

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

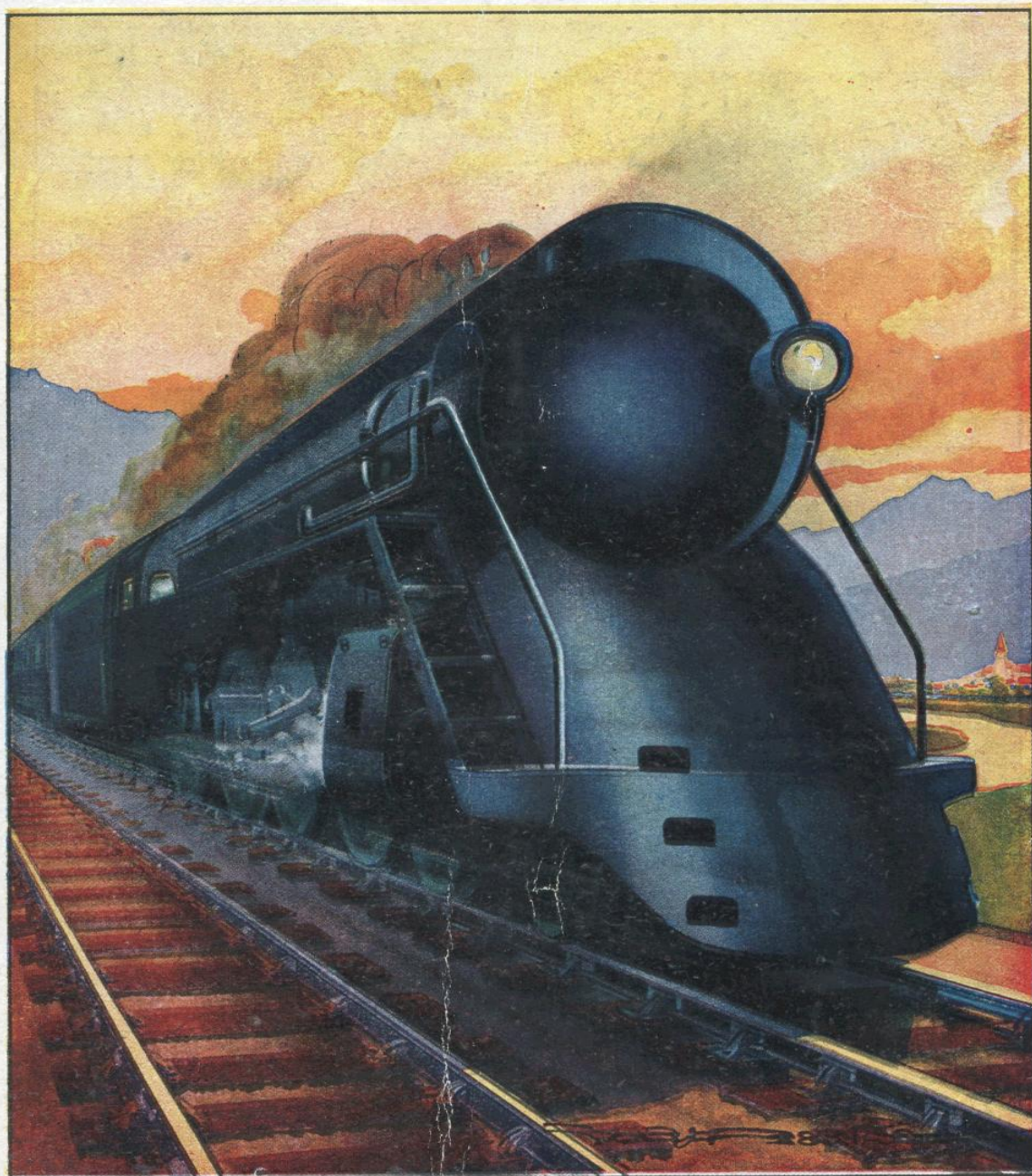
Notice de la Revue	
Auteur(s) ou collectivité(s)	La science et la vie
Auteur(s)	[s.n.]
Titre	La science et la vie
Adresse	Paris : La science et la vie, 1913-1945
Collation	339 vol. : ill. ; 24 cm
Cote	SCI.VIE
Sujet(s)	Sciences -- Vulgarisation Culture scientifique et technique Presse scientifique
Note	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 64. n. 316. Décembre 1943
Adresse	Paris : La Science et la Vie, 1943
Collation	1 vol. (p. [241]-284)-IV p.) : ill.: couv. ill. en coul. ; 24 cm
Cote	SCI. VIE 316
Sujet(s)	Sciences -- Vulgarisation Culture scientifique et technique Presse scientifique
Thématique(s)	Généralités scientifiques et vulgarisation
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	10/12/2019
Date de génération du PDF	05/12/2019
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?SCVIE.316

DÉCEMBRE 1943

N° 316

SCIENCE ET VIE



7 FRANCS

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

L'ÉLECTRICITÉ s'apprend aussi...



...par CORRESPONDANCE

ECOLE CENTRALE DE T.S.F.
12 rue de la Lune - Paris

Demandez à notre annexe : 8, rue Porte-de-France, à VICHY, le
« **Guide des carrières de la Radio** » qui vous sera adressé
gracieusement.

25^e année de
fonctionnement
et d'expériences

25.000 élèves
instruits et placés

PUBLICITÉS RÉUNIES

LA BLAGUE A TABAC
Fa-cile

TIREZ...
S'OUVRE & RESTE
LARGEMENT
OUVERTE

**en
un clin
d'œil**

APPUYEZ...
SE FERME
HERMÉTIQUEMENT

**RIEN DE PLUS
SIMPLE
RIEN DE PLUS
PRATIQUE...**

PRODUCTIONS
A. LAMARTHE
12, RUE CHARLOT
PARIS (3^e)

DÈS QUE LA SITUATION LE PERMETTRA,
LA FABRICATION REPRENDRA EN GRANDE SÉRIE

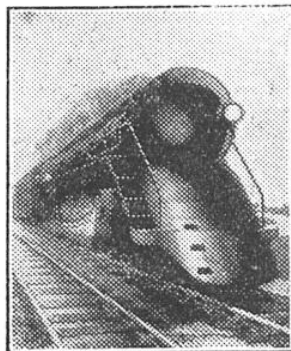
SCIENCE ET VIE

Tome LXIV - N° 316

SOMMAIRE

Décembre 1943

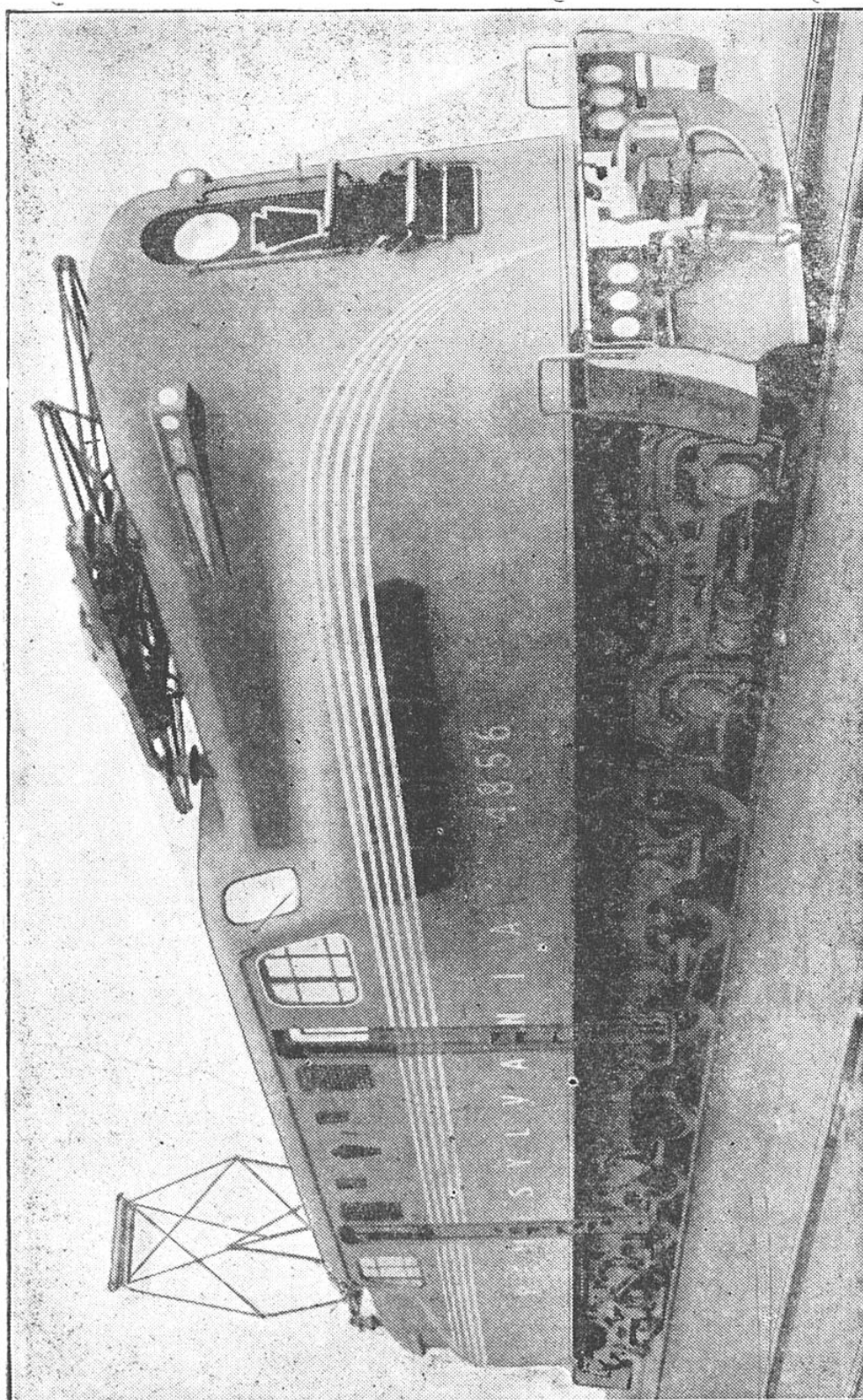
- ★ L'évolution de la locomotive : de la machine à pistons à la turbine à gaz, par Ch. Tourneur..... 243
- ★ L'industrie française des textiles artificiels peut-elle trouver sur notre sol toute la cellulose dont elle a besoin? par Jean Francis..... 256
- ★ Les êtres vivants, réactifs ultrasensibles pour les micro-analyses chimiques, par Pierre Devaux..... 262
- ★ La tourbe en agriculture, par Henri Doyen..... 271
- ★ Les rayons X et la prospection minière, par Maurice E. Nahmias..... 275
- ★ Les A Côté de la Science, par V. Rubor..... 281



Quel est l'avenir de la locomotive à vapeur, dans sa disposition classique de machine alternative? Au cours de ces dernières années, le nombre de ses concurrents est allé en croissant. A la locomotive électrique qui s'est imposée tant pour les rames à arrêts fréquents et à cadence serrée que pour les grands rapides sur les lignes à trafic intense, et au moteur à combustion avec les multiples solutions mécaniques, électriques ou hydrauliques du problème de la transmission de sa puissance aux roues motrices, sont venues s'ajouter plus récemment la turbine à vapeur et surtout la turbine à gaz et ses ingénieux dérivés. Jusqu'ici, grâce à d'incessants perfectionnements poursuivis depuis plus d'un siècle, la locomotive à vapeur lutte victorieusement contre ses jeunes rivales. La couverture de ce numéro montre la locomotive du rapide « Vingtème Siècle », aux brillantes performances : 1 200 tonnes de charge remorquées sur 1 500 km à la vitesse commerciale de 100 km/h. (Voir l'article page 243 de ce numéro.)

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

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



T W 40019

LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE A GRANDE VITESSE DU PENNSYLVANIA RAILROAD (U.S.A.)

Les six essieux moteurs de cette machine sont indépendants et chargés à 23 t. Cette locomotive peut développer d'une façon continue 4 600 ch à la jante à 145 km/h et 7 000 ch au démarrage. Poids : 210 t; puissance massique continue à la jante : 22 ch/t.

L'ÉVOLUTION DE LA LOCOMOTIVE : DE LA MACHINE A PISTONS A LA TURBINE A GAZ

par Ch. TOURNEUR

Jusqu'au début du vingtième siècle, la locomotive à vapeur a été seule utilisée pour la traction des trains sur les voies ferrées. Vers 1900, elle a vu naître une rivale dans la locomotive électrique, dont les applications se sont surtout développées après la guerre de 1914. Puis, plus récemment, les progrès importants réalisés par le moteur Diesel ont permis d'utiliser ce dernier pour la traction ferroviaire, non seulement pour actionner des engins relativement légers, comme les autorails, mais aussi pour équiper de véritables locomotives. Enfin, la turbine à gaz vient de faire son apparition sur une locomotive d'essai, actuellement expérimentée en Suisse. Perfectionnée durant plus d'un siècle, la locomotive à vapeur classique se trouve ainsi en compétition avec des moteurs nouveaux, nés hors du chemin de fer : Diesel et turbines à vapeur ou à gaz; ceux-ci, en s'adaptant aux exigences très spéciales de la traction ferroviaire, acquièrent progressivement la simplicité et la sécurité de fonctionnement qu'exige l'exploitation d'un service public qui ne peut souffrir aucune défaillance. L'adoption de tel ou tel mode de traction peut être dictée par les ressources même du pays, mais l'examen des qualités propres à chaque type de machine n'en demeure pas moins la base indispensable au choix des techniciens des chemins de fer.

POUR comparer objectivement les divers engins moteurs utilisés sur les voies ferrées, il importe de ne pas se limiter à l'examen des qualités intrinsèques des machines, concrétisées, le plus souvent, par les performances réalisables et par les rendements. La question est, en effet, beaucoup plus vaste, et elle déborde même le cadre d'un simple problème industriel, où la confrontation des prix de revient permet presque toujours d'aboutir à des conclusions sûres.

Le chemin de fer, service public au premier chef, doit être à même de fonctionner régulièrement dans les circonstances les plus diverses, et cette considération exerce souvent une influence déterminante sur le choix des sources d'énergie auxquelles le matériel moteur doit faire appel, donc sur les types de machines à utiliser. C'est ainsi, par exemple, que des pays riches en houille blanche et dépourvus de combustibles, n'ont pas hésité à développer l'électrification de leurs voies ferrées, malgré les lourdes charges qui ont pu en résulter pour leurs finances.

Au surplus, l'énergie consommée par les chemins de fer entre pour une part non négligeable dans la consommation totale d'une nation, de sorte que l'économie générale de celle-ci peut être influencée par le choix des sources d'énergie utilisées par son réseau ferré. En particulier, dans un pays dont la balance énergétique est déficitaire, et qui est ainsi contraint d'importer des combustibles, le choix du matériel moteur de ses chemins de fer peut se trouver dicté par le souci d'utiliser un combustible réduisant au maximum la valeur des importations.

Dans notre comparaison, nous ferons abstraction de ces facteurs économiques généraux, et nous admettrons, en particulier, que le choix

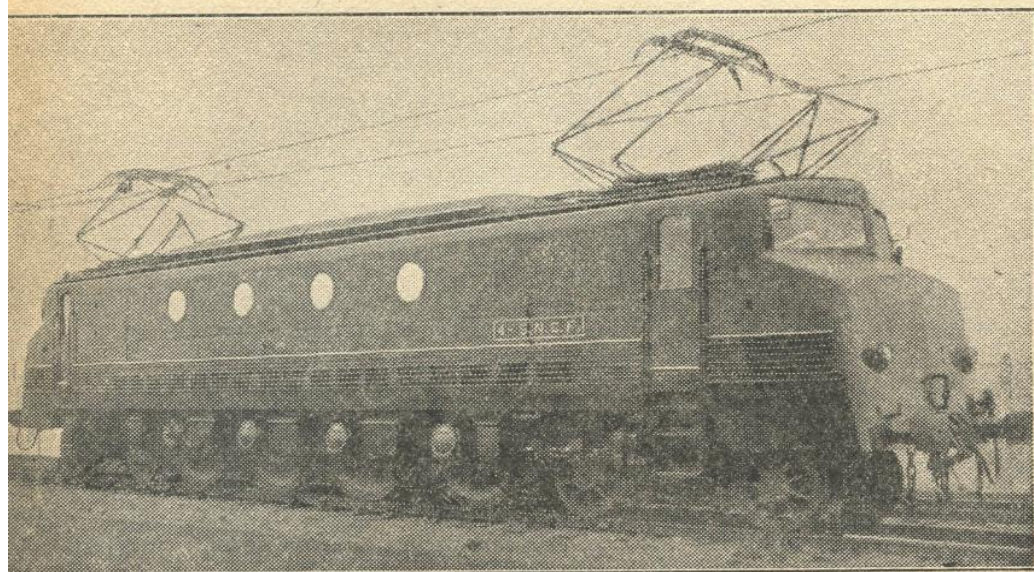
de la source d'énergie ne résulte pas de considérations autarciques.

La locomotive électrique

Rompant avec la tradition, qui nous inciterait à commencer par la locomotive à vapeur, la plus ancienne et encore la plus utilisée, nous examinerons d'abord la locomotive électrique, parce que c'est l'engin moteur qui offre actuellement les possibilités techniques les plus étendues et parce que son évolution, qui a été relativement rapide, n'est pas sans réagir sur certaines tendances de la construction des autres locomotives. Il faut reconnaître, d'ailleurs, que la locomotive électrique n'a pas grand mérite à présenter, sur le plan technique, une supériorité par rapport à ses rivales, car elle la tient essentiellement du fait que l'énergie électrique est beaucoup plus facilement transformable en énergie mécanique que l'énergie calorifique tirée, dans les autres systèmes de locomotives, des combustibles solides et liquides.

Grande souplesse de fonctionnement

Les moteurs électriques utilisés sur les machines possèdent à un haut degré la faculté de s'adapter d'eux-mêmes, sans intervention extérieure, aux variations continues des efforts demandés à la locomotive, variations qui sont une des caractéristiques les plus saillantes du travail que doit fournir le matériel de traction sur les voies ferrées, et, d'une manière générale, tous les engins de transports terrestres : lorsque la vitesse tend à diminuer au franchissement d'une rampe, par exemple, l'effort de traction de la machine électrique s'accroît automatiquement. Au surplus, l'effort fourni par le moteur électri-



T W 40020

FIG. 1. — SUR LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE MODERNE (1941) DE LA S.N.C.F. LA COMMANDE INDIVIDUELLE DES ESSIEUX REMPLACE L'ACCOUPLLEMENT PAR BIELLES

Les essieux moteurs sont chargés à 20 t. Cette locomotive, capable de remorquer un train de 750 t en patier à 130 km/h, développe 3 650 ch à la jante à 80 km/h en régime continu. Poids : 130 t; puissance massique continue à la jante : 28 ch/t.

que n'est pratiquement limité, l'adhérence des roues sur les rails étant supposée suffisante, que par l'échauffement maximum des bobinages compatible avec leur bonne tenue; le moteur électrique est donc à même, s'il n'a pas déjà atteint sa température limite, de fournir des surcharges momentanées très importantes. C'est ainsi, par exemple, qu'une locomotive électrique, capable de développer indéfiniment une puissance de 3 000 chevaux, peut, lors d'un démarrage consécutif à un stationnement de quelque durée, en fournir près de 5 000 pendant quelques minutes.

par des engrenages faciles à équilibrer, de sorte que les châssis des machines, soumis à des efforts moindres, peuvent être allégés.

Des progrès importants ont été réalisés, d'autre part, dans la construction des moteurs, progrès qui ont permis d'atteindre de grandes vitesses de rotation, donc de mieux utiliser la matière, et d'admettre des températures de régime plus hautes, par l'emploi d'isolants spéciaux, généralement à base de mica et d'amiante.

La puissance massique à la jante (1) des

(1) La puissance utilisable d'une locomotive est celle qu'on mesure au crochet de traction, alors que

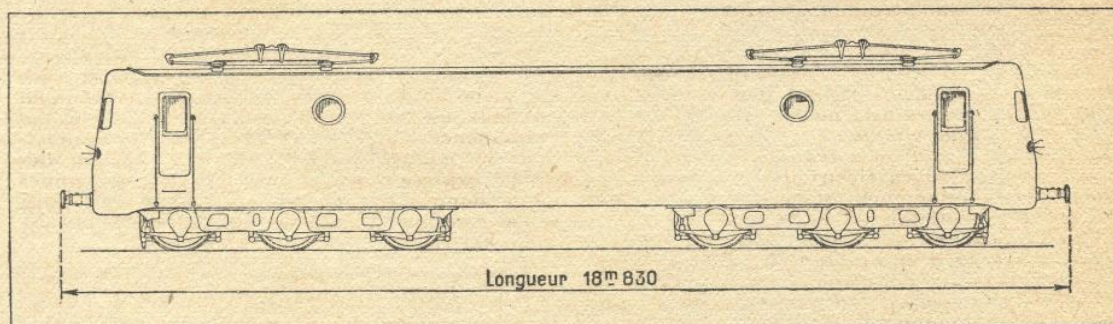


FIG. 2. — PROJET DE LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE TYPE C-C (1) A ADHÉRENCE TOTALE ET A GRANDE VITESSE (ALSTHOM)

Les six essieux sont moteurs et chargés à 15 t seulement. Puissance continue à la jante : 3 000 ch. La puissance massique continue à la jante — 36,5 ch/t — est très élevée, car l'adhérence totale correspond à l'utilisation optimum de la matière.

(1) La classification des locomotives à vapeur est fondée sur leur nombre d'essieux moteurs. Ainsi, le type 231 comporte un bogie porteur avant, trois essieux moteurs et un essieu porteur arrière (bissel). Pour les locomotives électriques, le nombre d'essieux moteurs est indiqué par le rang, dans l'alphabet, de la lettre qui caractérise le type de machine. Exemple : une locomotive CC possède deux fois trois essieux moteurs et pas d'essieu porteur.

Puissance élevée

Une locomotive doit disposer d'une adhérence suffisante pour ne pas patiner, de sorte que son poids ne peut pas descendre au-dessous d'un certain minimum, mais, sous cette réserve, il y a évidemment intérêt à réaliser une puissance par tonne aussi élevée que possible. A cet égard, les locomotives électriques se placent au premier rang. Leur technique s'inspire, à l'origine, de celle des machines à vapeur : un ou deux gros moteurs, tournant assez lentement, étaient accouplés aux essieux par des bielles; sur les unités modernes, on utilise des moteurs plus nombreux, attaquant individuellement les essieux

locomotives électriques modernes (fig. 1) atteint ainsi près de 30 chevaux par tonne. Elle paraît devoir s'accroître encore dans un délai prochain. En particulier, une évolution de la structure de la locomotive électrique à grande vitesse se dessine dans le sens d'une réduction de la charge des essieux, à l'inverse de ce qui se passe pour la locomotive à vapeur.

Lorsque, en effet, une locomotive dont les essieux moteurs sont normalement chargés — 20 tonnes, par exemple, pour les machines européennes — doit circuler à grande vitesse, il est nécessaire de placer devant ses essieux moteurs des essieux porteurs moins lourdement chargés et capables de certains mouvements relatifs par rapport au châssis, de façon à assurer un guidage correct de la locomotive dans la voie et à réduire les efforts supportés par celle-ci.

Or, du fait de l'allègement des équipements électriques, on est actuellement conduit, pour conserver une charge suffisante sur les divers essieux, à alourdir sans autre nécessité les pièces mécaniques des machines, ce qui est évidemment fâcheux, puisqu'on augmente ainsi le poids mort de la locomotive. On cherche donc maintenant à multiplier le nombre des essieux moteurs, dont la charge unitaire peut ainsi être réduite, et les moteurs, entièrement suspendus, moins puissants et moins lourds puisque plus nombreux, peuvent alors être placés sur des essieux jouant un rôle dans le guidage de la locomotive, tels que les essieux des bogies, par exemple. On tend ainsi, même pour les locomotives à grande vitesse, à supprimer les essieux porteurs (fig. 2) et à réaliser, comme dans le cas des locomotives électriques à vitesse modérée (fig. 3), l'adhérence totale, qui correspond à l'utilisation optimum de la matière.

Dans l'état actuel de la technique, il est possible de disposer d'une puissance continue d'un millier de chevaux par essieu moteur chargé à 20 tonnes, la puissance continue étant celle qui, développée indéfiniment, provoque l'échauffe-

la puissance dite « à la jante » est celle qu'on mesure, par exemple, en faisant fonctionner la locomotive au point fixe, sur un banc d'essai, comme celui dont dispose la S.N.C.F. à Vitry-sur-Seine. (Voir : « Stations d'essais de locomotives » ; *Science et Vie*, n° 182, août 1932.) Dans une comparaison de locomotives de types très divers, nous avons préféré nous référer à la puissance à la jante, qui n'est pas affectée, comme la puissance au crochet, par les effets, variables selon les machines, de la résistance de l'air et du profil de la ligne.

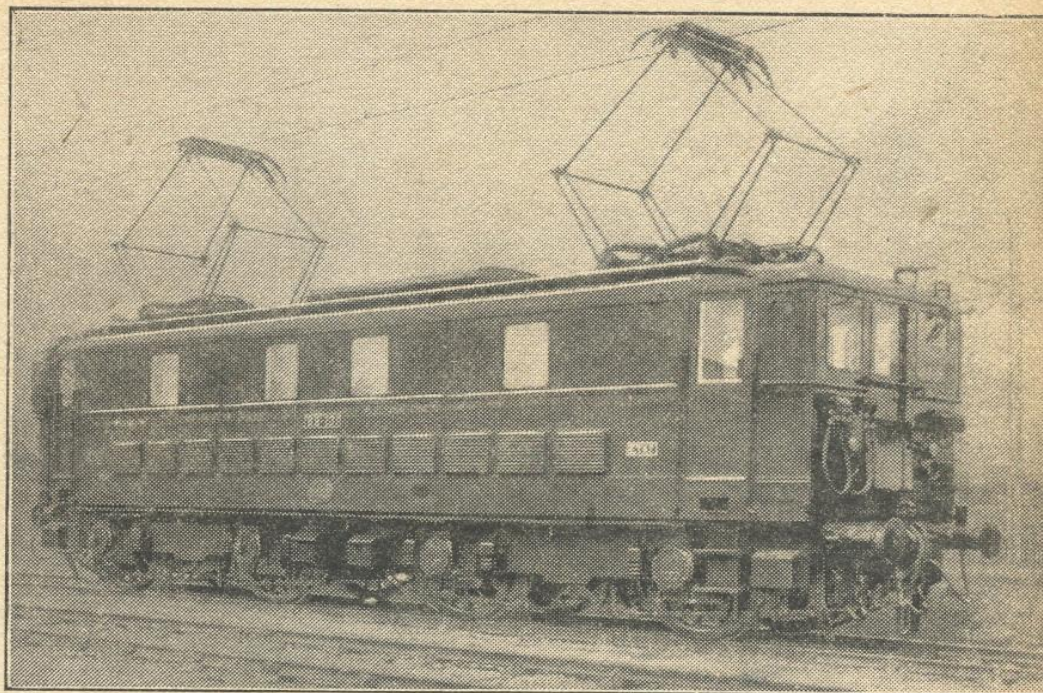


FIG. 3. — LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE TYPE B-B DE LA S.N.C.F. A ADHÉRENCE TOTALE POUR TRAINS DE MARCHANDISES (1936)

Les quatre essieux sont moteurs et chargés à 20 t. Puissance continue à la jante : 1 900 ch; puissance massique continue à la jante : 24 ch/t.

ment maximum des moteurs jugé acceptable en service. On voit, par conséquent, que la puissance d'une locomotive électrique à 6 essieux moteurs, analogue à celle représentée page 242 pourrait atteindre en Europe 6 000 chevaux en régime continu, ce qui laisserait en fait, la possibilité d'en obtenir sans difficulté plus de 8 000 pendant quelques minutes.

Mais, comme la traction électrique se prête très facilement à la commande par un seul conducteur de plusieurs unités attelées ensemble, on peut atteindre des puissances encore plus grandes, soit en accouplant deux machines, lorsque le besoin s'en fait sentir, soit en constituant certaines unités très puissantes par la réunion de deux éléments identiques restant attelés en permanence. C'est le cas, par exemple, de quelques locomotives utilisées pour la traction des trains express lourds sur les longues rampes de la ligne suisse du Saint-Gothard; leur puissance continue à la jante atteint 8 000 chevaux à 75 km/h.

Economie d'exploitation

La locomotive électrique ne nécessite qu'un entretien très réduit et elle peut effectuer quelques milliers de kilomètres sans être visitée, remorquant ainsi plusieurs trains consécutifs sans passer dans les dépôts. Dans ces conditions, les parcours annuels moyens sont importants; pour les locomotives électriques à grande vitesse de la Région du Sud-Ouest de la S.N.C.F., par exemple, ce parcours atteignait 150 000 km en 1938.

Cette bonne utilisation des locomotives électriques compense largement les charges qui ré-

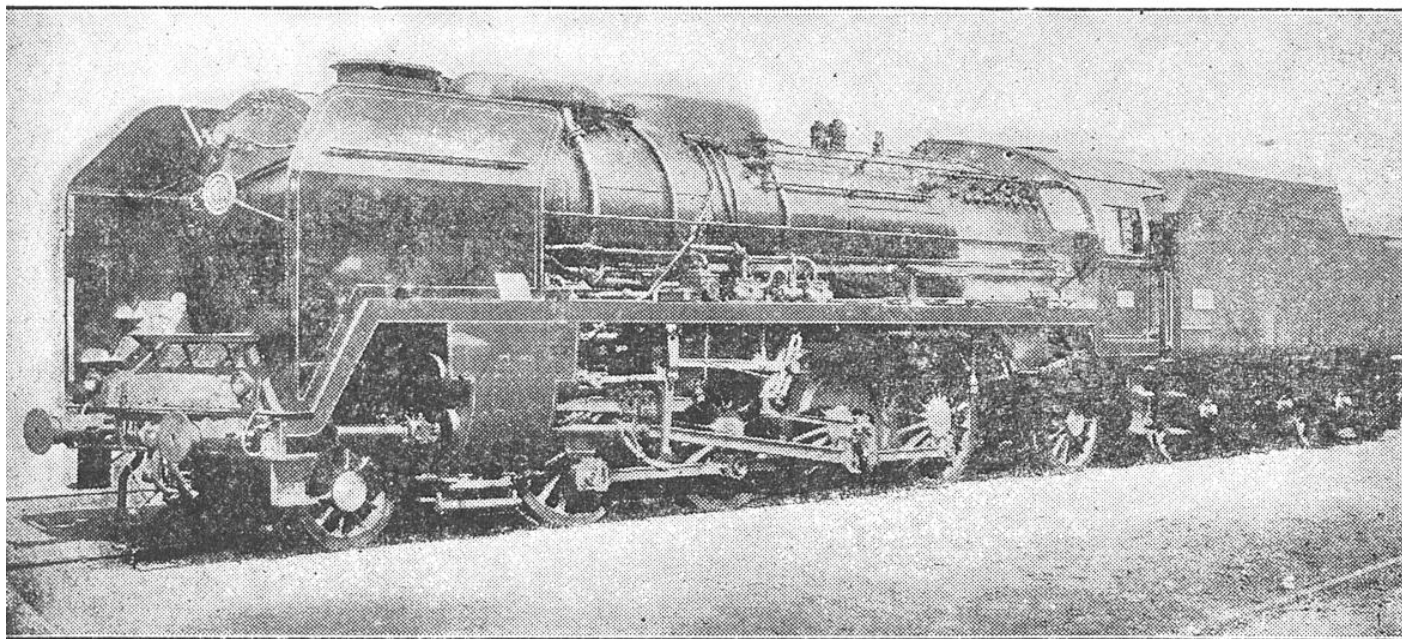


FIG. 4. — LOCOMOTIVE MODERNE A VAPEUR TYPE 141 P DE LA S.N.C.F. POUR TRAINS EXPRESS LOURDS ET TRAINS DE MARCHANDISES (1942)

Vitesse maximum : 105 km/h; charge des essieux moteurs : 19 t. Puissance soutenue à la jante : 2 900 ch à 70 km/h. Poids avec tender à quatre essieux (36 m³ d'eau et 9 t de charbon) à moitié chargé : 172 t. Puissance massique soutenue à la jante : sans tender, 26 ch/t; avec tender mi-chargé, 17 ch/t.

sultent de leur prix, supérieur à celui des locomotives à vapeur : rapporté au cheval développé de façon continue à la jante, le prix de la locomotive électrique dépasse de 30 % environ celui de la locomotive à vapeur.

Devant des avantages aussi nombreux, beaucoup s'étonnent que la traction électrique ne s'étende pas plus rapidement à toutes les voies ferrées. C'est que, malheureusement, l'obligation, pour la locomotive électrique, de capter sur une ligne de prise de courant l'énergie dont elle a besoin, entraîne la présence de coûteuses installations fixes (usines électriques, lignes à haute tension, sous-stations de transformation, lignes de contact) qui viennent grever lourdement le bilan de l'exploitation, et ne peuvent être payantes que sur les lignes où elles sont bien utilisées, c'est-à-dire où le trafic est intense. Le domaine de la traction électrique restera donc limité, en général, aux grandes artères, et à certaines applications particulières, telles que les banlieues et quelques lignes au profil particulièrement difficile.

