

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 40. n. 171. Septembre 1931
Adresse	Paris : La Science et la Vie, 1931
Collation	1 vol. (p. [175]-264) : ill., couv. ill. en coul. ; 24 cm
Cote	SCI. VIE 171
Sujet(s)	Sciences -- Vulgarisation Culture scientifique et technique Presse scientifique
Thématique(s)	Généralités scientifiques et vulgarisation
Typologie	Revue
Note	Le volume a été relié, par conséquent il manque la 3ème et 4ème de couverture.
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.171

France et Colonies : 4 fr.

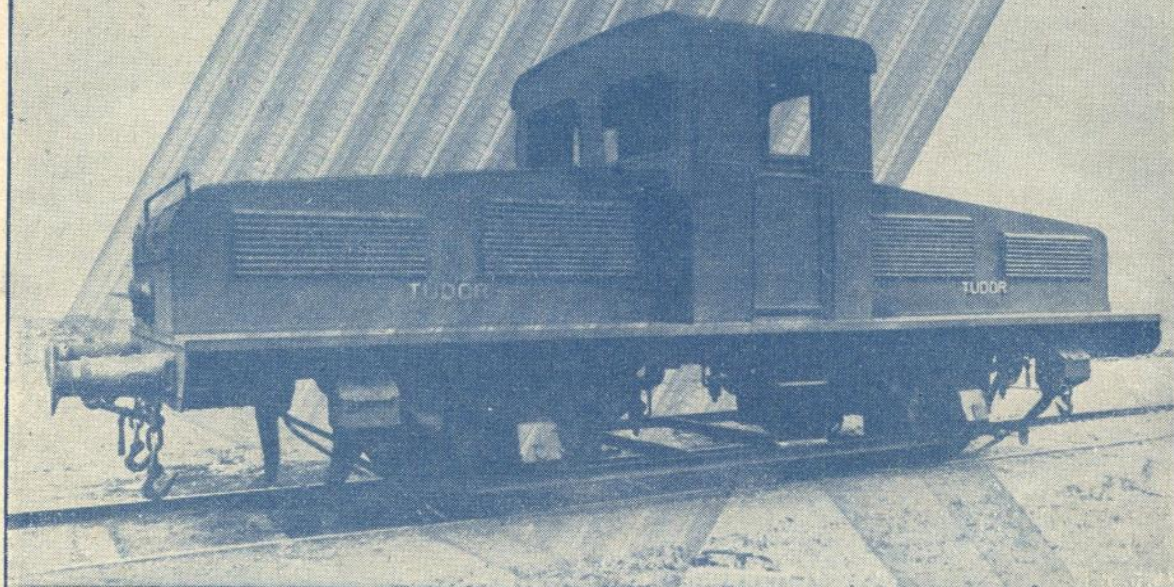
N° 171. - Septembre 1931

LA SCIENCE ET LA VIE



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

POUR LA **TRACTION**



L'ACCUMULATEUR **TUDOR-IRONCLAD**

180 à 206, ROUTE d'ARRAS, à LILLE

Rendement 75%, cuirassé contre les
chocs et les trépidations, débits intenses
dans les démarrages et les rampes,
longévité, garantie, bon marché.



Les ondes courtes et l'avenir de la radiophonie.

Les expériences entre Trappes (près de Versailles) et Madrid ont montré comment le progrès de la technique, en améliorant le rendement, permettent de réaliser, dans d'excellentes conditions, des radio-communications à la fois économiques et lointaines sur ondes courtes.

J. Labadié. 177

Comment naissent et meurent les icebergs.

Glace de mer et glace polaire donnent naissance à de véritables montagnes flottantes. La science permet aujourd'hui de les déceler à distance et d'écarter tout danger pour la navigation

L. Houllevigue. 185
Professeur à la Faculté des Sciences de Marseille.

Les bienfaits et les méfaits de l'oxygène.

De récentes recherches de laboratoire ont mis en lumière les curieuses propriétés de certains corps, dont les applications industrielles s'annoncent aujourd'hui de plus en plus nombreuses, notamment pour la lutte contre l'incendie et comme « antidétonants » dans les moteurs à explosions.

J. Arnoux. 190
Ancien élève de l'Ecole Polytechnique, Ing. E. S. E.

Que savons-nous maintenant du mécanisme de la foudre ?

Comment on conçoit aujourd'hui la charge électrique des nuages et le phénomène de l'éclair

Jean Labadié 197

Le frottement : Voilà l'ennemi du rendement mécanique.

Le Congrès du Graissage, qui vient de se tenir à Strasbourg, a mis à l'ordre du jour le délicat problème du graissage. Voici les théories modernes de l'action des lubrifiants

F. Charron. 205
Docteur ès sciences.

L'exploitation intensive des prairies et l'emploi rationnel des engrais.

Grâce aux nouvelles méthodes préconisées pour l'exploitation des prairies, le rendement à l'hectare est quadruplé

C. Matignon 212
Professeur au Collège de France.

Voici la locomotive de 1931

Comment des perfectionnements — qui paraissent de détail — apportés à la locomotive à pistons lui assurent toujours la première place dans la traction mécanique

Jean Marchand 217
Ingénieur I. E. G.

La science et la technique au service de la femme américaine.

L'équipement du « home » aux Etats-Unis et les appareils ménagers ultra-modernes ont transformé la vie quotidienne

Paulette Bernège. 227

Vers le développement du tourisme aérien en France.

Plus de deux cent cinquante avions de tourisme ont été acquis, à ce jour, par des particuliers en France. Les progrès de la technique de la cellule et du moteur laissent prévoir un essor plus grand encore du tourisme aérien, qui deviendra pratique pour tous. ..

José Le Boucher 235

Outils géants pour chantiers géants.

L'industrie mécanique, aidée par la sidérurgie moderne, a permis de mettre au point des machines vraiment puissantes, qui, de plus en plus, remplacent la main-d'œuvre humaine

Ch. Dondl. 243

Le pneumatique sauvera-t-il le rail ?

Les récents essais de véhicules sur pneumatiques et sur rails ont montré comment on peut entrevoir l'exploitation ferroviaire de demain, d'abord pour les lignes secondaires

Jean Marchand 252

L'électromécanique, base de l'industrie moderne.

Jean Marton 255

Les carrières de la T. S. F.

J. M. 258

La T. S. F. et les constructeurs

J. M. 259

Comment fonctionne le cinéma à film sans fin

G.-P. B. 260

Les A côté de la science (inventions, découvertes et curiosités)

V. Rubor 262

Un chantier moderne est aujourd'hui une véritable œuvre de titan. Voici des gigantesques machines perfectionnées permettant d'accomplir rapidement des travaux de terrassement qui, il y a encore quelques années, auraient exigé dix fois plus de temps. La technique des travaux publics en a été transformée. Pelles mécaniques, bennes racleuses, excavateurs à godets, — le plus souvent montés sur caterpillar ou sur rails, — accomplissent chaque jour leur tâche quotidienne pour mener à bien, et vivement, ces gigantesques travaux, qui sont l'apanage du XX^e siècle. La couverture du présent numéro représente l'une de ces plus puissantes pelles mécaniques, d'origine américaine, employées actuellement sur nos chantiers et capables d'enlever — si l'on peut dire — « en un tour de main », 15 tonnes de terre à chaque opération. (Voir l'article, page 243 de ce numéro.)



LA SCIENCE ET LA VIE

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

Rédigé et illustré pour être compris de tous

Voir le tarif des abonnements à la fin de la partie rédactionnelle du numéro

(Chèques postaux : N° 91-07 - Paris)

RÉDACTION, ADMINISTRATION et PUBLICITÉ : 13, rue d'Enghien, PARIS-X* — Téléph. : Provence 15-21

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

Copyright by La Science et la Vie, Septembre 1931 - R. C. Seine 116.544

Tome XL

Septembre 1931

Numéro 171

LES ONDES COURTES ET L'AVENIR DE LA RADIOPHONIE

Par Jean LABADIÉ

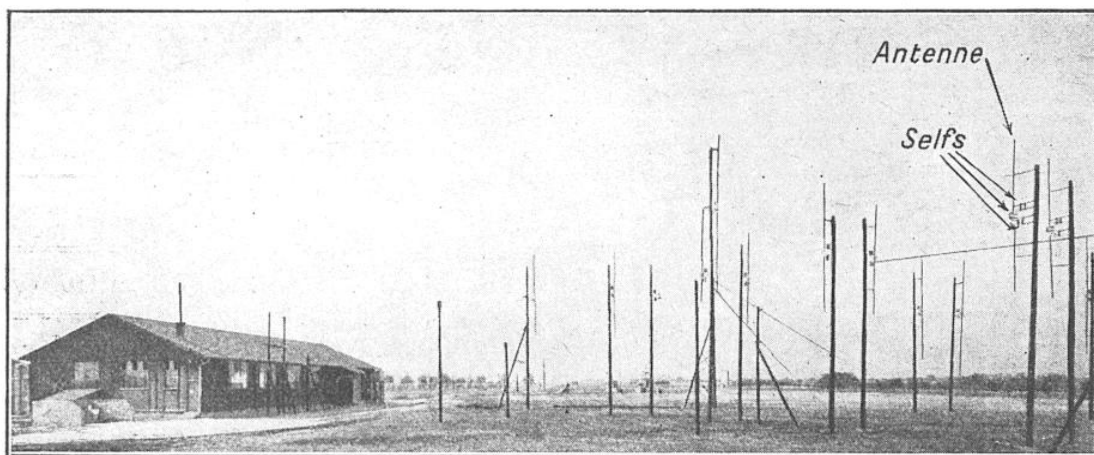
L'évolution prodigieuse de la T. S. F. et de ses applications, au cours de ces dernières années, a été si rapide que les termes mêmes ont manqué pour en définir une des principales caractéristiques ; celle de la longueur des ondes hertziennes qu'elle utilise. Il y a peu de temps encore, le mot d'ondes courtes s'appliquait à toute la gamme comprise entre 200 et 600 mètres. Aujourd'hui, l'onde courte est inférieure à 100 mètres et on parle maintenant d'ondes ultra-courtes, comme celles de 18 centimètres, qui ont été utilisées dans les expériences effectuées récemment entre Douvres et Calais (1). On a reconnu, en effet, que, grâce à ces ondes de haute fréquence, la puissance nécessaire et l'encombrement des stations d'émission étaient considérablement diminuées, d'où économie de matériel et diminution du prix des communications. On a fait mieux encore, dans ce domaine de l'économie de puissance. De nouvelles expériences de radiophonie sur ondes de 30 mètres, entre Trappes (près de Versailles) et Madrid (Espagne), ont montré que le procédé déjà mis en application sur les ondes longues, et consistant à n'utiliser, entre l'émission et la réception, que la partie modulée — l'onde porteuse étant supprimée — permettait d'obtenir un rendement notablement amélioré. Il n'est pas téméraire de prévoir que dans un avenir assez proche, les grandes ondes céderont la place aux ondes courtes et ultra-courtes, grâce à une technique sans cesse perfectionnée dans ses applications.

DANIEL BERTHELOT, à la fois philosophe et brillant physicien, répétait volontiers : « Le ^{xx}e siècle sera le siècle des machines à lumière, comme le ^{xix}e siècle fut celui des moteurs thermiques. » Ceci veut dire que l'avenir immédiat va de plus en plus développer toutes les applications du rayonnement électromagnétique : rayons X et radioactifs, rayons ultraviolets et lumière visible, infrarouge et ondes hertziennes.

Concernant celles-ci, il est curieux de constater non seulement le fait brut de la multiplication incessante des stations émettrices (machines à lumière hertzienne), mais encore la manière dont elles évoluent. Avec l'entrée en scène des ondes courtes, on peut dire que les antennes sont en train d'accomplir un progrès rigoureusement analogue à celui qui porta les machines à vapeur de

l'usage des basses pressions (4 à 5 kilogrammes par centimètre carré, seules envisagées jusqu'en 1900), aux hautes pressions (25 à 100 kilogrammes par centimètre carré), maintenant en service normal. Les hautes fréquences, expression technique des courtes longueurs d'onde, représentent, en effet, dans l'ordre du rayonnement, exactement la même chose que les hautes températures (ou leur équivalent, les hautes pressions) dans l'ordre thermodynamique. Ceci, qui n'est pas une simple image, mais une rigoureuse équivalence mathématique bien connue des physiciens, permet de formuler une conclusion du plus haut intérêt pratique : de même que les moteurs thermiques fournissent un rendement d'autant plus élevé qu'ils travaillent à plus haute température, de même les machines à lumière hertzienne, nos antennes, travailleront d'autant plus

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 169, page 38.



LA STATION ÉMETTRICE DE TRAPPES POUR ONDES COURTES A FRANGE UNIQUE

Deux rangées d'antennes verticales sont disposées de telle manière que la seconde file (non émettrice) joue la fonction de miroir réflecteur, relativement aux ondes émises par la rangée de front. C'est ainsi qu'on oriente les ondes courtes en un faisceau dirigé. Les antennes sont elles-mêmes doubles, c'est-à-dire formées de deux brins juxtaposés, et séparée par un système de selfs destinées à empêcher les deux vibrations symétriques de se confondre.

commodément, économiquement et sous le moindre encombrement, qu'elles seront adaptées à l'usage d'ondes de plus en plus courtes.

