand les républiques de l'Amérique centrale secouèrent la domination espagnole (1821), la question d'un canal fit de sérieux progrès. L'Angleterre, encore maîtresse des mers, et l'Union américaine, que la doctrine de Monroe voulait rendre seule dominatrice du continent, se trouvèrent alors face à face.

En 1826, le Nicaragua accorda la première concession pour la construction d'un canal à une compagnie de l'Amérique du Nord. L'Angleterre n'hésita pas, en 1848, à occuper le port San Juan, sur la mer des Antilles, qu'elle rebaptisa Greytown, dans l'intention d'en faire le terminus d'un canal. Le Nicaragua se vit contraint de céder le port et la côte des Moustiques, située au nord, au royaume indien des Mosquitos, protégé par Sa Majesté britannique. La guerre paraissait inévitable quand les deux puissances anglo-saxonnes conclurent le traité Clayton-Bulwer, en 1850, par lequel elles s'engageaient à une stricte neutralité en ce qui concernait le Nicaragua et la construction d'un canal. Aucune des deux nations ne pouvait entre-

prendre la percée de l'isthme sans l'assentiment de l'autre.

Comme l'Union avait les mains libres au Mexique, ce fut le projet par le Tehuantepec qui gagna d'abord du terrain. Un ingénieur, du nom de Eads, construisit lui-même une voie ferrée sur laquelle il voulait faire passer les navires d'un côté à l'autre. Mais le plan fut désapprouvé par une commission présidée par le commandeur Shufeldt (1871) ; la tension politique entre les Etats-Unis et le Mexique le fit également abandonner.

Quand, en 1869, Ferdinand de Lesseps eut réussi,

de manière si éclatante, la percée de l'isthme de Suez et qu'en 1881, il eût fondé la *Compagnie universelle du canal interocéanique de Panama*, des Américains cherchèrent à lui faire pièce en réalisant, à titre privé, le projet de canal par le Nicaragua. Ils créèrent, en 1889, à New York, la *Nicaragua Canal Constitution Company*, au capital de 200 millions de dollars. Elle subit, d'ailleurs, le même triste sort que celle fondée par



FIG. 2. — LES ISTHMES DE L'AMÉRIQUE CENTRALE

de Lesseps.

L'exemple du canal Kaiser-Wilhelm, construit par l'Allemagne impériale, en 1905, pour la dépense relativement modeste de 159 millions de marks, donna au gouvernement de la Maison-Blanche, une raison nouvelle pour la création d'une voie transocéanique.

Le canal de Panama et ses points faibles

La diplomatie américaine avait triomphé de la rivalité britannique, grâce au traité Hay-Pauncefote, conclu en pleine guerre des Boërs, et de l'obstacle de Greytown, restitué au Nicaragua, quand la reprise des éruptions du volcan Momotombo, en mars 1902, et surtout de celles du mont Pelé, à la Martinique, fit soudain reculer le Sénat qui, dans sa séance du 19 juin 1902, se prononça définitivement en faveur d'un canal à Panama. Les travaux, commencés le 4 mai 1904, durèrent dix ans, et l'inauguration eut lieu le 15 août 1914.

On sait que le canal, long de 81,3 km, est à écluses et qu'il s'élève à 26 mètres au-dessus de la mer. Les navires doivent être élevés jusqu'à ce niveau au moyen de trois écluses doubles de 305 mètres de longueur, de 33,15 mètres de largeur. Il est alimenté par les eaux du fleuve Chagres, accumulées dans le lac Gatun, de 425 kilomètres carrés. Le coût total — y compris les sommes versées à la Compagnie française et au Nicaragua — fut de 543 millions de dollars.

Mais les énormes difficultés techniques qui

se présentèrent, avaient ranimé l'ardeur des partisans du canal de Nicaragua. Au cours des travaux de Panama, des éboulements tels s'étaient produits que l'arrêt des travaux avait paru s'imposer. La percée de la montagne de Culebra, sur 13 kilomètres de longueur, entraîna des glissements énormes. Dès octobre 1914, des masses de terres bouchèrent le chenal; le trafic dut être interrompu pour sept mois; d'autres accidents se produisirent par la suite. En dépit de la construction d'immenses parois de béton et de l'arasement des éboulis, des deux côtés du canal, les dangers de catastrophe n'ont pas été — prétendent les adversaires du canal — complètement éliminés.

D'autres considérations ont milité en faveur d'un second canal : elles sont d'ordre stratégique. Quand le canal de Panama fut terminé, en 1914, il paraissait devoir résister à toutes les menaces d'attaque. Des forts protégeaient ses deux issues, ainsi que les écluses; ils étaient garnis de pièces de 356 mm. Mais l'aviation ne constituait pas alors un péril comparable à celui d'aujourd'hui. Un des points les plus vulnérables paraît être la grande digue de Gatun, qui, sur 2 700 m de longueur, ferme la vallée du Chagres, au débouché vers l'Atlantique. Large à sa base de 672 m, elle s'affine au sommet jusqu'à la largeur d'une centaine de mètres. Elle semblait à l'abri de toute atteinte. Elle est dotée de quatorze grosses portes d'acier permettant l'écoulement des eaux en excédent provenant des pluies. Celles-ci constituent les points les plus faibles de la défense; mais elles sont très étroites, invisibles d'une certaine hauteur; d'immenses caissons sont, du reste, constamment prêts à boucher une brèche éventuelle. Après les portes, les écluses sont le plus exposées. Des perfectionnements ont été, du reste, apportés au troisième système d'écluses, nouvellement construit, réservé à l'usage exclusif de la flotte de combat. La défense aérienne a été puissamment renforcée, notamment grâce à deux aérodromes dans la zone, et à un autre, à Rio Hata, dans l'Etat même de Panama. Le plus vaste terrain sur le Pacifique est celui de Brujas Point. D'autres, secrets, ont été récemment aménagés, à Panama, ainsi qu'au large, dans l'archipel des Galapagos.

Tous ces perfectionnements n'ont pas suffi à réduire au silence les critiques du canal. Les manœuvres annuelles en avaient, malgré tout, démontré, paraît-il, la vulnérabilité. Les dimensions mêmes des écluses nouvelles ne semblent pas encore suffisantes (1).

Dès 1931, une commission d'enquête étudia le

projet de transformation du canal à écluses en canal à niveau, grâce à des travaux gigantesques d'approfondissement et d'élargissement. Mais le devis établi se chiffrait, dès lors, à un milliard de dollars, et les délais ne devaient pas être inférieurs à dix-huit années.

Ce que sera le canal du Nicaragua

Les arguments présentés en faveur d'un second canal furent très impressionnants. N'était-il pas séduisant de pouvoir utiliser le lac de Nicaragua, le plus grand lac intérieur de toute l'Amérique centrale, à la fois comme voie naturelle et réservoir d'alimentation?

Greytown, situé à quelques kilomètres au nord de l'embouchure du rio San Juan dans la mer des Antilles, après sa sortie du lac de Nicaragua, sera le point de départ de la nouvelle percée. Le port sera protégé par deux môles. De là, le tracé suivra la rive septentrionale du San Juan, déjà navigable, qui sera séparé du chenal par des di-



FIG. 3. — LE TRACÉ DU FUTUR CANAL DE NICARAGUA, DE SAN JUAN DEL NORTE, SUR L'Océan ATLANTIQUE, A BRITO, SUR L'Océan PACIFIQUE

gues et dont le lit sinueux sera raccourci par des chenaux.

Dans le voisinage de la côte de l'Atlantique, quatre écluses doubles permettront d'élever les navires au niveau du lac de Nicaragua (33,50 m au-dessus du niveau de la mer). A Fuerta San Carlos, le canal atteindra le lac de Nicaragua; celui-ci, long de 154 kilomètres, large de 64, a une superficie de plan d'eau de 7 705 kilomètres carrés; ancienne baie marine, il est encore habité par les requins. C'est sur une longueur de 113 kilomètres que le canal traversera le lac dans sa moitié méridionale, sans autres travaux que quelques dragages. A Rivas, le canal suivra le cours du Rio Grande et aboutira sur le Pacifique à Brito. Quatre écluses doubles permettront la montée et la descente des navires; un port, bien protégé, y sera aménagé. La partie qui s'étend entre le lac et le Pacifique n'a que 25 kilomètres de longueur, mais est traversée de crêtes volcaniques, dont la percée sera malaisée.