La locomotive à vapeur classique

Si on excepte quelques expériences restées jusqu'à présent sans lendemain, et sur lesquelles nous reviendrons, on est frappé par le fait que la locomotive à vapeur a conservé, depuis plus d'un siècle, la structure générale que lui avaient donnée ses créateurs. Un des caractères les plus saillants de cette machine réside, comme on le sait, dans l'emploi d'une chaudière dont la contenance en eau est relative-

ment importante, pourvue de tubes de fumée, et dont la production de vapeur est automatiquement proportionnée à la puissance développée par la locomotive, grâce à l'emploi d'un éjecteur par lequel s'échappe à l'atmosphère la vapeur ayant travaillé dans les cylindres. Cet éjecteur étant placé dans la cheminée, l'échappement de la vapeur accroît le tirage du foyer et par suite la combustion du charbon.

Les perfectionnements récents

Du fait même de sa conception, la chaudière constitue la pièce maîtresse de la machine, celle qui lui donne sa silhouette bien connue. De dimensions assez modérées sur les unités anciennes, elle a progressivement occupé tout l'espace compatible avec le gabarit et avec une visibilité suffisante de la voie depuis le poste du mécanicien, tandis que son foyer, après avoir débordé les longerons dans sa largeur, s'est accru en longueur à un point tel que la chauffe mécanique s'impose sur les puissantes locomotives modernes. La surface de la grille atteint couramment 5 m² sur les locomotives européennes récentes, 10 m² et plus sur les grosses unités américaines. Comme la quantité de charbon brûlée par mètre carré de surface de grille et par heure se trouve limitée, notamment par l'obligation de conserver un rendement convenable de la chaudière, les dimensions possibles de la surface de grille définissent, en fait, la quantité d'énergie calorifique libérable sur la locomotive. C'est donc vers une augmentation des rendements que les techniciens ont dû orienter leurs efforts pour accroître encore la puissance de la machine :

— La pression de la vapeur produite par la chaudière est montée progressivement jusqu'à 20 hectopièzes (1); quelques machines fonctionnent même, en Allemagne, à 25 hpz. Mais de telles pressions nécessitent des tôles de chaudière épaisses en acier spécial, et il paraît maintenant difficile d'aller plus loin sans modifier la structure de la chaudière.

— La surchauffe de la vapeur qui, en augmentant sa température, accroît le rendement du cycle et favorise le fonctionnement du moteur, est devenue d'un usage général. La température de la vapeur atteint 400° C, maximum compatible avec une tenue satisfaisante des huiles de graissage des cylindres.

— La réalisation du tirage par la vapeur d'échappement provoque une contre-pression dans les cylindres, qu'il importe de réduire le plus possible; des progrès très importants ont été réalisés dans ce domaine, grâce aux perfectionnements apportés aux échappements.

— Le réchauffage de l'eau d'alimentation des chaudières, en utilisant une partie des calories contenues dans la vapeur d'échappement, contribue aussi à réduire la consommation de charbon, et, par conséquent, à permettre un accroissement de puissance des machines.

— Enfin, l'étude rationnelle des circuits de vapeur entre chaudière et cylindres et les perfectionnements apportés aux systèmes de distribution, où les soupapes remplacent souvent les tiroirs, procurent un meilleur remplissage des cylindres, et, par conséquent, une augmentation de la puissance développée.

La locomotive à vapeur classique est ainsi arrivée à un haut degré de perfection, auquel la technique française a largement contribué, puisque nos locomotives comptent parmi celles dont les puissances massiques sont les plus fortes.

La réserve d'énergie que constitue la masse d'eau importante de la chaudière et l'aptitude aux taux de combustion élevés, automatiquement réglés par l'échappement de la vapeur dans la cheminée, confèrent aux locomotives à vapeur une souplesse remarquable, qui justifie la faveur dont elles jouissent depuis un siècle.

Les limites de la puissance

Mais, du fait même que ces machines se prêtent très bien aux gros efforts passagers, il est très difficile de définir leur puissance, en vue d'une comparaison avec d'autres types de ma-

chines; c'est d'ailleurs là un sujet fréquent de discussions entre spécialistes.

Il semble, cependant, que, sur les locomotives à vapeur modernes bien conçues, la puissance soit surtout limitée par l'obligation de ne pas exagérer le taux de la combustion, c'est-à-dire la quantité de charbon qui est brûlée en une heure sur un mètre carré de la surface de la grille. Au cours de services très poussés, ce taux a pu atteindre 800 à 1 000 kg par mètre carré et par heure, ce qui correspond, pour une locomotive du type représenté sur la figure 4, à une consommation de 4 tonnes de charbon à l'heure! Mais une telle allure de combustion provoque une baisse sensible du rendement de la chaudière et soumet le foyer à une fatigue importante; en pratique, avec les machines récentes comportant des foyers en acier avec chargeurs mécaniques, on peut admettre que le taux maximum de combustion en service normal ne doit pas dépasser 600 kg par mètre carré et par heure, pour se tenir plus couramment vers 450 kg. Comme la consommation spécifique de charbon des locomotives modernes est de l'ordre de 0,9 à 1 kg par cheval-heure à la jante, on voit que la puissance maximum normalement utilisable à la jante en service peut être évaluée à 700 chevaux par mètre carré de surface de grille.

Les locomotives les plus récentes de la S.N.C.F. (fig. 4), dont 103 unités sont actuellement en cours de livraison, et qui sont plus spécialement destinées à la remorque des trains express lourds et des trains de messageries, pèsent 172 tonnes avec leur tender à moitié plein, et peuvent développer 2 900 chevaux environ à la jante des roues motrices, pour un taux de combustion de 600 kg par m² de grille et par heure. La puissance massique correspondante ressort ainsi à 17 chevaux par tonne environ (26 ch/t sans tender).

La puissance développée par les locomotives que nous venons de prendre en exemple ne constitue cependant pas le plafond des possibilités actuelles des locomotives à vapeur européennes. En vue, précisément, d'augmenter la surface de grille, les machines puissantes que la S.N.C.F. étudie actuellement comporteront deux essieux porteurs à l'arrière; ce sera notamment le cas des locomotives à grande vitesse du type 242 à 4 essieux moteurs chargés à 23 tonnes, destinées à la remorque des rapides lourds, et qui pèseront 160 tonnes sans tender (221 tonnes avec tender à moitié plein). Munies d'une grille de 6 m², leur puissance massique soutenue à la jante ressortira donc à 26 ch/t

(1) Un hectopièze (hpz) vaut 1,02 kg/cm².

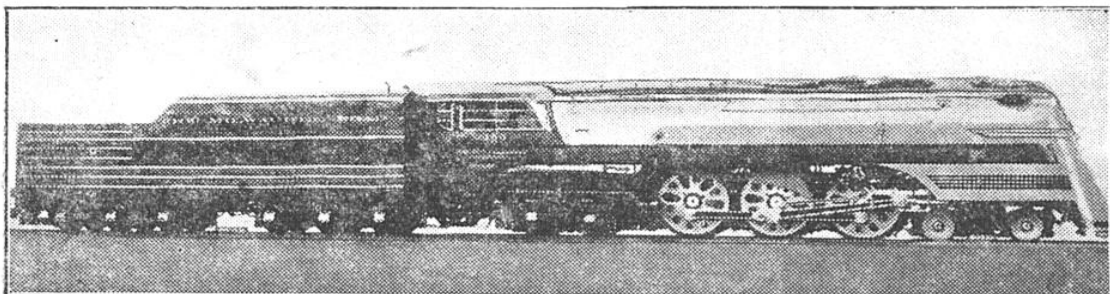


FIG. 5. — LOCOMOTIVE A VAPEUR AMÉRICAINE TYPE 232 POUR TRAINS RAPIDES, CONSTRUITE EN 1928
T W 40023
Charge des essieux moteurs : 33 tonnes. Surface de grille : 9 m². Poids de la locomotive seule : 187,5 t.
Poids du tender chargé : 167 t (75 m³ d'eau et 22,5 t de charbon).

environ sans tender et à 19 ch/t avec tender mi-plein.

Vers une meilleure utilisation des machines

Il semble qu'on ne sera pas amené, en France, à dépasser ces chiffres avant longtemps, non seulement parce que la nécessité d'accroître davantage les puissances n'est pas impérieuse, mais parce que les considérations de prix de revient, sur lesquelles nous insistions au début de cet exposé, incitent à améliorer surtout les

parce que l'obligation de laisser les essieux se déplacer par rapport au châssis pour assurer le libre jeu de la suspension, interdit d'atteindre la précision que requiert une machine rapide à mouvements alternatifs. Et comme le nombre des essieux groupables dans un même châssis est limité, cette augmentation constante des poids causée par l'accroissement de la puissance a obligé, malgré les gains réalisés sur la puissance massique, à charger toujours davantage les essieux des machines. Ces charges, qui avaient pu, jusqu'à présent, être maintenues en France entre 18 et 20 tonnes, vont être por-

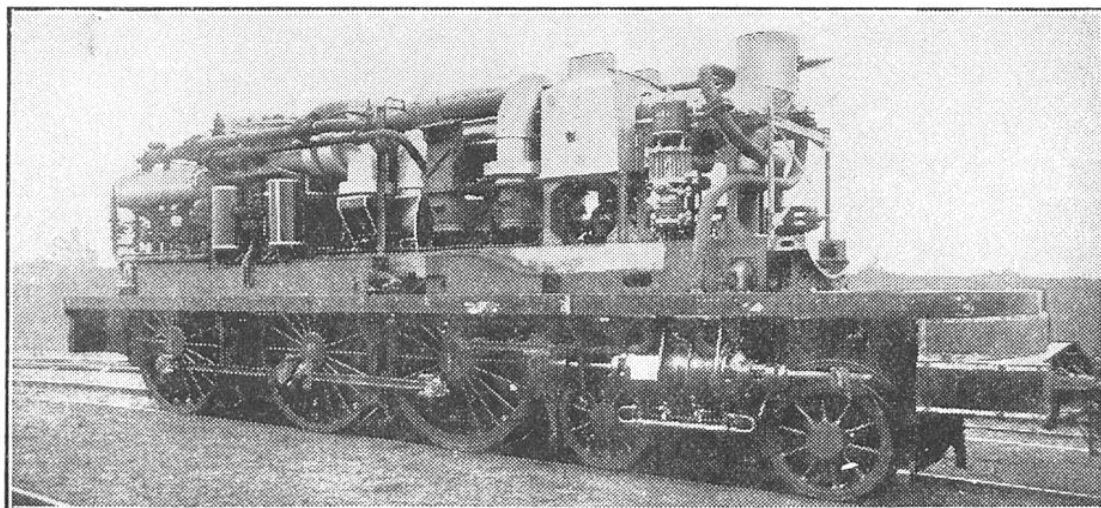


FIG. 6. — LOCOMOTIVE 230-E-93 DE LA S.N.C.F. AVEC CHAUDIÈRE VELOX (CAISSE DÉMONTÉE) T W 40024

conditions d'utilisation des machines : augmentation des parcours journaliers réalisables, réduction des opérations d'entretien, etc.

Si, en effet, la locomotive à vapeur classique est particulièrement robuste, elle nécessite néanmoins des opérations d'entretien courant assez fréquentes, qui, jointes aux sujétions d'approvisionnement en eau et en combustible et à l'obligation d'en confier la conduite à un personnel très spécialisé, s'opposent à la réalisation de parcours journaliers aussi élevés que ceux obtenus avec les autres modes de traction (le parcours annuel moyen des locomotives à vapeur à grande vitesse de la S.N.C.F. atteignait à peine 60 000 km en 1938).

Les mesures prises pour améliorer l'utilisation des machines, qu'il s'agisse de l'accroissement de la capacité des tenders, de la chauffe mécanique, ou des perfectionnements apportés au mécanisme moteur, se traduisent par des augmentations de poids. Il est frappant de constater, en particulier, que, contrairement à toutes les autres machines motrices, qu'il s'agisse de machines à vapeur stationnaires, de turbines, de moteurs à combustion interne, ou de moteurs électriques, le moteur de la locomotive à vapeur n'a pu accroître sa puissance par une augmentation corrélative de sa vitesse de rotation, génératrice d'allègement. On a pu, certes, par des perfectionnements divers, affecter à des services d'express des machines dont le petit diamètre des roues eût été jugé autrefois incompatible avec des vitesses de 70 ou 80 km/h, mais on ne peut aller très loin dans cette voie.

tées à 23 tonnes sur les machines futures, rejoignant ainsi celles admises depuis longtemps par des pays voisins.

Pour permettre néanmoins la circulation de locomotives puissantes sur des voies non renforcées, on utilise parfois, au prix d'une complication plus grande et d'un abaissement de la puissance massique, des locomotives articulées, du type Garratt (1) notamment, dont la chaudière est portée par un châssis reposant sur deux trucks moteurs.

Les locomotives à vapeur de types spéciaux

Au stade actuel du développement de la locomotive à vapeur classique, il apparaît très difficile d'en améliorer sensiblement la puissance massique et le rendement, bien que ce dernier reste encore très bas, puisqu'il n'est guère passé, en 30 ans, que de 6 à 12 % au plus (2); encore s'agit-il là du rendement maximum, qui s'abaisse notablement aux charges partielles, et qui ne tient pas compte de la consommation du combustible durant les stationnements.

(1) Voir : « Locomotive Garratt à 6 cylindres de la Nouvelle-Zélande » (*Science et Vie*, n° 144, juin 1929).

(2) Ces chiffres se rapportent toujours au rendement « à la jante ».

Les hautes pressions

Certains techniciens estiment qu'il conviendrait de renoncer délibérément aux dispositions classiques et de s'inspirer de solutions adoptées pour les machines stationnaires ou pour les locomotives ne faisant pas appel à la vapeur. Des expériences ont donc été tentées pour utiliser des chaudières à très haute pression, avec ou sans condensation de la vapeur, des moteurs à vapeur rapides, ou des turbines.

La condensation nécessite des appareils très volumineux, car la seule source froide dont on dispose à bord est l'air ambiant; il serait donc

S.N.C.F. à trois essieux, d'un modèle déjà ancien, dont la chaudière classique, timbrée à 16 hpz, avait été remplacée par une chaudière Vélox (fig. 6), fournissant de la vapeur à 20 hpz. Dans cette chaudière, les échanges calorifiques sont considérablement accrus par une augmentation simultanée de la vitesse de circulation de l'eau dans les tubes évaporateurs, grâce à une circulation forcée, et de la vitesse des gaz chauds le long de ces tubes; à cet effet, le mazout, utilisé comme combustible, est brûlé dans une chambre mise sous pression par un compresseur d'air axial, entraîné lui-même par une turbine à gaz parcourue par les gaz sortant,

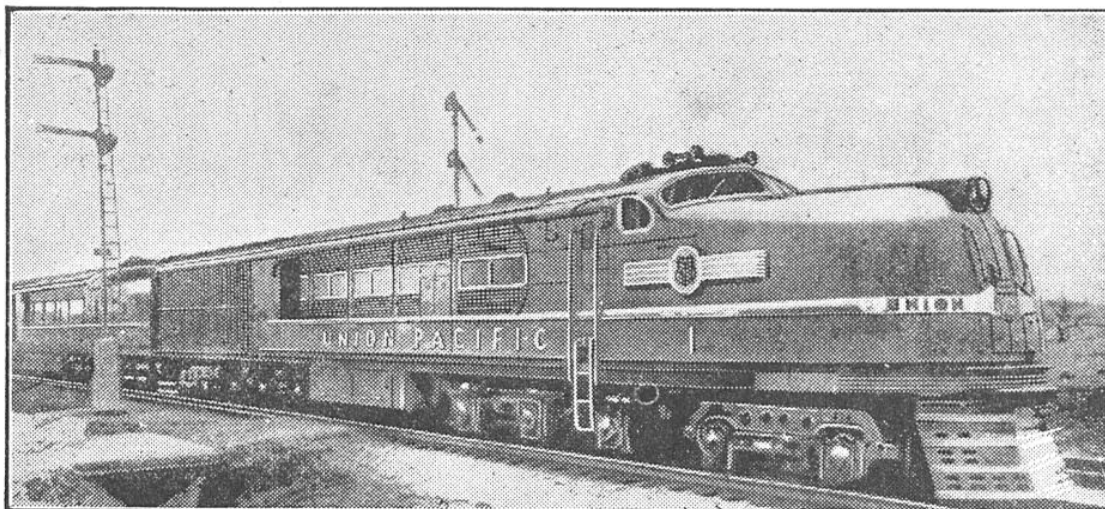


FIG. 7. — LOCOMOTIVE DE 5 000 CHEVAUX A TURBINES A VAPEUR, TRANSMISSION ÉLECTRIQUE ET CONDENSATION DE L'UNION PACIFIC RAILROAD, CONSTRUITE EN 1938

Composée de deux unités pesant chacune 248 tonnes, elle remorque, concurremment avec des locomotives Diesel, des trains express qui relient Chicago à la côte du Pacifique (3 650 km) en moins de 40 heures. Elle peut parcourir un millier de kilomètres sans se ravitailler.

très difficile de réaliser un vide élevé. En service régulier, on n'a guère eu recours, jusqu'à présent, à la condensation que pour desservir des lignes désertiques, où on cherchait surtout à récupérer l'eau contenue dans la vapeur d'échappement, le gain de rendement procuré par la condensation étant jugé accessoire; sur de telles machines, qui circulent notamment en Russie et en Argentine, la pression au condenseur est voisine de la pression atmosphérique, afin de simplifier les machines auxiliaires. Notons, d'ailleurs, que les locomotives à condensation ne disposent plus de l'excellent régulateur de tirage que constitue l'échappement de la vapeur dans la cheminée; il faut alors avoir recours à des ventilateurs actionnés par un moteur auxiliaire.

D'assez nombreuses locomotives prototypes ont reçu, à titre d'essai, des chaudières à haute pression à tubes d'eau, timbrées parfois jusqu'à 100 hpz. Tous ces essais sont demeurés, jusqu'à présent infructueux, en raison, surtout, des difficultés d'entretien auxquelles donnent lieu ces chaudières qui, devant, pour la plupart, fonctionner sans condensation, sont sujettes à l'entartrage.

La chaudière Vélox

Il convient toutefois de citer l'essai, interrompu par la guerre, d'une locomotive de la

encore chauds, de la chaudière. Au cours d'essais en service régulier, la chaudière Vélox s'est révélée aussi souple qu'une chaudière classique, malgré son volume d'eau extrêmement réduit, et son rendement restait compris entre 80 et 85 % environ, même à demi-charge, alors que le rendement d'une chaudière classique chauffée au charbon s'abaisse vers 65 % à pleine charge. Seule une utilisation prolongée permettra de mettre ces bons résultats en balance avec les sujétions d'entretien qui résulteront de la complication assez grande des machines auxiliaires adjointes à la chaudière.

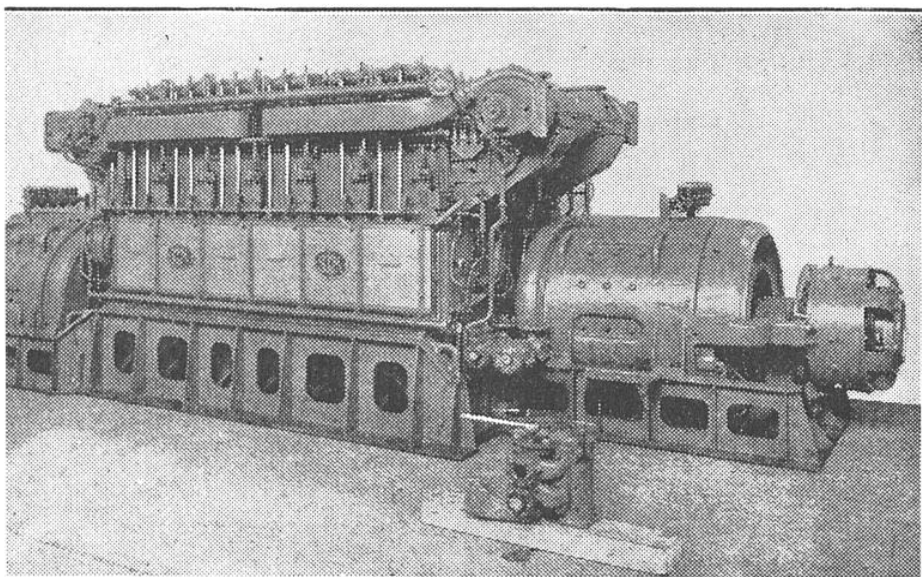
Les moteurs à vapeur rapides

Bien que le moteur à vapeur classique des locomotives se soit montré apte aux très grandes vitesses, tout au moins sur les excellentes voies, puisque des locomotives de ce type ont circulé à 200 km/h, on a également cherché à réaliser ces performances en allégeant les masses non suspendues, et en dotant à cet effet la locomotive de moteurs à vapeur rapides, montés entièrement sur le châssis, et attaquant les essieux par l'intermédiaire d'engrenages et d'organes élastiques de liaison, inspirés de ceux en usage sur les locomotives électriques. C'est le cas, par exemple, d'une locomotive d'essai de

la S.N.C.F., construite par les usines Schneider, et dont la chaudière à haute pression (60 hpz), alimente 6 moteurs de 500 ch à 3 cylindres tournant à 1 000 tours/mn. Ces moteurs attaquent, groupés par deux, les trois essieux moteurs, qui ne sont pas couplés entre eux.

La turbine à vapeur

Enfin, la turbine à vapeur a été mise également en concurrence avec le moteur classique à pistons.



T W 40026

FIG. 8. — UN DES DEUX GROUPES ÉLECTROGÈNES DE 2 000 CHEVAUX DE LA LOCOMOTIVE DIESEL-ÉLECTRIQUE 262-AE-I DE LA S.N.C.F.

Il est constitué par deux moteurs SGCM-MAN de six cylindres quatre temps disposés sur un châssis unique et attaquant chacun une génératrice.

La turbine, qui se prête à un excellent équilibrage des masses en mouvement et qui offre une puissance massive élevée, en raison de sa très grande vitesse, peut être alimentée en vapeur à haute température (500° C), puisque celle-ci ne vient pas en contact avec des organes à lubrifier. Au surplus, la vapeur n'étant pas souillée par l'huile de graissage, cette machine se prête bien à la condensation. Par contre, des engrenages réducteurs importants doivent, en raison de la haute vitesse de la turbine, être insérés entre cette dernière et les essieux, et comme la turbine ne peut fonctionner dans les deux sens de marche, il faut avoir recours, soit à un changement de marche mécanique, d'une réalisation délicate avec les grandes puissances, soit à des turbines distinctes pour chacun des sens de marche.

Enfin, et c'est peut-être là le plus grave défaut de la turbine pour les services de traction, son rendement ne reste très satisfaisant que pour une gamme de vitesses assez limitée, et elle se prête mal à la réalisation de gros couples de démarrage.

Quelques locomotives à turbine sont en service en Suède; il s'agit de machines remorquant des trains relativement lourds sur des lignes difficiles, comportant peu d'arrêts. La S.N.C.F. expérimente, de son côté, une locomotive à

grande vitesse, pourvue de trois essieux moteurs indépendants, entraînés chacun par un groupe de deux turbines, respectivement affectées à chacun des sens de marche.

Enfin, un essai intéressant est tenté depuis 1939 par le réseau américain de l'Union Pacific Railroad, qui utilise une puissante locomotive à turbines à vapeur (fig. 7), dans laquelle ces machines entraînent des génératrices électriques alimentant des moteurs reliés aux essieux; la transmission électrique, tout à fait analogue à celle des locomotives Diesel, maintient la vitesse

des turbines au voisinage du régime optimum. La chaudière, chauffée au mazout et timbrée à 100 hectopiezés, fournit de la vapeur surchauffée à 495° C et, grâce à la condensation, la locomotive peut parcourir un millier de kilomètres sans ravitaillement; elle assure, concurremment avec des locomotives Diesel, la traction des trains rapides d'un millier de tonnes qui relient en une quarantaine d'heures Chicago et Omaha au Pacifique (3 650 km). Le poids total de la locomotive, composée de deux unités identiques, serait voisin de 500 tonnes pour une puissance à la jante de l'ordre de 4 300 chevaux, ce qui fait apparaître une puissance massive particulièrement basse.

La locomotive à moteur à combustion

Les moteurs à combustion interne, et, plus spécialement, ceux travaillant suivant le cycle Diesel, présentent des qualités intéressantes pour la traction :

— Haut rendement, voisin de 35 % à pleine charge, et diminuant peu aux charges partielles;

— Grande facilité de manœuvre, de mise en marche, et d'arrêt, contribuant à réduire la consommation de combustible et l'usure des organes, surtout avec les services intermittents. La mise en marche de la locomotive est possible sans préparation préalable, et un seul agent peut la conduire.

— Utilisation de combustibles liquides, d'une manutention facile, et dont le pouvoir calorifique élevé contribue, avec le haut rendement des moteurs, à permettre de longs parcours sans ravitaillement.

— Consommation d'eau pratiquement négligeable, ce qui est particulièrement précieux dans les pays désertiques ou ne disposant pas d'eau de bonne qualité.

— Production de fumées peu visibles et très peu nocives.

Par contre, deux caractéristiques essentielles

du moteur à combustion interne nuisent à son utilisation sur les locomotives :

— Ce moteur se prête mal aux surcharges temporaires, toute augmentation sensible de la charge au-dessus de la puissance qui peut être développée d'une façon continue entraînant une combustion imparfaite du combustible, des encrassements, et des échauffements excessifs de certains organes.

— Le moteur à combustion interne ne peut pas fonctionner correctement aux très bas régimes de vitesse, c'est-à-dire qu'il ne peut développer, sur son arbre, un couple moteur utilisable que s'il tourne suffisamment vite, par exemple à plus du tiers de sa vitesse maximum.

Ces deux inconvénients conduisent, d'une part, à surdimensionner les moteurs destinés à la traction, puisque nous avons vu que celle-ci exige des « coups de collier » fréquents, et, d'autre part, à interposer entre moteurs et essieux une transmission à démultiplication variable, maintenant toujours la vitesse de fonctionnement du moteur au-dessus de sa vitesse minimum, même pendant le démarrage du convoi.

Cette double sujétion se traduit par un alourdissement sensible des équipements et, encore, actuellement, la réalisation de puissantes unités à moteurs à combustion, capables, comme leurs concurrentes à vapeur ou électriques, de développer plusieurs milliers de chevaux, reste entravée par l'insuffisance de leur puissance massique. Par contre, le moteur à combustion se prête particulièrement bien à la réalisation des engins de puissance modérée, tels que les autorails et les locomotives affectées aux manœuvres et aux services secondaires ; depuis une quinzaine d'années, son développement a été très rapide dans ces domaines.

Les progrès du moteur Diesel de traction

Les moteurs Diesel utilisés pour la traction sont à deux ou quatre temps, c'est-à-dire qu'ils comportent, soit une course motrice par tour, le balayage des gaz brûlés étant assuré, en fin de course motrice, par circulation d'air sous pression à travers le cylindre, soit une course motrice tous les deux tours seulement, un tour sur deux étant utilisé pour aspirer l'air, puis le comprimer, dans le cylindre.

Les moteurs à deux temps ont reçu de très nombreuses applications aux États-Unis ; en Europe, la préférence des techniciens s'est plutôt portée, jusqu'à présent, vers les moteurs à quatre temps, en raison de leur rendement un peu plus élevé et, pour les grosses unités, de la moindre hauteur de leurs cylindres, facilitant leur montage à l'intérieur du gabarit européen, plus restreint que celui des chemins de fer américains.

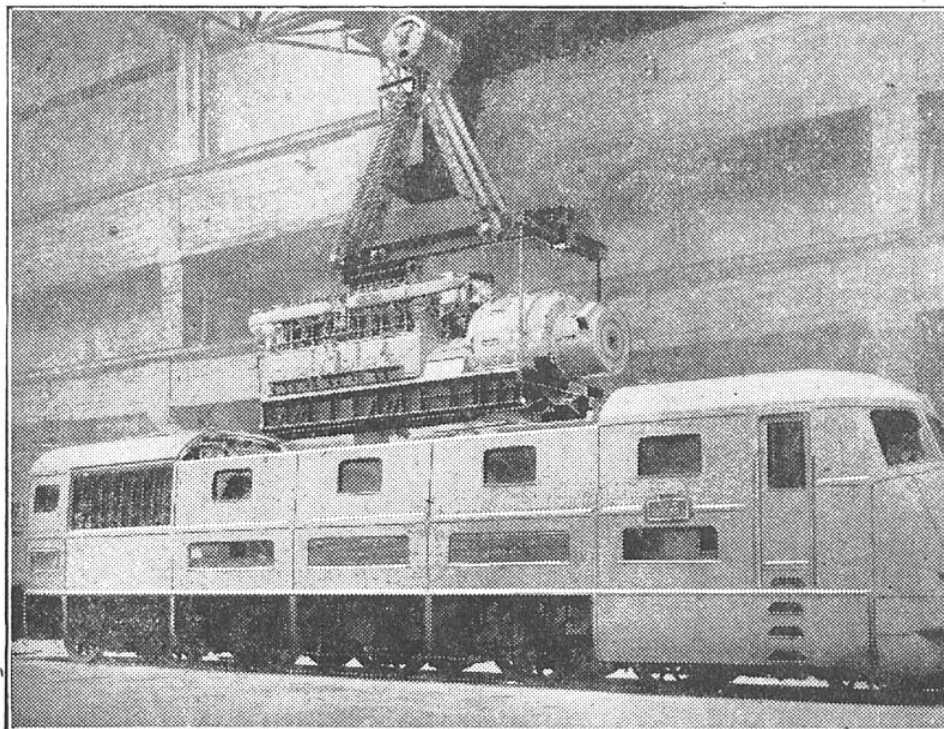


FIG. 9. — MISE EN PLACE DU GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 2 000 CHEVAUX SUR UNE DES DEUX UNITÉS CONSTITUANT LA LOCOMOTIVE DIESEL ÉLECTRIQUE 262-BD1 DE LA S.N.C.F.

Moteur Sulzer à 12 cylindres en deux lignes, attaquant deux vilebrequins reliés par engrenages à la génératrice.

Au surplus, les progrès importants réalisés, depuis une dizaine d'années, dans la suralimentation des moteurs à quatre temps, ont permis d'augmenter de près de 50 % la puissance massique de ceux-ci. La suralimentation consiste à transformer en énergie mécanique, à l'aide d'une turbine à gaz, l'énergie emportée dans les gaz d'échappement du moteur, et à l'utiliser pour actionner un compresseur d'air, qui alimente à son tour les cylindres moteurs en air légèrement comprimé ; en augmentant ainsi le poids d'air introduit à chaque cycle, il devient possible de brûler plus de combustible et, par conséquent, d'augmenter le couple développé sur l'arbre, sans accroître la pression maximum, donc la fatigue du mécanisme. En outre, par un réglage approprié de la levée des soupapes, on réalise un balayage énergétique du fond de cylindre en fin d'échappement, ce qui réduit la contrainte thermique de ces organes.

La vitesse de rotation des moteurs Diesel de traction, actuellement comprise entre 750 et

1 500 tours/mn, est très sensiblement plus élevée que celle des moteurs stationnaires et marins. Les moteurs les plus rapides, généralement à quatre temps, sont surtout utilisés sur les autorails. L'alésage de leurs cylindres ne dépasse guère 150 mm, de sorte que la puissance par cylindre reste de l'ordre de 30 chevaux. Il existe, en particulier, de nombreux moteurs de cette

Du moteur aux essieux : les transmissions

Les transmissions intercalées entre les moteurs et les essieux se ramènent à trois types : les transmissions mécaniques, électriques et hydrauliques.

La transmission mécanique n'est, en principe, qu'une extrapolation de la transmission presque universellement en usage sur les automobiles, et dont les deux principaux organes sont l'embrayage et le changement de vitesse. Toutefois, en raison de l'importance des efforts à développer, notamment au cours du démarrage des trains lourds, la transmission mécanique n'a été utilisée, jusqu'à présent, que pour des puissances ne dépassant pas quelques centaines de chevaux; elle a surtout reçu de nombreuses applications sur les autorails et les petits tracteurs de manœuvre.

La transmission électrique est, par contre, d'un usage presque général sur les locomotives. Elle consiste à actionner, avec le moteur à combustion, une génératrice à courant continu qui alimente les moteurs électriques reliés aux essieux. Par un agencement approprié du système de réglage de l'excitation de la génératrice, une surcharge du moteur à combustion est rendue impossible, tout

ou permettant l'utilisation intégrale de la puissance du moteur sur une large gamme de vitesses de la locomotive. Par contre, la transmission électrique est lourde, d'un prix assez élevé, et son rendement est un peu inférieur à celui de la transmission mécanique.

Les transmissions hydrauliques, étudiées principalement en Allemagne et en Suède depuis une dizaine d'années, font appel à deux types d'organes :

— Les coupleurs hydrauliques, sortes d'« embrayages fluides », qui assurent une liaison élastique entre moteurs et essieux en transmettant intégralement le couple avec un rendement d'environ 98 %.