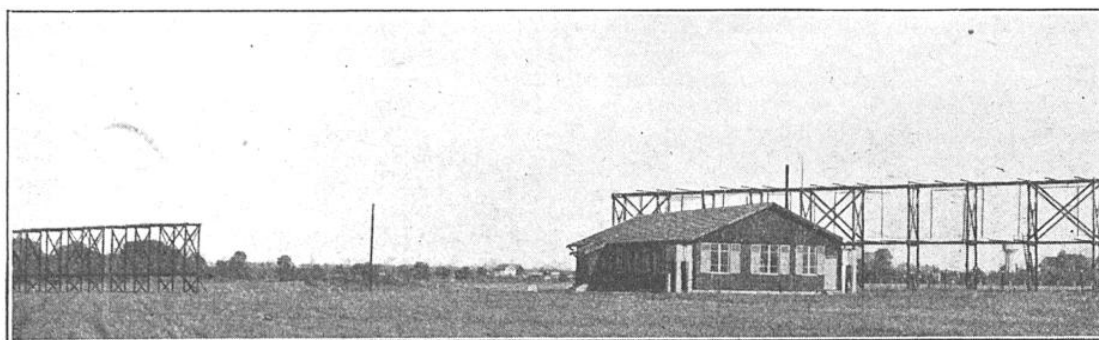
Les deux espèces d'ondes courtes qui seront nécessaires au trafic à venir

Ces remarques éclairent de leur véritable jour les radiocommunications expérimentées avec plein succès en avril sur ondes de 18 centimètres entre Calais et Douvres et, plus récemment, sur ondes de 30 mètres, entre Madrid (Espagne) et la station expérimentale de Trappes (près de Versailles). Ce dernier ordre de longueur qualifie désormais l'onde courte par contraste avec les ondes supérieures à 100 mètres, comme avec

celles, ultra-courtes, utilisées entre Calais et Douvres.

Ces dernières expériences ont été rapportées dans *La Science et la Vie* (1). N'y revenons pas. L'usage de ces ondes à très haute fréquence comportera une technique spéciale de faisceaux dirigés de station en station, ressuscitant bien inopinément le vieux système du télégraphe optique des frères Chappe, avec cet immense progrès que les nouveaux signaux optico-hertziens seront automatiques, économiques et insensibles non seulement à la brume, mais au *fading* si redouté des sans-filistes. En sorte que leur réseau à très larges mailles pourra sans

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 169, page 38.



LA STATION RÉCEPTRICE DE TRAPPES POUR ONDES COURTES A FRANGE UNIQUE

Sur un portique de bois (matière diélectrique, transparente aux ondes), on a disposé deux réseaux d'antennes en forme de « grecque » (système Mesny), dont l'un (non récepteur), parallèle à l'autre (récepteur), renforce par réflexion, l'énergie du faisceau arrivant d'ondes dirigées.

inconvenient couvrir un jour, de proche en proche, le monde entier.

Par contre, la liaison immédiate des stations que séparent les océans (dont l'incurvation suffirait à arrêter les ondes ultra-courtes), les déserts, ou les forêts vierges tropicales, ou encore un territoire ennemi, relèvera toujours d'une onde hertzienne plus longue, assez longue pour se réfléchir, sans être

voisines de 30 mètres, pouvant descendre le jour jusqu'à 15 mètres et monter la nuit jusqu'à 50 (de telles modifications variées avec l'heure d'émission sont, aujourd'hui, pratiquées universellement), peuvent assurer les liaisons envisagées, par exemple de *Rugby*, en Angleterre, à *Township*, en Amérique, ou encore, pour notre service colonial, dont le poste central est en construction à



APPAREILLAGE DE LA STATION RÉCEPTRICE DE TRAPPES (PRÈS DE VERSAILLES), POUR LES ONDES COURTES DE 30 MÈTRES A FRANGE UNIQUE

Ne sont notés ici que les organes principaux effectuant la réception. De gauche à droite : les oscillateurs de basse fréquence (à 20 kilocycles), qui reçoivent la frange figurant l'onde sonore. Cette onde est démodulée par le démodulateur, passée à l'oscillateur à quartz, vibrant à la fréquence de l'onde originale (10.000 kilocycles). Le reste de l'appareillage, qui n'a rien de spécial, détecte et amplifie l'onde totale rétablie dans la forme courante.

absorbée, sur la couche « ionisée » d'Heaviside qui, dans la très haute atmosphère (vers 80 kilomètres d'altitude) figure exactement un miroir réflecteur enveloppant le globe terrestre. Entre ce miroir céleste et le sol (autre réflecteur des ondes hertziennes), celles-ci, à condition d'être suffisamment longues, peuvent rouler autour du monde à la façon d'une bille circulant entre deux bandes de billard ou, même, le long d'une seule bande, si celle-ci constitue un polygone convexe, comme c'est le cas de la couche ionisée.

Il est maintenant reconnu que les ondes

Pontoise, cette humble localité qui, par une singulière ironie, figurait le bout du monde au temps de Molière.

Les difficultés pratiques soulevées par l'usage des ondes courtes

La fonction des ondes courtes (15 à 50 mètres) étant ainsi bien située dans l'évolution générale du trafic hertzien, il demeurerait certain que leur installation n'irait pas sans difficulté.

Pour établir des machines à haute pression, il a fallu d'abord réviser la technique des joints, afin d'éviter les fuites. Pour établir

des stations hertziennes à haute fréquence, nantis des avantages déjà acquis sur ondes longues, il va falloir ajuster l'appareillage d'émission, comme celui de réception, à un degré de précision encore inédit.

Un des avantages récemment acquis à la radiotéléphonie est celui dont nous avons parlé lors de l'inauguration de la téléphonie transatlantique entre l'Angleterre et les Etats-Unis (1). Tant pour économiser l'énergie dépensée (qui portait à 600 francs la minute le tarif primitif des communications entre Rugby et Rocky-Point), que pour assurer le secret des conversations jugé capital pour certaines correspondances d'affaires et, aussi, pour éviter de troubler l'ensemble des autres radio-communications (toujours le problème de la décongestion de l'éther !), les techniciens ont réalisé une des plus ingénieuses techniques hertziennes qui soient.

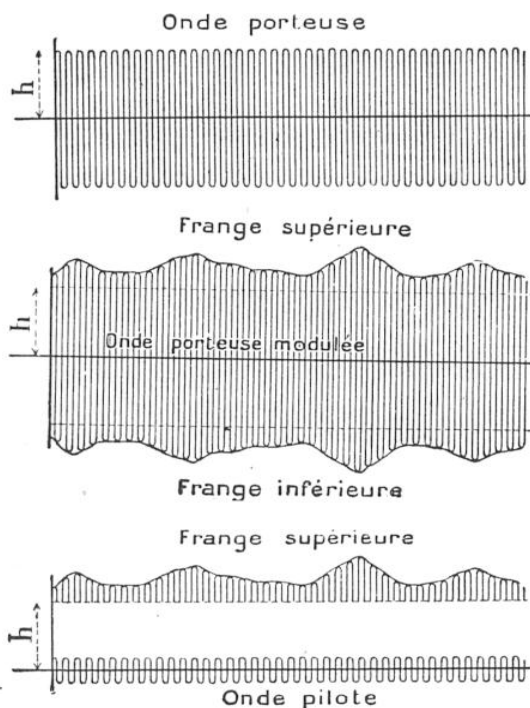
L'onde hertzienne électromagnétique vi-

après les avoir elles-mêmes traduites en courants alternatifs.

L'ensemble ainsi réalisé parvient à la station réceptrice où le problème inverse (détection) consiste à retrancher de cet ensemble l'onde électromagnétique proprement dite (100.000 périodes par seconde) afin de ne recevoir, sur le téléphone, que les 256 vibrations restantes, que l'écouteur (électro-

aimant) reconstitue finalement en vibrations sonores par sa membrane élastique.

Cette addition au départ, cette soustraction à l'arrivée ne sont pas des opérations représentables par l'arithmétique : ce sont des sommations « algébriques », plus exactement des *compositions* d'ondes (qui relèvent d'une géométrie spéciale créée, voici un siècle, par le grand mathématicien Fourier). Le schéma ci-joint exprime, de cette opération, tout ce qui nous intéresse : la première partie en figure l'onde *pure* (onde porteuse) ; en cet état,



LES TROIS FORMES DE L'ONDE HERTZIENNE TÉLÉPHONIQUE

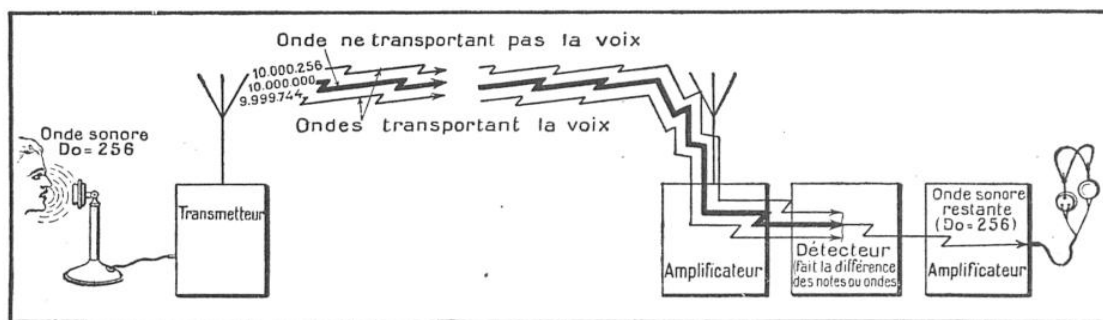
En haut : l'onde porteuse entretenue, mais non encore modulée par le téléphone. — Au milieu : la même onde porteuse modulée par adjonction des vibrations sonores dont l'intensité se superpose à celle des ondes hertziennes. — En bas : par filtrage spécial, à la station émettrice, le corps de l'onde porteuse primitive a été supprimé après modulation, ainsi que l'une des deux franges. A la place de l'ancienne onde porteuse, on trouve l'onde pilote (dont l'énergie n'est que la centième partie de l'onde primitive), qui a pour fonction d'accorder le poste récepteur avec le poste transmetteur.

bre à des fréquences qui se chiffrent par dizaine de mille périodes à la seconde, même pour les ondes dites longues (l'onde de 3.000 mètres vibre à raison de 100.000 périodes par seconde, ou 100 kilocycles par seconde, comme on dit aujourd'hui). Les ondes sonores (élastiques) qu'il s'agit de lui superposer en radiotéléphonie sont d'infiniment plus basse fréquence : ainsi, le *do* n° 3 de la gamme musicale ne représente que 256 vibrations par seconde. Tout le mécanisme de la transmission consiste à les ajouter aux 100.000 vibrations électriques,

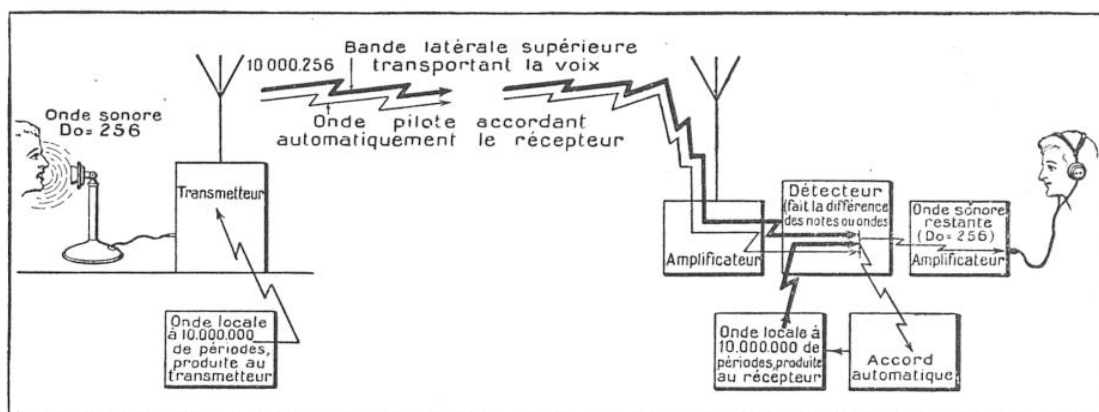
(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 118, page 301.

l'onde uniforme, représente un véritable fil téléphonique tendu entre les deux stations, que parcourraient des courants à haute fréquence, *non encore modulés*. La seconde partie du schéma montre la même onde *après superposition de l'onde sonore*.

Comme on le voit, cette superposition se traduit par un débordement supérieur et un autre exactement symétrique, inférieur, *autour de l'onde porteuse primitive*. Ce sont ces bandes latérales (exagérées ici pour la clarté du dessin) qui représentent, dans la transmission hertzienne, la seule partie véritablement *téléphonique*. Tout



L'ONDE HERTZIENNE TÉLÉPHONIQUE ORDINAIRE MODULÉE



L'ONDE HERTZIENNE TÉLÉPHONIQUE A FRANGE UNIQUE

En haut : l'onde porteuse modulée arrive entière sur l'antenne réceptrice, d'où elle est amplifiée et détectée. — En bas : l'onde porteuse n'existe plus. Seule, la frange supérieure (voir schéma précédent) correspondant à la modulation sonore fait l'objet de la transmission hertzienne. Il s'ensuit, à la réception, la nécessité de rétablir une onde porteuse locale de même fréquence que l'onde porteuse adoptée au départ et supprimée par la suite. On remarquera, à la réception, l'appareil d'accord automatique (oscillateur à quartz), qui est relié avec la station émettrice par « l'onde-pilote » auxiliaire spécialement émise pour assurer cette fonction d'accord.

le reste de l'onde semble donc superflu.

Pourquoi, dès lors, ce superflu se trouve-t-il là ? Ne peut-on s'en dispenser ?

Ce serait, en effet, un grand progrès de n'utiliser que les bandes latérales de l'onde modulée et même une seule d'entre elles (la supérieure ou l'inférieure), l'autre n'étant que son image renversée.

Ainsi la téléphonie hertzienne sera beaucoup plus économique, puisque toute l'énergie représentée par le corps de l'onde porteuse sera supprimée.

Voilà justement ce qui est réalisé, depuis 1926, sur ondes longues (4.500 mètres) entre l'Angleterre et les deux Amériques (1). On a même pu dire que si l'on n'avait pas su réaliser cela, les communications commerciales radiophoniques eussent été impossibles à travers l'Atlantique.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 118, page 301.