Un autre projet envisageait un tracé sortant du lac de Nicaragua, franchissant le fleuve Panaloja, le grand lac de Managua, de 1 234 kilomètres carrés, sur lequel se trouve la capitale de l'Etat de Nicaragua, dans la direction de la baie de Fonseca : il eût été sensiblement plus long que celui qui fut adopté et eût mesuré 375 kilomètres, au lieu de 280.

Les travaux seront — du moins on l'espère — plus simples que ceux de Panama; il en ira de même pour l'adduction d'eau, grâce à l'utilisation du lac de Nicaragua et du rio San Juan. Le gros point noir reste pourtant le danger d'éruptions. Le lac de Nicaragua contient

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 304, déc. 1942.

de petites îles, encore recouvertes de volcans en activité, parmi lesquels le fameux Omtépé, dont la dernière éruption remonte à 1925. On compte sur une durée de travaux de huit ans; leur coût fut estimé d'abord à 722 millions de dollars, mais il est probable que le total des dépenses ne sera pas inférieur à un milliard.

Comme pour le canal de Panama, il est vraisemblable que les Etats-Unis se feront attribuer une zone de souveraineté autour du nouveau canal : elle s'étend, pour le premier, à cinq milles de part et d'autre de la ligne centrale du chenal. De toute façon, la collaboration politique de la république de Costa-Rica, dont le territoire est traversé sur plusieurs points par la rive droite du San Juan, sera indispensable.

Les avantages économiques qu'en tirera le petit Etat sont évidents. Les affaires se développeront pendant toute la durée des travaux. Une garnison, d'ores et déjà évaluée à 30 000 hommes pour la zone nicaraguayenne et Fonseca, en temps de paix — au lieu de 10 000 pour celle de Panama en 1939 — dépensera beaucoup dans le pays. Ses mines d'or et d'argent, insuffisamment exploitées au moyen d'un réseau de chemin de fer de seulement 337 kilomètres, se développeront à la suite de la création de cette voie de grand trafic. L'état sani-

taire s'améliorera, au prix d'efforts d'ailleurs moins intenses, croit-on, que dans la zone de Panama : les foyers de malaria ne sévissent que sur la côte et le long du San Juan, mais ce sera, en fait, la perte de l'indépendance politique pour une nation qui ne compte que 750 000 habitants.

Le canal ne sera pas terminé — sans doute — avant la fin des hostilités contre le Japon. C'est pourtant vers le Pacifique que son action se fera surtout sentir. Toutes les liaisons entre les deux océans seront sensiblement accélérées. Situé à 450 kilomètres du canal de Panama, le nouveau canal abrégera le voyage de New York à San Francisco d'un jour, celui de la Nouvelle-Orléans de deux — bien que le passage doive durer vingt heures, au lieu de huit à Panama. Comme le trafic avec l'Amérique du Sud, par Panama, ne porte que sur environ 20 % du trafic total, c'est 80 % de ce dernier qui bénéficieront de la nouvelle création. Panama risque de se voir temporairement délaissé. Cette considération n'a guère pesé sur la décision des Etats-Unis : le canal de Nicaragua sera, avant tout, un instrument puissant d'unification et d'impérialisme américain.

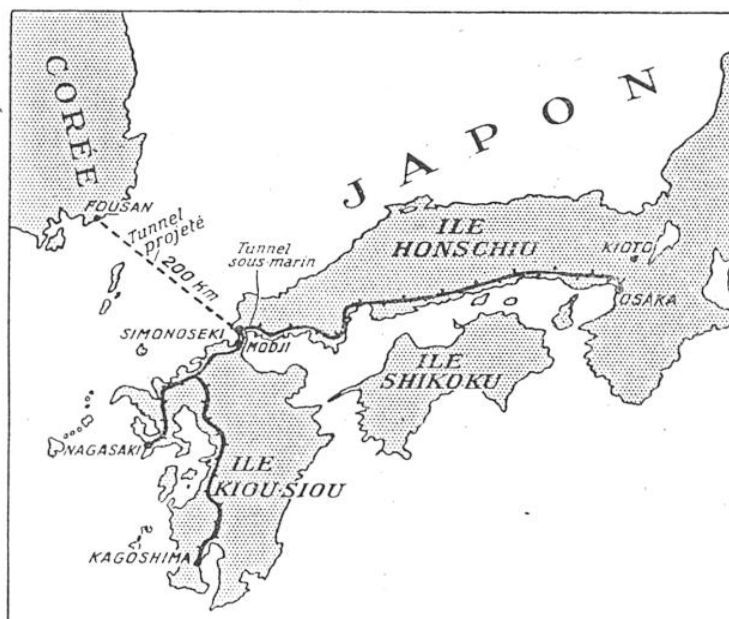
Edmond DELAGE.

TUNNELS SOUS-MARINS JAPONAIS

LE Japon est formé, on le sait, de plusieurs îles (du nord au sud : Yéso, Honschiu, Kiuschiu, Schikoku) et des deux presqu'îles de Sakhaline et de la Corée. Le trafic est, on le conçoit, intense entre ces divers éléments du territoire nippon et les transbordements rendus inévitables par cette situation géographique entraînent des pertes de temps préjudiciables au commerce et à l'industrie.

D'importants travaux ont été effectués, d'autres sont prévus pour améliorer cette situation. C'est ainsi que tout d'abord vient d'être terminé un tunnel sous-marin de 8 km de long entre l'île principale Honschiu et l'île Kiuschiu immédiatement au sud. La voie ferrée relie désormais la ville commerçante de Simonoseki (Honschiu) au port de pêche de Moji (Kiuschiu). Les trains venant de Tokio et Osaka peuvent donc arriver directement à Nagasaki ou Kagoshima. Ce tunnel sous-marin est actuellement le plus long du monde.

Pendant, un autre tunnel sous-marin devant fran-



T W 23768
CARTE MONTRANT L'EMPLACEMENT DU TUNNEL SOUS-MARIN DE 8 KM QUI RELIE LES ÎLES HONSHIU ET KIUSCHIU (JAPON) ET CELUI DU FUTUR TUNNEL DE 200 KM ENTRE L'ÎLE HONSHIU ET LA CORÉE

chir le bras de mer situé profond d'environ 120 m est en projet. Sa longueur atteindra 200 km.

LES PROJETS DE L'EXPLOITATION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE AU SAHARA

par André de BOUCONE

Beaucoup de régions désertiques ou semi-désertiques des territoires du sud de l'Atlas seraient d'une fertilité inépuisable si elles étaient convenablement irriguées. Mais ici, contrairement à certaines vallées d'Algérie (bassin du Chétiff), il ne peut être question de recourir à des barrages pour assurer l'irrigation des terres. L'eau doit être recherchée dans le sol, ou, dans le cas le plus favorable, au niveau du sol; de plus, cette eau est souvent chargée de sels et impropre à la boisson. Le problème de l'eau au Sahara est donc doublement un problème d'énergie puisqu'il faut, d'une part, élever au niveau des terres la quantité d'eau nécessaire aux cultures, et, d'autre part, purifier cette eau par distillation pour les besoins de l'homme. Mais les sources d'énergie ordinairement employées (énergie hydraulique et combustibles) font ici totalement défaut, et c'est pourquoi on a songé à faire appel à cette énergie gratuite qu'apporte le rayonnement solaire. Nulle part, en raison de l'insolation intense et de l'écart considérable entre les températures de jour et de nuit, les conditions ne sont aussi favorables à l'installation d'usines d'énergie solaire qu'au Sahara. Le problème principal à résoudre, du point de vue technique, est de réaliser des installations qui offrent le minimum d'encombrement et le meilleur rendement possible, tout en consommant très peu du précieux liquide qu'elles sont chargées de dispenser.

LES physiciens ont calculé que chaque centimètre carré de la surface de la terre recevait du soleil, en moyenne, une quantité de chaleur égale à 1,76 calorie par minute, ce qui permettrait, en une année, de fondre une croûte de glace atteignant 31 mètres d'épaisseur. En fait, l'atmosphère terrestre absorbe 30 % de ces calories, et l'on admet qu'en pratique chaque mètre carré reçoit 700 à 750 grandes calories à l'heure. Dans le Sahara, les conditions météorologiques apparaissent particulièrement favorables à l'utilisation directe de cette chaleur solaire. Le temps clair et la limpidité de l'atmosphère permettent à chaque mètre carré du sol de recevoir effectivement, en une journée, l'équivalent de la combustion de deux tiers à trois quarts de kilogramme de charbon. Ces calories étant dispensées sur un délai de douze heures diurnes, le problème technique de leur utilisation comporte trois opérations :

- 1° Les recueillir sur une surface étendue;
- 2° Les concentrer de manière à constituer une « source chaude »;
- 3° Les accumuler en vue d'une exploitation aussi continue que possible dans une machine thermique.