— Les « transformateurs de couple », combinaisons, dans un même carter, d'une pompe centrifuge alimentant une turbine, qui permettent de faire varier dans de larges limites la vitesse de rotation de l'arbre de sortie, celle de l'arbre d'entrée restant sensiblement constante,

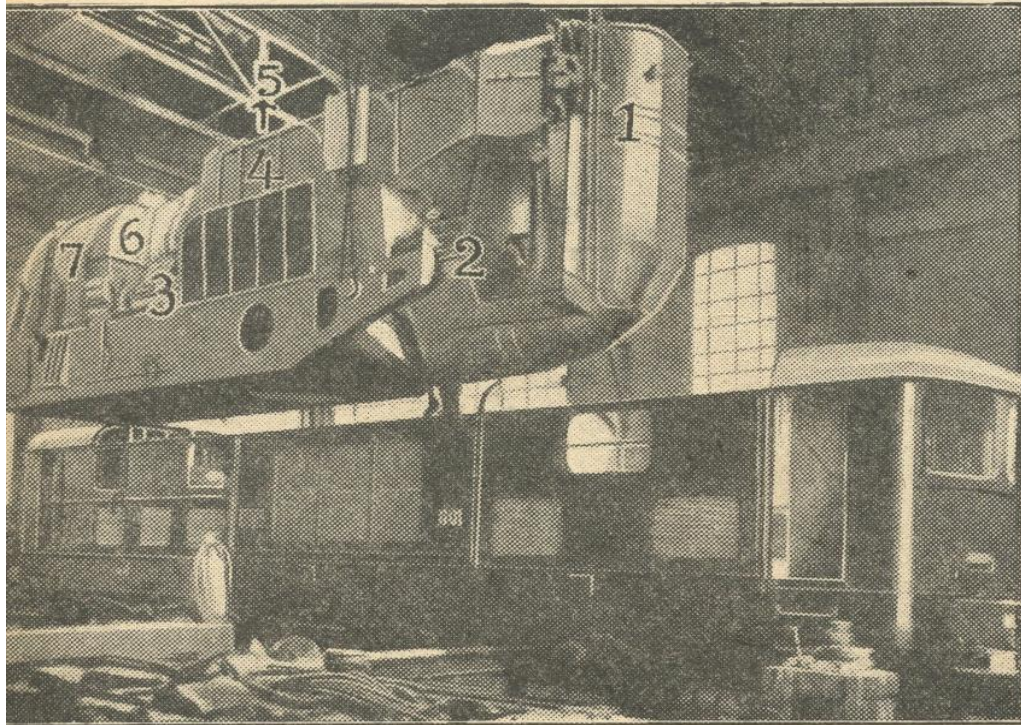


FIG. 10. — MISE EN PLACE DU GROUPE GÉNÉRATEUR DE LA LOCOMOTIVE A TURBINE A GAZ ET TRANSMISSION ÉLECTRIQUE CONSTRUITE EN 1940 PAR LA SOCIÉTÉ BROWN BOVERI (SUISSE)

Vitesse maximum : 110 km/h. Poids total avec demi-approvisionnements : 90 t. Puissance continue à la jante : 1 400 ch à 78 km/h. Puissance massique correspondante : 15,6 ch/t. 1, chambre de combustion; 2, turbine à gaz; 3, compresseur; 4, réchauffeur; 5, échappement; 6, train d'engrenages; 7, génératrice électrique.

catégorie qui comportent 12 cylindres en V, et dont la puissance atteint 300 à 450 ch à la jante, suivant qu'ils sont, ou non, suralimentés. Dans ce dernier cas, le poids par cheval s'abaisse à 5 kg.

La puissance des moteurs plus lents (750 à 1 000 tours/mn) atteint 100 ch environ par cylindre en deux temps, et 150 ch en quatre temps avec suralimentation; le poids par cheval est de l'ordre de 10 kg. Parmi ces moteurs, surtout utilisés sur les locomotives, les types les plus répandus sont les moteurs américains Winton à deux temps, qui équipent la presque totalité des trains Diesel rapides des Etats-Unis (notamment le moteur à 12 cylindres en V de 216 mm x 254 mm, développant 1 000 ch à 750 tours/mn), et, en Europe, les moteurs à 4 temps Sulzer et M.A.N. (fig. 8) à 6 et 8 cylindres en ligne, développant 900 à 1 200 ch à 800 tours/mn.

et le couple transmis variant lui-même en sens inverse de la vitesse. Le rendement maximum de ces organes est de l'ordre de 85 %, et leur rendement moyen, un peu plus faible, est comparable à celui des transmissions électriques.

Les transmissions hydrauliques avaient reçu, immédiatement avant la guerre, d'assez nombreuses applications sur des autorails, et elles commencent à être utilisées sur des locomotives équipées avec des moteurs d'un millier de chevaux.

Les emplois des locomotives Diesel

Ainsi que nous l'avons vu, les locomotives Diesel se prêtent bien aux services de manœuvres. Leur développement dans ce domaine a été important en Amérique, où plusieurs milliers d'unités de 600 à 1 000 chevaux seraient en service. L'Angleterre, pays pourtant riche en charbon, utilise également de telles machines ; en France, la S.N.C.F. possède, outre de nombreux locomoteurs, quelques locomotives Diesel électriques de manœuvre de 500 à 600 chevaux.

Les locomotives Diesel de ligne se sont développées depuis une quinzaine d'années, notamment sur des réseaux n'exigeant pas des machines

très puissantes, et où l'absence ou la mauvaise qualité de l'eau rendent la traction à vapeur particulièrement onéreuse (Mandchourie, Thaïland, Congo, Tunisie, Madagascar, etc.).

Aux États-Unis, puis, plus récemment, en Amérique du Sud et en Europe, la locomotive Diesel est entrée en compétition avec la machine à vapeur pour la traction des trains reliant des centres éloignés. La locomotive Diesel y est surtout appréciée par son aptitude à réaliser de longs parcours sans ravitaillement et à assurer un service annuel important, grâce à la réduction extrême des immobilisations nécessitées par l'entretien. Sur le réseau américain du Burlington Railway par exemple, qui utilise une quinzaine de trains Diesel rapides, le parcours journalier moyen des locomotives en service serait actuellement de 1 200 km, et on cite le cas d'une des unités, qui a parcouru 2 millions de kilomètres en cinq ans et demi, soit 1 000 km par jour en moyenne.

En France, deux locomotives Diesel électri-

ques de 4 000 chevaux destinées à la traction des trains rapides sur la ligne Paris-Nice, ont été mises en service en 1937; l'une d'elles présente la particularité de comporter des moteurs Sulzer de 2 000 chevaux à deux lignes de 6 cylindres verticaux attaquant deux vilebrequins reliés par engrenages à l'arbre de la génératrice électrique (fig. 9). Ce même type de moteur équipe une locomotive en service depuis 1939 sur les chemins de fer roumains.

Alors que le rendement à la jante d'une locomotive Diesel est particulièrement élevé, puisqu'il atteint 25 % environ, même aux charges partielles (1), la puissance massique continue s'établit aux environs de 13 ch/t seulement,

et les machines dont la puissance dépasse 1 500 chevaux à la jante ne sont réalisables qu'en attelant ensemble plusieurs unités fonctionnant accouplées. Mais les progrès dans la construction des moteurs et des transmissions permettent d'escompter des allègements très substantiels dans les années à venir, qui porteront vraisemblablement la puissance massique à 18 chevaux par tonne au moins.

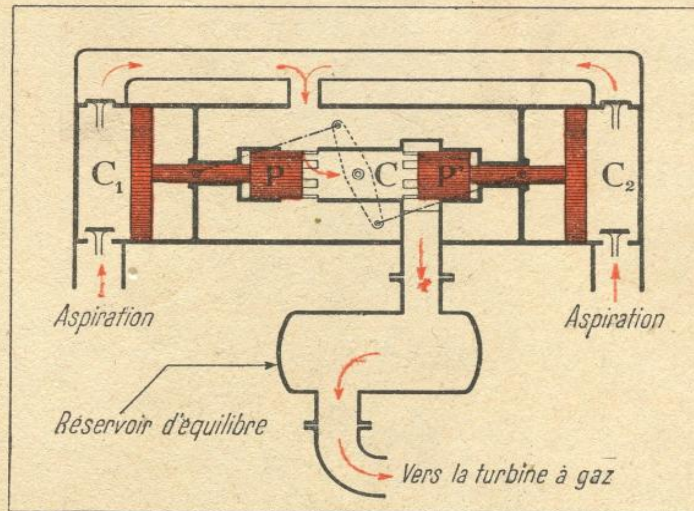


FIG. 11. — SCHÉMA D'UN GÉNÉRATEUR DE GAZ SYSTÈME PESCARA, A PISTONS LIBRES

Il comprend un cylindre central C, dans lequel se déplacent deux pistons opposés P et P', et à l'intérieur duquel la combustion des gaz est réalisée comme dans un moteur Diesel à deux temps. Ces pistons sont respectivement solidaires de deux autres pistons de plus grand diamètre, se déplaçant dans des cylindres coaxiaux C₁ et C₂ où ils compriment l'air servant au balayage. Un système de bielles et de balanciers relie les deux groupes de pistons, de façon à synchroniser leurs mouvements, mais sans transmettre d'efforts moteurs appréciables.

font l'objet de nombreuses études, en raison des perspectives séduisantes qu'elles semblent offrir. Bien qu'il ne puisse s'agir encore que d'engins d'expérience, qu'il serait tout à fait prématuré de mettre sur le même plan que les locomotives dont il a été question précédemment, examinons ce qui les caractérise.

La turbine et ses accessoires

Une turbine à gaz ne diffère pas essentiellement d'une turbine à vapeur; en particulier, sa faible aptitude aux variations continues de régime exigées par les services de traction nuit, comme nous l'avons vu, à son utilisation sur les locomotives. L'intérêt de la turbine à gaz réside essentiellement dans les conditions d'ob-

(1) Il dépasse ainsi de plusieurs points le rendement global de la traction électrique, dans l'hypothèse où l'énergie provient de centrales thermiques.

La locomotive à turbine à gaz

Les locomotives à turbines à gaz suscitent actuellement un vif intérêt et

tention des gaz chauds sous pression qui l'alimentent.

La turbine à gaz, dont les applications se limitaient à peu près exclusivement, jusqu'à présent, aux groupes de suralimentation des moteurs à combustion, constitue l'organe moteur principal d'une nouvelle locomotive de 1 400 chevaux, conçue et réalisée par la Société suisse Brown-Boveri (fig. 10).

Dans la locomotive Brown-Boveri (1), un compresseur comprime de l'air à une pression voisine de 4 hectopièzes, et cet air traverse, avant de pénétrer dans la turbine, une chambre de combustion, où on brûle la quantité de combustible liquide nécessaire pour porter le mélange gazeux à la température convenable, soit 500 à 600° C au maximum. La turbine à gaz alimentée dans ces conditions tourne à une vitesse peu variable, et entraîne, d'une part, le compresseur d'air dont il vient d'être question, et, d'autre part, une génératrice électrique qui alimente les moteurs de traction actionnant les essieux de la locomotive. La nécessité de ne pas dépasser une température de 600° C dans la turbine pour assurer une bonne conservation des ailettes, oblige à introduire dans la chambre de combustion une quantité d'air très supérieure à celle qui serait strictement nécessaire pour assurer la combustion du mazout. Dans ces conditions, malgré le bon rendement du compresseur axial utilisé, la puissance absorbée par cet organe est relativement élevée : sur la locomotive en question, il a fallu, pour disposer de 1 400 chevaux à la jante de la locomotive, installer une turbine de près de 10 000 ch, l'excès de puissance de celle-ci étant absorbé en grande partie par le compresseur.

Une telle locomotive présente l'avantage de comporter un mécanisme relativement simple, sans organes à mouvements alternatifs, consom-

mant très peu de matières de graissage, en raison de la réduction des organes frottants, et ne nécessitant pas d'eau; l'entretien devrait donc en être particulièrement réduit.

Le rendement global de l'installation motrice, défini par le rapport de la puissance absorbée par la génératrice à l'équivalent mécanique de

la chaleur produite par la combustion du mazout, est de l'ordre de 16 à 18 %. La puissance massique globale de la locomotive à turbine à gaz ressort ainsi à 15,6 ch/t, chiffre un peu supérieur, par conséquent, à celui d'une locomotive Diesel à transmission électrique.

L'emploi d'une transmission électrique entre la turbine et les essieux permet de faire fonctionner la turbine à la vitesse correspondant au rendement optimum, et de résoudre sans difficulté le problème du démarrage des trains, mais la transmission électrique, quoique d'un fonctionnement très éprouvé, constitue une complication, et entraîne, avec une petite chute de rendement, un supplément appréciable de poids et de prix.

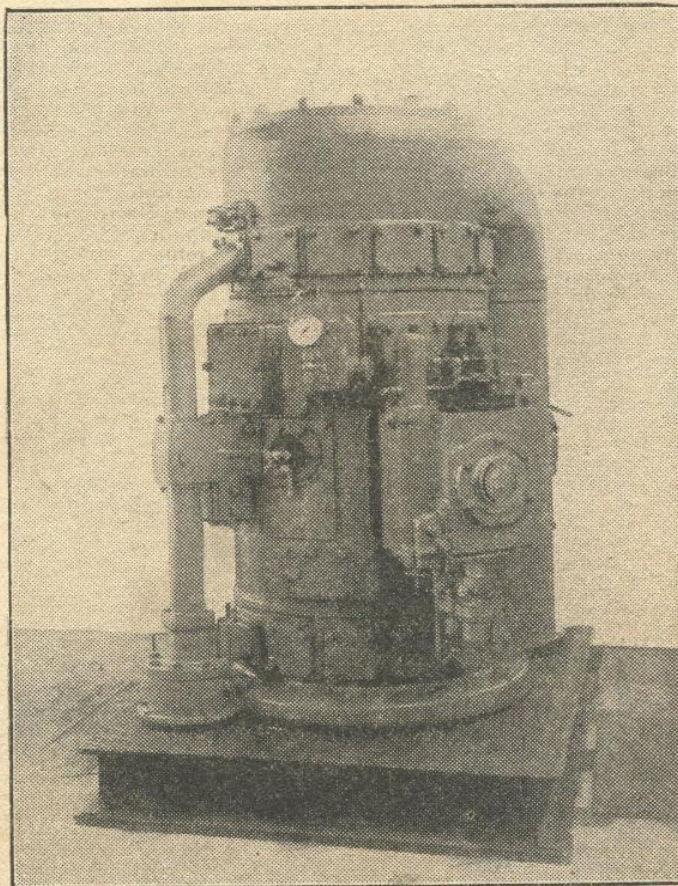


FIG. 12.— GÉNÉRATEUR PESCARA DE 450 CHEVAUX, POUR LOCOMOTIVE T W 40029

Des projets de locomotives à gaz actuellement à l'étude prévoient donc l'utilisation de turbines à vitesse variable, reliées mécaniquement aux essieux par des réducteurs à engrenages. Les gaz chauds sortant de la chambre de combustion alimentent alors, d'une part, des turbines de traction, à vitesse variable, reliées aux essieux et, d'autre part, des turbines à vitesse constante, actionnant le compresseur d'air.

Il est intéressant de noter, au surplus, que, dans les locomotives à turbines à gaz avec chambre de combustion, la possibilité d'utiliser du charbon pulvérisé comme combustible n'est pas exclue; des essais encourageants sont en cours.

La collaboration du moteur Diesel et de la turbine à gaz

Ainsi que nous venons de l'exposer, le rendement du groupe propulseur ne peut guère

(1) Voir : « Voici la première locomotive à turbine à gaz » (*Science et Vie*, n° 298, juin 1942).

dépasser 18 %; bien qu'il dépasse le rendement d'une locomotive à vapeur classique, il reste encore très inférieur à celui du moteur Diesel. Pour l'accroître, il faudrait pouvoir augmenter sensiblement la température des gaz dans la turbine, de façon à accroître le rendement propre de cette dernière, et à réduire, d'autre part, l'excès d'air, donc la puissance absorbée par le compresseur. Des améliorations dans ce domaine, essentiellement liées aux progrès de la métallurgie, restent possibles.

Mais on peut également réaliser un gain de rendement substantiel en ayant recours, pour la production des gaz chauds qui alimentent la turbine, aux gaz d'échappement d'un moteur spécial à combustion interne : imaginons un moteur Diesel à deux temps entraînant exclusivement son compresseur d'air de balayage, et dont le collecteur d'échappement est relié, par l'intermédiaire d'un réservoir d'équilibre, à la turbine à gaz, et supposons que la distribution du moteur soit établie de telle façon qu'au moment de l'achèvement de la détente des gaz brûlés dans le cylindre, le compresseur envoie dans celui-ci de l'air de balayage en quantité suffisante pour porter le mélange recueilli dans le réservoir intermédiaire à une température et à une pression convenant à l'alimentation de la turbine : cette dernière va entrer en fonctionnement dans les mêmes conditions que lorsqu'elle est alimentée par une chambre de combustion. Le rendement d'un tel groupe moteur Diesel-compresseur serait déjà favorable pour les deux raisons ci-après :

— L'énergie employée pour comprimer l'air est produite dans un moteur Diesel, qui, utilisant des gaz à une température très supérieure à 600° (la température dans le cylindre au moment de la combustion est de l'ordre de 1 700°), fonctionne avec un rendement élevé.

— Les gaz qui travaillent dans le moteur Diesel se refroidissent en produisant un travail utile, de sorte qu'il n'est pas nécessaire, pour les amener à la température requise par la turbine, de les diluer dans un excès d'air aussi grand que dans la première solution.

Mais, pour améliorer davantage le rendement du groupe producteur de gaz chauds comprimés, on a imaginé d'atteler directement les pistons du moteur Diesel à ceux du compresseur, sans passer par l'intermédiaire d'un arbre en rotation : le générateur de gaz à pistons libres système Pescara est ainsi constitué (fig. 11). La figure 12 représente un tel générateur, capable d'alimenter une turbine de 450 chevaux.

Le rendement d'une installation de turbine à gaz alimentée par des générateurs à pistons libres, défini par le rapport de l'énergie mécanique recueillie sur l'arbre de la turbine à l'équivalent mécanique de la chaleur fournie par le combustible, est de l'ordre de 35 % à pleine charge, donc comparable à celui d'un moteur Diesel.

Une locomotive à turbines à gaz et générateurs Pescara a été conçue par la Société Alsthom. Cette machine, du type I-BB-1, comporterait deux turbines à gaz de 1 350 chevaux, alimentées chacune par trois générateurs Pescara, et attaquant respectivement deux essieux

moteurs chargés à 18,5 tonnes; pesant 96 tonnes avec ses soutes à combustibles à moitié pleines, elle offrirait une puissance massique à la jante de 26 ch/t, voisine, par conséquent, de celle des locomotives électriques récentes.

L'avenir de la locomotive

De cette rapide confrontation des caractéristiques des divers types de locomotives, il apparaît que, si la locomotive à vapeur classique n'a pas encore trouvé de concurrente offrant un ensemble de qualités suffisant pour entrer en compétition avec elle dans tous les services que requiert l'exploitation d'un réseau ferré, son domaine d'utilisation subit néanmoins des amputations sensibles.

La traction électrique s'est étendue aux services de banlieue, et, sur les lignes importantes, ses remarquables possibilités techniques sont mises à profit lorsque l'intensité du trafic permet la rémunération des capitaux qu'il faut investir dans ses installations fixes.

Sur les longs trajets directs, où les qualités d'autonomie du matériel moteur prennent toute leur valeur, et dans tous les cas où la puissance requise offre un caractère intermittent (lignes secondaires, manœuvres de gares), les engins avec moteurs à combustion empiètent à leur tour sur le domaine de la locomotive à vapeur.

Pour les très nombreux services qui nécessitent des machines puissantes, sans justifier le recours à la traction électrique, la locomotive à vapeur classique conserve encore actuellement des avantages certains, grâce à sa simplicité relative et à sa remarquable souplesse, fruit d'une judicieuse adaptation de ses organes essentiels aux besoins très particuliers de la traction sur les voies ferrées. Relevant toutefois d'une conception centenaire, la locomotive à vapeur classique devient de plus en plus difficilement perfectible.

Autonomes comme elle, mais rattachées à des techniques plus récentes, qui n'ont d'ailleurs pas pris naissance dans les chemins de fer et nécessitent de ce fait une adaptation, les locomotives à vapeur de types spéciaux, les locomotives Diesel et les locomotives à turbines à gaz sont bien loin d'avoir atteint leur forme définitive. En particulier, le moteur de traction à combustion interne, dont les applications sont déjà nombreuses, bénéficiera sans aucun doute des progrès réalisés dans d'autres domaines, tels que l'aviation; il n'est pas exclu, d'autre part, que de nouveaux systèmes de transmissions électriques permettent, dans un avenir prochain, de réaliser, avec des poids et encombrements particulièrement réduits, le difficile problème de la liaison, avec les essieux, des moteurs thermiques rapides à vitesse peu variable.

Mais, pour détrôner la locomotive à vapeur classique, tous ces matériels nouveaux, encore en pleine évolution, devront atteindre cette harmonie de structure qui caractérise une machine arrivée à son stade définitif, et, au surplus, pouvoir bénéficier de la construction en série, qui, seule, permet de réaliser économiquement les mécanismes précis des machines modernes.

Ch. TOURNEUR.

L'INDUSTRIE FRANÇAISE DES TEXTILES ARTIFICIELS PEUT-ELLE TROUVER SUR NOTRE SOL TOUTE LA CELLULOSE DONT ELLE A BESOIN ?

par Jean FRANCIS

Les fibres des produits végétaux renferment comme constituant principal la cellulose qu'on utilisait autrefois sous ses formes naturelles (bois pour la construction et le chauffage, fibres de coton, de lin ou de chanvre pour la fabrication des textiles, pailles de litière), ou en feutrage plus ou moins épais (papier et carton). Aujourd'hui, la cellulose est, en plus de tous ces usages, la matière première d'une importante industrie chimique : industrie des vernis et matières plastiques, des textiles artificiels, des explosifs, etc., et la demande de ce produit s'est accrue considérablement. Notre pays aurait donc intérêt à produire la plus grande part de la cellulose qu'il emploie et à augmenter par tous les moyens ses ressources actuelles. La forêt française devant être ménagée, c'est à des plantes à croissance rapide que nous devons nous adresser pour développer notre producton de cellulose. Certaines cultures, qui promettent de donner des résultats remarquables commencent à être pratiquées dans le Midi de la France et satisferont une partie appréciable de la consommation sans cesse accrue de notre industrie des textiles artificiels.

LES fibres textiles naturelles (coton, laine, soie, pour se limiter à celles proprement vestimentaires) n'abondent que dans certaines contrées nettement délimitées du globe, desquelles notre continent se trouve presque complètement exclu. Pour s'affranchir des importations de ces pays, certaines nations européennes ont développé considérablement sur leur territoire la fabrication de textiles artificiels, utilisant une matière première largement répandue dans la nature, le bois. Dans les pays démocratiques, la rayonne et la fibranne ont également pris une large extension, quoique pour des motifs moins impérieux (1). Aussi la pâte de bois, qui servait auparavant presque exclusivement à l'industrie papetière, a-t-elle trouvé dans tous les pays un nouvel et important débouché. Mais tandis que les nations autarciques adaptaient leur industrie aux seules sources de cellulose disponibles sur leur territoire, la pâte de sapin et les déchets de coton ou linters conservaient la préférence dans d'autres pays même dépourvus de ces matières premières sur leur sol national, en raison de leur qualité supérieure et de leur plus grande facilité d'utilisation. La France en particulier utilisait principalement des pâtes de bois scandinaves et c'est parce qu'elle ne peut plus les importer à volonté qu'il importe que nous trouvions sur notre territoire des sources de cellulose qui nous permettent de donner à la rayonne et à la fibranne le caractère autarcique qu'elles possèdent dans la plupart des autres pays.

Cellulose et fibres cellulosiques

La cellulose, qui constitue le squelette de la cellule végétale jeune, se présente en général

(1) Voir : « L'industrie textile de demain » (*Science et Vie* n° 313, septembre 1943).

sous forme fibreuse : sa structure chimique, qui est celle d'une macromolécule à chaîne droite (fig. 3), permet aux micelles (1), amas de chaînes rectilignes unies entre elles par des valences secondaires, de s'assembler en fibres, elles-mêmes constituées par des faisceaux parallèles de micelles. On distingue trois formes de cellulose que l'on désigne par les lettres α , β et γ . La pureté d'un produit cellulosique s'exprime par sa teneur en α -cellulose.

Dans certains cas, les fibres de cellulose ont une longueur, une pureté et des propriétés mécaniques telles qu'on peut les utiliser directement en filature. Tel est notamment le cas de celles que fournissent le cotonnier, le lin, le chanvre, le jute. Mais le plus souvent on a affaire à des plantes donnant des fibres courtes, peu résistantes, et difficiles à séparer des matières qui les enrobent (2). Parmi ces végétaux ceux qui donnent industriellement la cellulose la plus pure et avec le meilleur rendement sont incontestablement certains sapins comme

(1) Les micelles sont des agrégats de grosses molécules organiques colloïdales.

(2) Ce dernier inconvénient se présente notamment pour la ramie, sorte d'ortie qui pousse abondamment en Extrême-Orient. Le dégommeage de la ramie fait chaque année l'objet de nombreuses recherches et les experts s'accordent à prédire que, s'il était réalisé industriellement et à un prix raisonnable, la ramie supplanterait le coton.

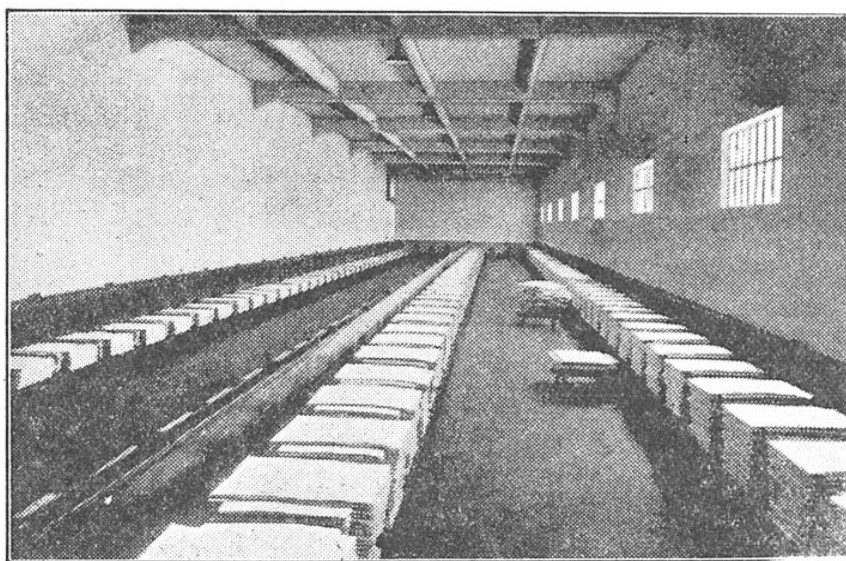
C'est un inconvénient d'un autre ordre qui s'oppose à l'utilisation de la fibre de genêt, qui nous serait d'un si grand secours dans les circonstances actuelles (voir *Science et Vie*, n° 281, p. 28). En effet, cette fibre est tellement dure qu'elle use rapidement les garnitures des cardes qui la travaillent, et les mêmes circonstances qui nous poussent à utiliser le genêt font hésiter les filateurs à mettre hors d'état un matériel devenu pratiquement irremplaçable.

l'épinette du Canada, et l'épicéa. Les pays nordiques (Scandinavie, Canada) en possèdent d'abondantes forêts dont ils exportent les produits sous forme simple de pulpe de bois ou de cellulose purifiée, qui trouvent leur principale utilisation dans la fabrication du papier. Mais un autre débouché s'offre à elles, dont l'importance va sans cesse croissant : la fabrication des fibres cellulose artificielles (1).

Rayonne et pâte de cellulose

Depuis l'invention de Chardonnet, trois autres procédés ont été utilisés industriellement pour obtenir artificiellement des fibres cellulose (tableau 1). La méthode au xanthate dont le produit se nomme *viscose* est aujourd'hui de loin la plus répandue. Quelques rares firmes utilisent également le procédé à l'acétate qui donne un produit techniquement supérieur mais nécessite une matière première d'une haute pureté que seuls fournissent les *linters* (fibres courtes de coton qui n'ont pas été séparées par égrenage). Le procédé à la nitro-cellulose est pratiquement abandonné à l'heure actuelle et le procédé au cuivre, s'il permet

(1) Voir : « Synthèse chimique et industries textiles » (*Science et Vie*, n° 217, juillet 1935).



T W 40032

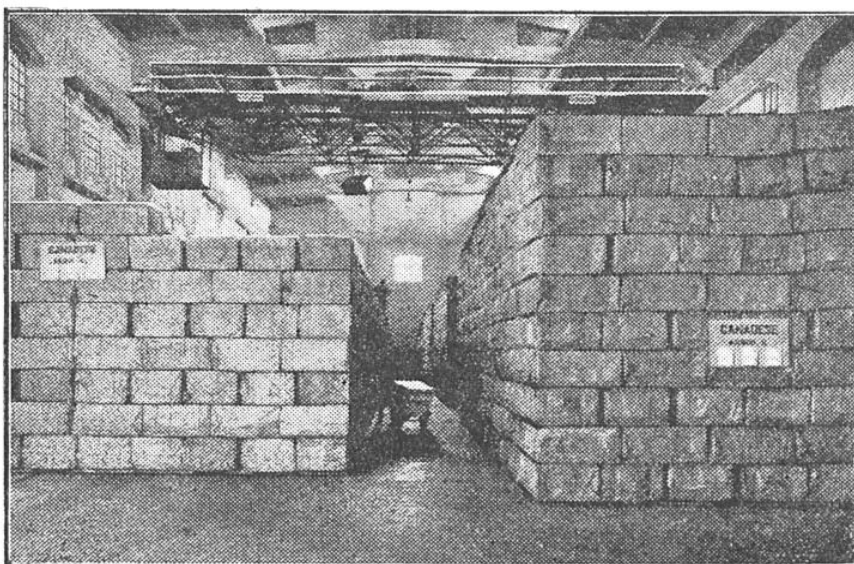
FIG. 2. — MÉLANGE DE DIFFÉRENTS LOTS DE FEUILLES DE CELLULOSE A L'USINE DE VENARIA REALE

d'obtenir des finesses incomparables, n'est pas appliqué de façon très massive en raison surtout d'un coût élevé. En France, sur 25 usines de rayonne, 23 font de la viscose et peuvent donc utiliser comme matière première la pulpe de bois.

Bien que née de la pâte à papier dite pâte chimique, la pâte de cellulose pour rayonne a des exigences différentes au point de vue de la qualité des matières premières employées : plus que les propriétés physiques, ce sont ici les propriétés colloïdo-chimiques de la fibre qui sont importantes. C'est ainsi que la fibre de

hêtre, trop courte pour réaliser le feutrage qu'exige le papier, peut fournir une bonne pâte pour rayonne.