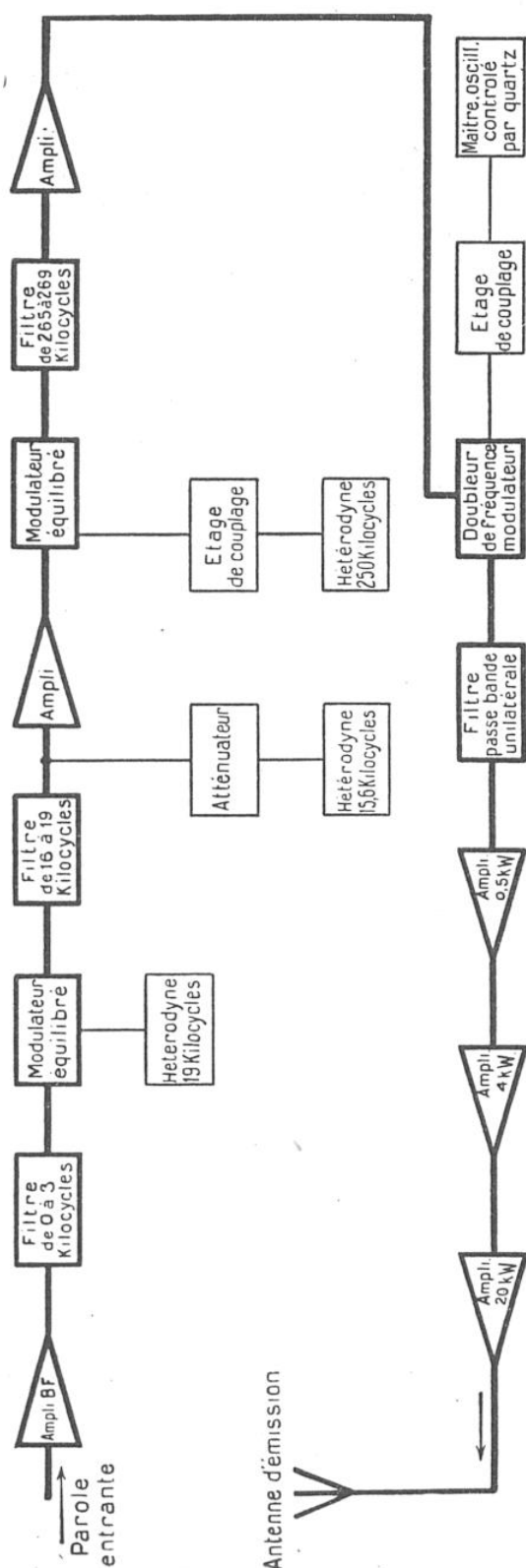
Autres avantages du système à bande latérale unique

Sur ondes longues pures, une telle radiotéléphonie eût été trop chère.

De plus, le *fading* conservait sur elles tous ses inconvénients : l'énergie d'une transmission globale est bouleversée en cours de route, alors que la transmission par bande latérale, si elle n'échappe pas au *fading*, le supporte mieux pour des motifs que nous verrons.

Enfin, le *secret* des communications est assuré par le fait que, si la transmission par bande latérale exige une technique spéciale, sa réception est soumise à la même condition. Un particulier ne saurait s'y reconnaître.

Toutefois, concurremment aux communications radiotéléphoniques ainsi perfectionnées, sur ondes longues, les stations anglo-



PLAN SCHEMATIQUE DÉTAILLÉ DU POSTE ÉMETTEUR POUR ONDES COURTES A' FRANGE UNIQUE

Ce schéma n'est donné ici que pour préciser au lecteur la complexité des organes nécessaires aux opérations de filtrage, de modulation et d'amplification.

américaines ont dû mettre en service des ondes téléphoniques courtes (15 à 50 mètres), dont les avantages intrinsèques suffisaient, tant bien que mal, à assurer la liaison demandée, à des prix plus abordables (250 francs la minute). Par contre, toutes les conversations portées par ces ondes se déroulèrent sur la place publique internationale.

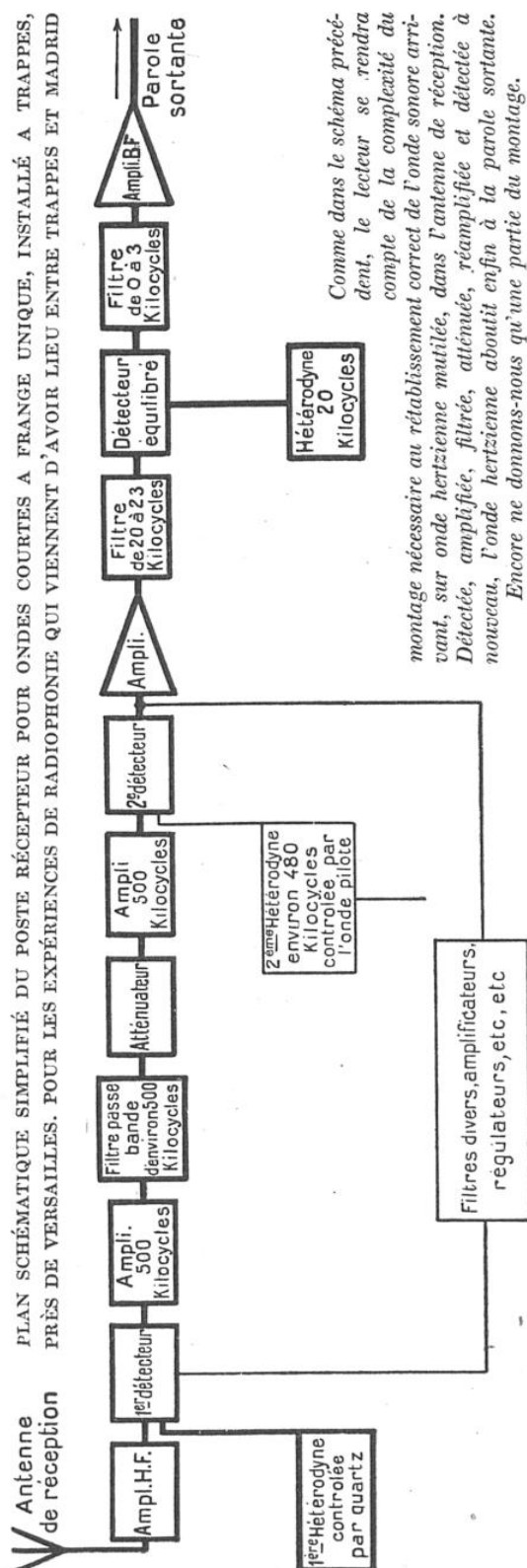
Mais il est évident que si les ondes courtes, déjà commodées par elles-mêmes, pouvaient s'assimiler la technique des franges latérales, leurs avantages intrinsèques d'ondes courtes se trouveraient décuplés par le même bénéfice d'économie et de secret. On aurait, en outre, la faculté d'établir deux lignes hertziennes sur la même onde, l'une des lignes jouant de la bande supérieure, l'autre, de la bande inférieure, sans se gêner mutuellement. Cet avantage n'est pas négligeable devant la fameuse « congestion de l'éther » qui limite présentement l'expansion du trafic hertzien.

Tel est le problème d'importance qui vient d'être résolu par un ingénieur anglais, M. Reeves. Les expériences réalisées entre Madrid (Espagne) et Trappes, près de Versailles, ont mis en évidence la perfection du procédé.

Chirurgie hertzienne : l'amputation de l'onde modulée à la transmission, sa reconstitution à la réception

Comment s'effectue cet élagage de l'onde radiotéléphonique, cet isolement de la bande latérale? A l'aide de filtres.

Supposez qu'à la station de départ tout ait été préparé comme si l'on allait expédier l'ensemble de l'onde porteuse modulée téléphoniquement, mais que cette préparation ait été faite sur des puissances minimes, des milliwatts (au lieu que l'antenne transatlantique exige des puissances se dénombrant par kilowatts). Sur cette micropreparation, l'ingénieur fait ce qu'il veut, à peu de frais. Il monte, par exemple, une deuxième onde porteuse de même fréquence que la première et la superpose à celle-ci de façon que, par interférence, les ondulations de l'une et de l'autre



s'annulent : ainsi, il n'y a plus d'onde porteuse. Mais, si l'on opère avec l'onde primitive déjà modulée, il y a un résidu qui consiste précisément dans l'ensemble des deux bandes latérales. Une nouvelle opération de filtrage annulera l'une des deux bandes. Et nous voici en présence de la seule bande choisie.

Mais elle est à une échelle d'intensité extrêmement réduite, avons-nous dit. Ce n'est pas dans cet état qu'elle va franchir l'Océan.

On la renforce donc au moyen d'amplificateurs qui, s'ils sont fondés sur le même principe que ceux que l'on connaît déjà, n'en exigent pas moins une technique spéciale.

Donc, amplifiée et transmise (par l'antenne à 50 kilowatts) de Rugby (Angleterre) à Rocky-Point (Etats-Unis), la bande téléphonique passe en n'utilisant l'énergie de la station qu'avec la plus grande discrétion (le tiers seulement de ce qu'aurait exigé une transmission d'ensemble).

Que va-t-on faire, sur l'autre rive, de ce tronçon bizarre d'onde mutilée? Écouté directement, il ne donne qu'un bégaiement informe.

Mais, ici, le technicien intervient à nouveau : au lieu de recevoir la bande hertzienne directement, il la reçoit sur une onde porteuse artificielle, fabriquée sur place, et de même fréquence que l'onde porteuse primitive du départ. Le greffon a retrouvé son tronc. Un tronc de très faible intensité (micropréparation) comme lui-même au sortir de l'antenne réceptrice. On amplifie donc le nouvel ensemble et on le dirige sur un second détecteur, lequel opère à nouveau la décomposition « radiotéléphonique », mais, cette fois, par les voies ordinaires consistant à isoler simplement l'onde sonore téléphonique.

C'est merveilleusement simple, mais extrêmement ardu à réaliser. (Voir schéma ci-contre.)

La microchirurgie des ondes courtes

L'opération que nous venons d'expliquer est acquise depuis quatre ans aux praticiens de l'onde longue. Mais on conçoit que la même dissection appliquée aux ondes courtes comporte des raffinements supplémentaires. Ce sont eux que nous allons enfin aborder.

Dans le cas précédent (nous avons arbitrairement choisi l'onde de 3.000 mètres), les ondes porteuses artificielles des deux stations ne doivent pas être décalées d'un trop grand nombre de vibrations ; sans quoi, ces différences se superposent à l'onde sonore

(dessinée par la bande latérale) et la déformation.

Pour des ondes longues (de très basse fréquence relativement aux ondes courtes), le synchronisme de deux ondes porteuses est facile à établir. Mais, quand l'onde utilisée vibre à raison de 10.000.000 de périodes par seconde (ondes de 30 mètres), il faudra peu de chose pour que l'onde porteuse artificielle de la station émettrice retarde ou avance de quelques périodes sur l'onde porteuse artificielle de la station réceptrice. Si le retard (ou l'avance) est seulement de 20 périodes par seconde entre les deux ondes, ces 20 périodes s'ajoutant, par exemple, au *do* à 256 vibrations, en font une note à 276, qui n'est plus un *do*. La voix est faussée, le radio-concert est impossible. Au-dessus, c'est insupportable jusqu'à devenir incompréhensible, même pour la conversation d'affaires.

Et maintenant, allez accorder ensemble, avec une précision de 20 battements, ces deux pendules qui doivent osciller chacun 10.000.000 de fois par seconde, tout en étant séparés par l'Atlantique. C'est pourtant ce qu'a exécuté M. Reeves, ingénieur des laboratoires Standard.

La description complète de la technique du procédé de M. Reeves sortirait du cadre de *La Science et la Vie* (voir schéma page 183). Contentons-nous de savoir que les pendules à haute fréquence utilisés pour maintenir constante cette vibration de 10.000.000 de périodes sont des *oscillateurs à quartz*.

Les oscillateurs à quartz synchronisés par une onde pilote

Le schéma ci-dessus rappelle le principe grâce auquel un cristal de quartz vibre élastiquement (en ondes ultrasonores) sous l'effet d'un champ électrique oscillant et peut, réciproquement, engendrer un tel champ électrique par l'effet de ses propres vibra-

tions élastiques. C'est le phénomène de la piézoélectricité découvert par Pierre et Jacques Curie (1).

Sur ce principe, un cristal de quartz fixé entre les lames d'un condensateur du circuit hertzien peut entrer en résonance avec lui, à la manière d'un diapason ultra-rapide. Moyennant certaines précautions (telles que l'isolement thermique de l'appareil), les oscillateurs à quartz conservent leur fréquence avec une remarquable stabilité. Ils sont donc tout désignés pour maintenir les

ondes porteuses locales, dont nous venons de parler, à leur fréquence rigoureuse en deçà de la marge d'erreur autorisée.

Mais il faut un lien entre les oscillateurs à quartz réglant les deux ondes locales.

Ce lien sera une onde spéciale dont l'énergie ne dépassera pas le centième de l'énergie globalement utilisée. Cette onde dite « pilote » est tendue en permanence entre les deux stations, jouant (par des dispositifs délicats) tantôt le rôle de frein, tantôt celui d'accélérateur sur l'oscilla-

teur qu'elle est chargée de régler.

L'unification future du trafic hertzien

Par le rapide tour d'horizon que nous venons de faire, nous voyons vers quel aspect général doivent évoluer logiquement les communications radiotéléphoniques de l'avenir.

D'une part, dans le service à portée restreinte (national, dirons-nous) un réseau d'ondes ultra-courtes ressuscitant, sous le signe hertzien, le principe du télégraphe optique des frères Chappe. D'autre part, dans le service à longue portée (transocéanique, international), les ondes courtes traitées comme nous venons de le montrer.

Quant aux ondes longues, elles sont fatalement destinées à disparaître, comme ont disparu les encombrantes machines à basse pression.

JEAN LABADIÉ.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 145, page 17.

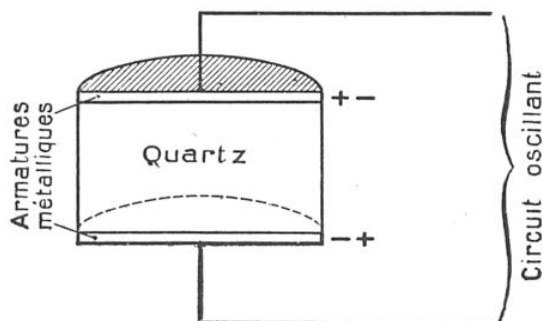


SCHÉMA MONTRANT COMMENT LE CRISTAL DE QUARTZ INSÉRÉ ENTRE DEUX ARMATURES MÉTALLIQUES ENTRETIENT ET RÉGLE LES OSCILLATIONS DU CIRCUIT ÉLECTRIQUE

Par l'effet de piézoélectricité, l'électrisation alternative ($\pm$) de chaque armature métallique se traduit par une vibration élastique du quartz. Si les dimensions du quartz sont bien calculées, l'accord s'établit et se maintient entre les deux modes d'oscillations, l'électrique et l'élastique.