D'autre part, l'absence quasi totale d'hu-

midité atmosphérique, entre le sud-algérien et les confins du Soudan, provoque des écarts de température considérables entre le jour et la nuit, pouvant atteindre 30° C en hiver et 60° C en été. De telles différences naturelles peuvent être mises à profit pour accroître l'écart thermique entre la « source chaude » et la « source froide ».

De l'appareil Mouchot-Pifre (1878) à l'usine solaire de Frank Shuman

S'il faut en croire Plutarque, il était prévu, pour le cas où le feu sacré qu'entretenaient les vestales viendrait à s'éteindre, un vase tirant

la « flamme pure du soleil ». En inclinant ce vase vers le soleil, les rayons se concentraient en un point focal où il suffisait d'approcher une matière sèche pour que le feu y prit tout de suite. Était-ce déjà un appareil solaire à miroir parabolique?

A l'exposition de 1878, au Trocadéro, fut exposé un appareil solaire construit par le Français Mouchot, alors professeur de physique au collège de Tours, et Abel Pifre. C'était un réflecteur métallique, de forme tronconique, qui

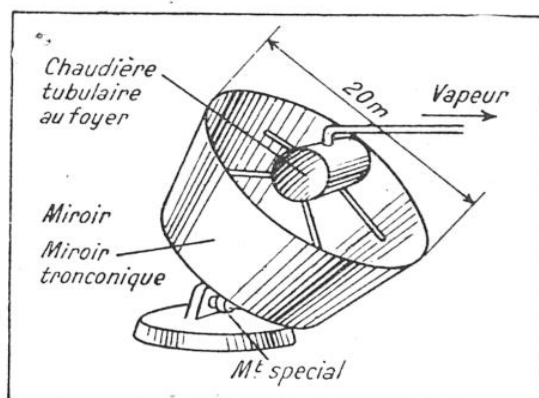
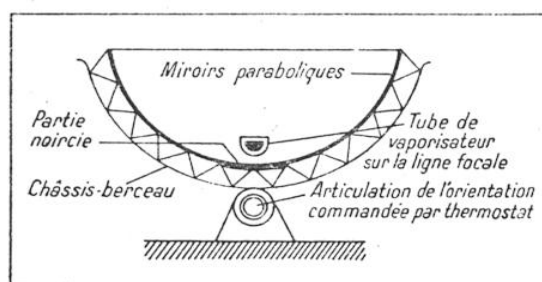


FIG. 1. — LA CHAUDIÈRE SOLAIRE MOUCHOT ET PIFRE (1878)



T W 23077

FIG. 2. — PROFIL D'UN ÉLÉMENT DE CHAUFFAGE DE L'USINE SOLAIRE DE MEADI (SHUMAN ET BOYS)

présentait une ouverture de 20 mètres. Au foyer se trouvait placée une petite chaudière tubulaire d'une capacité de 100 litres environ. Une articulation permettait d'orienter convenablement le réflecteur suivant la latitude du lieu, la saison et l'azimut du soleil. Mais l'appareil Mouchot ne fut pas utilisé pratiquement.

Entre 1900 et 1910, un Américain, Frank Shuman, entreprit à Philadelphie une série d'expériences en vue de construire une machine à chaudière solaire.

Les trois premiers appareils réalisés par Shuman se contentaient de vaporiser de l'éther. L'un d'eux, par exemple, était une sorte de verrière aplatie, mesurant 6 m de hauteur, 10 m de largeur et 10 cm d'épaisseur, et qui contenait un serpentin capable de vaporiser une quantité de vapeur suffisante pour faire tourner une machine à piston de 3 chevaux.

La première véritable machine solaire de Frank Shuman, qu'il réalisa à Philadelphie vers 1909, servit de base ultérieurement à l'installation d'hélio-énergie de Meadi, près du Caire.

Une série d'éléments prismatiques en constituaient la chaudière. Chaque élément, en métal brillant, était contenu dans une boîte en bois calorifugée par deux feuilles de carton imperméabilisé et un revêtement de liège de 5 cm d'épaisseur. La face du prisme exposée au soleil était constituée par deux lames de verre séparées par un intervalle d'air de 2,5 cm d'épaisseur.

Les éléments prismatiques orientés est-ouest étaient inclinés vers le soleil, mais le réglage de leur inclinaison n'avait besoin d'être repris que toutes les trois semaines. Il n'y avait pas de réglage horaire. Deux miroirs latéraux constituaient des réflecteurs complémentaires. Les éléments prismatiques contenaient un tube de chaudière alimenté en eau d'un côté et dont un collecteur, placé de l'autre côté, recueillait la vapeur produite. Ce collecteur à vapeur mesurait 0,40 m de diamètre et alimentait une machine basse pression à piston qui évacuait dans un condenseur. L'eau de condensation était à nouveau refoulée dans les éléments prismatiques d'insolation. Fonctionnant à Philadelphie, la machine Shuman réussit à fournir une puissance moyenne de 14 ch, avec une pointe de puissance atteignant 31 à 32 ch, vers midi. Le nombre d'éléments prismatiques utilisés et correspondant à cette puissance n'est pas donné.

Devant le succès de cette machine, Shuman, aidé par les conseils du professeur Boys, de Londres, entreprit de construire à Meadi, près du Caire, une machine plus perfectionnée encore, pour le compte de la Sun Power Co., dans

le but d'irriguer journellement un lot de terrain voisin du Nil.

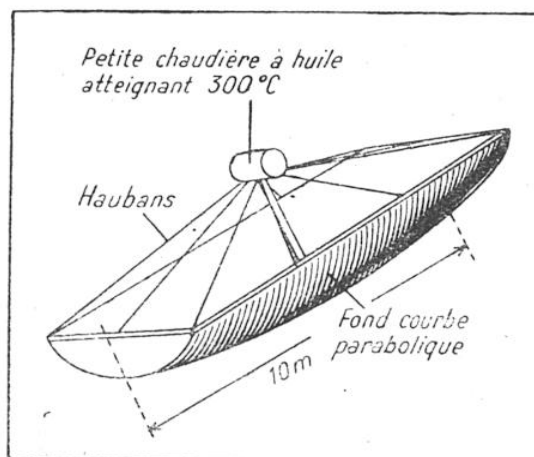
L'installation d'hélio-énergie de Meadi (1912)

Dans l'installation de Meadi, qui fut réalisée en 1912, chaque élément est constitué par un miroir semi-cylindrique à section parabolique, dont la ligne focale est occupée par un tube de chaudière à section aplatie. Chaque élément développe une surface de 1,66 m². Ces éléments, au nombre de 572, sont groupés en 26 rangées de 22 éléments chacune, de sorte que la surface totale des miroirs paraboliques développe 925 m². L'encombrement de 572 éléments n'est que de 450 m². Cette installation actionne une machine à piston basse pression qui fournit, pendant huit à dix heures de plein soleil, une puissance atteignant 50 ch, ce qui donne 18 à 19 m² de miroir par cheval. Chaque élément est articulé et son orientation horaire commandée par un coelostat. Il est, bien entendu, nécessaire de veiller soigneusement à la propreté des miroirs, ce qui nécessite une main-d'œuvre non négligeable, mais heureusement peu coûteuse en Egypte.

Le projet du docteur Maier (1940)

Vers 1940, le docteur allemand Wilhelm Maier a repris le problème d'une installation d'hélio-énergie à miroirs, en cherchant à concentrer au maximum les calories solaires, de manière à produire une température aussi élevée que possible. Le docteur Maier espère obtenir 300° C au point focal de ses réflecteurs. Il place en ces points focaux un petit cylindre contenant de l'huile. Ce fluide n'est pas vaporisé, mais simplement chauffé, et il sert d'agent de transport pour les calories recueillies. Bien que la chaleur spécifique de l'huile soit de 0,4 par rapport à l'eau (en poids), ce qui représente 0,35 à peine en volume, la non-vaporisation de l'huile chauffée à 300° lui permet de véhiculer les calories dans des récipients et dans des tuyautages sous une faible pression, à l'état liquide, et non à l'état de vapeur.

L'huile chauffée à 300° est dirigée dans un réservoir calorifugé contenant de grands blocs



T W 23078

FIG. 3. — RÉFLECTEUR PARABOLIQUE DU D^r MAIER

en béton, qui jouent le rôle d'accumulateurs de calories.