Le principal élément de qualité d'une pâte est sa teneur en α -cellulose (seule résistante aux agents chimiques employés dans la fabrication de la rayonne). Tandis que les pâtes à papier en contiennent environ 75 %, les pâtes pour rayonne doivent en contenir 90 % pour la viscose, 98 % pour la rayonne à l'acétate. Ce dernier chiffre, qu'on n'obtenait jusqu'à présent qu'avec les *linters*, aurait été récemment atteint à l'étranger à partir de pâte de bois, grâce à un processus d'enrichissement non encore entré dans la



T W 40032

FIG. 1. — STOCK DE CELLULOSE CANADIENNE (AVANT LA GUERRE) A L'USINE DE RAYONNE DE VENARIA REALE (ITALIE)

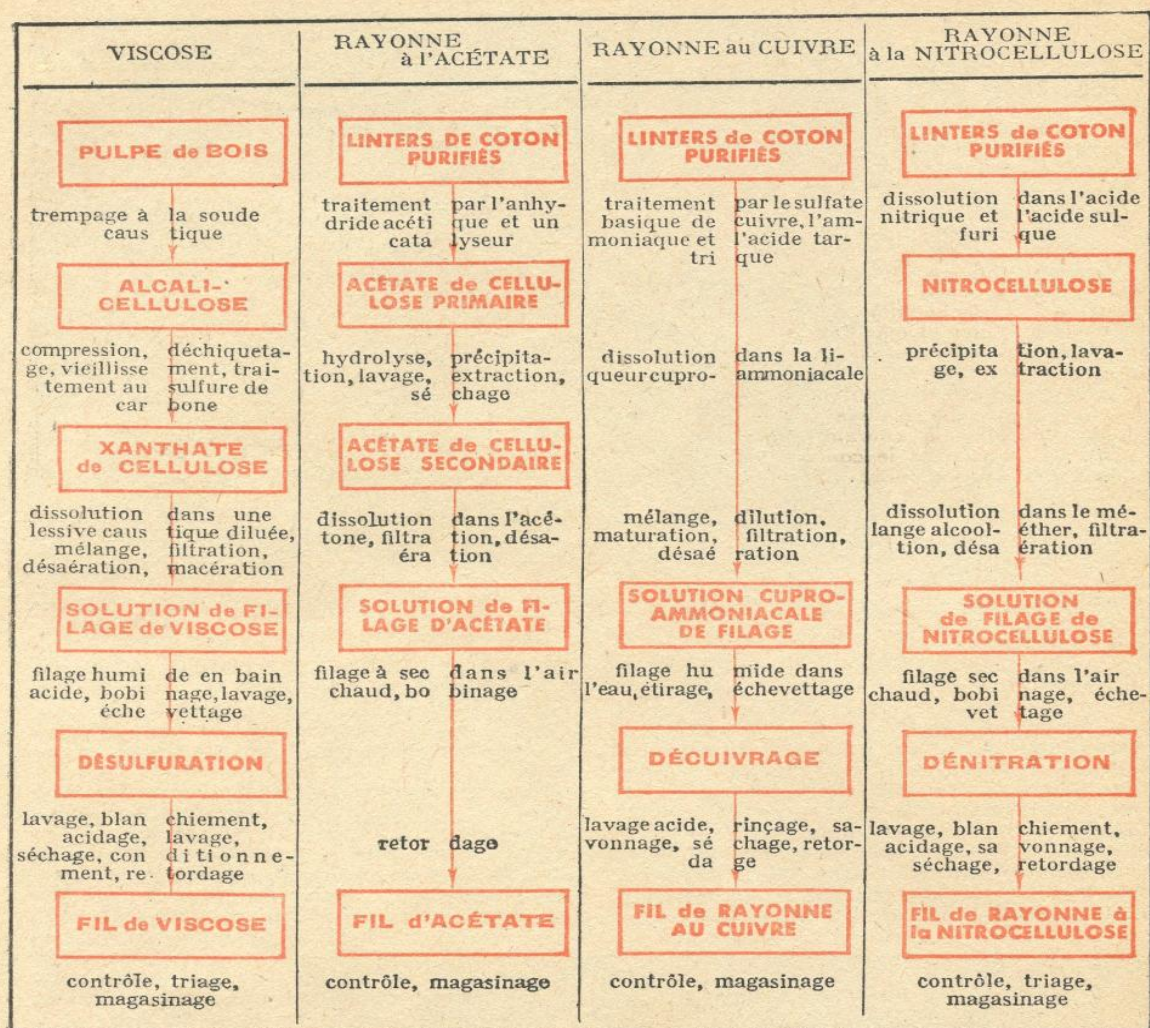


TABLEAU I. — TABLEAU COMPARATIF DES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE FABRICATION DE LA RAYONNE

En gros, il s'agit dans chaque cas : 1) de préparer un dérivé cellulosique soluble (xanthate, acétate, nitrate), sauf dans le procédé au cuivre, où la cellulose est dissoute telle quelle; 2) de dissoudre la cellulose ou son dérivé dans un réactif approprié de manière à obtenir une solution de filage; 3) de précipiter la cellulose ou son dérivé de sa solution sous forme d'un fil; 4) de débarrasser ce fil des réactifs par lesquels on l'avait traité pour nitrer, sulfurer, cuivrer la cellulose, de manière à réobtenir celle-ci à l'état pur (sauf dans le cas du procédé à l'acétate, où le fil reste de l'acétate de cellulose et non de la cellulose). Les quatre procédés permettent de transformer en fil continu des fibres de cellulose inaptes à être utilisées directement en filature. Le dernier ne présente plus aujourd'hui qu'un intérêt historique. Le second donne un produit de qualité supérieure, mais exige des matières premières de choix. C'est le premier qui est de loin le plus répandu aujourd'hui, car il s'accommode de matières premières beaucoup moins pures.

pratique courante. Ce sont en général des pâtes à 88-90 % d' α -cellulose que l'on cherche à obtenir, le restant étant surtout constitué par des hémicelluloses ou celluloses dégradées qui seront éliminées comme déchets au cours de la fabrication de la rayonne. La condensation moléculaire de l' α -cellulose, mesurée par la viscosité de la solution cupro-ammoniacale, doit être suffisamment élevée. La lignine doit être totalement éliminée, et la teneur en résines et en cendres doit être très faible. Enfin, la pâte pour rayonne doit se présenter sous forme de feuilles homogènes de 0,25 à 0,50 m².

Les bois à cellulose

Les essences les plus aptes à fournir la matière première de la pâte pour rayonne sont, on l'a vu, le sapin et l'épicéa. Les forêts de Scandinavie et du Canada alimentent dans ces pays une industrie et un commerce prospères d'exportation de la cellulose. Les nations ne disposant pas de ces bois sur leur territoire et ne pouvant ou ne voulant en importer suffisamment de ces pays ont cependant mis au point l'utilisation d'autres essences, notamment le hêtre, le pin et le châtaignier.

La pâte de hêtre est depuis peu fabriquée industriellement en Allemagne et en Roumanie, celle de pin aux Etats-Unis et celle de châtaignier en France. Une des plus grandes difficultés à surmonter, pour le pin surtout, est l'élimination des quantités importantes de résines que renferment certains bois : on remplace alors le procédé au bisulfite par un traitement à la soude caustique, au carbonate et au sulfure de sodium.

La France étant à peu près dépourvue de sapins doit surtout se tourner vers l'exploitation du pin et du châtaignier. Déjà l'exploitation de ces essences se développe considérablement dans notre pays à mesure des perfectionnements techniques réalisés : le châtaignier est déjà couramment utilisé et il doit, avec le concours du pin des landes, nous libérer dans une large mesure des importations étrangères.

Il ne faut cependant pas nous cacher, ni que la forêt française ne saurait se comparer en importance avec celle des pays scandinaves, que son renouvellement est assez lent pour nous inciter à y puiser modérément, ni qu'elle est déjà sérieusement attaquée pour de nombreux besoins et le sera encore davantage lors de la période de reconstruction qui fera suite à la guerre. Aussi les plantes annuelles offrent-elles une solution intéressante au problème qui nous occupe.

La cellulose des plantes annuelles

Dès le début de ce siècle on avait songé, en France, à utiliser la cellulose de plantes sinon

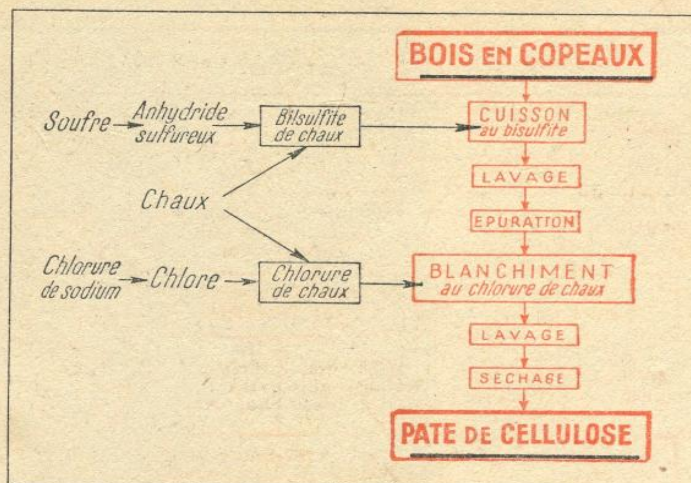


FIG. 4. — SCHÉMA DE LA FABRICATION DE LA PÂTE DE CELLULOSE

BOIS BRUT		PÂTE POUR RAYONNE	
.....	52 %		88 %
.....	29 %		0 %
Pentosanes et hexosanes	14 %	Hémi-cellulose (environ)	10 %
Graisses et résines	3 %	Résines (au plus)	0,6 %
Cendres		Cendres (au plus)	0,15 %

TABLEAU II. — COMPOSITION COMPARÉE DU BOIS ET DE LA PÂTE DE CELLULOSE POUR RAYONNE (EN % DE LA MATIÈRE SÈCHE)

L'enrichissement en cellulose est corrélatif à l'élimination de la lignine par le traitement au bisulfite de chaux (tableau I). L'épuration est beaucoup plus poussée que pour la fabrication de la pâte à papier.

annuelles, du moins à croissance très rapide. Diverses études furent résumées, en 1913, par Henry Montesus de Ballore dans un livre intitulé « La fabrication des celluloses de papiers autres que celle du bois ». Rien ne fut cependant tenté dans le domaine pratique, si l'on excepte l'utilisation de l'alfa. Cette dernière plante est traitée en France par l'usine de La Traille, mais ne fait l'objet d'aucune industrie en Afrique du Nord où elle pousse : il faudrait en effet, pour la traiter, une quantité d'eau qu'il n'est pas possible, pour le moment du moins, de trouver sur les hauts plateaux algériens. Il n'y a

d'ailleurs pas intérêt à traiter l'alfa sur place, car d'une part, on ne réaliserait sur le transport de la pâte d'alfa qu'une économie minime (elle perd ses qualités si elle n'est pas transportée avec 37 à 40 % d'eau) et, d'autre part, on ne trouve en Afrique du Nord ni le charbon ni les produits chimiques nécessaires à l'industrie cellulosique. Il serait donc préférable de traiter l'alfa en France de manière à en obtenir de la pâte à papier ou mieux

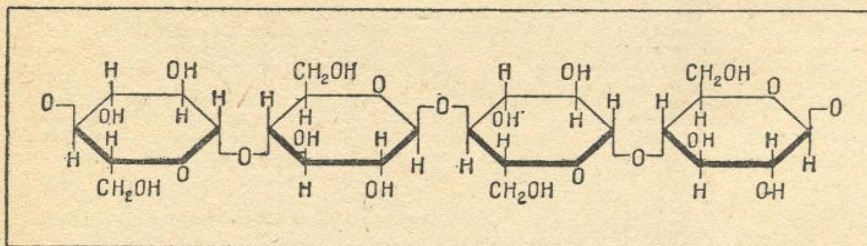


FIG. 3. — FRAGMENT D'UNE CHAÎNE CELLULOSIQUE

Chaque maillon de cette chaîne correspond à une molécule de glucose déshydratée ($C_6H_{10}O_5$, moins H_2O égale $C_6H_{12}O_6$). Comme dans toutes les macromolécules, le nombre de maillons de la chaîne est variable, aussi exprime-t-on par $(C_6H_{10}O_5)_n$ la formule de la molécule totale. Dans la fibre de ramie, n est voisin de 120, et les chaînes s'assemblent par faisceaux de 40 à 60 pour former les micelles, éléments des fibres. Dans un fil de rayon continu de 1 millimètre carré de section, il y a 4 000 milliards de chaînes parallèles. Ces nombres ont été déterminés par l'étude aux rayons X (voir : « L'analyse par rayons X » (Science et Vie, no 239, mai 1937).

de la pâte pour rayonne, en admettant que cette dernière fabrication soit techniquement mise au point. Mais, étant donné que nous ne devons après la guerre négliger aucun moyen de développer nos exportations afin d'assurer l'équilibre de notre balance commerciale, on est en droit de se demander s'il sera opportun de renoncer à exporter l'alfa qui, de tous temps, constituait le fret de retour des bateaux charbonniers venant d'Angleterre. Si nous

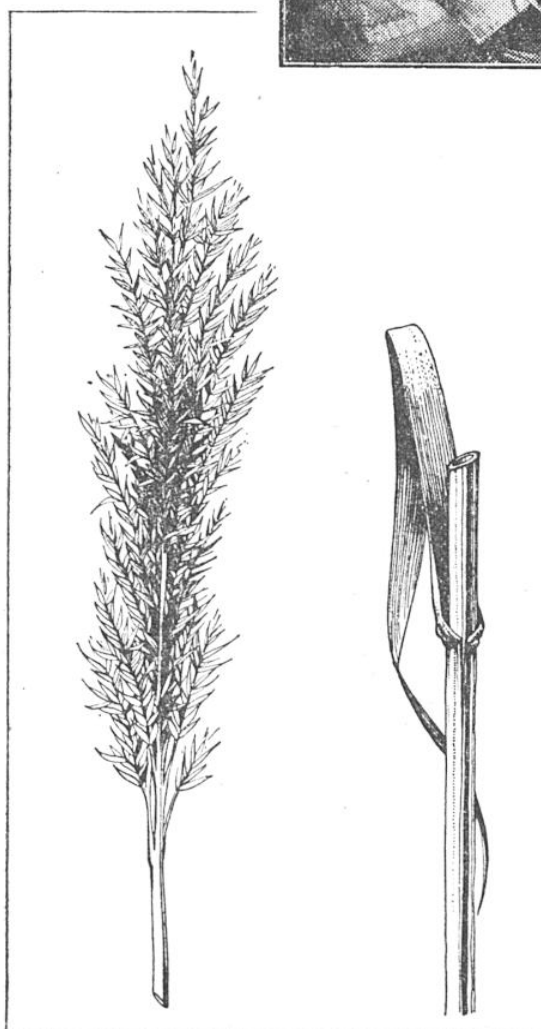
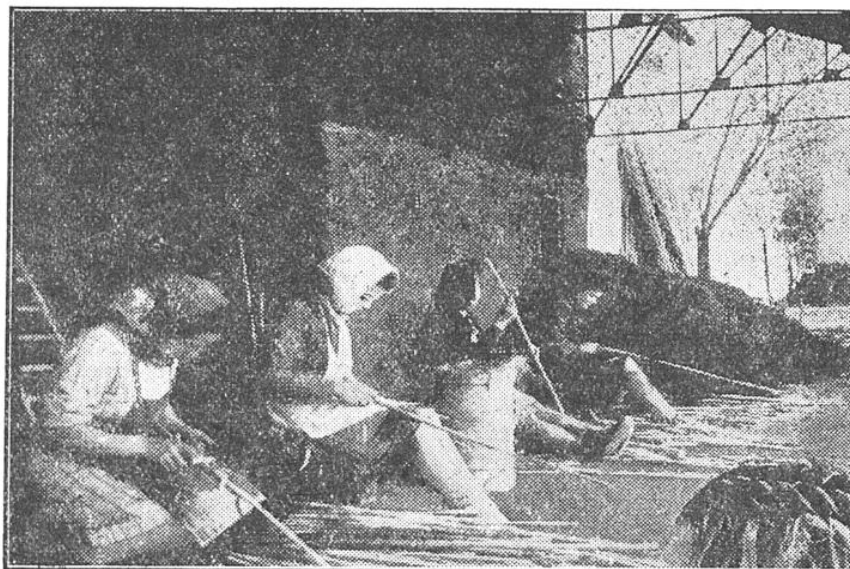


FIG. 5. — INFLORESCENCE TERMINALE ET TIGE DE L'ARUNDO DONAX



T W 40034

FIG. 6. — LA PRÉPARATION DES BOUTURES DE LA CANNE DE PROVENCE (ARUNDO DONAX)

L'exploitation de la Canne de Provence, qui fournit en Italie, sous le nom de bambou italien, d'importantes quantités de cellulose, est d'ores et déjà entrée en France dans le domaine pratique. On voit ici un atelier de préparation des boutures de canne.

voulons conserver cette source de revenus sur le marché international, ce sera plutôt à la végétation métropolitaine qu'il faudra demander la cellulose dont nous avons besoin.

L'utilisation des pailles de céréales, que d'aucuns voudraient développer en France, n'est pas une chose nouvelle, puisque deux usines, aujourd'hui abandonnées, ont jadis fonctionné à Bourges et à Venette : leur échec n'est pas concluant car des exploitations semblables fonctionnent normalement en Hollande. Outre les papiers d'emballage que chacun connaît, les pailles sont susceptibles de donner une très belle pâte pour papier mi-fin si l'on sait utiliser judicieusement la propension de la cellulose de paille à se transformer en oxycellulose. Enfin, et c'est là le point le plus intéressant, des brevets ont été pris pour l'utilisation de la pâte de paille dans la fabrication de la viscose et l'on aurait atteint un taux d' cellulose de 89 %. Mais ici encore le problème se complique du fait que cette utilisation de la paille n'est pas forcément la meilleure qu'on en puisse faire : la pénurie actuelle de fourrage pour les animaux et d'engrais est là pour nous rappeler que la paille est une matière précieuse en agriculture et en élevage, et que l'on ne saurait sans danger en détourner des contingents importants de leur destination habituelle.

Nous sommes donc amenés en fin de compte à nous tourner vers des végétaux dont la cellulose soit à coup sûr le produit le plus intéressant qu'on puisse tirer. Ce seront des plantes inaptes à donner des produits de plus grande valeur et par conséquent nous ne les trouverons, pour le moment du moins, qu'à l'état sauvage.

La Canne de Provence, plante à cellulose

La Canne de Provence (*arundo donax*) offre une solution séduisante au problème envisagé sous cet angle. Cette plante est, en effet, abondamment répandue dans le Midi de la France, où l'on pourrait en disposer de 50 à 60 000 tonnes à l'heure actuelle. Grâce à quelques soins, cette quantité pourrait aisément être doublée chaque année de par la nature même de la plante, qui, par son développement souterrain, se double ou même se triple tous les ans, à condition que l'on récolte annuellement la canne qui a poussé. Des terrains inaptes à toute autre culture pourraient être utilisés. La Société Française de la cellulose se préoccupe d'organiser la mise en culture de cannes de 4 000 à 5 000 hectares de terrains actuellement en friches. Etant donné qu'au bout de la troisième année d'exploitation chaque hectare planté industriellement peut donner environ 200 tonnes de cannes, ce programme assure un rendement de 2 à 300 000 tonnes de cellulose, qui correspond à environ un tiers des nécessités normales du pays. En Italie, l'*arundo donax* est couramment utilisé par les usines de rayonne de la « Snia Viscosa », et porte à présent le nom de « bambou italien ».

Si l'exploitation de la Canne de Provence peut assez rapidement prendre de l'importance, elle ne saurait cependant couvrir tous nos besoins

pour l'avenir immédiat. On pourrait recourir, comme matière d'appoint, aux innombrables roseaux phragmites qui peuplent les étangs et marais du Midi de la France, de Vendée, de Sologne, de Savoie, etc... On peut évaluer la quantité de roseaux dont dispose notre pays à environ 100 000 à 200 000 tonnes. La question, délicate dans les circonstances actuelles, du ramassage de cette matière première jusqu'ici négligée, étant supposée résolue, la France disposerait d'une abondante et peu coûteuse source de cellulose utilisable sinon comme pâte à rayonne, du moins comme pâte à papier.

Les ressources françaises en cellulose sont donc loin d'être négligeables, et leur utilisation est limitée par les difficultés inhérentes aux circonstances actuelles plus que par une pénurie de matières premières. Lorsque les conditions normales seront revenues, il s'agira donc essentiellement de résoudre judicieusement le problème de la répartition des plantes à cellulose entre la fabrication de la pâte à papier et celle de la pâte pour rayonne. On utilisera pour le papier les fibres représentant les meilleures caractéristiques physiques (surtout de longueur) et chimiquement les moins pures; pour la rayonne on choisira d'abord les fibres courtes, mais chimiquement les plus pures que fournissent, on l'a vu, certaines essences de bois. On s'adressera ensuite aux plantes annuelles dont la technique d'utilisation sera mise au point.

Jean FRANCIS.

Quel est à l'heure présente le bilan de notre flotte commerciale? Au moment de la déclaration de guerre, nous disposions de 3 millions de tonnes environ. Le tonnage définitivement perdu par suite des événements de guerre ou de mer depuis septembre 1939 n'est plus connu avec exactitude; en avril 1943, il était voisin de 500 000 tonnes. Les navires saisis ou réquisitionnés par les belligérants anglo-américains, tant en mer que dans les pays qu'ils ont occupés, représentent 1 523 000 tonnes environ; 212 986 tonnes ont été bloquées dans les pays qui n'étaient pas belligérants au début de la guerre. Le Japon a réquisitionné 87 754 tonnes. L'Allemagne dispose en outre d'un important tonnage de navires de prise et de navires réquisitionnés ou affrétés. Tout compte fait, il ne nous reste guère que 50 000 tonnes de vieux cargos en Méditerranée et 15 500 tonnes de petits navires en Indochine. Tels sont les chiffres qu'a indiqués M. Gardanez à la séance du 7 juillet 1943 du Comité de la France d'Outre-Mer. Pratiquement notre pays n'a plus aucun navire sous son contrôle. La reconstitution de la flotte marchande française va donc constituer une tâche des plus lourdes et des plus urgentes dès la fin du conflit. Elle va poser une série de graves problèmes techniques et financiers. Le chiffre d'avant-guerre, 3 millions de tonnes, ne doit constituer cependant qu'un minimum, qui ne placerait la France qu'au huitième rang des puissances mondiales. Il était déjà notablement insuffisant, puisque notre flotte assurait à peine 32 % de nos importations par mer; nos pétroliers ne nous apportaient que 35 % des produits qui nous étaient nécessaires, nos charbonniers 43 %. La capacité de production de nos chantiers navals, trop faible avant la guerre, ne pourra être augmentée que par une amélioration très sensible de leur outillage, le regroupement et surtout la création progressive d'une main-d'œuvre spécialisée et familiarisée avec les procédés les plus modernes, et enfin l'adoption de certaines méthodes nouvelles mises en œuvre avec succès dans les chantiers de l'étranger. La reconstitution de notre flotte de commerce est un problème d'une telle envergure qu'il ne pourra être résolu sans un véritable acte de foi national (1).

(1) Journal de la Marine Marchande du 14 octobre 1943.

LES ÊTRES VIVANTS, RÉACTIFS ULTRASENSIBLES POUR LES MICROANALYSES CHIMIQUES

par Pierre DEVAUX

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

A côté des substances plastiques qui représentent les matériaux avec lesquels les organismes vivants font la synthèse de leurs tissus, et des substances énergétiques qu'ils brûlent pour produire du travail et de la chaleur, les êtres vivants font appel à des corps d'une extrême diversité et qui, bien que présents en quantités toujours très faibles et parfois infinitésimales, n'en sont pas moins indispensables à la vie. Les plus connus ont reçu les noms d'hormones, de vitamines, d'oligoéléments divers (zinc, manganèse, etc...); ils commandent toutes les réactions d'assimilation et de désassimilation, dirigent la croissance de l'individu, interviennent dans la contraction des muscles, etc... Leur action est comparable à celle des catalyseurs des réactions chimiques, et comme eux ils sont sensibles à l'action de doses très faibles de substances inhibitrices, autrement dit de « poisons ». Les organismes vivants se sont ainsi révélés comme des détecteurs ultrasensibles. Ils sont les seuls « instruments » de mesure appropriés à l'étude de ces substances, dont les quantités mises en jeu dans ces phénomènes biologiques défient les balances les plus perfectionnées.

LE rôle des « infiniment petits » matériels dans les phénomènes de la vie est une des grandes découvertes actuelles de la biologie. Certes, l'école médicale homéopathique avait depuis longtemps proclamé l'efficacité — du reste « personnelle » et irrégulière — des « pondérations infimes »; mais l'impossibilité totale de chiffrer, voire d'identifier ces « dilutions » par trop... impondérables avait interdit à ces doctrines l'accès des laboratoires officiels. Et tel savant chevronné, sans nier les résultats de la médecine homéopathique, s'estimaient indulgent en la cantonnant sur le terrain de l'empirisme.

C'est par les voies hautement cartésiennes de l'expérimentation et de la mesure, que les « infiniment petits pondéraux » font aujourd'hui leur réapparition dans les disciplines biologiques. Il faut avouer que les balances les plus précises du chimiste et du physicien, les tests électro et photochimiques les plus délicats — peut-être le spectrographe lui-même — font grosse figure auprès de ces « détecteurs » d'une sensibilité invraisemblable : les êtres vivants.

Les « oligoéléments » (1), catalyseurs de la vie

Dans le corps humain, la proportion normale nécessaire à la vie, pour le nickel, le cobalt, l'aluminium, le titane, le bore, l'iode, l'arsenic, varie de 1/10 à 1/100 et même 1/1 000 de milligramme par kilogramme. Quand on recherche l'action du manganèse sur une moisissure noire, *Aspergillus niger*, il est impossible d'employer des récipients en verre, qui cèdent assez de manganèse pour fausser le résultat; en opérant dans

des appareils en platine ou en quartz fondu, on a pu démontrer que 1/100 000 000 de manganèse assure l'évolution normale de la moisissure et qu'une dose 100 fois plus faible manifeste encore sa présence par une augmentation sensible de récolte.

— « A l'ultime dilution d'une partie de manganèse dans 10 milliards de parties du milieu nutritif, c'est-à-dire de 1 g de métal dans 10 000 m³, le supplément de récolte par rapport à la levure sans manganèse (mesuré en matière sèche) atteint 21 millions de fois le poids du manganèse introduit. »

M. Gabriel Bertrand a donné à ces éléments actifs, véritables « gouverneurs » de la vie, le nom d'oligoéléments; dans cet état particulier, dont la science de demain éclaircira peut-être la vraie nature, ils s'opposent aux éléments simplement « plastiques » qui forment la matière de l'être vivant.

Le mode d'action de ces éléments oligarchiques les apparente nettement aux « catalyseurs », aujourd'hui classiques dans l'industrie chimique; ceux-ci semblent déclencher des réactions sans entrer eux-mêmes en combinaison; en réalité, outre des actions purement physiques d'adsorption superficielle et de condensation locale, ils interviennent bien souvent par deux combinaisons successives, dont la première les engage, tandis que la seconde leur restitue la liberté.

Le latex de l'arbre à laque, par exemple, renferme, à la manière d'une sauce mayonnaise, un liquide oléagineux divisé en microscopiques gouttelettes, au sein d'une solution émulsive. Le liquide oléagineux, le laccol, fixe l'oxygène de l'air et se solidifie en noirissant, sous forme de laque, mais seulement en présence d'une autre substance, la laccase; isolé, le laccol ne se transforme pas en laque.

On a reconnu que cette laccase est une

(1) Voir : « Les oligoéléments » (*Science et Vie*, n° 280, décembre 1940).

combinaison de manganèse, dans laquelle ce métal joue précisément le rôle de transporteur d'oxygène, qui est dévolu au fer dans l'hémoglobine de notre sang. Au fur et à mesure de ce transport et de la fixation de l'oxygène sur le laccol, la laccase se trouve remise en liberté.

Pratiquement, une quantité extrêmement petite de manganèse, présente sous forme de laccase, suffit à transformer en laque une quantité pour ainsi dire indéfinie de laccol. A la dilution de 1 g de métal pour 250 000 litres d'eau, la laccase peut encore produire dans un tube à essais, avec 10 cm³ de liquide, une oxydation appréciable par le changement de couleur de la substance oxydée. A cette dilution, la teneur en manganèse est beaucoup plus faible que dans

suffi que les souris assimilaient environ 0,2 mg du zinc contenu dans leurs aliments pour que leur survie expérimentale passât de deux ou trois semaines à plus de deux mois... Sans doute, il s'agit plutôt là d'une « détection » que d'un « dosage » proprement dit; mais il serait facile d'imaginer un principe de dosage chiffré, basé sur l'emploi des souris zincophages, en s'inspirant des méthodes que nous allons examiner maintenant.

Le dosage biologique des poisons : digitaline et arsénobenzol

Les éléments minéraux ne sont pas seuls à agir à très faible dose. La pharmacopée officielle

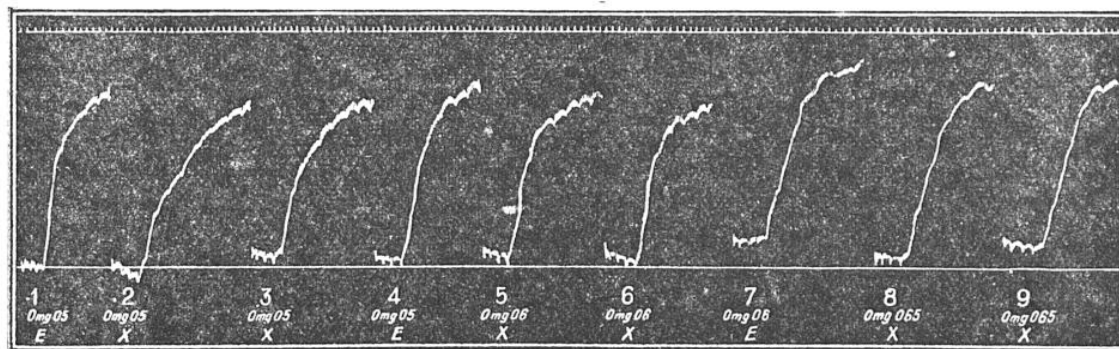


FIG. 1. — ESSAI PHYSIOLOGIQUE DES EXTRAITS DE CAPSULES SURRÉNALES PAR COMPARAISON AVEC UNE SOLUTION D'ADRENALINE STANDARD

La solution de comparaison est diluée au 1/100 000. Le lapin utilisé pour l'essai est anesthésié et a reçu une injection de sulfate d'atropine pour paralyser le nerf vague. Une canule, placée dans la carotide est reliée à un manomètre enregistreur. On injecte successivement dans les veines fémorales droite et gauche des quantités connues de la solution standard et de la solution à mesurer. On modifie ces doses par tâtonnements pour que les augmentations de pression artérielle observées soient égales dans les deux cas, et on établit ainsi la valeur des extraits et leur teneur en adrénaline.

le corps de l'homme, des animaux et des plantes : il serait donc vain de considérer ces actions micro-pondérales comme spécifiquement caractéristiques de la vie.

La détection du zinc dans l'organisme de la souris

Une curieuse méthode de dosage du zinc en quantités infimes consiste à s'adresser à des animaux, que l'on nourrit avec des aliments privés ou non de ce métal.

D'après les analyses chimiques ordinaires, le corps d'une souris adulte ne renferme pas plus de quelques dixièmes de milligrammes de zinc, dont 10 % sont apportés à la naissance : la difficulté, ici comme pour *Aspergillus niger*, a été de préparer des aliments assez parfaitement privés de zinc pour ne pas fausser les résultats.

Les expériences ont porté sur 22 animaux; 12 sujets ont été soumis au régime alimentaire sans zinc et 10 au régime avec zinc. Les souris « sans zinc » ont vécu en moyenne 16,9 jours tandis que les souris avec zinc vivaient en moyenne 64,4 jours.

A la fin des expériences, les cadavres des animaux furent analysés, après lavage du tube digestif. Les souris « sans zinc » renfermaient 0,23 mg de zinc en moyenne; les souris nourries avec des aliments contenant du zinc contenaient en moyenne 0,44 mg de métal. Il avait donc

a dû se préoccuper du dosage biologique des médicaments particulièrement actifs, tels que la digitale ou les arsénobenzols; le vénérable Codex va nous dire comment on mesure avec précision cette efficacité biologique.

La Digitale, que la nature nous livre en feuilles, et que les pharmaciens conservent sous la forme d'une poudre sèche, possède une action extrêmement puissante sur le cœur. Le Laboratoire National du Contrôle des Médicaments prépare et délivre un « étalon international » de comparaison en ampoules.

Deux méthodes sont autorisées : la comparaison de l'échantillon avec l'étalon par action sur des animaux à sang froid (grenouilles), et la comparaison par action comparée sur des animaux à sang chaud : chat, chien ou cobaye.

L'essai sur la grenouille consiste à injecter à un certain nombre d'animaux des quantités variables de la solution de digitaline à doser et à comparer les résultats avec ceux d'épreuves identiques effectuées avec la poudre de digitale étalon; on observe dans les divers lots le pourcentage de mortalité après un laps de temps fixé.

Les grenouilles utilisées doivent être de même espèce et de tailles voisines (15 à 30 g); ce sont des mâles, ou des femelles sans œufs : elles doivent séjourner durant au moins deux heures, avant l'injection, dans un éclairage uniforme, afin d'éviter des réactions photo-physiologiques.

La digitale à essayer étant dissoute dans de l'alcool absolu, on procède d'abord à un essai préliminaire, de façon à avoir une mortalité d'environ 50 % au bout de dix-huit heures chez les animaux injectés. On détermine ainsi une concentration de la solution de digitale étudiée, qui sera employée pour l'injection définitive.

La mort des grenouilles est constatée par l'arrêt du cœur; on contrôle cet arrêt par une palpation, suivie d'autopsie.

Etant donnée la concentration de la solution étalon, on compare les pourcentages de mortalité obtenus avec l'injection de la digitale à étudier et de la digitale étalon. On en déduit la « toxicité » de la digitale étudiée qu'on exprime par un nombre d'« Unités internationales ».

Pour l'essai sur animaux à sang chaud, on opère sur des animaux de poids moyen, pesés et anesthésiés. On endort le chien au chloralose, le chat à l'éther, le cobaye à l'uréthane. Chez le chat et le chien l'animal est mis en respiration artificielle et l'on injecte d'une façon continue dans l'artère fémorale la solution contenant la digitale. Chez le cobaye, la respiration artificielle n'est pas nécessaire, on se borne à l'injection continue de la digitale dans une veine jugulaire.

La solution aqueuse ou hydroalcoolique, isotonicisée, est placée dans une burette graduée reliée à la canule d'injection. Le liquide s'écoule par gravité, l'injection durant 25 à 30 minutes pour le chien ou le chat, 20 minutes pour le cobaye. On note le volume écoulé au moment précis où le cœur s'arrête; cet arrêt peut être constaté par palpation ou, mieux, par l'ouverture du thorax; on peut aussi relier en permanence une carotide à un manomètre et inscrire la pression sanguine.