COMMENT NAISSENT ET MEURENT LES ICEBERGS

Par L. HOULLEVIGUE

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE MARSEILLE

Montagnes de glace émergeant souvent d'une centaine de mètres au-dessus de la mer, tandis que la partie immergée atteint cinq fois cette dimension, les icebergs constituaient pour la navigation un grave danger. Ces îles flottantes, dont certaines mesurent plusieurs kilomètres de long, proviennent de la dislocation des glaciers polaires à leur arrivée dans la mer. Au contraire, la banquise, ou glace de mer, ne donne lieu qu'à de larges plaques de glace de moindre importance. Il est donc du plus haut intérêt de signaler leur présence, et un service permanent, établi par les Etats-Unis et l'Angleterre, renseigne par T. S. F. les paquebots sur la position et le trajet probable des icebergs. Les navires eux-mêmes peuvent, d'ailleurs, déceler l'approche d'un iceberg, par le rayonnement de froid qu'il provoque, grâce à la cellule photoélectrique (1) dont la sensibilité est telle qu'à 10 kilomètres de distance la glace flottante est aisément signalée.

On a souvent comparé la Terre à une immense machine à vapeur, dont la chaudière est entre les tropiques et dont les zones polaires, arctique et antarctique, forment les condenseurs. Ces calottes polaires sont de gigantesques usines à glace, dont la production annuelle est voisine de 80.000 kilomètres cubes ; cette provision de froid descend vers nos pays tempérés, soit sous forme de courants marins et aériens, soit portée par les glaces flottantes, qui s'aventurent parfois, grâce à leur masse prodigieuse, jusqu'aux basses latitudes, où elles peuvent produire de redoutables catastrophes ; c'est ainsi que le grand paquebot anglais *Titanic* vint se briser, en 1912, contre un iceberg dont la masse était voisine de 50.000 tonnes, et qui se trouvait alors, presque exactement, à la même latitude qu'Ajaccio ! On peut juger, par là, du trouble profond que ces masses glacées peuvent apporter dans les régions qu'elles parcourent, et du danger qu'elles font courir à la navigation ; c'est pour cela qu'un service permanent de surveillance, établi par les Etats-Unis et l'Angleterre, assure maintenant la sécurité de ces mers si fréquentées ; les icebergs qui coupent la route des paquebots sont aussitôt signalés par T. S. F., avec leur position actuelle et leur parcours probable.

Par la même occasion, la formation des glaces polaires, leur parcours, leur dislocation ont été soumis à des études méthodiques. Les nations septentrionales, plus particulièrement intéressées, y ont joué le

premier rôle ; mais la France ne s'en est pas désintéressée, et les expéditions polaires du docteur Jean Charcot ont apporté leur contribution à ce progrès scientifique. Il nous paraît intéressant d'en exposer ici, brièvement, les principaux résultats.

Voici les deux sources de glace des régions polaires :

I. La glace de mer

Comme il y a, sur les vastes étendues polaires, des terres et des mers, la glace qui s'y forme procède de deux types différents. La glace formée à la surface des terres est nécessairement *douce*, c'est-à-dire privée de sel, puisqu'elle provient uniquement des chutes de neige ; en revanche, elle est parfois salée par la poussière et par des boues glaciaires. La glace produite par la congélation de l'eau de mer est formée également de cristaux de glace pure, mais ces cristaux emprisonnent entre eux une certaine quantité d'eau de mer, qui s'égoutte peu à peu, si bien que la fusion d'un bloc de glace de mer « jeune » donne de l'eau salée, alors que la « vieille glace » donne de l'eau à peu près douce ; cette propriété est bien connue des marins qui fréquentent ces régions, et ils ne manquent pas de l'utiliser pour obtenir de l'eau douce.

« Pendant l'hiver, dit M. Gourdon, membre de l'expédition Charcot, j'ai pu assister à maintes reprises à la congélation de l'eau de mer. Par les grands froids, la mer fume comme une chaudière, par suite de la grande différence entre la température de l'eau et

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 156, page 443.

celle de l'atmosphère. Sa surface devient luisante comme de l'huile. De petites aiguilles de glace apparaissent, qui se multiplient rapidement et se réunissent en un réseau solide. La vitesse de formation est très rapide dans les premières heures. Ensuite, l'augmentation se fait beaucoup plus lentement ; cette glace des premières heures a une structure feuilletée ; elle est formée de petites lamelles emprisonnant un peu de saumure entre elles. »

Dans le voisinage des côtes, cette glace est mélangée à celle qui provient de la désagrégation des glaciers, et l'ensemble, constitué par des glaçons, non encore soudés, de toutes tailles et de toutes formes, porte le nom de *pack*. Puis, par l'action progressive du froid, tous ces éléments s'unissent en une masse continue, qui est la *banquise*. La banquise s'accroît très lentement par en dessous, car, plus elle est épaisse, plus difficilement elle laisse passer le froid extérieur. L'explorateur Nansen raconte qu'après plusieurs mois d'hiver, où la température était descendue fréquemment à -50° , l'épaisseur de la couche de glace qui enserrait son navire, le *Fram*, dépassait à peine 2 mètres. Mais, si cet accroissement aux dépens de l'eau de mer finit par être insensible, la banquise continue à s'accroître par en dessus au cours de l'hiver, grâce à l'apport constant des neiges qui viennent s'accumuler à sa surface.

Le vent et les courants marins exercent sur cette immense surface glacée des poussées formidables, qui, de temps à autre, la brisent par places et en accumulent les débris les uns sur les autres en amoncellements fantastiques, qui constituent les *hummocks*. Puis, venue la saison chaude, des fissures se produisent, la banquise se disloque en larges plaques, que les vents et les courants emportent en tous sens. Elles

fondent progressivement, et la mer redevient libre pour quelques mois.

II. Les glaciers polaires

Sur terre, les choses se passent autrement. Les chutes de neige y sont régulières et abondantes : à l'île Wandel, par 65° de latitude Sud, l'expédition Charcot a compté un jour neigeux sur deux :

Jours de neige : printemps, 41 ; été, 56 ; automne, 37 ; hiver, 51. Total : 185.

Cette neige polaire ne se présente pas, comme celle de nos pays tempérés, sous forme de légers flocons étoilés ; elle est faite de fines aiguilles, dures et acérées, qui, poussées par le vent, cinglent comme des grains de sable : « Rien n'est plus douloureux, dans la tourmente, que cette poussière de cristaux meurtriers qui fouette le visage et les yeux et empêche souvent de se diriger ; la marche est alors impossible, et le voyageur doit se terrer dans un trou de neige pour laisser passer la tempête. » Cette poussière de neige, ou *poudrin*, dans laquelle on s'enfonce à mi-jambe, est balayée par le vent et forme, comme le sable du désert, de

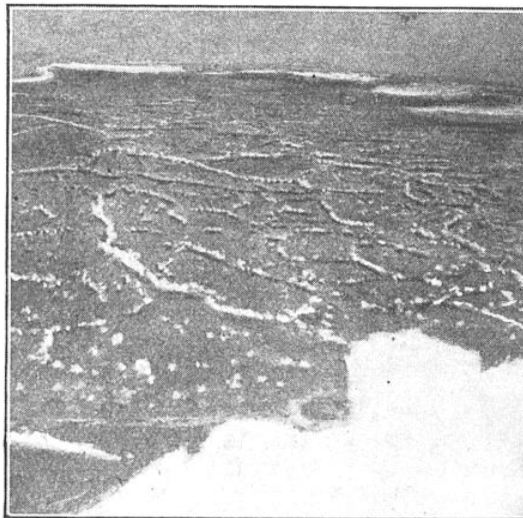


FIG. 1. — JEUNE GLACE EN FORMATION DANS LA BAIE DE LA SALPÊTRIÈRE, A L'ÎLE WANDEL (RÉGION ANTARCTIQUE)

A la surface de la mer apparaissent d'abord de fines aiguilles de glace qui se soudent rapidement. On remarque ici un dépôt abondant de givre qui s'est déposé sur la jeune glace.

véritables dunes ; elle finit pourtant par se tasser ; les grains se soudent, laissant entre eux une multitude d'intervalles remplis d'air ; l'ensemble, assez consistant pour pouvoir être découpé avec une bêche, ressemble aux névés des glaciers alpins.

Sous l'action du temps et de la compression, le névé se transforme progressivement en glace compacte, qui se débarrasse des bulles d'air, devient transparente et se colore des magnifiques teintes azur qu'on admire sur le flanc des crevasses ou sur le front des glaciers.

Comme des fleuves visqueux, ces glaciers avancent en raclant le sol sur lequel ils reposent et en lui arrachant des rochers et des débris de terre, qu'ils entraînent avec

eux. Cette propriété leur est commune avec nos glaciers alpins, sous réserve de certaines différences importantes : en premier lieu, ces fleuves de glace polaire ne s'arrêtent qu'à la mer, où ils se déversent à l'état solide. D'autre part, leur vitesse d'écoulement est très supérieure à celle des glaciers alpins : sur la mer de Glace, près de Chamonix, on a relevé des vitesses moyennes journalières de 0 m 50 sur les bords et 0 m 90 au milieu ; le maximum observé, en juillet, ne dépasse

land sur toute sa surface (2 millions de kilomètres carrés), quadruple de celle de la France, n'est qu'un immense champ de neiges et de glaces, que percent à peine, çà et là, quelques pyramides rocheuses : c'est l'*Inlandsis*, traversé à grand'peine par Nansen et, plus au nord, par Rasmussen. Sur ce plateau, suspendu à une altitude moyenne de 2.000 mètres, la neige tombe presque sans arrêt et ne fond jamais ; il faut, coûte que coûte, qu'elle trouve un chemin jusqu'à la

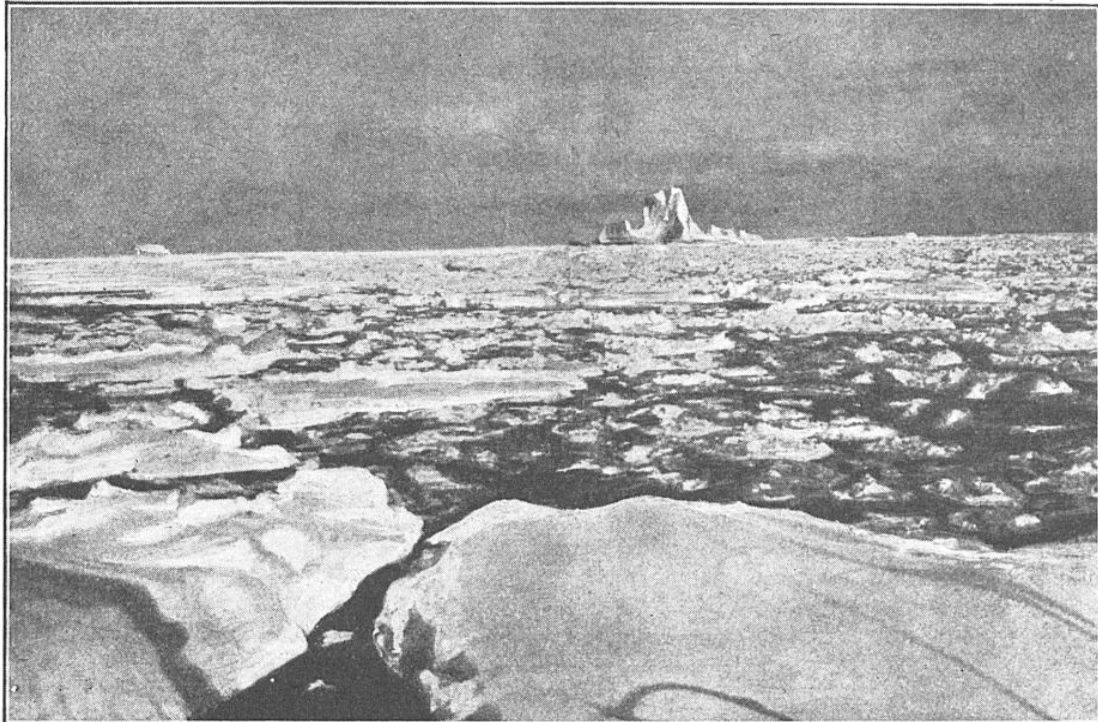


FIG. 2. — CET ENSEMBLE DE GROS GLAÇONS NON ENCORE SOUDÉS, QUE L'ON RENCONTRE AU VOISINAGE DES COTES (ICI, PRÈS DE LA TERRE LOUBET) PORTE LE NOM DE « PACK »

pas 1 m 58. Les glaciers du Groenland ont donné 18 mètres par jour au Karajak, 19 mètres à Jakobshavn, 31 mètres au nord d'Upernivick ; en Alaska, on a mesuré 21 mètres sur le grand glacier de Muir. Cette différence, en désaccord avec la plasticité moindre de la glace polaire, ne peut s'expliquer que par la formidable poussée exercée, sur le cours inférieur du glacier, par la masse de glace et de neige accumulée au-dessus.