Le fluide utilisé pour faire fonctionner la machine thermique (turbines haute pression et basse pression) est l'eau, que l'on injecte dans l'accumulateur d'huile chaude. Au contact des blocs de béton, cette eau se vaporise et se sépare de l'huile. Il suffit de diriger la vapeur d'eau produite sur les turbines.

Le docteur Maier a calculé que ce dispositif lui permettait de produire une puissance de 1 ch au moyen d'une surface de miroirs de 10 m², mais il n'est pas précisé si cette puissance correspond à un fonctionnement continu ou seulement à un fonctionnement diurne, c'est-à-dire pendant une dizaine d'heures de soleil. Nous n'avons pas d'autres détails plus précis sur l'appareillage de miroirs proposés par le docteur Maier en vue de réaliser des températures de l'ordre de 300°. Il est probable qu'il s'agit d'un matériel relativement complexe et coûteux.

Des projets plus simples et d'une installation moins onéreuse ont été étudiés en France en vue d'un fonctionnement continu.

Le procédé du docteur Barjot (1932)

En 1932, un Français, le docteur Barjot, proposa à l'Académie des Sciences un procédé d'insolation de l'eau dans des cuves de grande surface, recouvertes superficiellement d'une couche huileuse transparente. Cette lame transparente est destinée à empêcher toute évaporation de l'eau ainsi exposée. Ces cuves présenteraient l'aspect de marais salants, à faible profondeur (0,10 m à 0,20 m). Pendant l'insolation, l'évaporation serait rigoureusement interdite par la lame superficielle, la déperdition des calories en chaleur de vaporisation étant de ce fait supprimée. Les températures réalisées en fin de

journée seraient de l'ordre de 60° C, et le débit des cuves est estimé à 80 l d'eau chaude par mètre carré de surface exposée, ce qui donnerait 1 m³ d'eau chaude par 12 à 13 m² et par heure.

Ces cuves auraient servi de « source chaude » à une installation à turbine basse pression. En effet, il suffirait de l'envoyer dans une chau-

dière à vide, du genre de celle que Georges Claude a prévue pour son installation d'énergie thermique des mers (1). De l'eau chaude à 60° C fournirait ainsi une vapeur à la pression de 0,15 atm à la température de 54° environ. Rappelons que, dans le procédé Claude, l'eau de mer superficielle pompée à la température de 25 à 30° C fournit une vapeur à la pression de 0,05 atm seulement, et les expériences de Georges Claude à Matanzas, en 1928, ont montré que cette faible tension était parfaitement utilisable dans une turbine basse pression de grand diamètre pourvue d'un excellent condenseur.

Reste le problème de la « source froide ». Dans son projet de 1932, le docteur Barjot recommande l'emploi d'eau rafraîchie la nuit par expo-

sition à l'air nocturne et alimentant le condenseur. Ces cuves seraient des plans d'eau analogues aux cuves d'insolation, comme celles-ci de faible profondeur, mais, bien entendu, sans aucune interposition d'isolant thermique, comme c'est le cas pour l'insolation.

Dans les bas-fonds comme In-Salah et Ouar-gla, on enregistre, en effet, les températures nocturnes suivantes :

— 10°, l'été, alors que la température diurne monte à 50° à l'ombre ;

— 0°, l'hiver, alors que la température diurne monte à 22°.

On peut donc espérer que par l'exposition

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 163, janv. 1931.

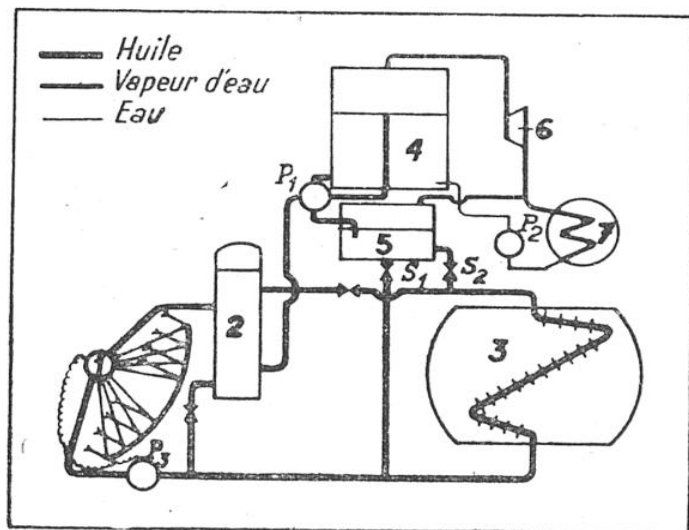


FIG. 4. — SCHÉMA D'UNE INSTALLATION D'HÉLIO-ÉNERGIE SELON LES CONCEPTIONS DU DOCTEUR WILHELM MAIER

Cette installation comprend une série d'éléments 1 de chauffage de l'huile, éléments disposés au foyer de miroirs paraboliques. L'huile chauffée va au réservoir 2 de répartition. La partie de l'huile qui est nécessaire pour fournir les calories au fonctionnement de la machine est aspirée dans ce réservoir par la pompe P₁, l'autre portion s'en va à l'accumulateur de chaleur 3, puis revient soit à l'élément de chauffage, soit au réservoir de répartition. L'huile utilisée pour le chauffage de la chaudière de vaporisation 4 arrive dans celle-ci à 300°. On injecte au sein de la masse d'huile chaude de l'eau à 40° qui se vaporise et atteint une pression de 5 à 15 atmosphères dans la chaudière. L'huile refroidie partiellement est envoyée dans un séparateur 5 où les dernières particules d'eau qui s'y trouvent encore en suspension se vaporisent, la vapeur étant envoyée au condenseur. Puis l'huile retourne se réchauffer, soit aux éléments de chauffage, soit à l'accumulateur de chaleur, suivant qu'on ouvre la soupape S₁ ou S₂. La machine thermique proprement dite est constituée par la chaudière 4 qui envoie la vapeur à une turbine 6, puis va au condenseur 7. L'eau est de nouveau injectée par la pompe P₂ à la chaudière. L'accumulateur 3 est constitué par un bloc de béton dans lequel les conduites d'huile se ramifient, le béton jouant le rôle de volant calorifique. La pompe P₁, qui envoie l'huile aux éléments de chauffage 1, est commandée par un dispositif électrique et ne fonctionne que lorsque la température au foyer du miroir atteint 300°.

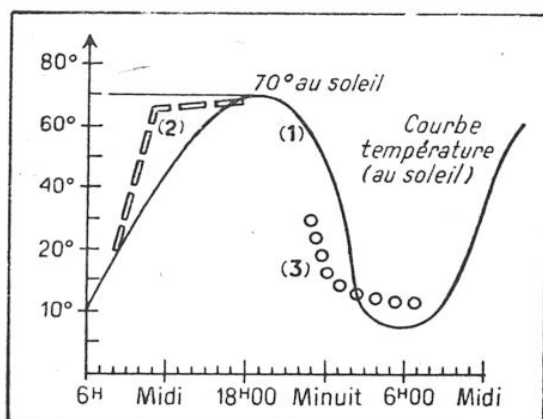


FIG. 5. — LE PRINCIPE DE L'OBTENTION DE LA SOURCE CHAUDE ET DE LA SOURCE FROIDE DANS LE PROCÉDÉ BARBEY

On a représenté en trait plein (courbe 1) la variation diurne de température d'un point exposé au soleil. Cette température oscille entre 70° C et 10° C. La source chaude est approvisionnée pendant la journée en exposant de l'eau au soleil. Cette eau s'échauffe de 6 heures à 18 heures jusqu'à 70° C (courbe 2). Elle est ensuite emmagasinée dans un réservoir, d'où on la pompe au fur et à mesure des besoins. La source froide est approvisionnée au moyen d'eau exposée à la fraîcheur nocturne et qui se refroidit de 25° à 10°. Vers 6 heures, on l'emmagasine dans un réservoir.

nocturne, l'eau de la « source froide », après son passage au condenseur, pourrait être ramenée de 25-30° à la température de 15° en été et de 5° en hiver à la fin de chaque nuit.

Les essais du procédé Georges Claude sur l'utilisation de l'énergie thermique des mers se poursuivent à Abidjan sur un écart thermique de 25° entre source chaude et source froide (l'eau marine superficielle étant prélevée à 30° et l'eau abyssale pompée à 5° environ). Dans le procédé du docteur Barjot, l'écart de température est plus élevé. La source chaude étant comptée à 60° :

— si la température de la source froide est celle d'une eau prise en citerne naturelle, l'écart est de 35° ;

— si l'eau froide provient de cuves à exposition nocturne, et emmagasinée dans une citerne calorifuge entre 10° et 15°, l'écart sera de 45°.