Un dosage complet porte sur une première série de chiens ou chats ou de 10 cobayes soumis à la digitale à étudier; une seconde série identique est soumise à la digitale-étalon. La « valeur » de la digitale étudiée, mesurée par rapport à l'étalon, est donnée par le rapport des deux moyennes des délais de mort pour les deux séries.

Une méthode analogue est employée pour le dosage de la toxicité éventuelle de l'arsénobenzol (606); en raison de sa fabrication, ce produit peut en effet contenir une petite quantité de produits toxiques. On utilise le lapin mâle adulte (ou la femelle non gravide) pesant 1 800

à 2 200 g, stabulé au moins une semaine et convenablement nourri; l'animal est pesé quotidiennement : sa courbe de poids doit demeurer stable pendant trois jours au moins avant l'injection du produit à étudier. Celui-ci est mis en solution sodique dans de l'eau bidistillée stérile; on injecte la quantité de solution nécessaire pour que la dose totale soit de 0,08 g d'arsénobenzol par kg d'animal. L'opération porte sur quatre animaux, qui sont mis en observation dans des cages individuelles, et abon-

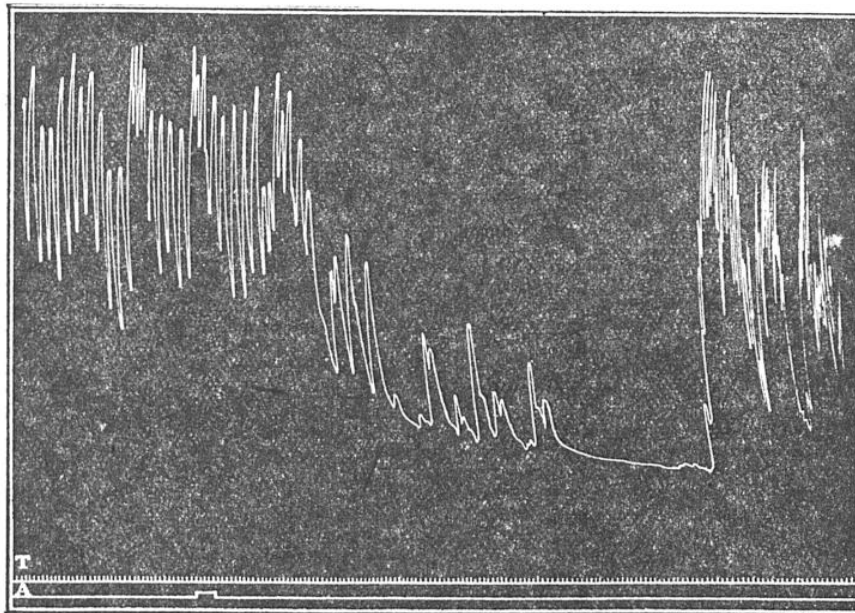


FIG. 2. — GRAPHIQUE ENREGISTRÉ A L'AIDE DE L'INTESTIN DU CHAT, DANS L'APPAREIL DE LA FIG. 4

On voit ici l'effet de l'adjonction d'adrénaline dans le liquide qui baigne l'organe. L'adrénaline produit en règle générale des effets semblables à ceux de l'excitation du sympathique. Elle provoque ainsi la contraction de la tunique musculaire de la rate, celle de presque toutes les artères, et, comme on voit ci-dessus, elle ralentit les mouvements rythmés de la tunique intestinale. La ligne A indique le moment où a été faite l'addition d'adrénaline, et la graduation T marque le temps, chaque division valant quatre secondes. Au moyen d'un tel fragment, Cannon et Hoskias ont pu déceler de l'adrénaline à la concentration de 1 dans 200 millions.

damment pourvus d'eau et d'aliments variés : si l'épreuve est satisfaisante, ils ne doivent présenter ni amaigrissement, ni symptômes toxiques marqués, tels que diarrhées, convulsions, et doivent survivre au moins jusqu'au septième jour.

On essaye également l'arsénobenzol sur les souris. A cet effet, on injecte une dose convenable dans une veine de la queue de 12 souris mâles pesant de 14 à 20 g. Les animaux sont maintenus en observation durant trois jours, à une température de 20 à 25°, dans des bœaux garnis d'ouate et de graines alimentaires. Si au bout de 72 h le nombre des souris survivantes est inférieur à 7, le produit ne doit pas être mis en vente.

Les hormones, infiniment petits biologiques types

Les biologistes connaissent entre autres deux catégories de substances organiques qui agis-

sent à doses extraordinairement faibles : les hormones et les vitamines. On sait (1) que les hormones sont des substances chimiques, secrétées et déversées dans le sang par des « glandes à sécrétion interne » et dont les effets spécifiques se manifestent électivement à distance, sur tel ou tel organe, grâce au transport par les « humeurs » : lymphes et sang. Alors que les systèmes nerveux, végétatif et céphalo-rachidien, peuvent être comparés au réseau télégraphique de l'organisme, les hormones constitueraient des « messages pneumatiques » qui transportent sous forme matérielle les incitations des divers centres pilotes.

C'est ainsi que l'hormone testiculaire influence le développement du système pileux et la morphologie du larynx, que l'insuline, sécrétée par le pancréas interne assure la régularité du taux glycémique sanguin. Nombre de ces substances, l'insuline en particulier, sont indispensables à la vie du mammifère; l'élimination chirurgicale de l'organe producteur ou le soutirage de l'hormone provoque inévitablement la mort. D'autres hormones, telles les hormones sexuelles, sans être strictement indispensables, sont cependant d'une grande utilité pour l'organisme.

Chez les organismes supérieurs, la nécessité d'une coordination dans l'activité des myriades de cellules constitutives impose l'existence d'un système régulateur. Le système nerveux en est l'élément essentiel, le système hormonal en est le complément.

Seules, les hormones sont à même d'agir sur les cellules isolées, telles que les phagocytes, emportées par le torrent sanguin ou circulant avec la lymphe dans les interstices des organes pour la chasse aux microbes. Les organes, par contre, sont justiciables des deux modes de contrôle; ainsi, un fragment du tube intestinal, séparé du corps de l'animal et immergé dans une solution nourricière maintenue à température convenable, continue à se contracter rythmiquement sous l'action de centres nerveux locaux, disséminés dans ses tuniques mêmes et à proximité; dans l'animal intact, ces contractions sont contrôlées (et il en est de même pour les autres organes de la vie végétative) par deux systèmes nerveux « autonomes » : le sympathique et le vague, dont les effets sont antagonistes. Le sympathique accélère le cœur, le vague le ralentit, le sympathique relâche les muscles de l'intestin, le vague renforce leur contraction.

(1) Voir : « Les hormones et la vie » (*Science et Vie*, n° 214, avril 1935).

Excitation, inhibition, telles sont les deux « phases » de la régulation vitale, que nous trouvons également dans le domaine des hormones et dans celui des nerfs. A côté de l'antagonisme sympathique-vague nous trouvons l'antagonisme des produits de sécrétion des diverses glandes : une injection d'adrénaline (sécrétion de la médulla surrénale), élève le taux du glucose sanguin, une injection d'insuline (sécrétion du pancréas interne) l'abaisse. Les deux systèmes, au reste, travaillent avec de mutuels échanges, les glandes endocrines agissant par leurs hormones sur le système nerveux, qui régent à son tour partiellement la sécrétion glandulaire; les glandes, de plus, semblent elles-mêmes subordonnées à l'une d'entre elles, l'hypophyse, petite glande bilobée dissimulée sous la base du cerveau et qui constitue le « chef d'orchestre » du vaste ensemble endocrinien (1).

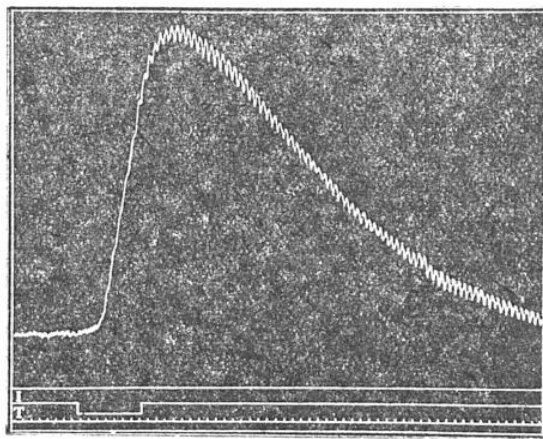


FIG. 3. — ENREGISTREMENT DE LA VARIATION DE LA PRESSION ARTÉRIELLE APRÈS UNE INJECTION INTRA-VEINEUSE D'ADRÉNALINE

La courbe supérieure montre les variations de la pression artérielle (artère carotide), le zéro (pression nulle) correspondant à la ligne horizontale inférieure. En 1 a été inscrite l'injection d'insuline. L'inscription du temps en T permet d'évaluer la durée du phénomène, chacune des divisions correspondant à deux secondes.

Les « médiateurs » chimiques

Ici, une question importante se pose : cette dualité « nerfs-glandes » est-elle aussi absolue qu'on veut bien le dire? Autrement dit, le mode d'action du nerf, dans certains cas, ne doit-il pas être comparé à celui d'une glande? Et le nerf moteur, bien loin d'être assimilé à un conducteur électrique, suivant les conceptions classiques — au reste fécondes —

de d'Arsonval, de Lapique et de leurs élèves, n'est-il pas bien plutôt une sorte de « glande allongée » qui viendrait libérer au contact du muscle une substance excitante ou calmante?

Telle est la révolution que permet d'envisager, dans la physiologie, la découverte de l'apparition de deux substances chimiques caractéristiques : l'acétylcholine et l'adrénaline, aux points précis de l'innervation des muscles lisses (2) du système organique végétatif, et au niveau des articulations cellulaires dans les ganglions nerveux.

Suivant la nature de ce « médiateur » chimique, on peut ainsi distinguer deux catégories de nerfs végétatifs. Les premiers semblent agir par libération d'une substance du type acétylcholine : l'effet produit par leur excitation est analogue à celui qu'exerce cette substance, mise au contact du muscle lisse (ou du tissu de la glande commandée); en outre, les agents pharmacologiques qui modifient l'action de l'acétylcholine, soit pour la renforcer ou la prolonger

(1) Voir : « L'unité de l'organisme » (*Science et Vie*, n° 305, janvier 1943).

(2) On sait que ces muscles, à l'inverse des muscles striés, sont soustraits à l'action de la volonté et réservés aux fonctions purement végétatives.

(éserine), soit pour la diminuer ou l'abolir (atropine), agissent dans le même sens sur l'effet produit par l'excitation de ces nerfs. On a pu d'ailleurs dans certains cas démontrer que l'excitation desdits nerfs libère effectivement une faible quantité d'une substance qui, si elle n'est pas l'acétylcholine, en est du moins très voisine. Ces nerfs sont dits *cholinergiques*.

Les nerfs de la seconde catégorie, dits *adrénergiques*, agissent en libérant de l'adrénaline ou de la sympathine, substance très voisine; les preuves démonstratives sont analogues. En outre, Cannon est parvenu à isoler la sympathine.

Les médiateurs expliquent la « sommation nerveuse »

La figure 5 montre une ingénieuse disposition utilisée par Kahn pour démontrer la libération de substances excitantes ou calmantes par un cœur d'animal excité à l'aide de ses propres nerfs.

Deux cœurs de grenouilles, fraîchement extraits, sont suspendus aux deux branches d'une canule double et par conséquent irrigués par le même liquide (solution de Ringer); chacun des deux organes est relié par un fil à l'aiguille d'un appareil graphomécanique qui enregistre les battements. À l'aide d'un courant électrique, on excite le nerf vague du cœur n° 1 par exemple : l'effet de ralentissement sur le cœur n° 1 est immédiat et l'on constate qu'au bout de quelques secondes, le rythme du cœur n° 2 se ralentit à l'exemple du premier. Ceci prouve qu'une substance ralentissante a été sécrétée par le cœur n° 1 et s'est propagée par diffusion à travers le liquide; il s'agit là d'une substance voisine de l'acétylcholine. En agissant sur le système nerveux accélérateur, on obtiendrait une accélération des deux cœurs, le cœur n° 2 se trouvant excité par diffusion d'une substance parente de l'adrénaline.

Ces expériences *in vitro* peuvent être répétées *in vivo* en établissant entre deux chiens, par exemple, une circulation sanguine croisée. Hansen et Rech ont utilisé l'intercommunication circulatoire naturelle qui existe entre la mère et le fœtus pendant la gestation. Ils enregistrent sur un électrocardiogramme double les battements du cœur d'un cobaye femelle en état de gestation avancée et ceux du cœur du fœtus. Dix secondes après l'excitation du nerf vague de la mère, le cœur du fœtus commence à ralentir; ce ralentissement peut atteindre 50 % (de 140 pulsations par minute à 70 pulsations); le cœur fœtal ne reprend son rythme normal que 30 à 60 secondes après la

fin de l'excitation du nerf vague maternel. On vérifie qu'il s'agit bien là d'une transmission chimique et non d'un effet réflexe produit sur le fœtus par la chute de la pression artérielle de la mère; en effet, le pincement, durant 20 secondes, de l'aorte maternelle ne produit pas de ralentissement du cœur du fœtus.

La théorie des médiateurs chimiques suppose qu'une « impulsion » nerveuse — ou influx nerveux — arrivant à l'extrémité d'un cylindraxe, libère une quantité invariable de médiateur; si l'on a soin de laisser entre deux impulsions consécutives un intervalle de temps minimum, au reste très faible (de l'ordre de 12/1 000 de

seconde, très exceptionnellement 5 dixièmes de seconde), plusieurs impulsions libèrent un multiple de la quantité libérée par une seule. La « réponse » du tissu (ou de l'organe) commandé est fonction de la concentration atteinte par le médiateur, c'est-à-dire de la cadence plus ou moins précipitée des impulsions, puisqu'il ne faut pas oublier que le médiateur se détruit rapidement dès sa formation. Ainsi s'explique la sommation de l'action nerveuse, aisément vérifiée sur les courbes d'enregistrement obtenues avec les organes ou les animaux traités.

Si l'on parvient à retarder la destruction du médiateur (par l'éserine pour l'acétylcholine, par les antioxygènes pour l'adrénaline), la concentration augmente plus rapidement au cours de l'excitation du nerf et diminue plus lente-

ment quand le stimulus aura cessé; on constate, en effet, dans ces conditions, que la « réponse » du muscle lisse est plus vive et plus prolongée (fig. 7).

Peut-on étendre aux muscles striés, notamment aux muscles moteurs du squelette, la théorie des médiateurs chimiques? Il semble que l'extension soit encore prématurée, malgré certaines expériences de Dale sur le nerf hypoglosse, nerf moteur de la langue, chez le chat. On peut également citer une expérience effectuée sur l'intestin de la Tanche (*Tinca vulgaris*); cet intestin possède deux couches musculaires distinctes : l'une striée, dont la contraction normale, rapide et brève, est paralysée par le curare, comme les muscles squelettiques, l'autre lisse, rythmique et paralysée par l'atropine comme les muscles végétatifs; or, toutes deux répondent par une contraction à l'acétylcholine. Des constatations analogues ont été faites dans la musculature de l'iris des oiseaux.

Malgré ces observations, il ne semble pas que la commande nerveuse des muscles volontaires, en l'état actuel, puisse être expliquée exclusivement par l'intervention de médiateurs

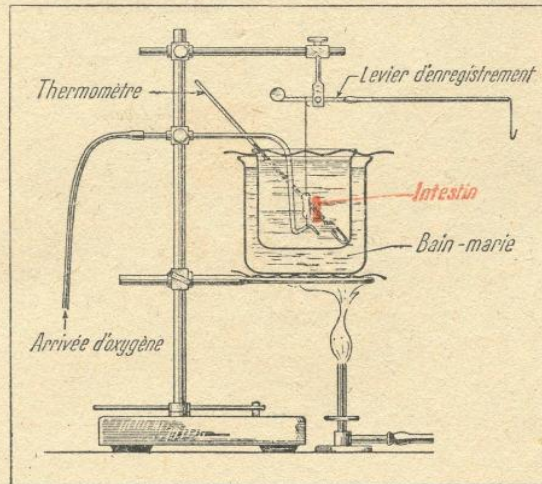


FIG. 4. — SCHÉMA DU DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL POUR L'ÉTUDE DES CONTRACTIONS DES MUSCLES LISSES

Un tube sert à la fois à la fixation d'une extrémité du muscle (par exemple un fragment de tube intestinal) et à l'aération du liquide qui le baigne. L'autre extrémité du muscle est reliée au levier du dispositif d'enregistrement. Un bain-marie assure un chauffage modéré lorsqu'on désire faire varier la température.

chimiques. La vieille théorie « électrique » conserve provisoirement toute son utilité.

Les « tests » de l'activité de doses infinitésimales de substance

L'identification et le dosage des hormones et des médiateurs chimiques ont fait l'objet de nombreuses recherches et sont loin d'être systématisées au même titre que ceux des substances minérales ou médicamenteuses. Il convient de distinguer le simple « test », opération de détection ayant pour but de démontrer la présence de la substance, et le dosage proprement dit.

Comme test de l'acétylcholine, on a proposé l'action sur le cœur de grenouille, l'action sur l'intestin ou la pression sanguine du lapin, sur le muscle *rectus abdominalis* de la grenouille, sur le muscle longitudinal dorsal de la sangsue; ces deux dernières préparations, préalablement éserinisées, sont spécifiques et très sensibles. Il est également possible d'utiliser des organes perfusés ou des animaux entiers; dans ces deux derniers cas, le liquide contenant hypothétiquement l'acétylcholine est introduit dans la circulation. Des méthodes analogues sont applicables à la détection de l'adrénaline et de la sympathine.

Quelques chiffres, obtenus à l'aide d'organes perfusés ou d'animaux entiers, donnent une idée de la prodigieuse sensibilité de ces méthodes biologiques.

Le cœur du chat, après section des nerfs, s'accélère nettement quand on ajoute une partie d'adrénaline à 1 400 000 parties du liquide d'irrigation. Le cœur de grenouille, isolé et perfusé artificiellement, augmente la vigueur de ses battements quand la concentration en adrénaline atteint 1/10 000 000; quand ce cœur a été perfusé longtemps et donne des signes de fatigue, il répond à une concentration de 1/10 000 000 000. La consommation en oxygène d'une patte de chien, isolée et perfusée au sang défibriné, augmente de 23 % quand la concentration en adrénaline du sang de perfusion est de 1/10 000 000 à 1/10 000 000 000.

Pour augmenter la sensibilité des muscles lisses à l'adrénaline, on utilise fréquemment la cocaïne. On trouve ainsi une augmentation de la pression sanguine chez le chat quand on introduit par voie veineuse des doses de 0,00075 milligramme d'adrénaline.

L'acétylcholine agit sur les muscles lisses et le cœur des vertébrés et des invertébrés à des doses de 1/100 000 000 à 1/10 000 000 000. La

thyroxine, hormone sécrétée par la glande thyroïde, possède une activité plus grande encore, puisqu'elle agit à la dose de 1/100 000 000 000. L'hormone femelle appelée folliculine, que l'on sait aujourd'hui obtenir à l'état cristallisé, provoque le rut chez la souris à la dose de 1/10 000 de milligramme. On peut obtenir à partir de l'urine d'homme une hormone cristallisée dont 1 millièrme de milligramme, administré en deux jours, provoque une croissance de 30 % de la crête du chapon.

L'insuline, hormone extraite du pancréas et dont l'usage contre l'hyperglycémie diabétique est bien connu, est également très active; 1 milligramme d'insuline cristallisée pure contient 25 unités internationales, c'est-à-dire 25 fois la dose nécessaire pour abaisser le taux du sucre sanguin d'un lapin de 1 à 0,4 gramme par litre.

Un bref calcul permet de chiffrer l'activité des hormones à l'échelle moléculaire. Chez le chat, on peut observer très régulièrement les effets de l'injection intra-veineuse de 0,1 cm³ d'une solution titrant 1/10 000 d'adrénaline. Dans ce dixième de cm³, combien y a-t-il de molécules au sens physicochimique du mot? Grâce au nombre d'Avogadro, nous savons que dans une « molécule-gramme » d'adrénaline, soit 183 g de substance, il y a $6,8 \times 10^{23}$ molécules; dans le dixième de cm³ en question, il y a donc $3,7 \times 10^{15}$ molécules. Ces $3,7 \times 10^{15}$ molécules, grâce à la circulation du sang, se répartissent dans tout l'organisme. Si nous admettons, pour la commodité du calcul, que les cellules du

chat sont des cubes de 65 millièmes de millimètre de côté, nous arrivons à cette notion qu'un chat de 2 à 3 kg contient environ 10^{13} cellules. La quantité d'adrénaline, — que nous savons être efficace — arrivant à chaque cellule, est donc très approximativement de l'ordre d'une centaine de molécules. Or, la cellule est un ensemble complexe : Cannon a calculé que dans un globule rouge humain, il existe 10^{12} molécules, dont 99 % de molécules d'eau. On voit donc qu'une molécule d'adrénaline peut agir sur un ensemble moléculaire physicochimique représentant 10 000 000 de molécules.

Les « animaux-détecteurs »

Le dosage des hormones à l'aide d'animaux sensibles est analogue à celui que nous avons décrit pour la digitale ou les arsénobenzols. Ici encore, il ne saurait s'agir d'une détermination pondérale, mais d'une évaluation comparative

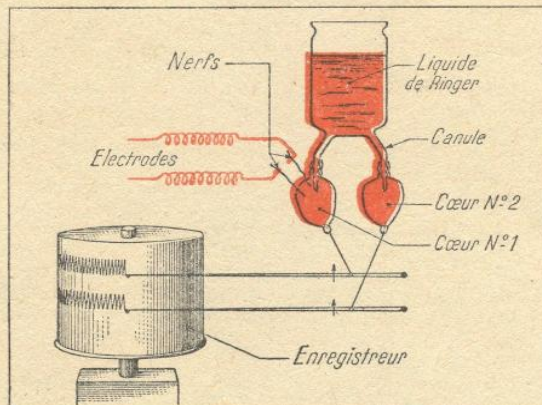


FIG. 5. — EXPÉRIENCE MONTRANT LA LIBÉRATION, PAR LE CŒUR, DANS CERTAINES CONDITIONS D'EXCITATION, D'UNE SUBSTANCE HORMONALE CAPABLE D'INFLUENCER DANS LE MÊME SENS UN AUTRE CŒUR. Deux cœurs de grenouilles fraîchement extraits sont fixés aux deux canules d'un récipient contenant un liquide nourricier (liquide de Ringer); les pointes des deux cœurs sont reliées par des fils à un appareil enregistreur. Si l'on excite le nerf vague, par exemple, du cœur n° 1 au moyen d'un courant électrique, ce cœur ralentit; au bout de quelques secondes, le cœur n° 2 ralentit à son tour, attestant la diffusion, par le liquide, d'une substance à action ralentissante que les divers procédés d'analyse ont démontrée très voisine de l'acétylcholine.

de la valeur biologique du produit, que l'on peut alors chiffrer par convention.

Pour titrer l'efficacité de l'insuline, on utilise six lapins d'environ 2 kg, convenablement stabulés et nourris, auxquels on injecte soit le produit étudié, soit l'étalon international. On mesure la teneur en sucre du sang une heure et demie et deux heures et demie après le traitement; les chutes du taux de sucre, produites par l'étalon et par le produit, permettent de chiffrer l'activité de ce dernier en unités internationales.

Le Codex indique, pour le titrage de la folliculine — hormone œstrogène femelle — un test basé sur l'emploi de femelles de rat privées de leurs ovaires. On injecte la folliculine dissoute dans l'huile; le rut est décelé par un examen vaginal mettant en évidence des cellules kératinisées caractéristiques. Des doses variant progressivement doivent être utilisées, afin de déterminer la quantité exacte de solution qui déclenche le rut; on opère sur 25 femelles.

Le dosage des hormones du lobe postérieur de l'hypophyse, qui ont la propriété d'exciter les contractions des fibres musculaires lisses de l'utérus au moment de l'accouchement, est réalisé au moyen d'un utérus de souris vierge, retiré du corps de l'animal et suspendu, encore vivant, dans une solution physiologique à température convenable. Les cornes utérines ayant été rattachées par deux fils aux leviers d'un appareil enregistreur, on introduit alors en doses progressives le liquide à étudier dans le liquide baignant l'organe, jusqu'à ce que se produise la première contraction. Ce « seuil » étant noté, on force la proportion jusqu'à obtenir une « tétanisation totale, l'utérus, contracté à bloc, devenant incapable de « répondre » à une nouvelle augmentation de la concentration. L'opération est recommencée avec un liquide étalon. Les deux « seuils », supérieur et inférieur, fournissent deux points de comparaison, donc deux évaluations de la valeur posthypophysaire du liquide en unités internationales. La méthode est donc nuancée et indique la précision qu'il est légitime d'attribuer au chiffre obtenu.

Les poissons, excellents détecteurs biologiques

Tout le monde sait que les grands problèmes

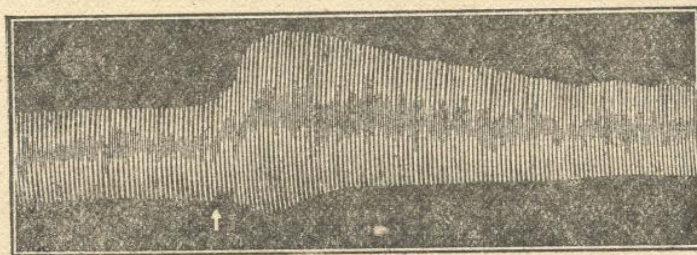


FIG. 6. — ENREGISTREMENT DES CONTRACTIONS D'UN CŒUR ISOLÉ DE GRENOUILLE, MONTRANT L'ACTION DE 1/1 000 DE MG D'ADRÉNALINE (d'après Dautrebande)

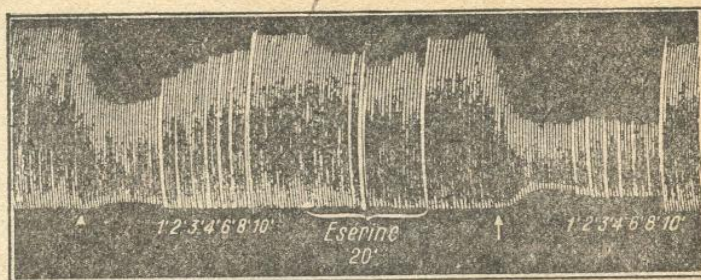


FIG. 7. — GRAPHIQUE METTANT EN ÉVIDENCE L'ACTION DE L'ACÉTYLCHOLINE SUR LE CŒUR

L'enregistrement des contractions du cœur révèle l'action de l'acétylcholine, appliquée en 1. Cette action disparaît progressivement, comme le révèlent les enregistrements effectués au bout de 1, 2, 3, 4, 6, 8 et 10 minutes. On voit que si le cœur est sensibilisé par l'action de l'éserine (appliquée pendant 20 minutes), l'action d'une même quantité d'acétylcholine est plus marquée et surtout plus prolongée (d'après Lœwi et Navratil, reproduit par Bacq).

de la pathologie générale ont largement profité des expériences réalisées sur les animaux aquatiques. Rappelons que nos connaissances sur le mécanisme de l'inflammation ont été précisées par les observations de Metchnikoff sur la méduse ayant reçu dans ses tissus une écharde de bois; les travaux de Camus et de Gley, sur la toxicité du sérum d'anguille pour le lapin, ont permis de mieux comprendre la nature et l'importance des hémolysines, tandis que la notion capitale d'anaphylaxie n'a pu être découverte que grâce à l'expérience fondamentale de Charles Richet et Portier sur la toxicité des extraits d'actinie pour le chien.

Les expériences de nombreux physiologistes ont montré depuis une quarantaine d'années les services que peut rendre le poisson, véritable « cobaye aquatique », dans l'étude de différentes substances toxiques ou simplement douées d'une haute activité biologique. L'absorption par les branchies permet la pénétration rapide de la substance expérimentée dans le torrent circulatoire et conditionne son action sur le système nerveux, qui est le territoire d'élection pour la plupart des actions perturbatrices graves.

Le professeur Léon Binet, utilisant des poissons communs tels que l'épinoche, les cyprins, les gobies, a pu mettre en évidence l'extrême sensibilité de ces animaux à différents poisons introduits dans l'eau de l'aquarium; c'est ainsi qu'il a pu démontrer l'efficacité de la thérapeutique bicarbonatée dans l'intoxication uranique ainsi que la présence, dans le gaz d'éclairage, d'un poison soluble, différant de l'oxyde de carbone et de l'acide cyanhydrique qu'il accompagne, et dont la nature est encore inconnue.

L'introduction, dans l'eau de l'aquarium, de jus de tabac ou de nicotine, se traduit par des troubles nerveux et... psychiques curieux. M^{lle} Marie Goldschmith avait montré, comme extension des célèbres expériences de Pavlov, que les « réflexes conditionnés » peuvent être étendus aux poissons; une épinoche, accoutumée à venir manger des vers présentés par une pince de couleur jaune, se hâte au bout d'un certain

temps de dressage vers la pince même vide dès qu'elle l'aperçoit dans l'aquarium. Or, ces réflexes conditionnés disparaissent par l'action, durant 24 h, d'une solution de nicotine diluée à 0.002 cm³ par litre; l'épinoche conserve les réflexes de sa race, elle se précipite encore sur un fil rouge figurant un ver, mais demeure indifférente à la pince jaune, ayant perdu les réflexes acquis de l'individu. Soustrait à l'action de la nicotine et plongé durant 24 h dans l'eau de rivière normale, l'animal recouvre le réflexe conditionné, un moment dissipé par la nicotine.

Dans le domaine des recherches endocrinologiques, les travaux récents ont porté principalement sur la commande de la pigmentation du poisson par la glande hypophyse. Il est aujourd'hui bien établi que si l'on pratique l'ablation de l'hypophyse, le poisson perd ses teintes foncées, pour devenir entièrement clair; une injection d'extrait hypophysaire lui rendra la pigmentation foncée primitive.

Suivant le grand principe, que nous avons énoncé, de l'universalité de l'action des hormones sur les différentes espèces, les poissons pigmentés peuvent par suite être utilisés comme détecteurs d'hormones animales d'espèces différentes ou d'hormones humaines. L'urine de la femme enceinte contenant des hormones hypophysaires, il était légitime d'employer les

poissons comme détecteurs biologiques de la grossesse. C'est ce qui a été fait brillamment par MM. Jean Verne et Léon Binet et par M^{lle} Luxembourg.

Les écailles du poisson diagnostiquent la grossesse

Le « réactif » choisi consiste, non dans un animal entier, mais dans les écailles pigmentées du Cyprin bronzé (*Carassius vulgaris*), assez courant en Europe. Vingt-quatre heures avant l'opération, le poisson est placé dans une cuvette à fond blanc exposé à la lumière diffuse; dans ces conditions, l'animal devient clair, par suite de la contraction de minuscules organes foncés, situés dans les écailles, les *mélanocytes*.