Il faut, en effet, se rendre compte de la différence d'échelle entre les glaciers polaires et ceux de nos régions tempérées : le plus grand des glaciers alpins, celui d'Aletsch, a 24 kilomètres de long et sa superficie ne dépasse pas 130 kilomètres carrés ; le Groen-

land sur toute sa surface (2 millions de kilomètres carrés), quadruple de celle de la France, n'est qu'un immense champ de neiges et de glaces, que percent à peine, çà et là, quelques pyramides rocheuses : c'est l'*Inlandsis*, traversé à grand'peine par Nansen et, plus au nord, par Rasmussen. Sur ce plateau, suspendu à une altitude moyenne de 2.000 mètres, la neige tombe presque sans arrêt et ne fond jamais ; il faut, coûte que coûte, qu'elle trouve un chemin jusqu'à la

La naissance et la mort des icebergs

Ainsi, la masse de glace débitée par ces fleuves solides est considérable ; la majeure partie s'en va à la mer sous forme de blocs de moyenne ou de petite taille qui contribuent à la formation du pack ; « La muraille

qui s'élève verticalement au-dessus de la mer, soumise à la poussée du glacier et à l'action des vagues, est débitée à mesure qu'elle avance. Usée, sapée à sa base, elle se creuse de cavernes, dont la voûte arrondie s'élargit peu à peu en laissant tomber de gros blocs ; la partie surplombante se fissure ; il s'en détache des plaques de glace qui s'effondrent avec fracas dans la mer en soulevant des lames énormes. Ainsi l'approche de ces falaises, si attirantes avec leurs splendides gammes de bleus et leurs antres mystérieux, est-elle toujours dangereuse (1). »

Les véritables icebergs, dont les dimensions sont beaucoup plus grandes, se produisent dans des conditions différentes. D'après Nordenskjöld, ceux des mers arctiques proviennent de glaciers très irréguliers, qui, longtemps avant d'atteindre la mer, sont fractionnés en masses énormes et débouchent dans des fjords profonds, qui

sont comme les « cales de lancement » de ces navires de glace. Les grands icebergs antarctiques ont pour principale origine la « grande barrière de Ross » : c'est une falaise de glace remarquablement pure et dont la surface est parfaitement plate et horizontale ;

sur une longueur connue qui dépasse 600 kilomètres, et avec une vitesse de 1 m 30 par jour, elle s'avance dans la mer et flotte à sa surface, en suivant, comme elle, les mouve-

ments de la marée ; de temps à autre, il s'en détache de gros blocs qui présentent la forme *tabulaire*, caractéristique des icebergs antarctiques.

Cette différence de forme entre les îles flottantes des deux pôles dépend donc de leur mode de formation, mais elle tient également à la différence des climats : au Nord, il y a encore une saison chaude, brève, mais suffisante pour que le soleil, qui ne se couche jamais, ait la force de fondre par place la masse du glacier, en respectant les parties qui restent à l'ombre ou qui, recouvertes d'une couche étincelante de neige, absorbent moins la chaleur. C'est ainsi qu'au Spitzberg, par 78° de latitude nord, la moyenne de juillet

monte à + 2°8, et qu'elle atteint encore + 2°5 au nord du Groenland. Au Sud, jamais d'été : par 62° de latitude, c'est-à-dire à la latitude de la Finlande, la température atteint rarement zéro ; c'est pourquoi la glace antarctique ne fond jamais sur place ; elle ne se liquéfie que lorsqu'elle a été entraînée, très loin, dans des eaux plus chaudes et un air moins glacé.

Qu'elles se forment au nord ou au sud, ces îles flottantes atteignent parfois des dimensions

prodigieuses, mais qui ont été exagérées par des évaluations fantaisistes ; certains pêcheurs de phoques et de baleines racontent avoir rencontré des montagnes de glace dont le sommet émergeait de 300 ou 400 mètres au-

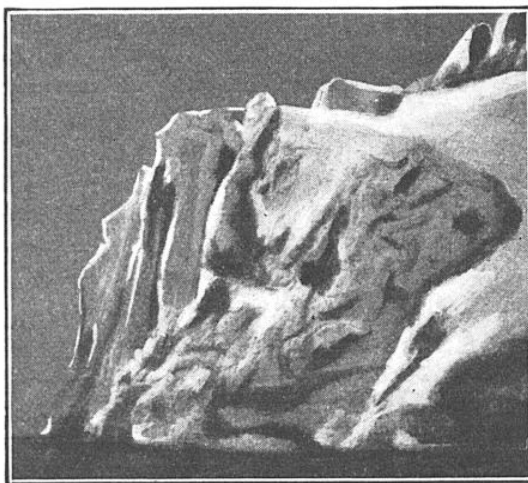


FIG. 3. — VOICI LE FRONT D'UN GLACIER TERRESTRE ARRIVANT DANS LA MER (TERRE DE GRAHAM)

Les glaciers des régions polaires atteignent des dimensions considérables (plus de 600 kilomètres de long) et leur front forme une falaise de 90 mètres de hauteur.

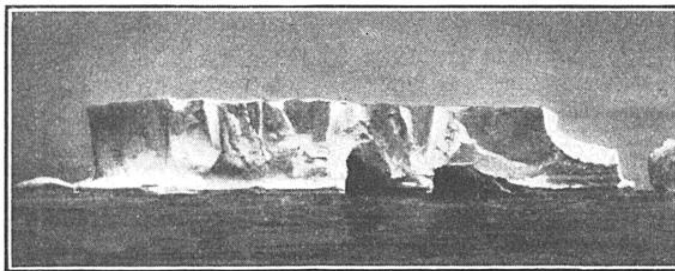


FIG. 4. — ICEBERG DE FORME TABULAIRE, SPÉCIALE AUX RÉGIONS ANTARCTIQUES

Ce sont de véritables montagnes de glace qui peuvent atteindre 100 mètres de haut au dessus de l'eau. On estime que la profondeur immergée est cinq fois plus grande que celle émergée.

(1) J. CHARCOT : *Expédition antarctique française.*

dessus des eaux ; les hauteurs mesurées par les véritables explorateurs restent toujours au-dessous de 100 mètres, à quoi il faut ajouter la partie immergée, de profondeur très variable suivant la forme des glaçons et la porosité de la glace ; pour les icebergs tabulaires, de forme régulière, Scott estime la profondeur immergée au quintuple de la hauteur émergée.

Quant à l'étendue de ces glaces flottantes, elle varie dans les plus larges limites : on en a cité une dont la longueur atteignait 100 kilomètres, mais le cas est tout à fait exceptionnel ; les îles longues de plusieurs kilomètres sont déjà rares, et la dimension « courante » paraît être 300 à 400 mètres ; avec une hauteur émergente d'une trentaine de mètres, cela représente déjà un bloc de glace pesant plusieurs millions de tonnes.

Comment la science permet de déceler les icebergs

Portée par les courants marins, poussée par le vent, cette île de glace flotte à la dérive ; elle s'use en progressant, et cette usure devient plus rapide lorsqu'elle aborde les régions tempérées, et surtout lorsqu'elle rencontre un courant chaud venu des régions tropicales. C'est dans cette période de désagrégation qu'elle présente les aspects les plus fantastiques : « Toute la gamme des bleus et des verts, dit M. Gourdon, se joue sur les parois de ces édifices ou dans les anfractuosités qui les creusent, et la blancheur du marbre le plus pur n'égalerait pas la leur. La transparence des eaux permet de poursuivre au loin sous la mer la féerie de leurs grottes d'azur. Pendant l'été, de petites cascades tombent sur leurs flancs ; des stalactites pendent des corniches et des chapiteaux... Percé de part en part, l'iceberg se transforme en une arche géante, ou bien, évidé au centre, creusé en hémicycle, il devient un petit havre flottant... puis, tronqués, mutilés, ces icebergs s'inclinent, perdent l'équilibre et se renversent tout à fait. »

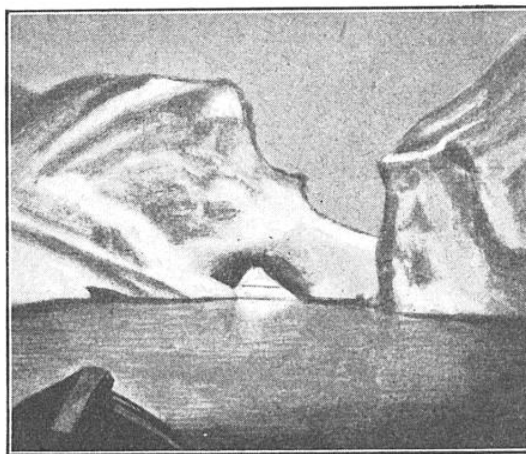


FIG. 5. — RONGÉS PAR LES EAUX, FONDANT PEU A PEU A MESURE QU'ILS RENCONTRENT DES COURANTS PLUS CHAUDS, LES ICEBERGS PRENNENT SOUVENT LA FORME D'UNE ARCHE GÉANTE AVANT DE SE DISLOQUER

Enfin, parvenus, dans un air chaud, au terme de leur aventure, ils s'entourent d'un voile de brume qui les signale et les dissimule à la fois ; à plusieurs kilomètres de distance, ils « rayonnent du froid », et c'est pour cela qu'on peut être averti de leur approche par l'abaissement de la température ou, mieux encore, par les cellules photoélectriques sensibles à l'infra-rouge (1). Une semblable cellule au sulfure de thallium, placée au fond d'un cornet récepteur et mobile autour d'un axe vertical, est reliée à un amplificateur à trois étages, à un redresseur et à un milliampèremètre.

Si on lui fait faire son tour d'horizon, lorsqu'il n'y a pas d'iceberg en vue, les variations du milliampèremètre sont faibles et progressives ; si, au contraire, on observe une variation brusque dans un certain azimuth, on peut être assuré de l'existence d'un iceberg dans cette direction ; la méthode est assez sensible pour permettre de déceler des glaces flottantes dans un rayon de dix kilomètres.

C'est ainsi que le froid polaire est transporté vers les zones tempérées ; nulle part cette divagation des icebergs n'est plus redoutable que dans l'Atlantique Nord, au voisinage du banc de Terre-Neuve, constitué au cours des siècles par les débris de toutes sortes abandonnés par les glaces flottantes. Les icebergs sont très rares, au contraire, dans le Pacifique Nord, où ils ne peuvent pénétrer que par la porte étroite ouverte entre l'Alaska américain et le Kamchatka asiatique. C'est dans les mers du Sud, autour du vaste continent antarctique, qu'on rencontre les plus majestueux icebergs, mais ces eaux dangereuses ne sont que très rarement parcourues par les navigateurs. Ainsi, toute la vie de l'Océan, avec ses artères chaudes et ses veines refroidies, est liée à cette lutte éternelle du chaud équatorial et du froid polaire, dont les icebergs sont la plus impressionnante manifestation.

L. HOULLEVIGUE.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 141, page 177.

LES BIENFAITS ET LES MÉFAITS DE L'OXYGÈNE

Par J. ARNOUX

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Sans oxygène, la vie — sur la terre — serait impossible : aucune combustion — vive ou lente — ne saurait se produire, et les machines thermiques n'existeraient pas. Mais c'est aussi l'oxygène qui fait brûler nos maisons, c'est lui qui provoque le cognement des moteurs, et nous avons besoin de lutter contre incendies et détériorations mécaniques. C'est également à l'oxygène qu'est due l'altération de matières premières, depuis le fer jusqu'au caoutchouc et aux corps gras. Il faut donc « exacerber » ses bienfaits d'une part, supprimer ses méfaits de l'autre. Dans ce domaine, les récents travaux de MM. Moureu et Dufraisse ont engendré un progrès remarquable en accroissant nos connaissances sur les propriétés de certains corps, tels que les « prooxygènes » et les « antioxygènes ». Déjà employés dans l'industrie du caoutchouc, des corps gras et sans doute pour la lutte contre le feu, ces corps, qui se comportent comme des catalyseurs (1), offrent un vaste champ d'expérience en vue d'utilisations pratiques dérivant directement des recherches de laboratoire.

L n'est certainement pas, dans la vie terrestre, d'action chimique plus générale que celle jouée par l'oxygène atmosphérique. Il trouve une place prépondérante par ses bienfaits, dont le premier de tous est la vie, puisque vivre c'est respirer, c'est-à-dire absorber de l'oxygène, ou par ses méfaits, puisqu'il lui faut répondre de la destruction lente ou brutale de tout ce qui nous entoure. De tous temps, l'homme a cherché à favoriser ses effets avantageux par l'emploi de corps « prooxygènes », favorables à l'action de l'oxygène atmosphérique, ou à lutter contre ses actions néfastes à l'aide des « antioxygènes », qui entravent son action. Pour ne citer qu'un exemple, les tannins, qu'on emploie de temps immémorial et qui donnent au cuir sa merveilleuse résistance aux agents atmosphériques, ont un rôle antioxygène, bien connu actuellement.

Certains corps, oxydants dans certaines conditions, ne le sont plus dans d'autres

Pour reconnaître si un corps est un oxydant, il suffit de s'assurer si sa présence détermine ou non la coloration d'un réactif, dit réactif ioduré, obtenu en ajoutant quelques gouttes d'empois d'amidon à une solution d'iodure de potassium ; l'iode libéré colore en bleu l'empois d'amidon. L'eau oxygénée, par exemple, est un oxydant ; l'acide acétique, au contraire, n'est pas un oxydant. Cherchons à appliquer cette méthode à l'aldéhyde benzoïque ; c'est un corps

apparenté au formol et que l'on extrait de l'essence d'amandes amères. Ici apparaît un phénomène remarquable : suivant que l'on opère dans le vide ou, au contraire, en présence de l'air, le résultat est différent. Dans la première expérience, opérée dans le vide, le réactif ioduré reste incolore : on peut conclure immédiatement que l'aldéhyde benzoïque n'est pas un oxydant. Bien mieux, au lieu de céder de l'oxygène, comme tout oxydant, il peut s'unir à l'oxygène atmosphérique et donner de l'acide benzoïque, de même que le formol peut s'autooxyder et donner de l'acide formique.

Or, en présence de l'air (deuxième expérience), il acquiert les propriétés d'un oxydant, puisqu'il détermine alors la coloration du réactif ioduré. C'est précisément ce phénomène que l'on envisage en disant que l'aldéhyde benzoïque est un *autooxydateur*.

Qu'est-ce que l'action antioxygène ?

La première observation consciente d'un phénomène antioxygène remonte à 1797 ; elle est due à Berthollet, qui avait remarqué la suppression de la phosphorescence du phosphore en présence de vapeurs sulfurées ; on sait que cette phosphorescence est liée à l'oxydation du phosphore en présence d'oxygène à pression réduite (comme il se trouve dans l'air, où sa pression partielle est de un cinquième d'atmosphère). Les vapeurs sulfurées, supprimant l'oxyluminescence, agissent donc comme de véritables *antioxygènes*.