Les essais de M. Barbey (1940)

En 1940, un ingénieur français, M. Barbey, eut l'idée de développer le procédé fondé sur l'écart de température d'un climat désertique. Il fit breveter une méthode non précisée consistant à utiliser la chaleur solaire pour échauffer un liquide que l'on accumule d'une part dans un réservoir isolé thermiquement, et, d'autre part, l'air nocturne pour refroidir un autre liquide que l'on accumule de la même manière, « les deux masses, l'une chaude, l'autre froide, étant utilisées pour actionner une machine thermique ». En 1942, M. Barbey a entrepris des essais dans le sud-algérien. En tablant simplement sur les températures atmosphériques obtenues dans certains bas-fonds sahariens, comme In-Salah (70° au soleil en été et 10° la nuit),

on voit que l'on dispose d'un écart entre températures extrêmes pouvant atteindre 60°.

Le problème de la chaleur solaire est lié à celui de l'eau

Tout dispositif à écart de température modéré doit faire appel à un volume liquide relativement considérable.

Avec un écart de 25°, le procédé Georges Claude puise dans le réservoir illimité de l'océan. Le docteur Barjot a calculé ce qu'exigerait le fonctionnement d'une turbine basse pression produisant, déduction faite de l'énergie prise par les pompes, une puissance nette de 1 200 ch, et fonctionnant sous l'écart le plus faible : source chaude à 60° et source froide à 27°, soit un écart de 33°. La vapeur d'eau produite travaillerait entre la température de 54° (sortie de la chaudière) et celle de 31° (condensation au condenseur). Dans ces conditions, il faudrait un volume liquide de 3 800 m³ à l'heure pour l'eau chaude, et autant pour l'eau froide, soit environ 3,17 m³ par ch.h et pour chaque source. Pour huit heures de fonctionnement (de midi à 20 heures par exemple), le volume d'eau dépasserait, pour chaque source, 30 000 m³. Certes, un plan d'eau de 650 sur 600 m et de 0,10 m de profondeur suffirait à son insolation journalière, mais encore faudrait-il pouvoir disposer initialement d'un pareil volume d'eau.

Il est évident que le volume d'eau mis en circulation, tant du côté de la source froide que de la source chaude, sera d'autant plus réduit que l'écart de température entre les deux sources sera accru. Du côté de la source froide, il ne faut guère compter, du fait de l'exposition nocturne, descendre au-dessous de 15°, en moyenne. Mais on peut gagner sensiblement du côté de la source chaude. Le problème de la chaleur solaire, dans sa solution la plus simple, insolation et exposition nocturne, n'en reste pas moins lié au problème de l'eau dans le Sahara (1).

La question de l'eau est d'ailleurs le problème primordial auquel se soit attachée la direction des Chemins de Fer de la Méditerranée au Niger. De mai à août 1941, les voyages de

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 307, mars 1943.

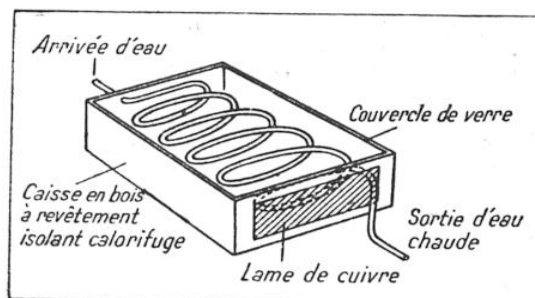
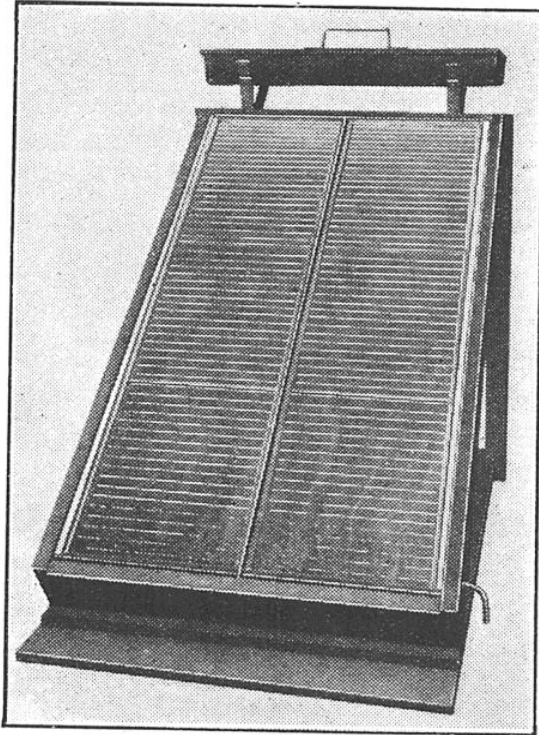


FIG. 6. — CHAUFFE-BAIN SOLAIRE UTILISÉ POUR LES IMMEUBLES DE CALIFORNIE VERS 1916-1917

Une boîte à couvercle de verre, installée sur le toit de l'immeuble, contient un serpentin dont chaque spire est soudée à une feuille de cuivre — ce qui augmente la surface d'absorption de la chaleur solaire. Le serpentin en zinc totalise 50 mètres environ. Son diamètre est de 20 à 25 cm.

M. Chadenson, directeur général, et de M. Mentchikoff, directeur des Services hydrologiques du Méd.-Niger, ont conclu à l'existence très probable de nappes d'eau souterraines en plein Sahara, notamment dans la cuvette géologique du Tanesrouft — le pays de la soif — dont le centre est à peu près situé à Bidon V. Le 15 janvier 1942, un forage effectué à la profondeur de 125 m a donné de l'eau saline, impropre à la boisson, mais utilisable industriellement et pour l'irrigation. Cette eau est montée dans le tuyau de la profondeur de 125 m à celle de 27 m par sa propre pression, et elle est pompée à cette profondeur à un débit variant de 25 à 100 m³ par jour.



T W 23081

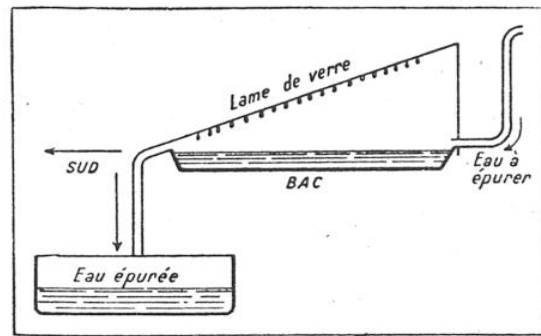
FIG. 7. — DISTILLATEUR SOLAIRE TYPE « BLEND », SYSTÈME BERLAND (PRACHE ET BOUILLON)

Cet appareil, qui mesure 1,4 m sur 0,8 m, fournit quatre litres d'eau distillée par jour ensoleillé. Son principe est analogue à celui du distillateur Ginestous. Le réservoir supérieur est destiné à recevoir l'eau polluée ou saline qu'il faut purifier.

Fonctionnement diurne ou fonctionnement continu

L'existence de nappes d'eau souterraines au Sahara n'en rend pas moins nécessaire de chercher à élever au maximum la température de la source chaude, de manière à réduire au minimum le volume d'eau en circuit. De ce côté, deux solutions se présentent :

- Vaporiser directement l'eau à utiliser dans des chaudières solaires et drainer la vapeur produite dans des tuyautages (comme c'est le cas pour l'installation de Méadi) ;
- Accumuler de l'eau chaude et ne la vaporiser que dans une chaudière placée à proximité immédiate des turbines au fur et à mesure des



T W 23082

FIG. 8. — DISTILLATEUR SOLAIRE POUR L'ÉPURATION DES EAUX SALINES (GINESTOUS)

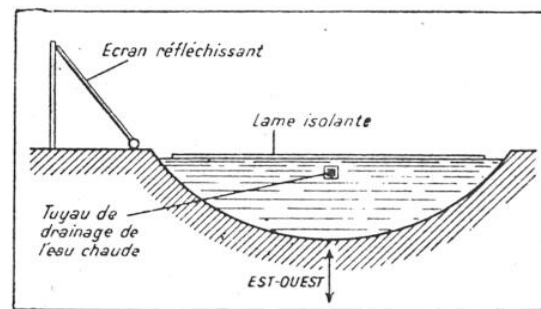
L'épurateur Ginestous, utilisé depuis 1927 dans le Sud-Tunisien pour distiller l'eau saline des chotts, se compose d'un simple châssis en verre étanche avec bac alimenté progressivement en eau à épurer. Les vapeurs d'eau se condensent sur la lame de verre elle-même et ruissellent par gravité dans un récipient. Le débit peut atteindre 3 litres d'eau distillée par mètre carré de châssis exposé et par jour.

besoins (comme ce serait le cas pour les procédés Maier, Barjot ou Barbey).