Extirpées à la pince, des écailles isolées sont placées aussitôt dans un verre de montre contenant soit de l'extrait de l'urine étudiée, soit du sérum physiologique — eau salée à 9 pour 1 000 — dilué de moitié, qui sert pour l'étude du comportement des écailles témoins. L'urine pure ou même diluée se révélant toxique pour les *mélanocytes*, on emploie un extrait obtenu par précipitation à l'acétone et centrifugation. Deux ou trois écailles de cyprin ayant été plongées dans l'extrait urinaire, la réaction est positive si les *mélanocytes*, examinés au microscope

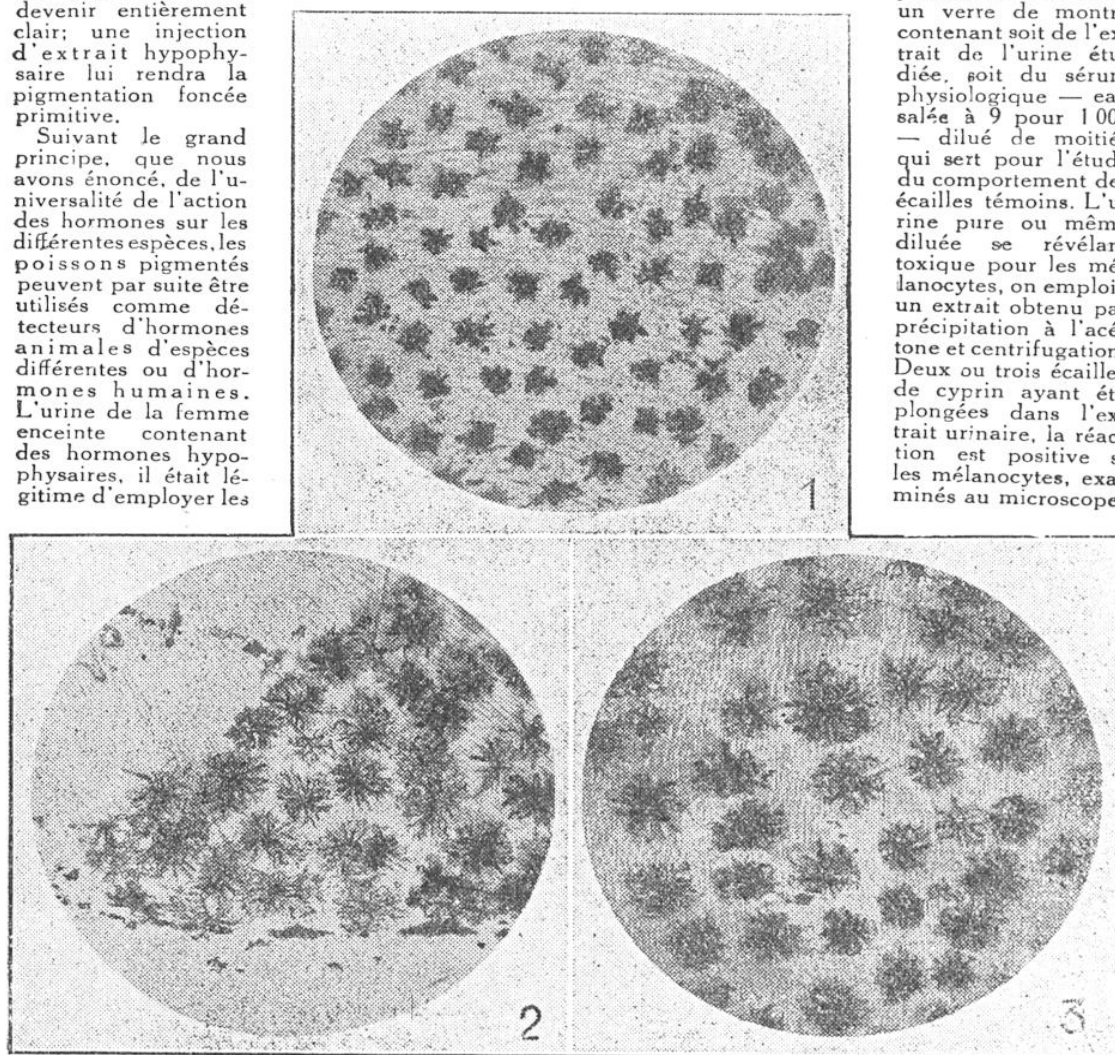


FIG. 8. — DIAGNOSTIC DE LA GROSSESSE PAR LES ÉCAILLES DU CYPRIN BRONZÉ

Les écailles sont plongées dans un extrait de l'urine maternelle. 1, contrôle négatif, femme non enceinte les *mélanocytes* ne sont pas dilatés. 2, dilatation des éléments noirs ou *mélanocytes* qui déterminent la pigmentation du poisson sous l'action d'un extrait d'urine de femme enceinte de trois mois. 3, dilatation très importante et rapide : grossesse près du terme.

se dilatent dans un délai de 2 à 3 minutes; la surface de ces mélanocytes augmente considérablement et peut atteindre dix fois la superficie primitive. La réaction est douteuse si l'accroissement se produit en 10 minutes, négative si l'accroissement ne se produit pas ou exige une vingtaine de minutes. Les résultats obtenus sont exacts dans 84 à 88 % des cas, si l'on opère du deuxième au quatrième mois (fig. 8).

Le professeur viennois Hempel est parvenu à déterminer le sexe des enfants à naître, également au moyen de l'urine de la mère, dans le sang de laquelle se diffuse, à travers le placenta, une partie des hormones du fœtus. On utilise un petit poisson commun, la *bouvière*, auquel on injecte pendant trois jours de suite 0,025 cm³, soit une demi-goutte, d'urine maternelle. L'expérimentation porte sur 6 poissons mâles et 6 femelles. S'il s'agit d'un enfant du sexe masculin, on voit les mâles se parer des somptueuses couleurs de la robe nuptiale, tandis que s'il s'agit d'une fille, les poissons femelles présentent un développement rapide et particulier des oviductes; ceci atteste, soit dit en passant, que le fœtus féminin émet des hormones plus actives que celles de la mère. La méthode est applicable à partir du troisième mois et fournirait 90 % de résultats exacts.

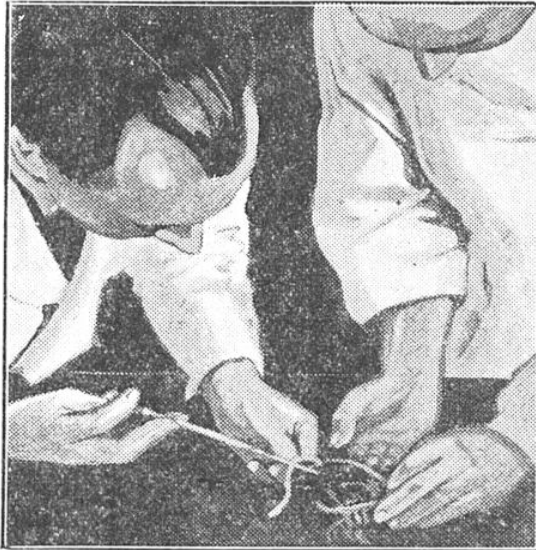


FIG. 9. — LE DIAGNOSTIC DE LA GROSSESSE A L'AIDE DU CRAPAUD XENOPUS LOEVIS

Une femelle de crapaud reçoit dans la région dorsale une injection d'extrait d'urine.

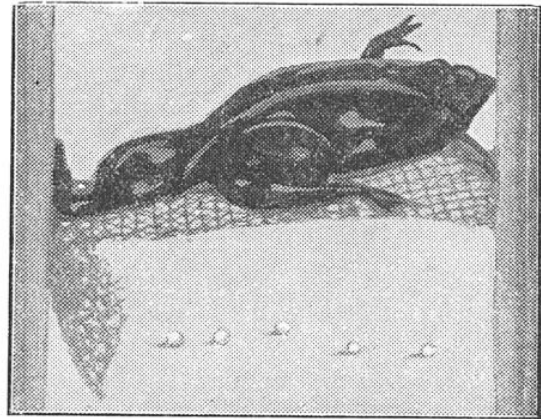


FIG. 10. — LE COMPORTEMENT DU XENOPUS LOEVIS APRÈS INJECTION

Après quelques heures seulement, le crapaud femelle, sous l'action de l'hormone présente dans l'urine dans le cas d'une réponse positive, pond une cinquantaine d'œufs qui tombent au fond du bac, à travers le grillage sur lequel on a eu la précaution de le poser. Le même crapaud peut supporter un nouveau test après quatre semaines de repos (photos Pitts-Press).

Les vitamines

Les vitamines, pour reprendre la distinction classique de Fley, diffèrent des hormones en ce que l'organisme est incapable d'en réaliser la synthèse; il est donc indispensable d'en fournir, dans l'alimentation, une ration suffisante, sous peine d'accidents très graves, bientôt suivis de mort.

Ces accidents d'avitaminose sont généralement spécifiques; ainsi, l'avitaminose B, ou bériberi expérimental, se traduit par des crises nerveuses polynévritiques mortelles; le meilleur test de l'avitaminose A est donné par des troubles de la vision, surtout nocturne; ces troubles peuvent dégénérer en lésions graves de la cornée et fonte physiologique de l'œil (xérophthalmie). Une étude attentive est indispensable dans chaque cas, la frontière des syndromes étant douteuse; en outre, des symptômes identiques peuvent être fournis, dans certains cas, par des déséquilibres alimentaires aussi bien que par des régimes de carence.

Si l'on ne peut songer à utiliser pratiquement ces observations pour titrer exactement les doses de vitamine, le comportement global d'un animal n'en permet pas moins de dire souvent quelle est la vitamine qui fait défaut dans son alimentation et par suite dans ses humeurs.

Pierre DEVAUX.

La véritable richesse des nations consiste moins dans la masse des valeurs échangeables que dans le degré de développement des forces productives, et en particulier des forces morales.

F. LIST.

LA TOURBE EN AGRICULTURE

par Henri DOYEN

Le manque croissant de paille et d'engrais oblige l'agriculture française, si elle veut conserver un rendement élevé, à chercher des produits de remplacement capables de servir de litière au bétail, d'amendement et d'engrais pour les cultures. L'un de ces produits, relativement peu connu en France était, bien avant la guerre, couramment employé en Suède, en Hollande et en Allemagne : c'est la tourbe blonde, dont la Suède est le principal producteur, mais dont la France possède également d'importantes réserves.

SUivant leur état de décomposition plus ou moins avancé, les débris végétaux qui constituent une tourbière se présentent sous trois formes différentes : la tourbe blonde, la tourbe chocolat et la tourbe noire que l'on rencontre dans l'ordre indiqué quand on s'enfonce de la surface à la partie inférieure du gisement.

En surface, la tourbe blonde ou tourbe de sphaigne (variété de mousse) se présente sous la forme d'un amas de fibres très courtes et cassantes, gorgées d'eau et très difficiles à sécher à l'air libre. Au-dessous, la tourbe chocolat renferme des fibres de 5 à 15 cm de longueur, dérivées de l'ériophore. Elle sert à la préparation d'une ouate de tourbe avec laquelle on peut préparer des textiles. Au voisinage du fond, on rencontre la tourbe noire, provenant d'une humification plus poussée des deux qualités précédentes. La tourbe noire convient particulièrement bien comme combustible.

Ces trois formes de tourbe ne se rencontrent pas toujours dans un même gisement. En France, particulièrement dans les tourbières de vallées et de plaines qui sont les plus courantes, on ne trouve guère que de la tourbe noire, à teneur en cendres très variable d'un gisement à un autre (entre 4 et 35 %), que l'on utilise le plus couramment à l'état de mottes grossières et encombrantes (entre 25 et 40 % d'eau). C'est la qualité rurale, appelée à céder la place à la tourbe domestique, se présentant sous la forme de briquettes, de forme régulière, mélangées ou non de poussier de houille ou de charbon de bois, avec une teneur en cendres comprise entre 15 et 25 % et une teneur en eau comprise entre 10 et 25 % ; sa densité en vrac varie entre 750 et 1 100 kg/m³. Convenablement décendrée, quand c'est pos-

sible, cette tourbe noire, mélangée à la tourbe chocolat souvent très pure, du moins quand elle provient des tourbières de montagnes : Jura, Vosges, Mullevaches, fournit un combustible pour gazogènes, qu'on emploiera à l'état cru ou après semi-carbonisation (1).

Au contraire, dans les tourbières de montagne, on rencontre les trois variétés dans le même gisement. En particulier dans les Vosges, il existe des gisements tourbières de 25 à 40 ha de superficie dans lesquels la tourbe se présente sous une épaisseur de 3 à 8 m ; la tourbe blonde constitue une couche de 0,3 à 0,5 m, la tourbe chocolat pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur.

La tourbe blonde

La figure 1 représente une coupe micrographique de tourbe blonde, dérivée d'une mousse, dénommée « sphaigne ». La tige en est enveloppée d'une ou plusieurs assises de cellules mortes (cellules aquifères) qui communiquent entre elles et canalisent l'eau d'une extrémité à l'autre du corps de la plante. La feuille se compose également de cellules aquifères. Cette particularité de structure confère à la tourbe de sphaignes, à l'exclusion des autres variétés de mousses, son très grand pouvoir absorbant de l'eau et sa faible densité apparente.

La tourbe blonde se comporte vis-à-vis de l'eau comme une éponge, et elle est capable de retenir, suivant son origine, entre 7 et 13 fois son poids, soit environ 0,7 à 0,8 fois son volume de liquide. Son pouvoir absorbant est 3 ou 4 fois plus fort que celui de la paille ou de la sciure de bois (fig. 2).

(1) Dans le Wurtemberg, on produit maintenant un excellent charbon de tourbe pour gazogènes.

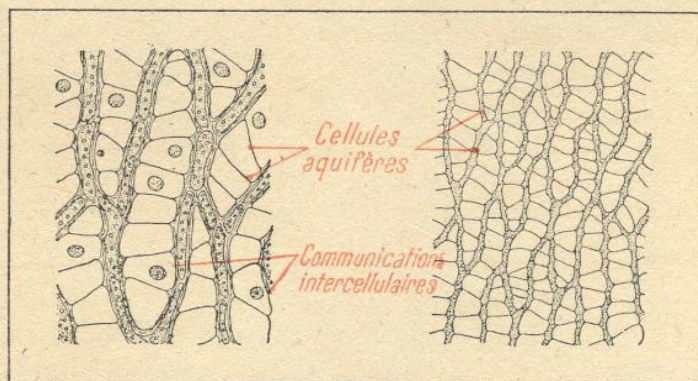


FIG. 1. — FEUILLE DE SPHAIGNE VUE AU MICROSCOPE
A gauche, le grossissement est de 325 diamètres et à droite de 150 diamètres (cliché Clément Frères).

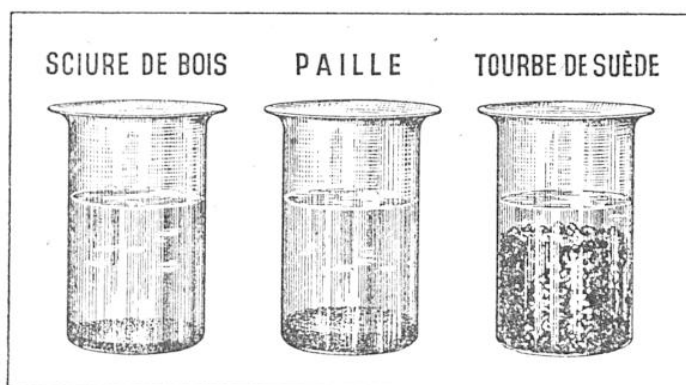


FIG. 2. — ESSAIS DE SATURATION DE LA SCIURE DE BOIS, DE LA PAILLE ET DE LA TOURBE

Chacun de ces bocaux contient un litre d'eau et 25 grammes de chacune de ces substances. On voit que la tourbe est considérablement plus absorbante que la sciure de bois et la paille.

La densité apparente d'une bonne tourbe agricole doit être aussi faible que possible, car, plus la matière est poreuse, plus elle contient de cellules absorbantes, et moins elle est dense. En moyenne, la densité apparente d'une tourbe blonde de bonne qualité varie entre 60 et 80 kg par m³ (soit 2,5 à 3,5 fois moins que pour la tourbe noire).

Une troisième caractéristique importante de la tourbe est son acidité (1). Plus la tourbe est acide et plus elle peut fixer de composés ammoniacaux du purin. Ceux-ci, au lieu de se perdre dans l'atmosphère, demeurent dans la tourbe-litière jusqu'au moment où elle se trouve incorporée au sol qu'elle doit féconder. Lorsqu'une balle de tourbe est complètement imbibée de purin, elle contient l'équivalent de 25 à 50 kg de sulfate d'ammoniaque et de 75 à 100 kg de sels de potasse.

Enfin, pour être de bonne qualité, une tourbe blonde ne doit contenir ni substances minérales (sable, argile), ni impuretés végétales (spores, de champignons, souches), ni impuretés animales (insectes, vers, microbes).

De la litière à la fumure

Dans les étables et les bergeries, la tourbe de litière est étendue en couche de 15 à 20 cm d'épaisseur. On n'a pas à se préoccuper de l'écoulement du purin, que la tourbe retient entièrement. On se borne chaque jour à enlever les déjections solides qu'on fixe, de préférence, au moyen de paille, puis on retire les parties humides de la litière et on les remplace par de la tourbe sèche prise à l'avant du box. Celle-ci est à son tour remplacée par de la tourbe fraîche.

(1) L'acidité de la tourbe agricole doit correspondre à une valeur du pH comprise entre 2,6 et 5,6 (la valeur du pH diminue avec l'acidité, la neutralité absolue correspondant à la valeur 7 du pH).

che. On ne retourne pas le matelas de tourbe, on se borne à le ratisser quotidiennement. C'est seulement au début du printemps et de l'automne qu'on renouvelle la litière.

Dans une étable, la consommation est d'une balle de tourbe (d'un tiers de mètre cube) par tête de bétail et par mois.

Pour les porcheries, le matelas de tourbe doit être protégé par un treillis métallique qu'on recouvre d'une fine couche de tourbe et qu'on ne change que lorsque le besoin s'en fait sentir.

Pendant la période d'engraissement d'un porc, laquelle dure environ cinq mois, on consomme environ une balle de tourbe par tête porcine.

Dans les clapiers et les poulaillers, il suffit d'épandre une couche de tourbe granulée bien dépoussiérée, et surtout bien défibrée de 5 à 10 cm d'épaisseur sur les

parquets. On la renouvelle quand elle commence à sentir mauvais.

La tourbe usagée provenant des poulaillers constitue un excellent engrais. La valeur fertilisante de 10 balles de litière de tourbe blonde usagée équivaut à celle de 300 kg d'un engrais composé en parties égales de superphosphate ou de scories Thomas, de nitrates et de sels de potasse.

Une poule fournit 6 kg d'excréments durant une année, dont les deux tiers au cours de la nuit. On consomme une balle de tourbe par an pour 10 volailles. Dans un clapier, il vaut mieux former avec la tourbe un matelas que l'on recouvre de lattes.

La tourbe-amendement

La façon la plus simple d'employer la tourbe blonde comme amendement, consiste à la diviser à l'aide d'un râteau, puis à la détrempier avec de l'eau ou mieux avec du purin. Au bout de quelques jours, on renouvelle cette opération. Il est bon d'ajouter à chaque balle environ 7 kg de scories Thomas et 7 kg de sels de potasse.

Le moyen le meilleur, recommandé par les spécialistes allemands et hollandais, consiste à préparer, en silo, un compost que l'on obtient de la façon suivante :

Avec de la tourbe, détrempée avec des déjections de basse-cour, des drèches de sucreries ou de distilleries, puis additionnée de cendres de bois, d'épluchures, on forme un silo de

USAGES	Fragmentation	Poids du ballot comprimé (1/3 m ³)
Litière bétail.....	20 à 30 mm	50 à 60 kg
Litière volailles.....	15 à 20 mm	50 à 55 kg
Fumures.....	2 à 15 mm	55 à 65 kg
Semis et préparation d'engrais.....	environ 2 mm	75 à 85 kg

TABEAU I. — LE CONDITIONNEMENT DE LA TOURBE AGRICOLE SUIVANT SES DIFFÉRENTS USAGES

La tourbe blonde est toujours vendue, non au poids, mais au volume, car celui-ci caractérise la quantité à employer dans des cas déterminés.

1,20 m de large sur 0,60 m de long, que l'on recouvre de 10 cm de terre. Au bout d'au moins quatre semaines, on retourne le silo et on mélange son contenu à la terre de couverture. Le silo est alors humidifié avec du purin, puis recouvert d'une mince couche de terre. Trois semaines plus tard, on retourne encore le silo. Le compost est alors prêt pour l'amendement d'un terrain.

La tourbe entre pour 10 % en volume dans le compost, et on emploie un volume de liquide de détrempe (eau, purin, drèches) représentant environ 600 litres par balle de tourbe. On y brasse la tourbe jusqu'à ce qu'elle ait acquis une consistance homogène. D'autre part, pour 100 m² de terrain à amender, on utilise une balle de tourbe et on incorpore le compost à la terre par simple bêchage. Dans les sols pauvres en calcaire, il vaut mieux y ajouter du calcaire finement pulvérisé ou de la « calcomagnésie » qu'on trouve dans le commerce. Ces apports doivent précéder de quelques semaines l'épandage de la tourbe.

Ce ne sont que des indications générales auxquelles jardiniers et agriculteurs peuvent trouver des variantes.

L'emploi de la tourbe blonde en horticulture

On utilise beaucoup, notamment en Hollande, la tourbe blonde pour les plantes (rhododendrons, azalées, œillets, boutures, etc.) aimant les terres acides, au même titre que la terre de bruyère sur laquelle elle possède l'avantage d'un pouvoir absorbant considérablement plus élevé. Par suite, ces plantes, qui ont besoin de beaucoup d'eau, trouvent dans cette éponge,

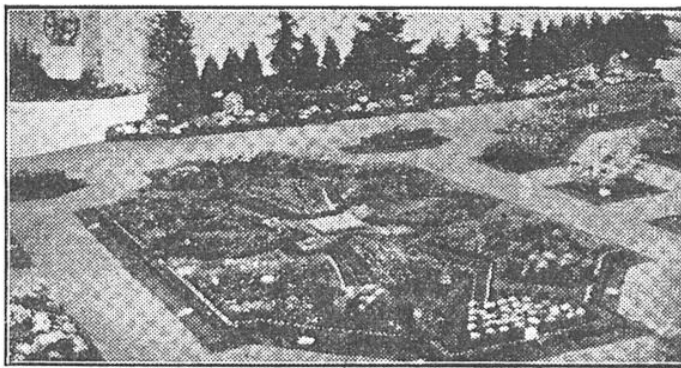


FIG. 5. — MOTIF DÉCORATIF RÉALISÉ SUR SOL DE TOURBE A L'EXPOSITION INTERNATIONALE DE PARIS 1937

qui est la tourbe mélangée ou non à du sable, toute la réserve d'humidité nécessaire à leur végétation. C'est ce que mettent en évidence les figures 3, 4 et 5.

La tourbe fumure, au calibre de 2 mm, employée à raison de 5 kg environ par pied, favorise la plantation d'arbres ou d'arbustes. Il suffit pour cela de mélanger à la tourbe son volume de terre et de loger les racines de l'arbre dans cet ensemble, lequel, par son humidité, favorise la reprise des racines et en facilite le développement.

Enfin, un procédé efficace pour sauver les arbres entièrement développés qui dépérissent par suite de manque d'humus, consiste à en dégager méthodiquement les racines et à les envelopper de tourbe moulue.

De nombreuses plantes : pommes de terre, tabac, asperges, fraisiers, ainsi que le gazon se développent pareillement sous l'influence de la tourbe blonde.

La conservation des fruits et des légumes dans la tourbe

A cet effet, il ne faut utiliser que de la tourbe absolument sèche et du calibre de 2 mm environ. La technique suivie consiste à placer au fond d'une caisse d'emballage une couche de tourbe de 2 cm d'épaisseur. Sur ce lit, on dispose les fruits (raisins, oranges, tomates, asperges, etc.) en prenant la précaution qu'ils ne se touchent pas. On garnit ensuite les interstices avec une nouvelle quantité de tourbe que l'on comprime légèrement, puis on la recouvre d'une couche de 2 cm de tourbe sur laquelle, dans les mê-

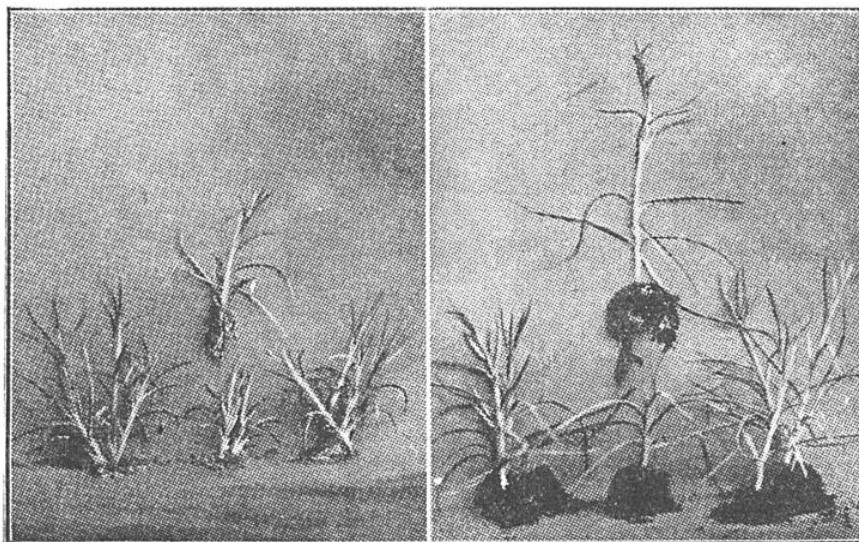


FIG. 3 ET 4. — BOUTURES D'ŒILLETS DE MÊME AGE

A gauche, les boutures ont été plantées dans le mélange habituel des horticulteurs (terreau et sable); à droite, elles ont été plantées dans la tourbe.

mes conditions que ci-dessus, on dispose une nouvelle rangée de fruits. Cette opération se répète jusqu'à ce que la caisse soit garnie. La masse de tourbe doit être suffisante et convenablement comprimée pour que, malgré les manipulations que la caisse doit supporter, les fruits demeurent bien séparés les uns des autres.

L'extraction, le séchage et la préparation de la tourbe agricole

Le plus gros producteur de tourbe blonde était avant guerre la Suède, qui exportait vers la Hollande, l'Allemagne, la France et jusqu'en Californie.

L'extraction s'y fait au moyen de louchets à main. On obtient ainsi des mottes que l'on abandonne, durant tout l'hiver, le long des tranchées. Le gel facilite la désagrégation des fibres et libère les cellules mortes ou aquifères, celles qui, précisément, possèdent un grand pouvoir absorbant. Puis, au début du printemps, les mottes de tourbe, dont l'épaisseur est d'environ 11 cm, sont étalées sur une aire au sol perméable, soigneusement nivelé, débarrassé d'herbes et d'arbustes. Il faut environ 40 jours en été, pour ramener de 80 à 40 % environ la teneur en eau de la tourbe. A ce moment (fig. 6), les mottes sont montées en cheminées d'environ un mètre de hauteur pour accélérer leur dessiccation.

On termine en désagrégeant la tourbe et en la dépoussiérant sur un crible à secousses. Ces dernières opérations ont lieu dans un atelier où se fait également l'emballage des diverses qualités de tourbe agricole.

Les conditions climatiques de la France où les heures de soleil sont, en été, moins longues que dans les pays scandinaves et la ventilation moins active, amènent à prendre une méthode différente de séchage de la tourbe. D'après ce que nous avons observé dans les Vosges, on peut éviter d'abandonner la tourbe sur place durant l'hiver. Dès extraction, il suffit de soumettre la tourbe à une pression modérée et progressive pouvant atteindre 8 à 10 kg/cm². Cette pression s'exerce sur la tourbe mise en

couche de 7 à 8 cm d'épaisseur entre deux toiles de chanvre. On empile 12 à 14 gâteaux semblables. Entre chacun d'eux, on interpose une claie en bois. En 20 minutes, on parvient ainsi à ramener de 90 à 70 % environ la teneur en eau de la tourbe, soit approximativement 50 % de ce qu'elle contenait. On dispose alors de gâteaux de 1,2 m environ de côté et de 25 mm d'épaisseur, qu'on sectionne en morceaux de 20 cm de côté, en employant une scie circulaire à 6 lames. Ces gâteaux sont empilés en damiers, sur une hauteur de 80 cm.

En été, il suffit de trois semaines à peine pour ramener leur teneur en eau à 20 % environ. Il n'y a plus qu'à désagréger, tamiser et emballer la tourbe.

Depuis l'année 1941, on construit en France des presses robustes et efficaces pour ces opérations de séchage.

Ces presses évitent en grande partie les frais d'aménagement et de maintenance sur une aire de séchage. Pour celle-ci, suivant la pratique suédoise, il faut prévoir une superficie de 7 à 8 ha par 100 m³ de tourbe extraite par jour. La photographie de la figure 6 permet de se rendre compte de l'étendue de ces terrains d'étendage auxquels il faut affecter une main-d'œuvre et des voies de roulage importantes pour leur desserte.

Nous disposons en France de réserves tourbières considérables dont nous n'avons jusqu'ici tiré qu'un parti insuffisant. Cependant l'équipement d'une tourbière ne nécessite qu'un matériel relativement restreint, et la mise à fruit d'un gisement est surtout affaire d'organisation. Certes la France ne dispose pas de gisements de tourbe blonde aussi considérables que ceux de la Suède notamment. Néanmoins, dans plusieurs régions montagneuses, des gisements peuvent fournir de la tourbe appropriée aux usages agricoles et dont la préparation peut se faire aisément. En ce qui concerne l'utilisation de la tourbe blonde, c'est de l'étranger qu'il faut encore s'inspirer, et en particulier des Suédois, des Allemands et surtout des Hollandais qui doivent à la tourbe le succès de certaines de leurs cultures de fleurs.

Henri DOYEN.

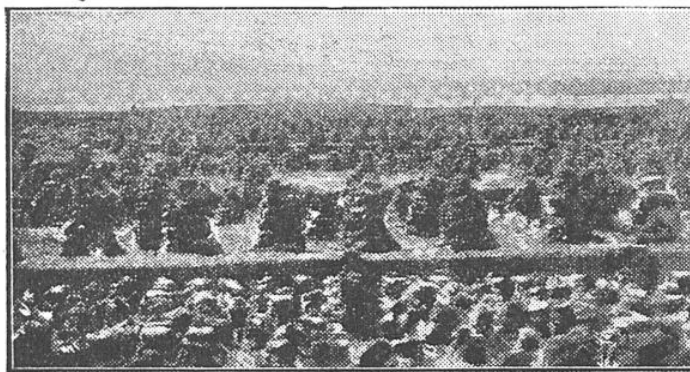


FIG. 6. — ASPECT D'UNE TOURBIÈRE SUÉDOISE AU COURS DE L'ÉTÉ
Les mottes de tourbe sont montées en cheminées pour assurer une dessiccation rapide.

Il faut près de 10³⁰ (10 suivi de 30 zéros) atomes pour constituer le corps d'un animal de taille moyenne. Il faudrait un chiffre analogue d'animaux pour constituer une modeste étoile. L'homme est ainsi à mi-chemin entre l'infinitement petit et l'infinitement grand.

LES RAYONS X ET LA PROSPECTION MINIÈRE

par Maurice-E. NAHMIAS

Docteur ès Sciences

L'étude scientifique des propriétés des rayons X a conduit à deux séries d'applications pratiques : d'une part la radiographie, qui a pris une extension très grande, non seulement en médecine, mais aussi dans l'industrie, pour le contrôle non destructif des pièces métallurgiques (et qui a en outre été étendue à l'utilisation des rayons gamma émis par les substances radioactives), d'autre part l'analyse cristalline, fondée sur le phénomène de la diffraction. Cette dernière, de création récente, présente un puissant intérêt dans toutes les recherches où il importe de connaître d'une manière précise la structure intime des corps sur lesquels on opère. A ce titre, elle a rendu d'incalculables services dans l'étude des isolants, des matières cellulosiques, du caoutchouc, le dépistage des fraudes, le contrôle des perles, et surtout en métallurgie où elle vient compléter les techniques classiques d'analyse des alliages par des procédés thermiques, électriques, dilatométriques, etc. D'ores et déjà, bien que d'une mise en œuvre et d'une interprétation délicates quant à ses résultats, elle est sortie du laboratoire de recherches du physicien pour entrer dans le laboratoire industriel de l'ingénieur.

LA terre, dont l'industrie humaine tire la plus grande part de ses matières premières, les recèle sous la forme de combinaisons et de mélanges extrêmement complexes, et sous les états physiques les plus divers (roches amorphes, cristallisées, variétés allotropiques d'un même corps, etc.).

Malgré les difficultés de cette recherche, la composition chimique et la structure des minerais doit être connue avec la plus grande précision, puisque parfois on les exploite pour une « impureté » dont ils renferment un pour mille, et même parfois beaucoup moins. On procède donc d'abord à une analyse chimique grossière qui mettra en évidence les proportions des principaux constituants de la roche; par exemple : silice, alumine et eau, pour une bauxite.

Du fait de son imprécision, cette analyse comportera le plus souvent une incertitude portant sur quelques pour cent de la composition de la roche, et qui se traduira dans le résultat de l'analyse par une rubrique : impuretés x%. Cette quantité x% est la différence entre 100 et la somme des pourcentages des éléments principaux de la roche; elle représente le pourcentage réel des impuretés, augmenté

ou diminué des erreurs sur le dosage des composés principaux.

Si l'on veut aller plus loin dans l'étude du minerai, on fera appel à l'analyse spectroscopique, qui met en évidence et permet de mesurer les quantités infinitésimales d'un élément renfermé dans un corps, et on parviendra ainsi à un dosage précis des éléments qu'il renferme.

Mais, pour cela, il aura fallu soumettre le minerai à des traitements chimiques, puis à l'action d'une température élevée, ce qui aura eu pour effet de modifier profondément l'arrangement de ses atomes, dont dépendent ses propriétés physiques. Or, pour toute une catégorie de minerais, la connaissance de l'arrangement des atomes dans les cristaux, c'est-à-dire de la structure de la roche, présente autant d'importance que celle de sa composition chimique globale. C'est ainsi que

telle variété cristalline d'alumino-silicate à point de fusion élevé, la *mullite*, sera plus recherchée que les autres pour la fabrication des briques réfractaires. L'examen de la roche au microscope, l'étude des symétries et des angles dièdres de ses cristaux permettront au minéralogiste d'y déceler telle ou telle variété cristalline. Mais cela ne suffit pas encore. Si la roche est amorphe, c'est-à-dire au stade le

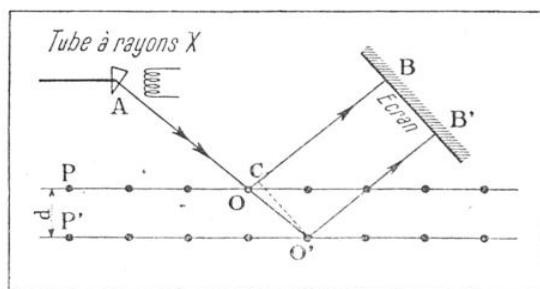


FIG. 1. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA DIFFRACTION DES RAYONS X

La différence de marche des deux faisceaux : AOB et AO'B' doit être un multiple entier de la longueur d'onde du faisceau incident pour qu'il y ait un point brillant sur l'écran (B et B' confondus).