Les travaux faisant autorité sur la recher-

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 112, page 300.

che des antioxygènes ne datent que de quelques années. Ils sont dus au regretté professeur Moureu et à son collaborateur M. Dufraisse, professeur de chimie organique à l'École de Physique et de Chimie industrielles de Paris, actuellement sous-directeur du laboratoire de chimie organique du Collège de France. Ces savants appréciaient la diminution du volume d'oxygène offert à un corps autooxydable, tel que l'aldéhyde benzoïque, en présence de diverses impuretés : les prooxygènes amènent une accélération de cette absorption de l'oxygène ; les antioxygènes s'y opposent plus ou moins.

Pour donner une idée du travail accompli, il suffira de citer ce seul nombre : 88.500 mesures d'absorption d'oxygène avaient été enregistrées en mars 1929.

Le phénomène anti ou prooxygène est très général

MM. Moureu et Dufraisse ont été amenés à établir la loi générale suivante : *Tout corps, hormis, sans doute, les éléments dénués de toute affinité chimique, présente un caractère anti ou prooxygène.*

En effet, les théories les plus récentes de ces deux phénomènes reposent exclusivement sur les propriétés de l'oxygène, et il n'a été fait appel, en ce qui concerne le corps considéré, qu'à son affinité pour l'oxygène. Elles ne supposent donc aucune autre propriété que d'être apte à s'unir à de l'oxygène. Or, la plupart des matières remplissent incontestablement cette condition et l'on ne voit pas, en dehors des gaz rares ne présentant aucune affinité chimique, de corps qui se refuserait à subir une peroxydation au moins momentanée. Donc, la plupart des matières doivent fonctionner, soit comme antioxygènes, soit comme prooxygènes.

Il n'est pas inutile de signaler une confusion à peu près générale à l'étranger et qui

tend à disparaître complètement en France, grâce à la vigoureuse campagne de M. Dufraisse. Le terme « antioxygène » qu'a proposé M. Dufraisse pour désigner les corps entravant l'action de l'oxygène libre ou atmosphérique, ne se confond pas avec le terme « antioxydant », lequel désigne des réactifs s'opposant à l'action des oxydants,

tels que le permanganate, l'eau oxygénée, etc. En effet, non seulement les antioxygènes ne sont pas des antioxydants (c'est-à-dire qu'ils ne pourront pas empêcher l'oxydation du réactif ioduré par l'eau oxygénée), mais un grand nombre sont détruits par les oxydants. Pour utiliser les antioxygènes, il faudra donc les préserver du contact des oxydants.

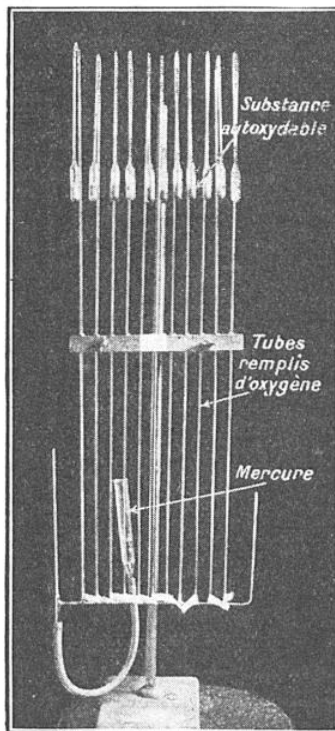
Le phénomène pro et antioxygène est un phénomène de catalyse (1)

Comme nous l'avons dit, le corps autooxydant et antioxygène apparaît, en dernier ressort, inaltéré et, par conséquent, il suffit d'une quantité *minime* de ce corps pour favoriser l'oxydation d'une quantité *illimitée* d'une substance autooxydable, la même quantité du premier agissant sur des fractions successives du second.

Or, il existe un phénomène plus général qui met en jeu ces deux propriétés : c'est la *catalyse*. On

sait qu'on qualifie de catalyseurs des corps qui, en quantité infime, par leur seule présence et non par leurs affinités chimiques, sans subir, en apparence, aucune transformation, favorisent telle ou telle réaction. Il semble que la définition la plus précise soit la suivante : un catalyseur est un corps qui change la vitesse avec laquelle s'effectue une réaction, sans subir lui-même de modification. Effectivement, un catalyseur ne modifiera jamais la nature d'une réaction, mais seulement sa vitesse ; son rôle se bornera à supprimer ou

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 112, page 300.



L'APPAREIL QUI A SERVI A MM. MOUREU ET DUFRAISSE, DANS LEURS RECHERCHES SUR LES ANTIOXYGÈNES

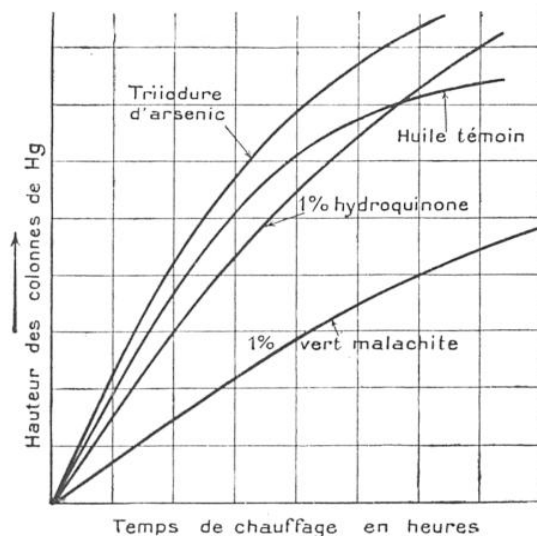
Dans les réservoirs supérieurs, ces savants plaçaient une substance autooxydable, telle qu'une huile ou du caoutchouc, additionnée de différents antioxygènes. Les tubes de verre étaient remplis d'oxygène dont la diminution de volume était mesurée par la montée du mercure dans les tubes. La rapidité de cette montée servait à classer les antioxygènes.

à réduire les *frottements chimiques* qui gênent la réaction envisagée, et l'on compare souvent leur action à celle des lubrifiants dans les appareils mécaniques.

Les deux faits énoncés plus haut : inaltérabilité du corps pro ou antioxygène et son action en quantité infime, suffiraient à eux seuls à considérer l'antioxydation et la prooxydation comme de simples phénomènes catalytiques. La généralité commune des deux ordres de phénomènes en est une preuve de plus, si l'on a à l'esprit les paroles du chimiste allemand Ostwald : « Il semble n'y avoir aucune réaction chimique qui ne puisse être influencée catalytiquement et aucune substance chimique, élémentaire ou composée, qui ne puisse agir comme catalyseur. »

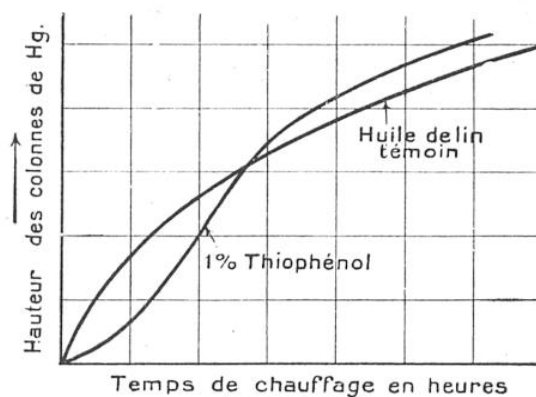
De cette analogie on peut tirer une conséquence immédiate, vérifiée et lourde d'applications pratiques. Puisqu'un catalyseur, intervenant dans les réactions où un corps est mis en cause initialement, catalyse également celles où ce corps est un produit final, on en déduit (si ce corps en question est de l'oxygène) le fait suivant, peut-être paradoxal, mais excessivement fécond en enseignements pratiques : *un antioxygène est un prooxygène*.

Effectivement, on a pu constater qu'un



EXEMPLES D'ACTIONS PROOXYGÈNES ET ANTI-OXYGÈNES

Ces courbes, obtenues au moyen de l'appareil de la page ci-contre, montrent la plus ou moins grande rapidité avec laquelle un corps, en l'espèce une huile végétale, se combine avec l'oxygène, suivant qu'il est additionné, en très petite proportion, de divers corps qui peuvent accélérer cette réaction (prooxygènes) ou, au contraire, la retarder (antioxygènes).



UN ANTIOXYGÈNE QUI SE TRANSFORME EN PROOXYGÈNE

Une addition de 1 % de thiophénol ralentit l'oxydation de l'huile de lin au début de l'expérience (action antioxygène) et l'accélère à la fin (action prooxygène), bien que les conditions expérimentales soient restées les mêmes.

corps tel que l'oxybromure de phosphore est très actif comme antioxygène vis-à-vis de l'aldéhyde benzoïque et prooxygène vis-à-vis du styrolène (carbure extrait du baume du Pérou). Mais le rapprochement des deux effets opposés peut aller encore plus loin : un catalyseur peut inverser son action sur un même corps suivant les conditions expérimentales (acidité, température) ; par exemple, en milieu alcalin, ce sera un antioxygène et, en milieu acide, un prooxygène.

Souvent, la simple présence d'impuretés suffit à déterminer l'inversion. Bien plus, les deux phénomènes peuvent coexister successivement dans le temps, à conditions expérimentales identiques : le thiophénol ralentit l'oxydation de l'huile de lin dans une première phase et l'accélère dans la seconde.

La conséquence pratique apparaît immédiatement : il faut agir très *prudemment* dans la pratique des antioxygènes. Un changement, en apparence insignifiant, apporté au milieu de la réaction, dans les conditions d'emploi du catalyseur, peut précipiter l'altération par l'oxygène, au lieu de la ralentir.

Les antioxygènes ont de multiples applications pratiques

L'industrie, la biologie n'ont pas tardé à utiliser ce moyen de protection simple, économique et très général contre l'altération par l'oxygène atmosphérique. Chaque fois que se manifestera une action nocive de l'air, il suffira de chercher le bon catalyseur à lui opposer. Il n'y aura à craindre aucun insuccès, si l'on ne perd pas de vue la parenté

des catalyses inverses, c'est-à-dire le danger de précipiter une altération que l'on voudrait empêcher.

Nous allons examiner diverses applications industrielles et biologiques des antioxygènes. Auparavant, citons les principaux corps susceptibles d'une application antioxygène et qu'on essayera en premier lieu. Ce seront, d'abord, les éléments pouvant donner un grand nombre d'oxydes : le soufre, le phosphore, l'iode et leurs nombreux dérivés, enfin des corps dont l'action antioxygène s'est manifestée au cours d'expériences récentes : les cyanures, amines, phénols

Le vieillissement du caoutchouc est combattu par les antioxygènes

Les formes de l'altération du caoutchouc sont nombreuses et, pratiquement, le caoutchouc ne s'use pas, il « vieillit ». C'est l'oxydation qui provoque surtout cette altération, avec le processus de l'autooxydation. Il y a une vingtaine d'années,

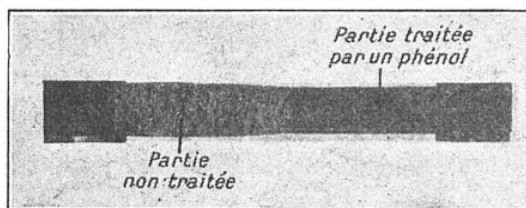
quand le caoutchouc qui nous parvenait affectait les formes les plus diverses, étant coagulé par des moyens primitifs, il était fréquent de recevoir des lots entiers de caoutchouc « stické », les petits cubes de gomme étant collés les uns aux autres par une matière sirupeuse provenant de l'altération du caoutchouc. Ces lots étaient fortement dépréciés, la vulcanisation en étant difficile. Or, il semble bien établi que ce stickage est une forme d'oxydation. Le vieillissement du caoutchouc est dû à l'oxygène de l'air. En particulier, on constate que les sels de certains métaux, qui existent dans certains latex, agissent comme prooxygènes ; ceci explique la plus grande facilité d'oxydation de certaines sortes de caoutchouc.

Le véritable moyen de préservation que nous ayons contre l'altération du caoutchouc vulcanisé ou non est l'emploi des antioxygènes. La nature a, d'ailleurs, utilisé cette protection : parmi les éléments contenus dans le sérum du latex et qui sont éliminés lors de la coagulation, se trouve un antioxygène puissant, qui empêche une trop rapide oxydation du caoutchouc ; sans cette heureuse circonstance, les extraordinaires propriétés

du caoutchouc n'auraient sans doute jamais été mises à profit ni même peut-être soupçonnées. Une conséquence immédiate est l'obligation de ne pas laver d'une façon trop énergique les crêpes, pour ne pas éliminer ces produits antioxygènes.

On a constaté que certaines pratiques industrielles aboutissent à l'introduction involontaire d'antioxygènes ; tels sont l'enfumage et l'usage d'accélérateurs de la vulcanisation. Effectivement, les balles de para résistent très bien à l'altération : ceci est dû à leur fabrication spéciale ; on sait que l'indigène obtient des balles en trempant dans le

latex d'hévéa une grande spatule de bois, dont une extrémité présente une forme de disque, et en séchant ce latex à la chaleur et à la fumée d'un feu de bois. Les pellicules successives de latex séché finissent par former une boule. Cette pratique présente deux avantages : d'une part, elle supprime le lavage et, d'autre part, les traces de produits phé-



FEUILLE DE CAOUTCHOUC DONT LA MOITIÉ DROITE A ÉTÉ TRAITÉE SUPERFICIELLEMENT PAR UN ANTIOXYGÈNE (PHÉNOL) ET ABANDONNÉE PENDANT CINQ ANS. CETTE MOITIÉ EST RESTÉE INTACTE, ALORS QUE LA MOITIÉ GAUCHE NON TRAITÉE EST COMPLÈTEMENT CRAQUELÉE

noliques qui se trouvent dans les fumées immunisent le para contre l'oxydation. Quant aux accélérateurs de la vulcanisation, ce sont toujours de bons antioxygènes.