L'inconvénient de vaporiser l'eau exposée à l'insolation est de limiter le fonctionnement de l'installation aux heures diurnes, la vapeur n'étant produite que lorsqu'il y a insolation et ne pouvant être accumulée à l'état de vapeur. D'où un fonctionnement de l'ordre de huit à dix heures par jour avec pointe de puissance au début de l'après-midi. La méthode b permet, au contraire, une utilisation quasi continue, pouvant atteindre vingt-quatre heures sur vingt-quatre. En effet, la chaleur d'insolation fournie par les heures diurnes est accumulée dans un réservoir calorifugé sous la forme d'un liquide chaud (huile ou eau) et la vaporisation n'intervient que pour alimenter la machine thermique.

Des cuvettes d'insolation à fond parabolique

Les projets récents du docteur Barjot consistent à chercher à obtenir de l'eau chaude à une température aussi proche que possible de sa vaporisation, mais sans l'atteindre : 90° C si



T W 23073

FIG. 9. — PROFIL D'UNE CUVE RIGOLE DE PRÉCHAUFFAGE DE L'EAU A FOND PARABOLIQUE (D^r BARJOT, 1942)

Cette rigole est orientée d'ouest en est. Le fond en est calorifugé par un revêtement de bitume.

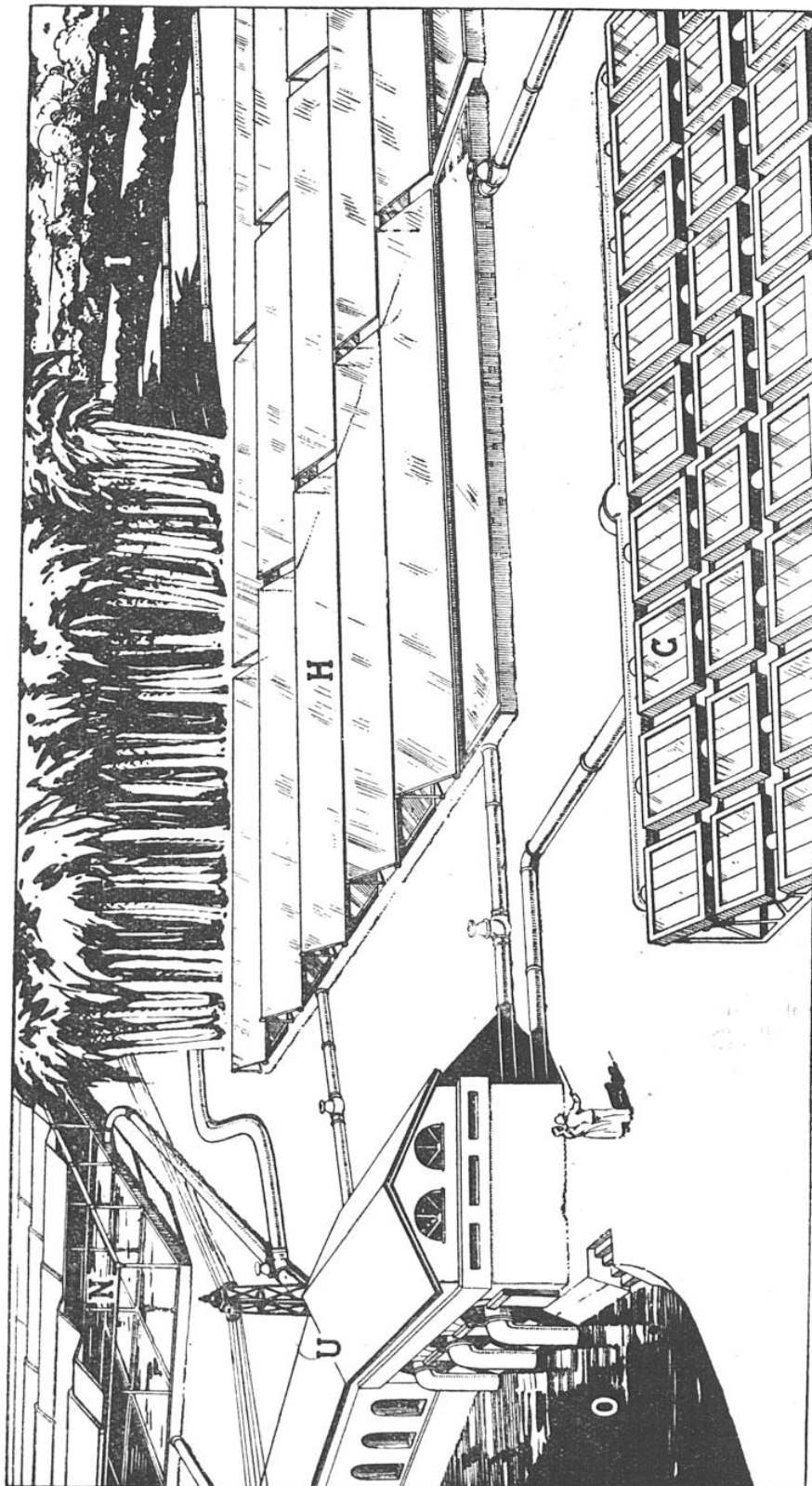
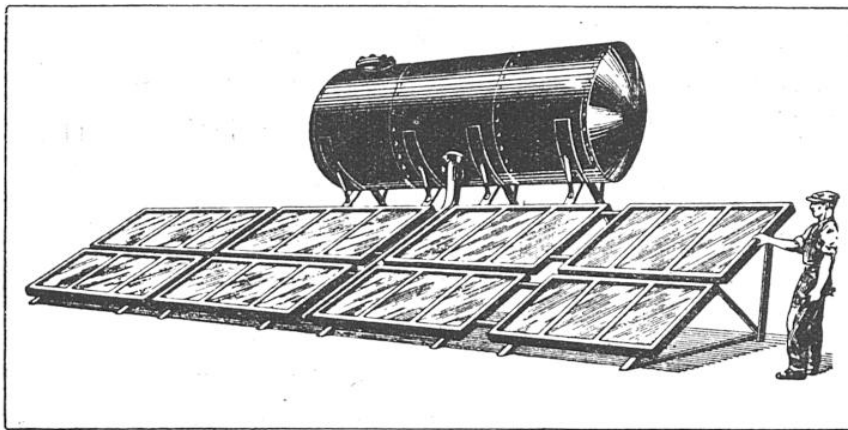


FIG. 10. — PROJET D'USINE SAHARIENNE UTILISANT LE RAYONNEMENT SOLAIRE COMME SOURCE D'ÉNERGIE

Cette usine est installée à proximité d'un point d'eau ou d'un puits O. Le bâtiment U contient en sous-sol deux citernes calorifugées, pour l'eau chaude et froide, permettant un fonctionnement continu. L'eau à chauffer est refoulee chaque matin dans les cuves H, rigoles à fond parabolique orientées est-ouest. En fin de journée, l'eau à 80° C environ est refoulee dans la citerne à eau chaude, en vue du fonctionnement nocturne de la turbine basse pression (150 ch), à laquelle la vapeur serait fournie par une chaudière à vide du type Georges-Claude. De jour, une partie de l'eau ainsi préchauffée est dirigée sur les chaudières solaires C, où elle est vaporisée à 100 ou 105° C suivant sa salinité. Elle alimente la turbine moyenne pression entre 11 heures et 17 heures, la vapeur se détendant ensuite dans la turbine basse pression, de sorte que la puissance totale peut atteindre en pointe 300 ch. Le condenseur des turbines est alimenté par l'eau provenant des cuves à exposition nocturne N, où elle est refoulee chaque soir et récupérée chaque matin après refroidissement jusqu'à 10 ou 15° C sous l'action de l'air nocturne. Elle est accumulée, comme l'eau chaude, dans une citerne calorifugée. De jour, les cuves sont généralement vides, une toiture protégeant le fond des ardeurs du soleil. L'énergie produite de jour est utilisée pour l'irrigation des cultures I et de nuit pour l'éclairage électrique, la fabrication de la glace, etc. Ce projet d'usine combine les procédés imaginés par le docteur Barriol, M. Barbey et les chaudières solaires dérivées du type « Insol ».