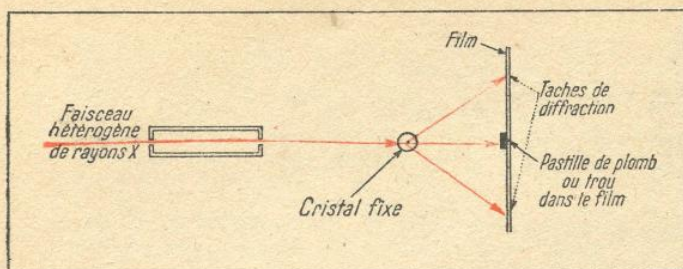


FIG. 2. — PRINCIPE DE LA MÉTHODE DE LAUE

Le cristal fixe est frappé par un faisceau hétérogène de rayons X. Chaque plan réticulaire réfléchit et diffracte les rayons d'une longueur d'onde déterminée, donnant une tache de diffraction. Sur le trajet du faisceau direct a été placée une pastille de plomb pour absorber ce rayonnement de grande intensité, ou, ce qui est préférable, on perce le film et on laisse ainsi passer le faisceau direct.

plus élémentaire de la cristallisation, nous voulons être renseignés sur la dimension de ses cristallites; si la roche contient deux variétés allotropiques d'un même composé défini, nous voulons savoir dans quelles proportions elles s'y trouvent. Nous emploierons alors le moyen le plus puissant qu'on ait trouvé jusqu'ici pour l'étude de la structure de la matière : l'examen des figures de diffraction des rayons X par les cristaux de la roche, examen qui a l'avantage de ne pas l'altérer.

La structure réticulaire des cristaux

Un cristal est une sorte d'immense molécule dans laquelle les atomes sont disposés à l'intersection de plans régulièrement espacés et parallèles à trois directions de plans. Ceci ne veut pas dire que l'on doit se représenter ce cristal comme un simple emboîtement de parallélépipèdes égaux. La structure d'un cristal peut au contraire être très compliquée, mais l'arrangement des atomes, si complexe soit-il, doit se répéter de façon régulière.

A quelle échelle devons-nous représenter les mailles du réseau à trois dimensions formé par ces assemblages d'atomes? La diffraction des

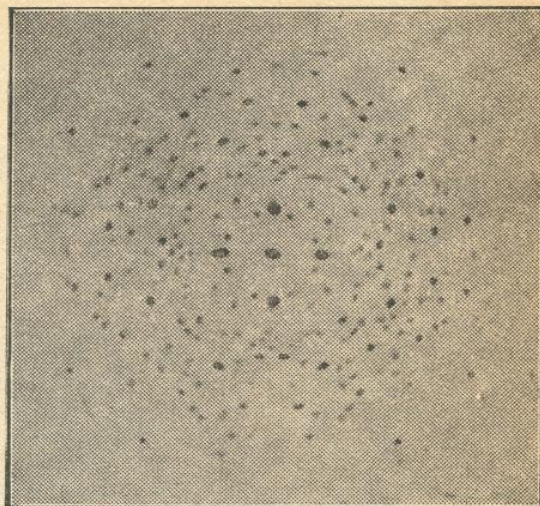


FIG. 3. — UN DIAGRAMME DE LAUE (BOLÉITE QUADRATIQUE, D'APRÈS M. R. HOCART)

rayons X, radiations dont la longueur d'onde, de l'ordre de l'angström (dix-millionième de millimètre) a été mesurée par d'autres méthodes, a permis d'évaluer ces distances qui se trouvent, elles aussi, de l'ordre de l'angström.

La diffraction des rayons X par les cristaux

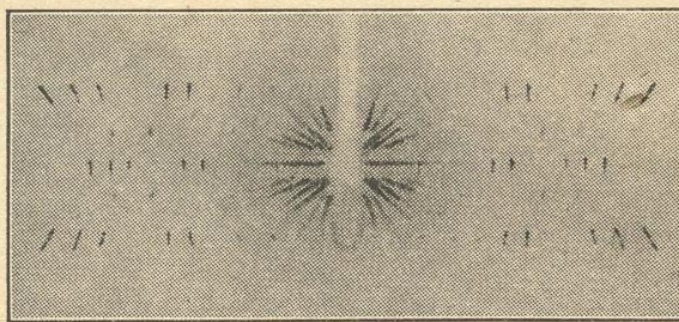
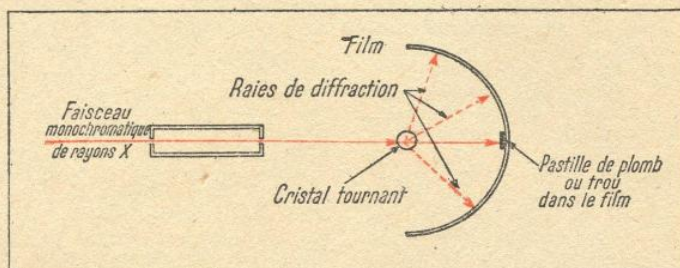


FIG. 4 et 5. — PRINCIPE DE LA MÉTHODE DE BRAGG OU DU CRISTAL TOURNANT ET DIAGRAMME DU SEL GEMME

Le cristal tournant est frappé par un faisceau monochromatique de rayons X. Quand un plan réticulaire du cristal reçoit le faisceau sous l'incidence voulue, fonction de la longueur d'onde fixe et de la distance réticulaire, il le diffracte, donnant une raie lumineuse sur le film.

Que se passe-t-il quand un faisceau de rayons X traverse un cristal? Chaque atome atteint par les rayons X renvoie l'énergie lumineuse qui lui est apportée par la radiation incidente dans toutes les directions de l'espace. L'addition de toutes ces radiations correspond à une onde unique, « enveloppe » de toutes les ondes élémentaires dont chaque particule est le centre. On verrait, par un calcul simple, que cette onde résultante a une intensité pratiquement nulle dans toutes les directions, sauf dans celle qui correspond à la réflexion régulier.

lière suivant les lois classiques de l'optique (égalité de l'angle d'incidence et de l'angle de réflexion), sur les plans « réticulaires » du cristal, c'est-à-dire ceux où sont distribués les nœuds du réseau cristallin. Encore faut-il que l'angle d'incidence en question réponde à des conditions spéciales.

Considérons en effet la figure 1 qui montre schématiquement la réflexion d'un rayon sur les atomes de deux plans réticulaires successifs. On voit qu'à leur arrivée sur l'écran, en B et en B', les deux rayons réfléchis n'ont pas parcouru depuis le point A des chemins égaux. Le chemin AO'B' contient la distance OO' que ne contient pas le chemin AOB. Ce dernier, au contraire, contient la distance OC, que l'on ne retrouve pas dans le chemin AO'B'. La « différence de marche » est donc égale à la différence entre ces deux longueurs. Comme la distance d (distance « réticulaire ») entre les deux plans P et P' est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde du rayonnement X incident (c'est-à-dire de l'ordre du dix-millionième de millimètre), on pourra confondre sur la plaque photographique qui sert

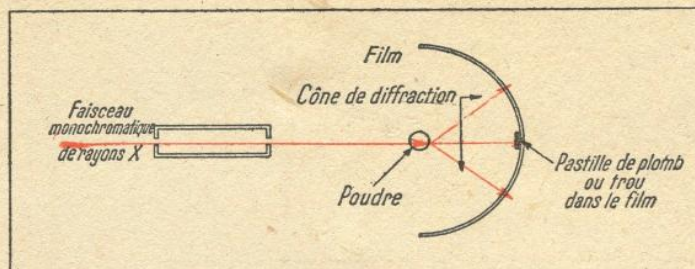


FIG. 6. — PRINCIPE DE LA MÉTHODE DE DEBYE-SCHERRER OU MÉTHODE DES POUDRES

Les plans réticulaires des particules finement pulvérisées possèdent toutes les orientations possibles. Par suite, à chacun d'eux correspondra un cône de diffraction, puisqu'on peut toujours trouver des particules dont l'orientation concorde avec la distance réticulaire et la longueur d'onde unique du rayonnement incident.

P' on faisait intervenir tous ceux qui leur sont parallèles et distants les uns des autres de la même distance réticulaire d .

Nous voyons donc que, suivant la longueur d'onde de la radiation X utilisée et suivant les valeurs des distances réticulaires (qui sont très nombreuses et diversement orientées dans un cristal), nous observerons des points plus ou moins brillants en certains endroits d'une plaque photographique convenablement disposée sur le trajet des faisceaux diffractés.



FIG. 7. — RAIES DE DIFFRACTION OBTENUES PAR LA MÉTHODE DES POUDRES (SULFATE DE CUIVRE, D'APRÈS M. BINDER)

d'écran les deux points B et B'. Nous observerons donc en ce point commun le phénomène suivant. Si la différence de marche des deux rayons est un multiple entier de la longueur d'onde du rayonnement, les phases coïncideront, les intensités s'ajouteront et nous aurons un point brillant. Au contraire, si la différence de marche est égale à un nombre impair de demi-longueurs d'onde, les phases seront en opposition, les intensités se retrancheront et nous aurons un point « obscur », ou au moins très faible. Le raisonnement serait exactement le même si au lieu de considérer seulement deux plans P et

Les méthodes d'analyse

La diffraction des rayons X est à la base des importantes méthodes d'analyse de la structure des matières cristallisées ou amorphes dont nous avons parlé plus haut. Nous venons de voir que l'observation d'une tache de diffraction était conditionnée par une relation entre l'incidence du faisceau sur le cristal, sa longueur d'onde et la distance réticulaire. On pourra donc pratiquement, avec un cristal donné, soit opérer avec une incidence constante et toute une gamme de longueurs d'ondes, soit avec une seule longueur d'onde et toute une gamme d'incidences.

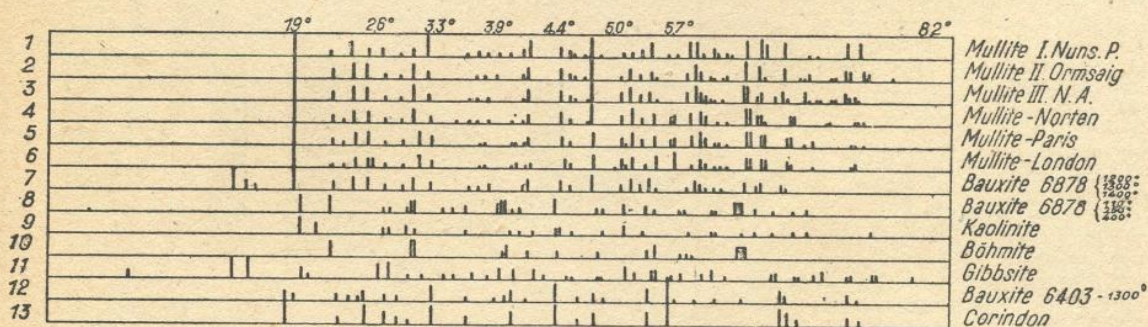
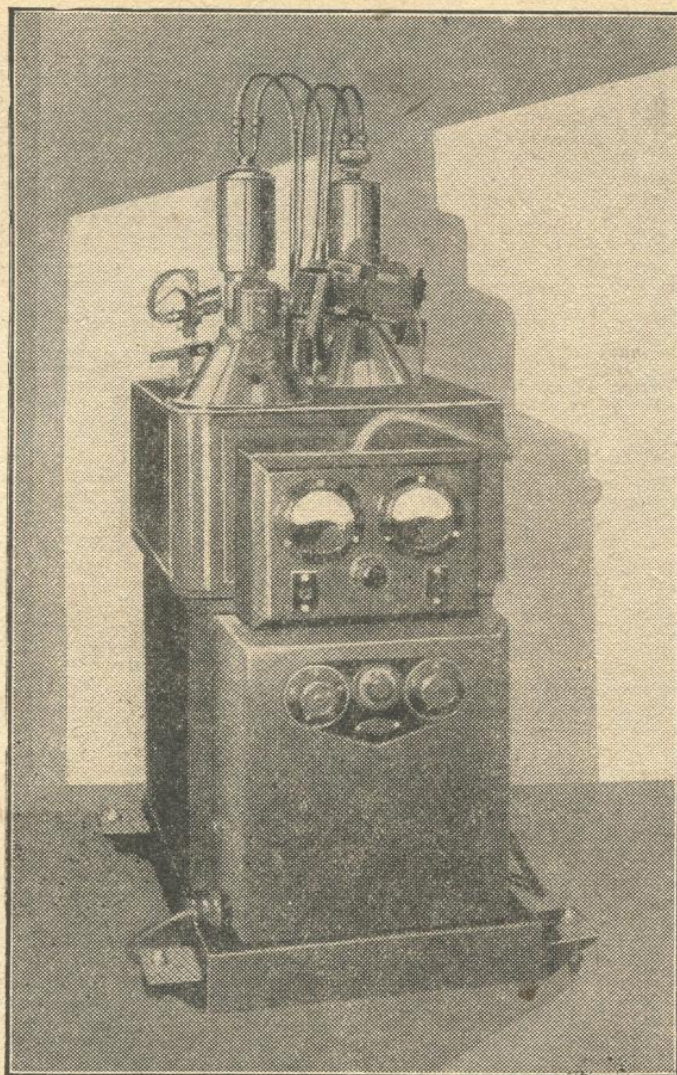


FIG. 8. — INTENSITÉS RELATIVES DES RAIES DE SPECTRES DE POUDRES

On voit l'identité pratique du graphique 7 (bauxite 6878 calcinée) avec les graphiques 1 à 6 (mullite), ainsi que des graphiques 12 et 13 (bauxite 6403 calcinée et corindon). On retrouve dans le graphique 8 (bauxite 6878) les principaux éléments des graphiques 9 (kaolinite), 10 (bohmite) et 11 (gibbsite). De même, on note l'identité pratique de la bauxite 6403, calcinée à 1300°, avec le corindon.



T W 40030
FIG. 9. — ENSEMBLE D'UN GROUPE
POUR LA RADIOCRISTALLOGRAPHIE IN-
DUSTRIELLE

On aperçoit à la partie supérieure les deux tubes non démontables fonctionnant sous 45 000 volts, ainsi que les différents accessoires, porte-films, etc. (Compagnie Générale de Radiologie.)

Dans le premier cas, avec la méthode dite de Laue (fig. 2), la première en date, on envoie sur un cristal fixe un faisceau de rayons X de toutes longueurs d'ondes : les réfractions à travers tous les plans réticulaires donnent des groupes de taches lumineuses telles que celles de la figure 3. Dans le second, avec la méthode de Bragg (fig. 4), on fait appel à un faisceau monochromatique (1) d'une seule

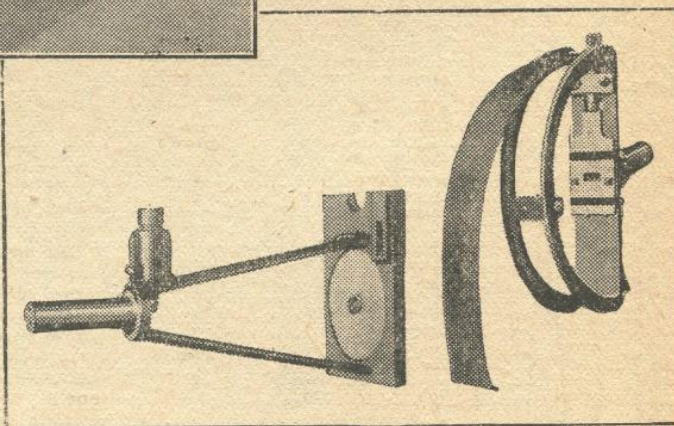
(1) Anticathode de cuivre, de molybdène, etc., soumise à un bombar-

longueur d'onde), et le cristal est monté sur un support tournant : on observe alors sur un film photographique cylindrique entourant l'appareil un véritable spectre (figure 5) dont chaque « raie » s'est inscrite à l'instant où l'orientation du cristal était favorable à la diffraction du faisceau sur une série déterminée de plans réticulaires.

Point n'est besoin cependant de disposer d'un cristal de grande dimension. Une poudre très fine est composée de grains ayant un diamètre de l'ordre du millième de millimètre. Un seul de ces grains contient des centaines de cristallites élémentaires. Si on fait tomber un faisceau de rayons X sur une telle poudre, tous les cristaux qui se trouveront dans une orientation favorable diffracteront les rayons, suivant un cône de révolution autour du rayon incident. Comme on peut admettre, étant donné le grand nombre des cristaux, que toutes les orientations sont représentées, on observera, comme dans la méthode précédente, un spectre d'anneaux circulaires, si on le conserve tout entier, ou d'arcs de cercles si on en découpe seulement une bande. C'est la méthode de Debye et Scherrer ou *méthode des poudres* qu'illustrent les figures 6 et 7.

L'analyse qualitative des minerais

On peut, par les procédés précédents, constituer grâce à l'examen de substances cristallines purement électronique d'énergie suffisante pour exciter le rayonnement caractéristique de ce métal.



T W 40031
FIG. 10. — DEUX MODÈLES DE PORTE-FILMS POUR L'ÉTUDE CRISTALLOGRAPHIQUE PAR LA DIFFRACTION DES RAYONS X

A gauche, porte-film plan pouvant servir à l'étude des diagrammes de Laue ou des anneaux de Debye-Scherrer; à droite, porte-film semi-circulaire utilisé dans la méthode de Debye-Scherrer. (Compagnie Générale de Radiologie.)

res et bien définies, une sorte de catalogue de spectres de rayons X auquel on se référera lorsqu'on voudra analyser un échantillon nouveau.

On pourra faire subir aux corps étalons différents traitements (dessiccation, chauffage, etc.) et suivre au « spectrogramme » les modifications de structure qu'il éprouve ainsi. On obtiendra ainsi autant de points de repère dont on pourra le cas échéant faire son profit.

Prenons un exemple concret : examinons attentivement les spectrogrammes schématisés de la figure 8. Nous observons que les numéros 1 à 6 de différentes mullites sont identiques au numéro 7 fourni par l'échantillon de bauxite 6 878, calcinée à plus de 1 200 degrés. Il suffit de mentionner que la mullite est un minéral assez rare, qui vient de l'île de Mull, en Ecosse, et qu'elle sert notamment à fabriquer des briques pour la confection de fours réfractaires, pour qu'on saisisse tout l'intérêt qu'il y a à savoir qu'on peut l'obtenir par calcination de produits plus courants.

Allons plus loin dans l'analyse de cette bauxite 6 878. La comparaison du spectre 8 avec les lignes 9, 10 et 11 montre la présence de kaolinite (combinaison de silice de l'alumine), de boémite (alumine hydratée à une molécule d'eau) et de gibbsite (alumine hydratée à trois molécules d'eau). On pourrait calculer, en supposant toute la silice combinée à l'alumine et l'alumine en excès hydratée, les pourcentages de kaolinite, boémite et gibbsite; mais, pour confirmer ces calculs, il faudrait recourir à l'analyse quantitative dont nous allons parler plus loin.

En comparant les lignes 12 et 13 on voit que la bauxite 6403, qui ne contient pratiquement pas de silice, donne par calcination du corindon.

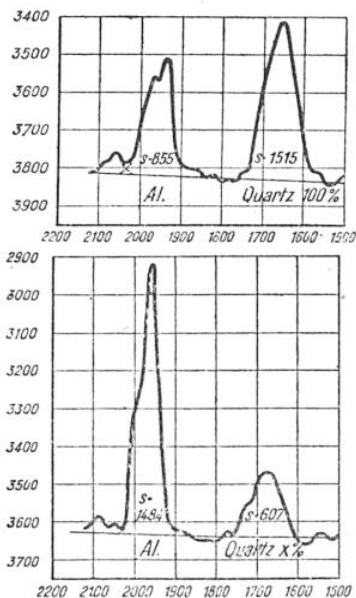


FIG. 11. - COURBES PHOTOMÉTRIQUES DES RAIES SERVANT AU DOSAGE DU QUARTZ

En haut, les courbes ont été relevées pour une raie du fil support en aluminium et une raie voisine provenant du quartz pur. En bas, il s'agit de la même raie de l'aluminium et de celle du quartz d'une terre qui en contient une proportion inconnue. Il s'agit de mesurer les surfaces de ces courbes et de combiner leurs rapports avec celui des masses de quartz et de terre utilisées dans l'expérience pour en déduire la teneur inconnue.

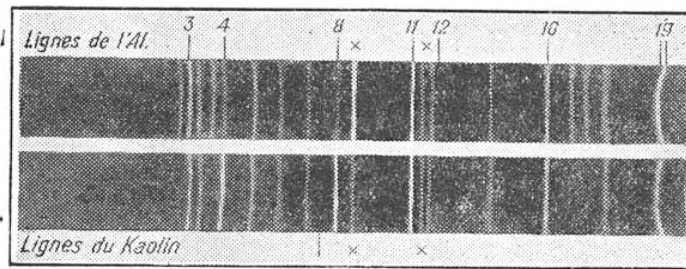


FIG. 12. — SPECTRES DESTINÉS AU DOSAGE DU QUARTZ

En haut, il s'agit d'un fil d'aluminium enduit de quartz pur; en bas, d'un fil d'aluminium enduit d'une terre contenant une proportion inconnue de quartz. Les lignes, dues au quartz et marquées d'une croix, sont celles qui ont servi au dosage.

programmes peuvent ne pas être très visibles, et il peut être avantageux de changer la longueur d'onde de la radiation incidente pour les mieux mettre en évidence. Ceci s'obtient très facilement en changeant l'anticathode de l'ampoule démontable qui sert de tube à rayons X. En cristallographie, on tend de plus en plus à utiliser des groupes démontables avec des pompes à vide. Le coût initial de l'appareillage est plus élevé que celui d'une ampoule vidée et scellée, mais cette dépense supplémentaire est vite récupérée par le fait que l'on peut remplacer les filaments grillés et qu'une seule ampoule avec plusieurs anticathodes est plus économique que plusieurs ampoules scellées. Le rayonnement de ces anticathodes, en métal pur, est presque « monochromatique ». On prend soin de filtrer la radiation et de ne pas laisser se déposer, à la longue, sur l'anticathode, de la poussière de tungstène issue du filament.

Soulignons par exemple que les aluminosilicates existent sous différentes formes cristallines : cyanite, andalousite, sillimanite et mullite. De toutes celles-ci, la mullite est la plus recherchée parce que la plus réfractaire à la chaleur. Le spectrogramme de cette variété est très voisin de celui de la sillimanite, mais une radiation convenable donne des différences assez nettes.

L'analyse quantitative des roches

Revenons à notre roche formée de cristaux de différentes sortes. Nous sera-t-il possible d'en faire, non plus seulement l'analyse qualitative, mais encore l'analyse quantitative?

L'intensité de la lumière diffractée par un cristal sera évidemment proportionnelle au volume du cristal. Dans une poudre formée d'un grand nombre de cristaux de toutes dimensions, disposés n'importe comment, la quantité de lumière diffractée suivant une raie déterminée est proportionnelle au nombre total des cristaux qui la produisent et à leur volume moyen, donc à la quantité de l'espèce cristalline considérée contenue dans le cristal. La comparaison de l'intensité des raies du spectre d'une poudre de cristaux purs, puis des mêmes raies correspondant à ces cristaux dans un mélange quelconque peut donner une idée de la proportion de ces cristaux dans le mélange. Mais on ne peut pas encore parler de mesures précises, car les quantités de rayonnement diffractées par les deux échantillons sont difficilement comparables : l'absorption par les constituants du mélange, les conditions différentes d'irradiation et de déve-

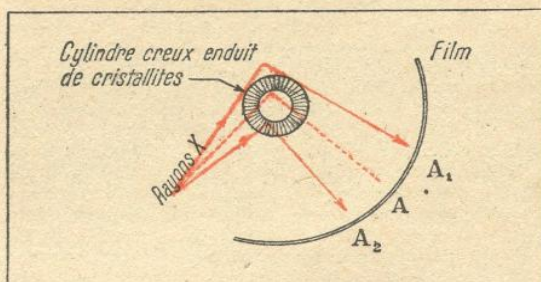


FIG. 13. — PRINCIPE DE LA MESURE DE LA DIMENSION DES CRISTALLITES (MÉTHODE DE BRILL)

On constitue un cylindre de cotonnion portant sur sa surface la poudre cristalline à utiliser. On voit qu'en dirigeant sur ce cylindre un faisceau de rayons X, on dédouble le faisceau réfléchi (voir la figure 14).

loppement des clichés introduisent leurs erreurs. C'est pourquoi il est préférable d'employer la méthode suivante que nous avons mise au point.

Prenons un fil d'aluminium de 1 mm de diamètre et de 10 mm de long. Enduisons-le de baume de Canada; pesons-le alors avec une balance de diamantaire; roulons le fil humide sur un petit tas de quartz pur dont les grains vont y adhérer et pesons-le à nouveau. Par différence on connaît le poids de la poudre de quartz qui y est restée fixée. Nous suspendrons alors ce fil à un dispositif hélicoïdal pour que toute la masse de quartz soit irradiée par le

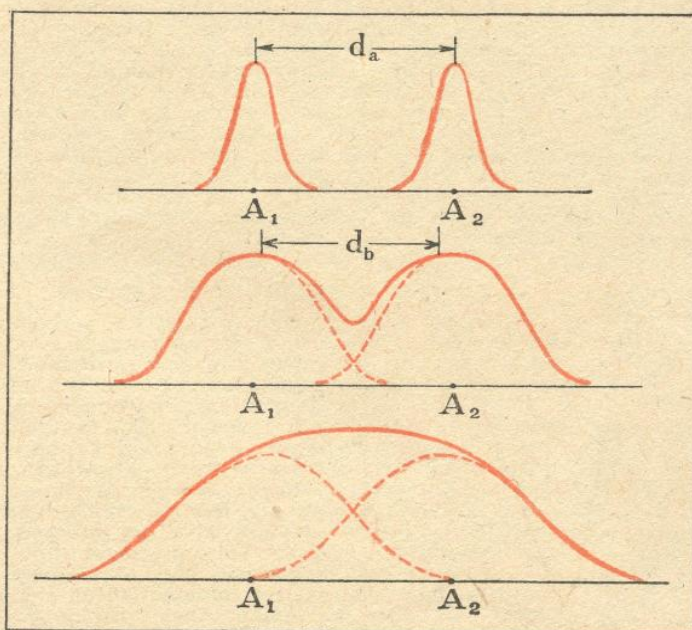


FIG. 14. — LE DÉDOUBLEMENT DES RAIES POUR L'ÉVALUATION DE LA DIMENSION DES CRISTALLITES

En haut, les deux contours microphotométriques, bien formés et distincts correspondent à des cristallites de dimensions appréciables. Ils tendent à empiéter l'un sur l'autre et à se conjondre même, lorsque la dimension des cristallites devient trop faible. La mesure de la distance qui sépare les maxima permet d'évaluer ces dimensions.

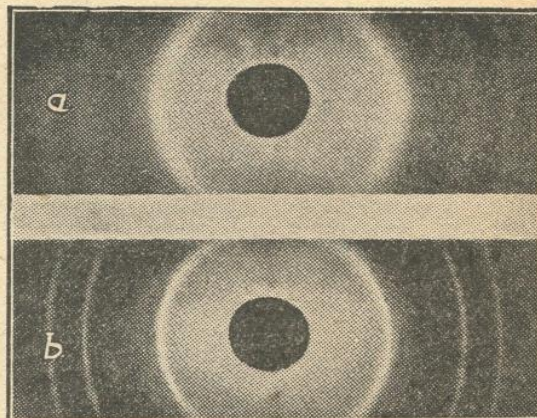


FIG. 15. — DEUX RADIOGRAPHIES DE SULFURE DE ZINC METTANT EN ÉVIDENCE L'INFLUENCE DE LA DIMENSION DES MICROCRISTAUX

En haut, les lignes élargies accusent la présence de petits cristaux de dimensions inférieures au dixième de micron. Par cuisson à 500°, ces cristaux fusionnent pour donner des cristaux plus gros, ce que montre la plus grande netteté des lignes, en bas (d'après la Revue Technique Philips).

faisceau de rayons X. Nous obtiendrons un spectrogramme de quartz surimposé au spectrogramme du fil d'aluminium, tel que celui qui est représenté sur la figure 12, en haut. Prenons une ligne quelconque du spectre de l'aluminium et mesurons son intensité au microphotomètre. Faisons de même pour une ligne de quartz voisine de cette raie. Maintenant, répétons tout le processus, mesure du poids, prise du spectrogramme et mesure au microphotomètre, avec la poudre à analyser et qui contient un pourcentage inconnu de quartz.

Le dépouillement microphotométrique donne les surfaces des raies telles qu'on les voit sur la figure 11. En haut figure d'abord la raie de l'aluminium (support) et ensuite la raie du quartz 100 %. En bas la même raie de l'aluminium d'abord et celle du quartz à x % ensuite.

Pour avoir le pourcentage inconnu x, il suffit de faire le rapport des intensités des raies et de le diviser par le rapport des poids.

L'étude des roches amorphes : La dimension des cristallites

Nous n'avons pas fait intervenir dans notre exposé de la diffraction des rayons X les dimensions des cristaux. En effet, ceux-ci, si petits soient-ils (de l'ordre du micron), peuvent être considérés comme très grands par rapport aux distances entre les atomes. Il n'en est plus de même si nous étudions une substance à

l'état amorphe, c'est-à-dire à la phase élémentaire de la cristallisation. Dans ce cas, les cristallites comporteront un nombre d'atomes qu'on ne peut pas considérer comme pratiquement infini.

Il en résultera que les plages lumineuses des raies seront beaucoup moins nettement délimitées.

Si nous traçons autour de la valeur de l'incidence correspondant à une raie d'un spectre de diffraction la courbe de l'intensité lumineuse, cette courbe sera d'autant moins « pointue », que les cristallites comprendront moins d'atomes. Ceci nous permet d'évaluer les dimensions des cristaux élémentaires d'une roche amorphe.

Dans la pratique, on opère suivant la technique mise au point par Brill. On colle la poudre à étudier sur un tube de 2 à 3 mm de diamètre. La figure 13 permet de se rendre compte que l'on assiste alors à un dédoublement des raies du spectre. Analysées au microphotomètre, les deux raies résultantes donneront les contours que l'on voit sur la figure 14

et qui représentent la somme des intensités en chaque point exploré par le spot du microphotomètre. La dimension de ce spot mise à part, la largeur de chaque raie individuelle interviendra dans l'étalement de sa courbe photométrique. On voit qu'une poudre contenant des cristallites excessivement fines donnera une courbe très étalée; inversement des cristallites convenablement formées donneront des raies fines, et partant des courbes bien pointues. La distance des maxima d'une même raie dédoublée par la méthode Brill donnera donc une idée de la dimension de ces cristallites.

Avec des substances parfaitement amorphes, on n'observerait plus guère que des halos mal définis, qui permettraient cependant encore, dans une certaine mesure, de connaître la répartition des atomes dans la molécule. L'emploi des rayons X a, en particulier, rendu ainsi de très grands services dans l'étude de la structure de la cellulose, des textiles artificiels, par exemple, et du caoutchouc.

Maurice-E. NAHMIAS.

LES A COTÉ DE LA SCIENCE INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

Un nouvel appareil de « restitution » pour la cartographie

ON sait que l'on désigne sous le nom « photogrammétrie » l'ensemble des procédés ayant pour but l'utilisation des clichés photographiques pour la mesure précise des éléments du sujet photographié. La photogrammétrie trouve en particulier un vaste champ d'application en cartographie où elle permet des « restitutions » à la fois très précises et très rapides, fournissant la planimétrie et le nivellement du terrain avec un luxe de détails qu'aucune autre méthode ne saurait fournir dans le même temps. L'institut photogramétrique de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich a ainsi réalisé des cartes au 1/50 000 pour lesquelles l'erreur moyenne ne dépasse pas 2,50 m en hauteur et 4 m au plan (soit 0,08 mm à l'échelle!).

Les procédés utilisables pour transformer en carte ou en plan un ensemble de photographies aériennes sont de deux ordres différents.

On peut, d'une part, assembler des clichés (préalablement « redressés » au moyen d'un appareil spécial, afin d'éliminer les déformations résultant de l'altitude variable de l'opérateur et de sa position plus ou moins oblique lors de la prise de vue), de manière que la juxtaposition de ces vues

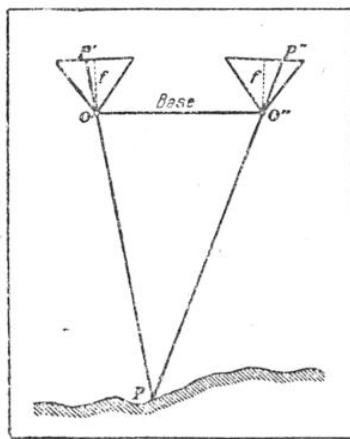


FIG. 1. — PRINCIPE DE LA PHOTOGRAPHIE STÉRÉOSCOPIQUE

Les deux clichés du point P sont pris des deux positions O' et O''; les images se forment respectivement en p' et p''.

partielles constitue une sorte de plan très détaillé de l'ensemble du terrain. Cette méthode est surtout employée aux Etats-Unis, où des appareils perfectionnés corrigent les erreurs de parallaxe qui seraient évidemment surtout importantes en terrain accidenté.