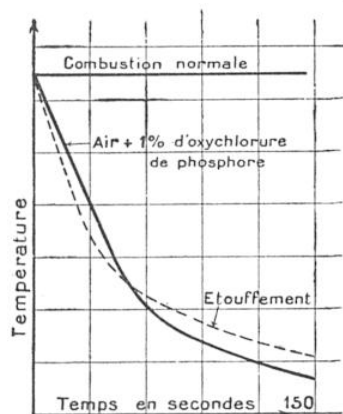
Deux procédés semblent, actuellement, s'opposer : l'*application superficielle* et l'*incorporation des produits* avant la vulcanisation. En réalité, les deux méthodes ne se concurrencent pas, mais se complètent. L'*incorporation* des agents antioxygènes dans le malaxeur sera utilisée chaque fois que l'usure du caoutchouc risque d'éliminer une partie importante de l'antivieillissant déposé à la surface de l'objet et qui n'a pu pénétrer à l'intérieur de cet objet par diffusion. Au contraire, l'*application superficielle* sera le seul procédé dont on dispose pour protéger des objets qui ont déjà commencé à se détériorer. C'est également le seul moyen dont on dispose pour employer, comme agents antioxygènes, des produits susceptibles de réagir fâcheusement au cours de la vulcanisation ou de la préparation des objets.

La lutte contre l'incendie

Dès que l'homme a réussi à domestiquer le feu, il a dû s'employer à limiter ses effets ;

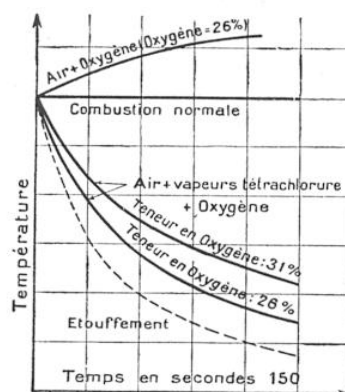
mais ce dont on peut s'étonner, c'est que, de l'âge du feu au siècle de l'électricité, la technique de l'extinction n'ait pas varié : elle implique obligatoirement l'étouffement par manque d'oxygène ; tout au plus, l'eau et la terre que nos ancêtres jetaient sur le feu sont remplacés par le tétrachlorure de carbone ou des corps analogues.

L'insuffisante efficacité de ces méthodes séculaires d'extinction résultait de cette nécessité d'opérer par doses massives. Les récentes expériences de MM. Dufraisse et Horelois font naître l'espoir d'une rénovation des méthodes de lutte contre l'incendie. On pouvait se demander si la combustion, oxydation à haute température, était sensible à la catalyse *antioxygène*. A cet effet, une première série d'expériences des auteurs a porté sur une manifestation principale du feu : l'ignition du charbon de bois. Le dispositif employé était très simple : on chargeait de braise de boulanger allumée un petit fourneau étanche, muni au bas d'une tuyère par où on pouvait injecter soit de l'air pur, soit de l'air additionné du mélange gazeux soumis à l'étude. Une fente étroite, fermée par du mica transparent, laisse passer le rayonnement calorifique, dont l'étude à la pile thermo-électrique permet de suivre les variations de température du four. Dès que l'incandescence est devenue uniforme, on substitue à l'air insufflé le gaz à étudier ; une simple lecture continue du galvanomètre en fonction du temps permet de suivre les répercussions sur le régime de la combustion. A titre de comparaison, chaque série d'essais comporte une extinction par étouffement proprement dit : on arrête brusquement l'adduction d'air. Voici quels ont été les résultats : le graphique ci-contre



GRAPHIQUE MONTRANT QUE DE L'AIR EN QUANTITÉ NORMALE, ADDITIONNÉ DE SEULEMENT 1 % D'OXYCHLORURE DE PHOSPHORE, EST CAPABLE D'ÉTEINDRE UN BRASIER SENSIBLEMENT DE LA MÊME FAÇON QUE LE MANQUE COMPLET D'OXYGÈNE

l'étouffement par le manque complet d'oxygène. De plus, on observe encore un effet sensible à des dilutions de l'ordre de 1/2.000^e en volume. Des effets aussi marqués, obtenus avec une quantité aussi infime de matière, sont bien caractéristiques d'une action catalytique ; l'ignition, oxydation à haute température, est donc sensible à la catalyse antioxygène, tout comme une oxydation à basse température. Fait curieux, le tétrachlorure de carbone, anti-incendiaire bien connu des automobilistes, se trouve avoir une action antioxygène notable. Une objection, qui pouvait être formulée, a été prévenue par les deux auteurs : on pouvait trouver en l'abaissement de la concentration de l'oxygène une explication à l'extinction du charbon. La proportion d'oxygène et d'azote de l'air étant respectivement de 21 et 79 %, l'addition de 5 % de tétrachlorure faisait tomber la concentration de l'oxygène de 21 à 20 % ; quoiqu'un appauvrissement aussi peu marqué ne saurait expliquer l'extinction du charbon, MM. Dufraisse et Horelois ont tenu à vérifier qu'un mélange air + vapeurs de tétrachlorure + oxygène dont la concentration en oxygène atteindrait et dépasserait même largement la teneur de l'air atmosphérique, possédait encore un pouvoir extincteur notable (graphique ci-dessus). Par comparaison, un mélange à 31 % d'oxygène, dont l'azote serait le seul diluant, a consumé non seulement le charbon, mais le fer même du four.



GRAPHIQUE MONTRANT QUE DE L'AIR CONTENANT UNE PROPORTION D'OXYGÈNE SUPÉRIEURE À LA NORMALE (26 A 31 % CONTRE 21 %), MAIS ADDITIONNÉ DE TÉTRACHLORURE DE CARBONE, EST ENCORE CAPABLE D'ÉTOUFFER UN BRASIER

On voit donc le succès qui attend cette nouvelle pratique ; au lieu de chercher à étouffer le foyer d'incendie par l'action massive de substances quelconques, il suffira d'insuffler une quantité infime d'une substance antioxygène convenable. Le résultat des expériences actuellement tentées ne fait aucun doute ; ce n'est plus qu'une question de

temps, mais la technique reste acquise dès à présent, faisant honneur aux savants qui l'ont mise à jour.

Pourra-t-on protéger les corps gras contre l'altération due à l'oxygène ?

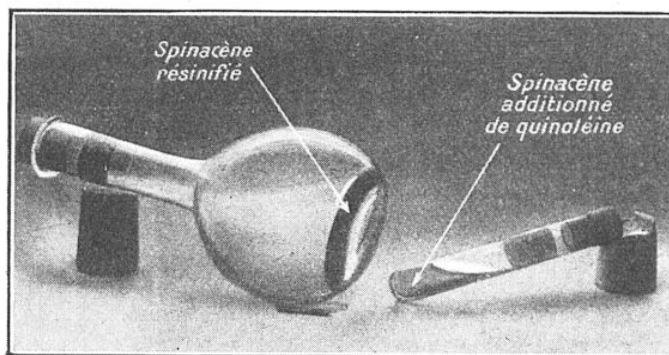
Les industries qui traitent les corps gras ont généralement intérêt à éviter l'autooxydation, qui détruit peu à peu les corps gras, en même temps que la partie qui a échappé à l'oxydation rancit ou se résinifie. L'oxygène atmosphérique est parfois coupable de plus graves méfaits : l'inflammation spontanée et l'incendie ; en effet, l'oxydation des oléines des graines de coton, par exemple, peut entraîner un dégagement de chaleur, cause d'inflammation. On conçoit, dès lors, l'intérêt que devaient provoquer les expériences de M. Dufraisse : la simple présence de 1 % de naphthol a permis de supprimer sur une huile de lin, vieille de deux

ans, toute trace d'oxydation ou de polymérisation. Les diverses industries qui utilisent les corps gras ou leurs dérivés ont déjà bénéficié des antioxygènes, les industries électriques qui utilisent des huiles pour transformateurs ou pour imprégner les câbles ; la peinture, dont l'oxydation provoque la formation d'une pellicule à la surface de l'huile de lin et le durcissement des pinceaux, ont largement profité des antioxygènes, dont la pratique a évité des pertes considérables.

On pourrait se demander si les mêmes procédés ne pourraient protéger le beurre du rancissement : la difficulté est de trouver un antioxygène dont l'introduction courante dans l'alimentation ne présenterait aucun inconvénient ; or, les quelques paillettes d'hydroquinone qui suffisent à empêcher le rancissement interdisent la consommation du beurre ainsi stabilisé. En attendant une solution idéale, M. Dufraisse a proposé d'additionner le corps gras d'un

antioxygène facile à enlever avant la consommation ; ce serait une excellente solution pour les graisses exotiques, qui pourraient être ainsi préservées d'une altération qui se produit toujours, étant donnée la distance entre le lieu de récolte et le marché d'utilisation.

Enfin, la stabilisation des graisses alimentaires n'est qu'une partie d'une question beaucoup plus vaste : la conservation des matières alimentaires. La santé ne dépend-elle pas de la bonne conservation des divers aliments ? La nocivité des altérations produites par l'oxygène n'est pas douteuse.



ÉCHANTILLONS DE SPINACÈNE RÉSINIFIÉ ET DE SPINACÈNE TRAITÉ PAR UN ANTIOXYGÈNE AU LABORATOIRE DU PROFESSEUR DUFRAISSE, AU COLLÈGE DE FRANCE. Le spinacène est un corps que l'on extrait de l'huile de baleine et qui s'oxyde rapidement à l'air, en se résinifiant. Notre cliché représente, à gauche, du spinacène non traité, complètement résinifié. À droite, le même corps, datant de 1922, mais protégé par un antioxygène (quinoléine), n'a subi aucune transformation.

Les antidétonants (1) sont des antioxygènes

Les travaux de MM. Moureu, Dufraisse et Chaux ont établi que les antidétonants, corps qui ont la propriété de supprimer dans les moteurs à explosions le phénomène qui fait dire que le moteur cogne, doivent agir simplement en s'opposant, par un effet de ca-

talyse antioxygène, à l'attaque du carburant par l'oxygène. De fait, le plomb tétraéthyl, employé depuis longtemps pour faire disparaître le phénomène de choc, jouit de propriétés antioxygènes importantes.

Bien mieux, si l'on considère les trois homologues suivants : aniline ou monophénylamine, diphenylamine, triphénylamine, et qu'on les classe par activité antidétonante et antioxygène croissante, on trouve le même ordre, c'est-à-dire : triphénylamine, aniline, diphenylamine.

Nous avons dit que la manifestation du caractère antioxygène était largement influençable par de nombreux phénomènes ; effectivement, les amines précédentes, beaucoup plus antioxygènes que le plomb tétraéthyl à la température ordinaire, le sont beaucoup moins à la température du moteur à explosions et de ce fait non employées comme antidétonants. Le problème des antidé-

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 139, page 35.

tonants est donc réduit à une simple recherche d'antioxygènes.

Il n'est, pour ainsi dire, pas d'industrie qui n'ait maille à partir avec les manifestations multiformes de l'oxygène et qui ne sont pas, en conséquence, intéressées par les antioxygènes. Les industries des essences de térébenthine, dont certaines variétés sont très altérables, des textiles, des matières colorantes et tant d'autres utilisent des antioxygènes. Les travaux de M. Chaudron donnent l'espoir que l'on parviendra à protéger les métaux, même les plus oxydables, comme le magnésium. Avant peu, les coûteux blindages de peinture antirouille feront place à d'imperceptibles films antioxygènes.

Les antioxygènes et la vie

Très en retard sur l'industrie, qui possède sur elle l'avantage d'une expérimentation plus facile et de conclusions plus nettes, la biologie devait être grandement intéressée par les antioxygènes. La vie, conditionnée par l'oxydation, est tributaire des phénomènes antioxygènes et prooxygènes. Quoique les applications biologiques n'aient pas encore reçu un développement comparable à celui qu'on a rencontré en industrie, de

substantiels résultats ont été déjà acquis. Les travaux de M. Leitz ont fixé le rôle biologique des tannins, antioxygènes par les produits phénoliques qu'ils renferment, chez les végétaux. Il n'est pas jusqu'au domaine des agents infectieux qui ne soit justiciable des idées nouvelles : un illustre spécialiste des questions des toxines, M. le Professeur Vincent, a montré l'intérêt qui pouvait s'attacher à la considération d'actions antioxygènes conjuguées avec certaines infections. Enfin, certaines vitamines (1), indis-

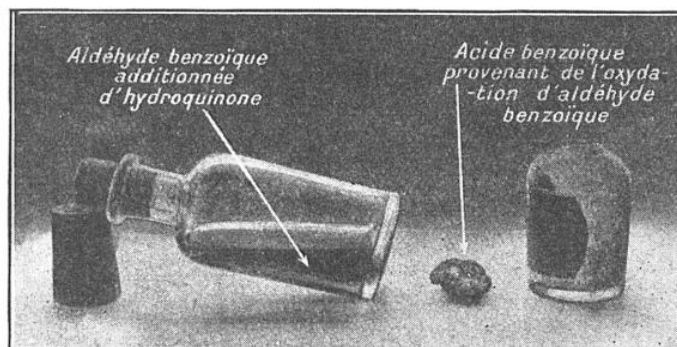
pensables au fonctionnement normal de l'organisme, sont plus ou moins détruites par l'autooxydation et il vient d'être récemment démontré qu'un antioxygène bien connu, l'hydroquinone, protégeait la vitamine A, et la valeur alimentaire des graisses chargées de vitamine A, après addition de petites quantités de ce diphénol était améliorée con-

sidérablement. Enfin, on soupçonne l'intérêt que doit présenter l'utilisation des antioxygènes dans les cultures anaérobies.

Le champ d'utilisation des antioxygènes a donc une étendue imprévue et touche des domaines où l'on s'attendait le moins à les rencontrer.

J. ARNOUX.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 158, page 149.



ÉCHANTILLONS D'ALDÉHYDE BENZOÏQUE TRAITÉ PAR UN ANTIOXYGÈNE ET D'ACIDE BENZOÏQUE, AU LABORATOIRE DU PROFESSEUR DUFRAISSE, AU COLLÈGE DE FRANCE

L'aldéhyde benzoïque liquide se transforme lentement à l'air libre en acide benzoïque, qui se présente sous la forme de petits cristaux agglomérés. L'addition d'un antioxygène (hydroquinone), dans la proportion de 1/1.000^e, suffira pour empêcher cette oxydation. Notre cliché représente le résultat d'essais commencés en 1919 : l'échantillon de gauche, traité, est resté non transformé, donc liquide ; à droite, on peut voir l'agglomération des cristaux d'acide benzoïque, résultat de la transformation de l'aldéhyde.