T W 23074

FIG. 11. — UNE INSTALLATION INDUSTRIELLE DE PRÉCHAUFFAGE DE L'EAU D'ALIMENTATION D'UNE CHAUDIÈRE (« INSOL » 1939)

Avec huit éléments « Insol », cette installation serait capable de fournir 10 000 litres d'eau chaude par jour.

possible. On conserve ainsi le bénéfice d'un fluide liquide pour le transport et l'accumulation des calories. Les nouvelles cuvettes d'insolation qu'il a fait breveter sont dessinées en forme de rigoles à fond parabolique et orientées est-ouest — la lame transparente posée à la surface du liquide est également d'un modèle nouveau. L'écart de température « source chaude »-« source froide » serait ainsi approximativement doublé, par rapport à son projet primitif de 1933, et le volume d'eau à mettre en circuit réduit d'autant.

Reste le problème de la vaporisation de l'eau chaude accumulée. Un bouilleur à vide y suffira, aussi bien de nuit que de jour. De jour, il prendrait l'eau à 85 ou 90° C, la nuit à 80° ou 75° environ, compte tenu de la déperdition inévitable. Le principe d'un fonctionnement continu n'empêche pas d'envisager un excédent de puissance pendant les heures diurnes, en vaporisant, en surplus, une certaine quantité d'eau chaude dans des chaudières solaires. Des chaudières de ce type sont aisées à réaliser, ainsi que l'a montré « Insol ».

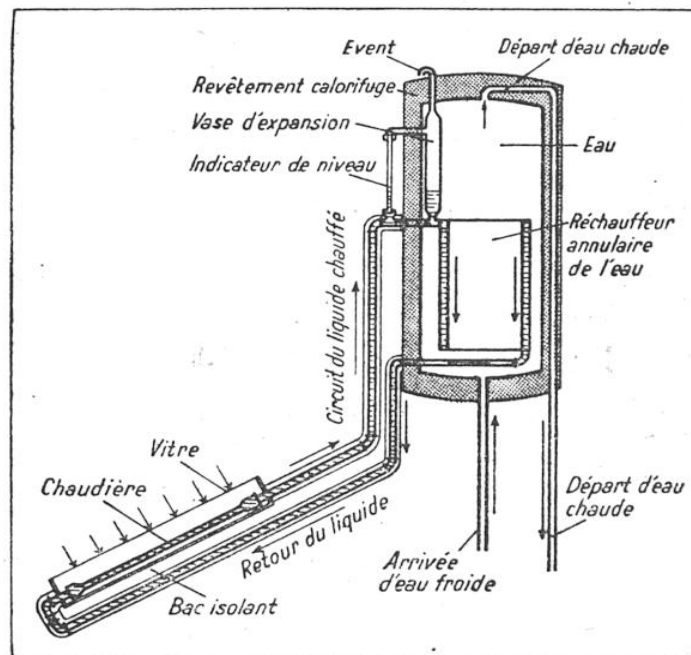
Le surchauffeur « Insol »

C'est en 1938 que l'ingénieur Stolpner, de Bordeaux, réalisa, pour le compte de la Société Thermique Naturelle, ses premiers appareils chauffe-eau ménagers dénommés « Insol », et dont un certain nombre sont en service dans des immeubles en Afrique du Nord.

L'élément solaire « Insol » se compose d'un écran à doubles parois, enfermé dans un bac plat vitré, calorifugé, et d'une étanchéité totale à l'air ambiant. Au centre, les calories sont recueillies par un tube rectiligne qui contient un fluide spécial, de l'éthyl-

glycol probablement, de grande conductibilité thermique. Ce liquide va céder ses calories par contact à l'eau d'un réservoir calorifugé de 150 à 300 litres de capacité, puis revient en chercher d'autres dans l'élément « Insol », et ainsi de suite; le circuit s'accomplit automatiquement par thermo-siphon.

Ces appareils fournissent, dans les conditions d'Afrique du Nord, de l'eau entre 55° et 75° C, selon la saison, à raison de 150 litres par élément, dont la surface exposée est de 2 m². Le même élément « Insol » a été expérimenté dès 1938 pour vaporiser de l'eau, au lieu de produire de l'eau chaude. Prise à 8 heures du matin à la température de 20°, la vaporisation a commencé vers 11 heures et a duré six heures à la température de 100°, ceci avec de l'eau douce. Avec de l'eau saline, la température d'ébullition de 106° n'a été atteinte qu'au bout de quatre heures dans



T W 23075

FIG. 12. — SCHÉMA D'UNE INSTALLATION « INSOL » POUR LE CHAUFFAGE DE L'EAU (1938)

L'élément « Insol » est un bac vitré calorifugé de 2 m² environ de surface exposée au soleil. Il contient des tubes de chaudière remplis d'un liquide spécial de grande conductibilité thermique. Ce liquide, chauffé par le soleil jusqu'à la température de 70° environ, va céder ses calories à l'eau contenue dans un réservoir calorifugé. La circulation s'effectue suivant le principe du thermo-siphon.

les conditions de l'été en France, mais elle a été maintenue de midi à 16 heures.

Un projet d'installation combinée haute pression-basse pression

Cette expérience montre que l'on peut envisager pendant une fraction importante des heures diurnes l'emploi de véritables chaudières solaires, du genre « Insol », soit fonctionnant indépendamment, soit en appoint de la vapeur basse pression à fonctionnement continu. On pourrait, dans ce cas, augmenter le rendement en combinant le préchauffage par cuves à insolation naturelle et le surchauffage avec vaporisation dans chaudières solaires. Au total, la température de la « source chaude » serait de 100° pendant les heures diurnes et de 80° pendant les heures nocturnes. Comme « source froide », on ferait appel à l'eau rafraîchie dans des cuves à exposition nocturne, c'est-à-dire susceptible d'être accumulée à une température voisine de 15°. Avec un écart thermique de l'ordre de 60° la nuit et de 80° le jour, une

machine thermique basse pression ne mettrait en circuit que des volumes d'eau qui ne seraient pas prohibitifs même au Sahara. A noter que, tout au moins pour la source chaude, ce serait toujours sensiblement le même volume d'eau qui travaillerait en circuit fermé — les seules déperditions en eau proviendraient de l'exposition nocturne, et le volant d'eau chaude une fois constitué n'aurait pas besoin d'être renouvelé.

Ainsi se présente, sous son triple aspect, l'usine saharienne à fonctionnement continu, mais avec pointe de puissance pendant les heures diurnes. Avec des :

- rigoles de préchauffage,
 - chaudières solaires pour surchauffage et pour vaporisation diurne,
 - cuves à exposition nocturne pour le condenseur,
- on tirerait parti non seulement de l'intensité des radiations solaires, mais aussi de l'écart accusé des températures journalières d'un climat désertique.

André de BOUCONE.

AVIS IMPORTANT - Numéros disponibles

Voici la liste des numéros disponibles actuellement. Tous ces numéros sont expédiés franco contre 7 fr. 50 par exemplaire et 15 francs franco pour les numéros 280, 284 et 292.

223 - 224 - 225 - 227 - 228 - 230 - 231 - 232 - 241 - 242 - 243 - 244 - 245 - 246 - 249 - 250 - 251 - 252 - 253
254 - 255 - 256 - 257 - 258 - 276 - 277 - 278 - 279 - 280 - 281 - 282 - 283 - 284 - 285 - 286 - 288 - 289 - 290
291 - 292 - 303.

Les abonnements ne peuvent commencer avant le numéro 307.

TARIF DES ABONNEMENTS

FRANCE ET COLONIES

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

ÉTRANGER (Suisse, Espagne, Portugal)

Envois simplement affranchis..... 1 an..... 150 fr.
Envois recommandés 1 an..... 200 fr.

Les abonnements sont payables d'avance, par chèque postal. — Tout changement d'adresse doit être accompagné de la somme de 2 francs en timbres-poste.

Rédaction et Administration : actuellement : 3, rue d'Alsace-Lorraine - Toulouse (H^e G.) Chèques Postaux : Toulouse 184.05

BULLETIN D'ABONNEMENT (308)

Nom (en majuscules) et prénoms :

Adresse :

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

"Je suis enchanté d'être votre élève"...