On peut également construire des appareils permettant d'utiliser directement les photographies aériennes pour le tracé des cartes avec leurs lignes de niveau. Un grand nombre de ces appareils, reposant sur des principes divers et toujours très ingénieux, ont été réalisés. Parmi les appareils les plus perfectionnés, il faut citer le « stéréoplanigraphe de Zeiss » et l'« autographe Wild A 5 ». Ces instruments, chefs-d'œuvre de l'industrie mécanique et optique, sont d'un prix extrêmement élevé, et leurs frais d'amortissement sont d'autant plus considérables qu'il peut falloir plus d'une journée de travail pour la restitution topographique à petite échelle d'un seul couple de clichés.

Cependant, une précision aussi grande que celle donnée par ces appareils n'est par toujours nécessaire, et il serait souvent préférable

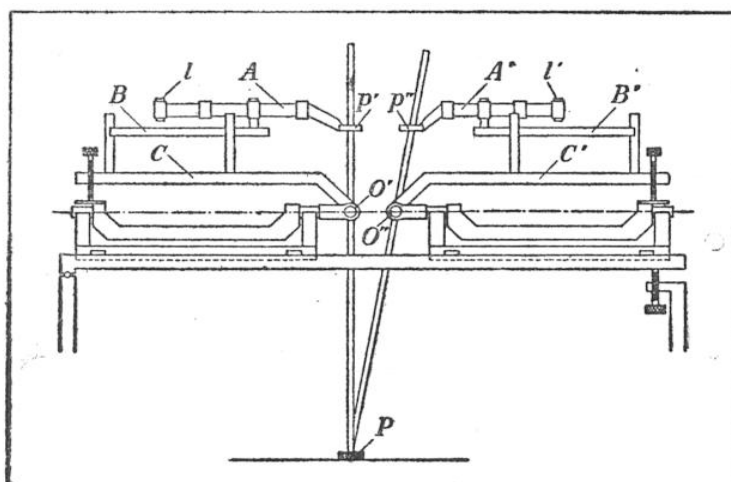


FIG. 2. — COUPE SIMPLIFIÉE DE L'AUTOGRAPHE WILD A 6

Les deux clichés sont disposés en B et B' et les images d'un même point sont observées par les lunettes l et l'. Les parallélogrammes articulés A et A' transmettent le mouvement de ces lunettes à deux anneaux p' et p'', à travers lesquels passent deux tiges articulées en P. Ces deux tiges pouvant tourner et coulisser librement autour des points O' et O'', on a matérialisé ainsi les rayons lumineux Pp' et Pp'' de la figure 1, O' et O'' figurant les objectifs des appareils photographiques.

de la réduire au profit de la simplicité et de la rapidité de maniement de la machine. L'appareil représenté par la figure 3 répond à cette préoccupation. Son principe consiste à matérialiser simultanément les rayons lumineux qui, issus d'un même point du terrain, ont successivement impressionné deux cli-

chés photographiques différents, de manière à « restituer », au véritable sens du mot, la configuration du terrain par une marche exactement inverse de celle par laquelle elle a été décomposée par les prises de vues successives : par un réglage stéréoscopique, on donne à deux tiges métalliques arti-

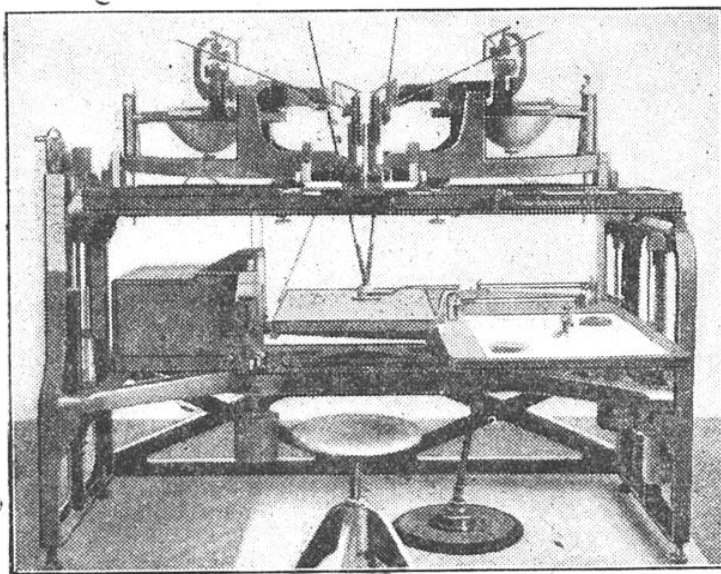


FIG. 3. — L'AUTOGRAPHE WILD A 6

T W 25046

culées la direction desdits rayons lumineux. La position de leur point de jonction figure alors « dans l'espace » le point correspondant du terrain.

La figure 1 montre schématiquement les deux positions de la chambre de prises de vues au moment de l'exposition. A chacune des positions O' et O'' de l'objectif correspond une image photographique p' et p'' du point P. La distance survolée entre les deux stations s'appelle la base. Dans l'appareil de restitution A 6, les rayons Pp' et Pp'' sont matérialisés par des tiges conductrices, ou « dirigeants », réunies en P par une articulation (fig. 2). Elles peuvent glisser le long de leur axe et être orientées en tous sens autour de O' et O''. Pour placer les axes Pp' et Pp'' de manière à reproduire les directions des rayons lumineux issus de P au moment des prises de vue, deux parallélogrammes articulés A et A' sont munis de lunettes l et l' dans lesquelles on vise les deux images d'un même point du terrain que donnent les clichés placés dans les porte-plaques B et B' (des renvois optiques non représentés permettent d'effectuer commodément ce réglage au moyen de deux oculaires donnant une image stéréoscopique). Les déplacements des lunettes étant symétriques de ceux des anneaux qui guident les « dirigeants », les clichés sont placés à l'envers dans les porte-plaques.

Au moyen des différents axes de rotation représentés sur la figure 2, les deux châssis C et C' sont convenablement orientés pour reproduire l'inclinaison exacte des plaques photographiques lors de la prise de vue. Ce réglage préalable s'effectue sur des points de repère du terrain connus à l'avance, avec lesquels doit coïncider l'articulation P lorsque leurs images sont visées simultanément par l et l'.

On amène au contact de l'articulation P une table horizontale dont la hauteur correspond à une altitude déterminée du point visé. Lorsque l'opérateur déplace les lunettes de manière que P reste au contact de la table, le crayon relié à P par un pantographe (fig. 3) trace une courbe de niveau (en

pratique l'opérateur s'efforce de maintenir l'image d'un index réglable au contact de l'image stéréoscopique du terrain que lui donne la combinaison optique mentionnée plus haut et non représentée).

On obtiendra des séries de courbes de niveau en modifiant la hauteur de la table, l'altitude étant indiquée par l'échelle fixée à gauche de la machine (fig. 3).

L'avantage principal de l'autographe A 6 est, outre sa simplicité et la facilité de son maniement, qu'aucune transformation ni réduction des photographies n'est nécessaire. On utilise indifféremment les négatifs, diapositifs et clichés sur papier obtenus avec des chambres de prises de vue de format ou de distance focale quelconque (il suffit de régler proportionnellement à la distance focale la distance des points O' et O'' au plan de mensuration dans lequel se déplacent p' et p'').

Malgré la simplicité de la construction, la précision obtenue atteint un degré surprenant.

Les vols dans la stratosphère

LE vol à haute altitude soumet l'organisme humain à pénible épreuve. La navigation dans les couches élevées de l'atmosphère a ouvert à la médecine un vaste champ d'observations nouvelles, encore

très incomplètement exploré. La guerre, en obligeant chasseurs et bombardiers à opérer toujours plus haut et toujours plus vite, a imposé des solutions immédiates encore que provisoires aux problèmes pratiques du vol en atmosphère raréfiée. Il a fallu en effet, du point de vue physiologique, prendre les mesures nécessaires pour prévenir les lésions qui menacent l'organisme des aviateurs, pour maintenir, sinon accroître, la vitesse et la précision de leurs réflexes ainsi que leurs fonctions mentales et aussi, du point de vue constructif, donner aux ingénieurs les directives nécessaires pour qu'ils réalisent l'appareillage répondant le mieux aux exigences physiologiques des équipages dans les conditions anormales où ils peuvent se trouver placés.

L'expérimentation dans ce domaine est délicate, et les phénomènes observés dans la pratique du vol sont si complexes qu'il est indispensable d'opérer à terre, dans le calme du laboratoire, où peuvent être étu-

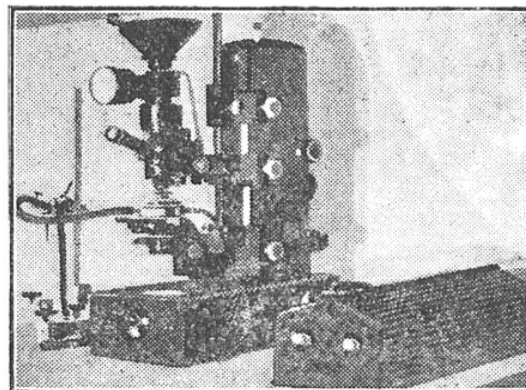


FIG. 5. — CHAMBRE DE DÉPRESSION MICROSCOPIQUE POUR L'ÉTUDE DU COMPORTEMENT DES CELLULES VIVANTES SOUS PRESSION RÉDUITE

Dans cette chambre peut être observé le dégagement de bulles gazeuses à l'intérieur des cellules. On sait qu'à haute altitude, au-dessus de 8 000 m, des bulles d'azote peuvent se former dans le sang ou les tissus, provoquant de violentes douleurs articulaires qui vont jusqu'à paralyser les mouvements des pilotes.

diés séparément les effets du froid, de l'abaissement de la pression, de la diminution de la teneur de l'air en oxygène, etc. De nombreux laboratoires spécialement équipés se sont consacrés à ces problèmes en Allemagne. Il s'agit non seulement d'annexes aux établissements de recherche de l'aéronautique, dotés en particulier de chambres de dépression, mais aussi d'Instituts physiologiques rattachés aux Universités et où les recherches, allant au fond des choses, semblent ne plus guère avoir de rapports avec la navigation aérienne. Les figures ci-contre montrent, par exemple, l'une, l'étude des perturbations qu'éprouve l'activité électrique du cerveau lorsque est réduite la teneur en oxygène de l'air inhalé par le patient, perturbations mises en évidence par le relevé continu des encéphalogrammes, l'autre une chambre de dépression minuscule où, sur la platine même du microscope, peut être observé le comportement de cellules vivantes sous différents degrés de vide, c'est-à-dire à différentes altitudes.

La valeur pratique de ces recherches est inestimable. Elles ont permis de mettre en évidence les toutes premières manifestations du mal des altitudes; celles-ci passent généralement ina-

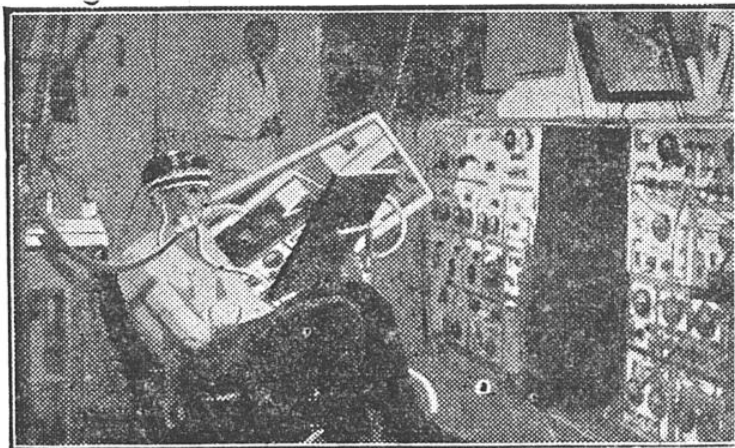


FIG. 4. — RELEVÉ D'UN ENCÉPHALOGRAMME SUR UN PATIENT RESPIRANT UN AIR DE COMPOSITION VARIABLE, A TENEUR EN OXYGÈNE RÉDUITE

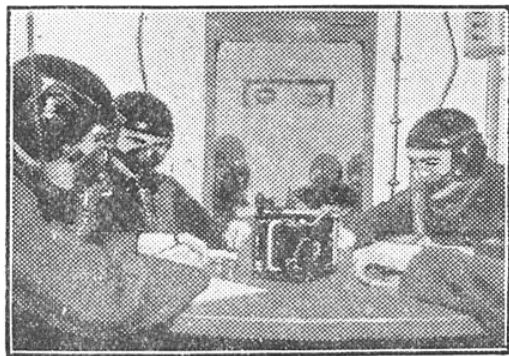


FIG. 6. — L'INTÉRIEUR D'UNE CHAMBRE DE DÉPRESSION MOBILE POUR LA MESURE DES « RÉSERVES DE TEMPS » DES PILOTES

Cette chambre est mise brusquement en communication avec une chambre plus grande où on a fait le vide. Les pilotes peuvent ainsi observer sur eux-mêmes les effets d'une brusque chute de pression.

perçues des pilotes inexpérimentés qui se trouvent ainsi exposés au risque d'une diminution insensible ou d'un effondrement subit de leurs facultés. Grâce à un entraînement spécial, ils sont à même de reconnaître sur eux-mêmes les premières atteintes du mal et, par suite, de prendre les mesures prévues.

De même a été dégagée la notion de « réserve de temps », durée pendant laquelle l'organisme humain est capable de résister à une chute brusque de pression, comme cela pourrait se produire dans un avion à cabine étanche atteint par un projectile et dont l'atmosphère intérieure se trouverait brusquement mise en communication avec l'extérieur. Une chambre de dépression mobile (fig. 6), installée sur camions avec ses accessoires, permet aux pilotes de mesurer sur eux-mêmes la valeur de cette « réserve de temps » pour

chaque altitude de vol, jusqu'à 17 000 m.

Il faut souligner, en outre, l'importance de ces recherches pour la médecine générale. Une fourniture insuffisante d'oxygène aux tissus ne s'observe pas seulement dans les vols à grande altitude, mais aussi dans les maladies du cœur, du sang, et dans les empoisonnements. La mesure précise de la « réserve de temps » indique la durée pendant laquelle le système

nerveux central peut subsister sans oxygène, durée que le chirurgien peut mettre à profit pour interrompre l'irrigation normale des tissus où il est appelé à intervenir. Enfin, le mécanisme des échanges gazeux au cours de la respiration étant de mieux en mieux connu, des applications pratiques nouvelles ont déjà vu le jour dans le domaine de la respiration artificielle sous la forme de poumons d'acier à pression variable, où un patient peut subsister des heures ou des jours sans accomplir aucun mouvement respiratoire musculaire.

Le bouton-concierge

UN de nos lecteurs nous signale le dispositif représenté schématiquement ci-dessus et permettant de renseigner les personnes qui viennent sonner à votre porte en votre absence. En appuyant sur le

bouton B, les contacts C1 et C2 se ferment et le courant de la source S alimente la lampe L qui s'allume. L'ensemble est enfermé dans un coffret muni d'une fenêtre vitrée derrière laquelle on peut glisser un papier translucide portant la mention dé-

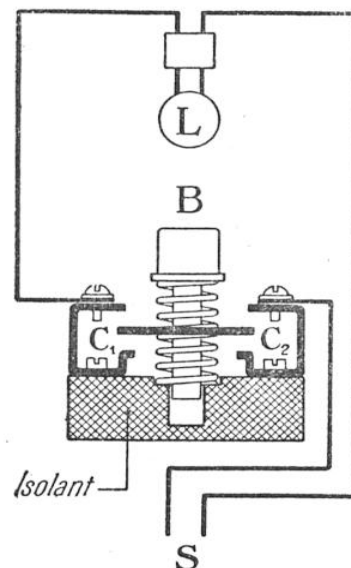


FIG. 7. — SCHÉMA DE MONTAGE DU BOUTON-CONCIERGE

sirée. Par exemple : S'adresser au 18.

Evidemment, il paraît plus aisé d'épingler une simple carte à sa porte pour donner les renseignements voulus. Cependant, pendant la nuit, ces inscriptions sont difficiles à lire. Le bouton-concierge au contraire fournit lui-même l'éclairage.

Bien entendu, l'extinction se produit automatiquement dès que l'on cesse d'appuyer.

Enfin, il est possible de combiner ce dispositif avec le bouton de commande d'une sonnerie.

Pour être sûr de lire régulièrement SCIENCE ET VIE, abonnez-vous :

	France	Etranger
Envois simplement affranchis	80 francs	150 francs
Envois recommandés	110 —	200 —

::

Tous les règlements doivent être effectués par cheque postal : 184.05 Toulouse. — Nous n'acceptons pas les timbres-poste.

Prières de joindre 3 francs pour les changements d'adresse.

La table générale des matières n° 1 à 186 (1913-1922) est expédiée franco contre 25 francs.

Les MEILLEURES ÉTUDES par CORRESPONDANCE

se font à l'ECOLE DES SCIENCES ET ARTS où les meilleurs maîtres, appliquant les meilleures méthodes d'enseignement par correspondance, forment les meilleurs élèves.

LA CELEBRE METHODE DE CULTURE MENTALE DUNAMIS permet à chacun, moyennant vingt à trente minutes par jour d'exercices attrayants, de développer au maximum son attention, son intelligence, sa mémoire, son imagination, sa volonté, d'acquiescer la confiance en soi et, selon l'expression d'un éminent pédagogue, de FORCER LE SUCCES EN TOUS DOMAINES. Elle s'adresse à tous ceux, hommes et femmes, qui veulent non seulement conserver intact, mais encore accroître chaque jour le trésor de leurs facultés mentales. Demandez la notice gratuite numéro R. 72.

LA METHODE PHONOPOLYLOTTE unit les avantages de l'enseignement par correspondance et du phonographe, et surclasse tous les autres systèmes actuellement en usage; professeur impeccable, Phonopolylotte ne vous fait entendre que des accents parfaitement purs, et vous permet, à la suite d'études agréables, de comprendre, de parler, de lire et d'écrire l'Allemand, l'Anglais, l'Espagnol ou l'Italien, selon la langue choisie. Demandez la brochure gratuite numéro R. 73.

LE COURS DE DESSIN où, pour la première fois dans l'histoire de l'enseignement des arts graphiques, a été appliqué le principe : « APPRENDRE A DESSINER, C'EST APPRENDRE A VOIR; QUI SAIT VOIR, SAIT DEJA DESSINER », vous rendra capable de dessiner paysages, natures mortes et portraits; en outre, il vous permettra, le cas échéant, de vous spécialiser dans une des nombreuses carrières ouvertes aux dessinateurs. Demandez la notice gratuite numéro R. 74.

LE COURS D'ELOQUENCE vous rendra maître de votre langage, vous affranchira de la funeste timidité, vous donnera le moyen de vous exprimer dans les termes les plus choisis et les plus persuasifs; vous permettra, d'une part, d'improviser compliments, speeches ou allocutions dans toutes les circonstances de la vie familiale ou professionnelle, et, d'autre part, de préparer aisément des conférences, des discours selon les meilleures et les plus sûres traditions de l'art oratoire. Demandez la brochure gratuite numéro R. 75.

LE COURS DE PUBLICITE, essentiellement pratique, mettra à votre disposition tous les secrets de la technique publicitaire sous toutes ses formes, et vous permettra soit de vous créer une situation dans la publicité, soit de développer dans des proportions inespérées le volume de vos affaires, quelle qu'en soit l'importance actuelle. Demandez la notice gratuite numéro R. 76.

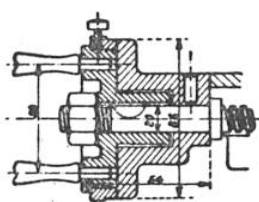
Si vous désirez faire des ETUDES PRIMAIRES OU SECONDAIRES, n'oubliez pas que l'efficacité de l'enseignement de l'ECOLE DES SCIENCES ET ARTS est consacrée par les nombreux et brillants succès que remportent ses élèves au BREVET ELEMENTAIRE, au B.E.P.S., au CERTIFICAT D'ETUDES CLASSIQUES OU MODERNES et au BACCALAUREAT. Demandez l'envoi gratuit de la brochure numéro R. 77 (études primaires) ou numéro R. 78 (études secondaires).

ECOLE DES SCIENCES ET ARTS

81, boulevard des Belges, LYON (Rhône) — 16, rue du Général-Mallette, PARIS (XVI^e)

En moins d'un an vous pouvez être DESSINATEUR INDUSTRIEL

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



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

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

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

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

BON

pour une notice SV + sur le
cours de dessin Industriel

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

L'ÉCOLE UNIVERSELLE

a été créée pour vous

et pour tous ceux qui ne peuvent suivre un enseignement oral ou de rythme normal. L'ÉCOLE UNIVERSELLE a résolu toutes les difficultés de résidence, d'âge, de santé, de retard. Elle permet de s'instruire en conservant son emploi. Ses cours par correspondance s'adaptent à chaque cas particulier et étendent à tous l'incomparable facilité d'entreprendre ou de continuer des études complètes dans toutes les branches du savoir.

Documentez-vous sans tarder sur ce célèbre enseignement individuel qui permet de faire chez soi, aux moindres frais et dans le minimum de temps, toutes les études avec le maximum de chances de succès.

Les élèves de l'ÉCOLE UNIVERSELLE ont remporté des dizaines de milliers de succès aux Baccalauréats et des dizaines de milliers de succès aux Brevets, Licences, Concours des Grandes Ecoles et des Grandes Administrations.

Ecrivez dès aujourd'hui à l'ÉCOLE UNIVERSELLE, 12, place Jules-Ferry, LYON, qui vous adressera gratuitement par retour du courrier celle de ses brochures qui vous intéresse.

Brochure L. 13.225. — Enseignement primaire : Classes complètes depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet supérieur, Bourses, Brevets, etc.

Brochure L. 13.226. — Enseignement secondaire : Classes complètes depuis la onzième jusqu'à la classe de mathématiques spéciales incluse, Baccalauréats, etc.

Brochure L. 13.227. — Enseignement supérieur : Licences (Lettres, Sciences, Droit), Professorats, Examens professionnels, etc.

Brochure L. 13.228. — Grandes Ecoles spéciales, etc.

Brochure L. 13.229. — Carrières de l'Industrie, des Mines et des Travaux publics, etc.

Brochure L. 13.230. — Carrières de l'Agriculture et du Génie rural, etc.

Brochure L. 13.231. — Carrières du Commerce, de l'Industrie hôtelière, des Assurances, de la Banque, de la Bourse, etc.

Brochure L. 13.232. — Orthographe, Rédaction, Versification, Calcul, Dessin, Écriture, etc.

Brochure L. 13.233. — Langues vivantes, Tourisme (interprète), etc.

Brochure L. 13.234. — Air, Marine : Pont, Machine, Commissariat, T. S. F., etc.

Brochure L. 13.235. — Secrétariats, Bibliothèques, etc.

Brochure L. 13.236. — Etudes musicales : Instruments, Professorats.

Brochure L. 13.237. — Arts du Dessin : Professorats, Métiers d'art, etc.

Brochure L. 13.238. — Métiers de la Couture, de la Coupe, de la Mode, de la Lingerie, de la Broderie, etc.

Brochure L. 13.239. — Arts de la Coiffure et des Soins de Beauté, etc.

Brochure L. 13.240. — Carrières du Cinéma, etc.

Brochure L. 13.241. — Carrières administratives, etc.

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

ÉCOLE UNIVERSELLE

12, place Jules-Ferry, Lyon.

59, boulevard Exelmans, Paris.

NOUVEAUX MODÈLES GAZOGÈNES

A BOIS

S.E.V.

PRÉGAZO 45

MONTAGE EN PORTE-A-FAUX
AVANT OU ARRIÈRE

ENCOMBREMENT TRÈS RÉDUIT
DÉPART INSTANTANÉ AUTOMATIQUE
CONSOMMATION D'HUILE NORMALE

PAS D'USURE DU MOTEUR

COMME A L'ESSENCE

S.E.V. - ISSY - SEINE

Les lubrifiants sont précieux

INDUSTRIELS, TRANSPORTEURS ET TOUS USAGERS DE LUBRIFIANTS. RAFFINEZ ET PURIFIEZ VOUS-MÊMES VOS HUILES USEES ET COMBUSTIBLES : FUELOIL, GAZOIL, ETC... GRACE AU

RAFFINEUR INTÉGRAL AUSTIN

équipé d'un générateur à vapeur surchauffée et d'un récupérateur par le vide, seul appareil assurant filtration sur terre activée sans acide sulfurique.

ÉPURATION
CLARIFICATION, DÉCOLORATION
DÉGAZOLAGE — RENDIMENT 80 à 90 %
TRAITE 200 LITRES PAR 24 HEURES
SURVEILLANCE FACILE

En vente à :
CARBOGAZ-CENTRE
60, rue de la Charité, LYON
Tél. F. 28-41

L'ÉCOLE INTERNATIONALE PAR CORRESPONDANCE

DE DESSIN ET DE PEINTURE

11, AV. DE GRANDE BRETAGNE, PRINCIPAUTÉ DE MONACO

vous offre gratuitementUNE ÉCOLE MODERNE
PUISSANTE - SÉRIEUSE

un magnifique album, abondamment illustré, qui vous renseignera en détail sur les nombreuses et passionnantes carrières auxquelles vous pourrez prétendre lorsque vous saurez dessiner. Vous y constaterez aussi que, si vous le voulez vraiment, il vous est possible de devenir en quelques mois un excellent artiste et ceci quel que soit votre âge et le lieu de votre résidence.

Pour recevoir cet Album, sans aucun engagement pour vous, découpez le bon ci-dessous, joignez-y votre nom et votre adresse ainsi que la somme de 5 frs. pour frais de Poste et envoyez aujourd'hui même votre lettre à l'ÉCOLE INTERNATIONALE (Service DD Renseignements), la plus grande École actuelle par correspondance de Dessin et de Peinture.

**BON pour un Album gratuit****JEUNES
GENS**

EN SUIVANT NOS COURS PAR CORRESPONDANCE, VOUS POUVEZ DEVENIR :

1° MONTEUR D'INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES (diplôme délivré par l'État français).

2° MONTEUR-DÉPANNÉUR RADIO-TECHNICIEN.

3° CHEF MONTEUR-DÉPANNÉUR RADIO-TECHNICIEN.

4° SOUS-INGÉNIEUR RADIO-ÉLECTRICIEN.

5° CONTRÔLEUR DES INSTALLATIONS ÉLECTRO-MÉCANIQUES.

6° SOUDEUR AUTOGÈNE (diplôme délivré par l'État français).

7° CHEF SOUDEUR AUTOGÈNE.

8° DESSINATEUR EN CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES (diplôme délivré par l'État français).

9° CHEF DESSINATEUR INDUSTRIEL.

La possession de l'un de ces diplômes vous ouvrira de magnifiques carrières dans l'Industrie, l'Aviation, la Marine et dans les GRANDES ADMINISTRATIONS d'ÉTAT.

Placement assuré des élèves diplômés.

Demandez, aujourd'hui même, tous les renseignements gratuits en spécifiant la préparation qui vous intéresse à

L'ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE
51, boulevard Magenta - PARIS (X^e)

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

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

**L'ÉLECTRICITÉ
ET SES APPLICATIONS**

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

**INSTITUT
ELECTRO-RADIO**

6, RUE DE TÉHÉRAN - PARIS - 8^e

DE SUITE, écrivez-nous pour recevoir • Service V S
gratuitement notre luxueux programme.

"L'ÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS MODERNES"
PRÉPARATION AUX DIPLOMES D'ÉTAT

Si vous pouvez écrire Vous pouvez **DESSINER**

CETTE FORMULE N'EST PAS UNE SIMPLE AFFIRMATION ! LA PREUVE EN EST FAITE PUISQUE, GRACE A LA METHODE A.B.C., PLUS DE 60.000 PERSONNES ONT, DEPUIS 24 ANS, APPRIS A CONNAITRE LES JOIES DU DESSIN.

Voulez-vous réaliser, dès la première leçon, des croquis expressifs, personnels ? Il n'est pour vous qu'une méthode : la méthode A. B. C. qui vous apprendra à dessiner **d'après nature**.

Le succès de l'Ecole A. B. C. n'est pas dû uniquement à sa remarquable méthode, mais aussi à la haute notoriété des artistes auxquels sont confiés les élèves.

Voulez-vous être dirigé par un maître dont l'expérience et le ta-



Amusant croquis pris sur le vif par un de nos élèves.

lent répondent exactement au but que vous désirez atteindre ? L'Ecole A. B. C. s'est assuré le concours d'artistes réputés dont chacun occupe une première place dans la branche où il s'est spécialisé. Dirigé par un de ces maîtres, vous êtes assuré d'acquérir rapidement les connaissances d'un véritable professionnel dans la branche de votre choix : Dessin appliqué à la publicité, à l'illustration, à la mode, à la décoration, etc.

BROCHURE GRATUITE (Spécifiez bien n° CB 17) Demandez la brochure de renseignements n° CB 17 en joignant 5 fr. en timbres pour tous frais. Indiquez le cours qui vous intéresse : Cours pour adultes ou cours pour enfants.

ECOLE A.B.C. DE DESSIN 12, rue Lincoln - PARIS (VIII*)
6, rue Bernadotte - PAU (B.-P.)

LES INVENTIONS MATHEMATIQUES **LAFAY**

R. M. Lyon 21.945

brevetées S. G. D. G. et honorées des plus hautes récompenses dans les concours d'inventions, **rendent tout calcul rapide, facile, précis.**

1° LES HÉLICES A CALCUL, grâce à leur précision incomparablement supérieure, remplacent très avantageusement les meilleurs règles et cercles à calcul. Actuellement seule l'hélice n° 2, à échelles logarithmiques de 2 m 50, est en vente; son prix est de 300 fr.

En passer commande au plus tôt, le stock étant limité et les difficultés actuelles de fabrication très grandes.

2° LA TABLE DE MULTIPLICATION A TIRET ES, dont le prix n'est que de 35 fr., permet, à défaut des si pratiques mais si coûteuses machines à calculer modernes, d'obtenir, avec le minimum d'effort, de longues multiplications et divisions rigoureusement exactes.

Les commandes sont à adresser, en se recommandant de *Science et Vie*, à **A. LAFAY**, mathématicien à NEUVILLE-sur-SAONE (Rhône), C. C. postal Lyon 73-10.

Contre timbre réponse il enverra des renseignements complémentaires seuls. Contre 10 fr. versés à son C. C. postal, il y joindra de petites tables facilitant déjà bien des calculs.

Philatélistes Echangistes Spéculateurs

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

Nombreuses
occasions
en



France
Colonies
Nouveautés

Timbres provenant d'œuvres et d'échanges

Ab. DENIS
LA COQUILLE (Dordogne)

Imprimerie Régionale. T W 11540 - 23-11-1943. I.C.O. 31-2656 Le Gérant : L. Lestang.

LA RADIO *manque* DE SPECIALISTES!



RADIO VOLANT



SOUS-INGENIEUR



INGENIEUR

JEUNES GENS!
Pour répondre aux besoins sans cesse grandissants de la Radio française en cadres spécialisés, nous conseillons vivement aux jeunes gens de s'orienter délibérément vers les carrières de la T.S.F.
AVIATION CIVILE ET MILITAIRE, INDUSTRIE, MARINE MARCHANDE ET MARINE NATIONALE, COLONIES, MINISTÈRES ET ADMINISTRATIONS
Ces carrières réaliseront les aspirations de la jeunesse moderne, puisqu'elles joignent à l'attrait du scientifique celui de travaux manuels importants.

PREPAREZ CES CARRIERES en suivant nos cours spécialisés
PAR CORRESPONDANCE
conçus d'après les méthodes les plus modernes de l'enseignement américain.

INSCRIPTIONS A TOUTE EPOQUE DE L'ANNEE
TOUS NOS COURS COMPORTENT DES EXERCICES PRATIQUES A DOMICILE

PLACEMENT
A l'heure actuelle, nous garantissons le placement de tous nos élèves opérateurs radiotélégraphistes diplômés.
L'Ecole délivre des **CERTIFICATS DE FIN D'ETUDES** conformément à la loi du 4 août 1942.

Notices gratuitement

sur demande.



MARINE MARCHANDE



DESSINATEUR RADIO



DEPANNEUR

ECOLE GENERALE PROFESSIONNELLE RADIOTECHNIQUE

14, RUE DE BRETAGNE & RUE DU MARÉCHAL LYAUTEY-VICHY-(ALLIER)

ADRESSES DE REPLI

Pub. R. Domenach M.C.S.P.

MÉTÉORE

Qualité d'abord

S'impose au monde entier

LA PLUME "VÆDIUM"
Même technique. Même usage.
Même garantie que la plume "OR"

BARBAUD S.A.

NITROLAC

LA GRANDE MARQUE DE PEINTURE



TOUS LES PROBLÈMES DE PEINTURE

NITROLAC

98, ROUTE D'AUBERVILLIERS-S^T DENIS (SEINE)-PLAINE+1655

IMPR REGIONALE 59 RUE BAYARD TOULOUSE I G O 31 2658