écrit Mr G. M. à Marc SAUREL, créateur et directeur de l'école "LE DESSIN FACILE" INSTITUTION FRANÇAISE



Croquis d'un matelot par un élève D. Chantereau

Il n'y a pas de courrier qui n'apporte à Marc SAUREL des témoignages de satisfaction et de gratitude pour son enseignement du dessin par correspondance. Hommes et femmes, qu'ils soient jeunes ou âgés, se félicitent unanimement de suivre les cours du "DESSIN FACILE" tant est attrayante la méthode employée. Les exercices classiques et fastidieux sont remplacés par un entraînement logique pour lequel sont employées de magnifiques planches photographiques fournies avec le cours.

L'exceptionnel intérêt de ce cours tient en premier lieu à l'expérience de Marc SAUREL qui depuis plus de 32 ans s'est consacré à l'enseignement du dessin par correspondance et sait mieux que personne tirer le meilleur parti des dispositions de chaque élève. Avec lui les progrès sont rapides, grâce à lui et à ses éminents artistes professeurs, chacun est à même de devenir un excellent dessinateur.

BON pour le bel album illustré SV. 31 qui vous sera envoyé par retour, contre 3 frs en timbres postes. Soulignez le genre de dessin qui vous intéresse.

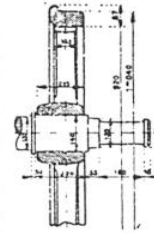
CROQUIS	DESSIN DE MODE	DESSIN INDUSTRIEL
PAYSAGE	DESSIN DE PUBLICITÉ	DESSIN ANIMÉ
PORTRAIT	DESSIN D'ILLUSTRATION	DESSIN DE LETTRES

COURS DE DESSIN POUR LES ENFANTS DE 6 A 12 ANS.

"LE DESSIN FACILE"
11, rue Keppler, 11 - Paris (16^e)
Ecole Annexe: "LE DESSIN FACILE" à Bandon (Var)

Devenez en quelques mois un vrai DESSINATEUR INDUSTRIEL

Le nouveau cours de dessin industriel de l'Ecole du "DESSIN FACILE" donne aux élèves la FORMATION COMPLETE exigée de ceux qui veulent entrer dans les bureaux d'études de toutes les industries. Il ne suffit pas, en effet, de savoir utiliser correctement les instruments de dessin. Il faut en outre "réaliser" les formes des pièces dessinées; comprendre les raisons qui ont déterminé le choix de leur contour et distinguer les motifs techniques qui ont conduit à une solution mécanique. C'est pourquoi chaque leçon du cours de dessin industriel est complétée



par un exposé de technologie qui familiarise les élèves avec les problèmes qu'ils rencontreront le plus souvent dans l'industrie. Fidèle à une méthode qui lui a valu un prodigieux succès dans l'enseignement du dessin par correspondance, l'Ecole du "DESSIN FACILE" donne au cours de dessin industriel la valeur d'un véritable enseignement particulier.

SÉRIES de TIMBRES

provenant
d'ŒUVRES et d'ÉCHANGES
FORTE REMISE



ÉCRIRE :

Ab. DENIS

LA COUILLE (Dordogne)

R. C. Seine 3.541

"Sésame"

BREVETÉ S. G. D. G.

Le Nouvel
Automatique
robuste
et
inusable

Il a
pas
besoin
de
Garantie

100%
FRANÇAIS

Les Fils de Ch. VUILLARD
ST CLAUDE

L'ÉCOLE INTERNATIONALE PAR CORRESPONDANCE DE DESSIN ET DE PEINTURE



Si vous voulez **VRAIMENT** apprendre **CHEZ VOUS** **LE DESSIN ET LA PEINTURE**

Si vous désirez vraiment devenir un véritable artiste par des moyens sérieux et rapides, écrivez aujourd'hui même à l'**École Internationale par Correspondance de Dessin et de Peinture** qui vous fera parvenir contre 4 fr. 50 en timbres pour tous frais, et sans aucun engagement pour vous, un magnifique album de renseignements qui vous montrera que l'École Internationale par Correspondance de Dessin et de Peinture :

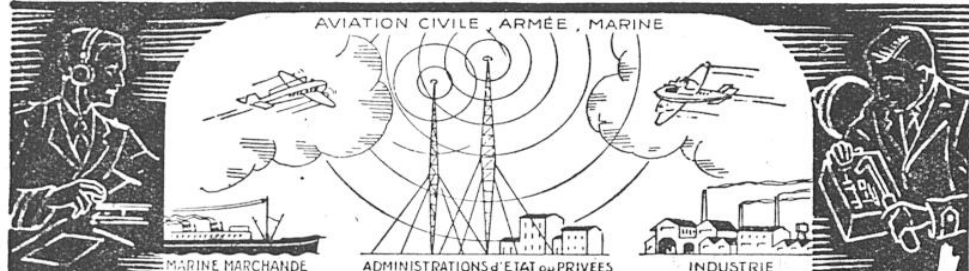
- est actuellement la plus grande École Moderne par Correspondance de Dessin et de Peinture ;
- possède une méthode d'enseignement individuel profondément étudiée et absolument moderne, claire, rapide et sérieuse ;
- compte le plus grand nombre de professeurs, tous peintres et dessinateurs connus ;
- est placée sous les auspices d'un Comité de Patronage ;
- réserve à ses élèves des avantages réels et utiles : expositions, communications dans la Presse et à la Radio, voyages gratuits sur la Riviera — la patrie des Peintres — etc...

Pour recevoir sans retard l'ouvrage illustré que vous offre l'École Internationale, écrivez immédiatement ces quelques lignes. Monsieur le Directeur, veuillez me faire parvenir contre 4 fr. 50 en timbres sans aucun engagement pour moi, votre Album de renseignements sur le Dessin et sur votre École

Envoyez aussitôt votre lettre à l'adresse suivante

L'École Internationale de Dessin et de Peinture
Service D (Renseignements), 11, Avenue de Grande-Bretagne, Monte-Carlo
Faites le geste qui peut transformer et embellir toute votre vie





FAITES VOTRE SITUATION DANS LA RADIO !

PAUVRES, JEUNES GENS !... Sachez regarder par-dessus les difficultés du présent. L'avenir appartiendra aux spécialistes, à tous ceux qui auront su se mettre en mains le meilleur atout, le meilleur capital qu'il soit... **UN BON MÉTIER DANS LA RADIO...**

SUIVEZ NOS COURS PAR CORRESPONDANCE

ou sur place. Notre École, dirigée par le Cdt DUPONT, ancien professeur aux Ecoles militaires, vous donnera le maximum de chances de succès aux examens officiels. PRÉPAREZ LES CARRIÈRES INDUSTRIELLES OU ADMINISTRATIVES DE LA RADIO.

N'hésitez pas à nous demander conseil. **ÉCRIVEZ-NOUS !**

ÉCOLE de RADIOÉLECTRICITÉ et de TÉLÉVISION de LIMOGES

15, RUE DU DOCTEUR BERGONIÉ — LIMOGES — H.V.

Monsieur le directeur, Veuillez m'adresser, sans engagement de ma part, la documentation GRATUITE concernant votre ÉCOLE et plus particulièrement le cours de

NOM PRÉNOMS

ADRESSE

P.P. 0.1

Le Gérant : L. LESTANG.

T W 9223 - 25 mars 1943.

Imp. Régionale, Toulouse.

LA RADIO

manque

DE SPECIALISTES !

JEUNES GENS !...

Pour répondre aux besoins sans cesse grandissants de la Radio française en cadres spécialisés, nous conseillons vivement aux jeunes gens de **s'orienter délibérément** vers les carrières de la I. S. F.

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

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

PRÉPAREZ CES CARRIÈRES
en suivant nos cours spécialisés

PAR CORRESPONDANCE

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

INSCRIPTIONS

à toute époque de l'année.

TOUS NOS COURS COMPORTENT DES
EXERCICES PRATIQUES A DOMICILE.

PLACEMENT

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

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



RADIO VOLANT



SOUS-INGENIEUR



CHEF-MONTEUR



MARINE MARCHANDE



INGENIEUR



DEPANNEUR

Demandez nos notices envoyées

gratuitement sur demande

ECOLE PROFESSIONNELLE RADIOTECHNIQUE

RUE DU MARECHAL LYAUTEY-VICHY-(ALLIER)

Adresse de repli

NITROLAC

LA GRANDE MARQUE DE PEINTURE



Des millions
de
mètres carrés
de références

IMPR. RÉGIONALE, 59, RUE BAYARD, TOULOUSE