QUE SAVONS-NOUS MAINTENANT DU MÉCANISME DE LA FOUDRE ?

Par Jean LABADIÉ

Depuis que Franklin a démontré la nature électrique de l'éclair par la fameuse expérience de son cerf-volant (1752), de nombreux savants se sont efforcés de découvrir les lois de ce phénomène atmosphérique, l'un des plus difficiles à expliquer, parce que difficilement observable. Notre éminent collaborateur, le professeur Houllé, a déjà exposé ici (1) les théories les plus modernes sur la constitution de la foudre, notamment l'hypothèse de la « matière fulminante », qui a permis d'interpréter les formes diverses de l'éclair (fulgurant, en boule, en chapelet). Les travaux de l'Anglais Simpson viennent confirmer cette hypothèse en démontrant, suivant les données les plus récentes, le mécanisme de la charge électrique des nuages et celui de la foudre.

RAPPELONS la théorie que formulèrent les électriciens du XIX^e siècle, en explication de l'expérience de Franklin, d'où naquit le paratonnerre.

Les nuages, amas de globules d'eau, sont assimilables à des corps conducteurs de l'électricité. L'air dans lequel ils voguent est, par contre, isolant. Dans ces conditions, les nuages en mouvement dans l'air se chargent « d'électricité atmosphérique », de la même manière que les collecteurs d'une machine électrostatique recueillent l'électricité sur le disque de verre tournant. Tant et si bien qu'une étincelle finit par éclater, soit entre nuages voisins différemment électrisés, soit entre un nuage et le sol, absolument comme elle éclate entre le collecteur de la machine chargé positivement, et une baguette métallique voisine, reliée à la terre négative. De ces baguettes, nous hérissâmes donc le sommet de nos édifices ; elles suffiront à canaliser jusqu'au sol la décharge électrique de la foudre, détournant ainsi le danger que présenterait une étincelle aberrante aussi formidable.

De fait, les paratonnerres, système Franklin, protègent les maisons, mais non. toutefois, suivant le mécanisme électrique simpliste édifié par les contemporains de Faraday.

La répartition de l'électricité dans l'atmosphère

C'est en 1860 que William Thomson, le futur lord Kelvin, montra comment il convenait de concevoir la notion de potentiel électrique appliquée aux choses de l'atmosphère. Il montra que l'assimilation d'un

nuage et du sol à deux pôles électrisés était par trop sommaire et que, finalement, la donnée capitale en matière d'électricité atmosphérique n'était pas la « différence de potentiel » ou tension électrique existant entre deux objets aussi éloignés, mais bien celle qui se manifeste *entre deux points très voisins, aux diverses altitudes*.

Grâce à des électromètres enregistreurs de son invention, installés à la station météorologique de Kew en 1861, W. Thomson mesura le potentiel électrique de l'atmosphère et ses variations de mètre en mètre sur une altitude suffisante pour démontrer ceci : l'accroissement de la tension électrique de l'air se manifeste de manière continue à mesure qu'on s'élève. Et le taux de cet accroissement par mètre courant d'altitude (qui se nomme scientifiquement le *gradient* du potentiel) *apparaît plus élevé par beau temps que par temps couvert*. Il est plus élevé en montagne qu'en plaine. C'est ainsi, qu'entre votre tête et vos pieds existent, par un beau jour d'excursion alpine, des différences de potentiel (ou tensions) de 50.000, 100.000 et même 200.000 volts. Et c'est pourquoi souvent des étincelles jaillissent des clous de vos chaussures ou de votre piolet vers le sol quand, en grim pant, vous déplacez verticalement l'électricité accumulée par l'air ambiant sur ces conducteurs métalliques (1).

Le travail de lord Kelvin n'empêcha pas la théorie simpliste du coup de foudre selon Franklin de persister dans les manuels et

(1) L'électrisation de la haute atmosphère s'explique par la théorie de l'ionisation exposée plus loin. La haute atmosphère directement touchée par les rayons ultraviolets du soleil subit, de ce fait, une ionisation plus intense que la basse atmosphère.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 136, page 285.

d'y figurer encore. Il est donc naturel que des physiciens contemporains, poussés d'ailleurs par certaines nécessités techniques — telles que la protection des lignes de transport d'énergie électrique contre la foudre — aient cru devoir reprendre à la base ce problème de l'éclair. C'est ce qu'ont fait en Angleterre le docteur Simpson, membre éminent de l'*Institution of Electrical Engineers* (1) et, en France, M. Mathias, directeur de l'Observatoire du Puy de Dôme.

Contrairement aux anciennes conceptions, l'air est conducteur, les nuages ne le sont pas

La découverte de lord Kelvin ouvrit ce que le docteur Simpson appelle la seconde phase historique du problème de l'éclair. La troisième phase fut inaugurée en 1900, lorsqu'après la découverte de la radioactivité par H. Becquerel et des rayons X par Röntgen, on commença à parler d'ions.

L'électricité n'étant plus connue officiellement aujourd'hui que sous la forme d'électrons (2), nous dirons que les molécules

(1) Dont la remarquable conférence, prononcée le 25 avril 1929 devant cette institution, sous le titre *Lightning*, et publiée en nov. 1929, est ici notre guide.

(2) L'électron est la plus petite parcelle d'électricité négative qui puisse exister à l'état isolé. C'est l'unité naturelle de charge électrique. (Voir *La Science et la Vie*, n° 118, page 289.)

gazeuses peuvent être électrisées, *négativement* si un ou plusieurs « électrons » supplémentaires viennent s'y agréger, *positivement* si ces molécules viennent à perdre un ou plusieurs des électrons qui les constituent à l'état normal, c'est-à-dire à l'état neutre. Les molécules ainsi électrisées se nomment

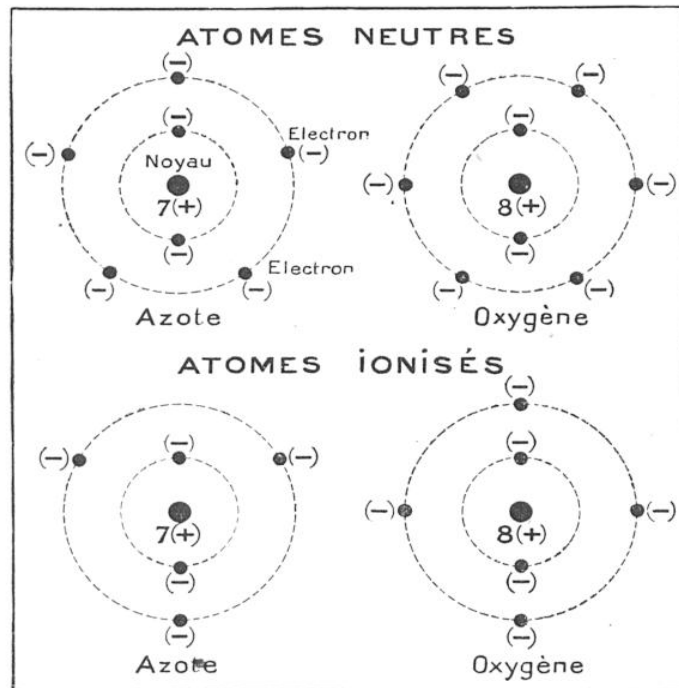
« ions » (*positifs* ou *négatifs*).

Or, il se trouve que l'air est constamment *ionisé* c'est-à-dire qu'il contient toujours un certain nombre d'ions, tant positifs que négatifs : environ 500 par centimètre cube, aux basses altitudes. Ce nombre représente une quantité d'électricité fort précise. Que cette électricité vienne à se mouvoir (les ions positifs et les négatifs se déplaçant en sens inverses), cela donne un *courant électrique*. Or, c'est précisément un tel courant que provoquera toute différence de potentiel établie entre deux points de l'atmosphère. Il en résulte que l'air, loin d'être « l'isolant » défini par

les anciennes théories, est « conducteur » de l'électricité, puisqu'il fournit un courant sous l'influence d'une tension électrique, absolument comme le fait une masse métallique (1).

Toutefois, prenons bien conscience de la valeur très relative de cette conductibilité :

(1) Les métaux sont remplis d'électrons libres, dont le mouvement produit le courant électrique à la manière des ions moléculaires dont nous parlons ici.



PRINCIPE DE L'« IONISATION » DE LA MATIÈRE

L'atome peut être considéré comme un système solaire dont le noyau (électrisé positivement) représente l'astre central et dont les électrons figurent les planètes. Chaque électron porte une charge négative égale à la plus petite parcelle d'électricité isolable. Le noyau porte une charge positive égale (au signe près) à la somme des charges électroniques. Si un ou plusieurs électrons sont distraits du système (par une cause physique quelconque), celui-ci, perdant autant d'unités électriques négatives, accuse un excédent d'électricité positive correspondant à cette perte. Ainsi les deux atomes neutres pris en exemple ci-dessus sont représentés, au-dessous, dans un état d'ionisation positive. Si, au lieu de perdre un ou deux électrons, ces atomes en avaient capté un ou deux, leur charge eût été négative. Tel est le mécanisme par lequel, sous diverses influences (notamment le frottement) et suivant sa nature, la matière se charge électriquement.

Une colonne d'air, longue de 2 centimètres et demi, présente à la force électromotrice d'un courant, la même résistance qu'un câble de cuivre (de même section) qui reliait la terre à l'étoile Acturus, vingt fois de suite, aller et retour — c'est-à-dire 48 mille milliards de kilomètres !

Ainsi appréciée du point de vue de l'ingénieur, la conductibilité de l'atmosphère est donc très petite. Cependant, du point de vue électrostatique, elle est loin d'être nulle. A preuve, la décharge lente des conducteurs électrisés qui, au contact de l'air, perdent 3 % de leur charge par minute.

Par contre, la masse d'un nuage, parce qu'elle est dépourvue d'ions gazeux (bien qu'elle contienne de l'air interposé entre ses gouttelettes), n'offre même pas cette faible conductibilité. Plongé au sein d'un nuage, un conducteur électrisé conserve sa charge intacte pendant des heures entières. Ceci se conçoit : la formation du nuage provient de la condensation d'une gouttelette d'eau autour de chaque ion gazeux que contenait l'atmosphère à la

place du nuage. Cette condensation a entraîné l'absorption par la gouttelette de la charge électrique de l'ion, c'est-à-dire sa destruction pure et simple, en tant que « molécule électrisée ». Appliquez, dans ces conditions, une différence de potentiel à deux points d'un nuage, nul courant ne passera entre ces deux points, faute d'ions pour le réaliser. En vain demanderait-on aux gouttelettes électrisées de se prêter à un mouvement de convection analogue à celui des ions : elles sont trop lourdes, trop inertes. Conclusion : *un nuage, loin d'être conducteur, comme le voulaient les anciennes théories, est un isolant modèle.*

Si nous voulons parvenir à une explication correcte de l'éclair et de la foudre, il nous faut donc renverser littéralement les anciennes images : c'est le *nuage, corps isolant*, qui est plongé dans l'air, *corps conducteur*.

« Et pourtant il foudroie, ce corps isolant », dirait Franklin à l'instar de Galilée... Car c'est bien toujours des nuages que la foudre tombe...

Nous allons voir maintenant comment on peut expliquer le mécanisme de la charge électrique des nuages et celui de l'éclair.

Le mécanisme de la charge électrique des nuages

C'est l'œuvre du docteur Simpson que d'avoir décelé les théories exactes, en tenant compte des données précédentes.

Puisqu'il foudroie, le nuage doit porter en effet des charges électriques. Les gouttelettes d'eau constituant sa masse ont détruit l'ion gazeux qu'elles ont pris comme centre, mais, isolantes par elles-mêmes (d'autant qu'elles représentent de l'eau distillée pure, dépourvue de sels, condition essentielle de la non-conductibilité de l'eau), ces gouttelettes peuvent s'électriser en surface, tout comme le verre ou l'ébonite.

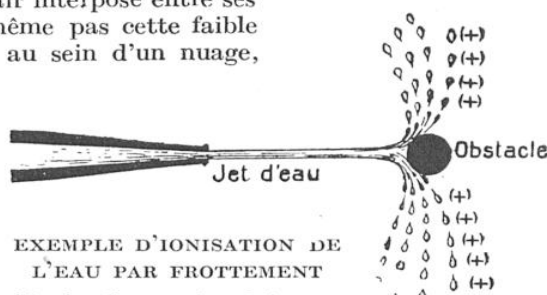
Déjà, chaque goutte d'eau porte avec elle la charge de l'ion qui fut son germe. Mais voici comment cette charge s'accroît encore,

Un phénomène bien connu est celui-ci que découvrit le physicien allemand Lenard : si vous pulvérisiez un jet d'eau contre un obstacle solide, chacune des gouttes résultantes apparaît électrisée. Continuez l'opération, c'est-à-dire brisez l'une des gouttes résultantes en gouttelettes plus fines (au moyen d'un violent courant d'air, par exemple), et les nouvelles gouttelettes se révèlent porteuses d'une charge électrique supérieure à celle qui leur reviendrait du simple partage de l'électricité fournie par la goutte primitive (1).

Si nous considérons maintenant un nuage orageux (*cumulo-nimbus*), il n'est pas difficile de déceler à la base de son front d'avancement un tourbillonnement intense. L'air ascendant s'engouffre dans la nue en brisant les grosses gouttes de pluie déjà formées dans sa masse et prêtes à le quitter. Ces globules, déjà chargés d'électricité, se trouvent donc surélectrisés par division en même temps qu'ils sont renvoyés dans la masse nuageuse, dont ils accroissent la charge électrique totale (2).

(1) Ceci est une conséquence des relations de l'électricité et de la tension superficielle, celle-ci étant fonction de la courbure du globule.

(2) Un supplément d'explication est fourni par un physicien français, M. Dauzère, à ce premier schéma de M. Simpson. Pour M. Dauzère, les grosses gouttes reprises par le vent à la base du cumulo-nimbus proviennent : 1° soit de grêlons fondus



EXEMPLE D'IONISATION DE L'EAU PAR FROTTEMENT

Un jet d'eau qui se brise sur un obstacle se divise en gouttelettes qui sont électrisées positivement.

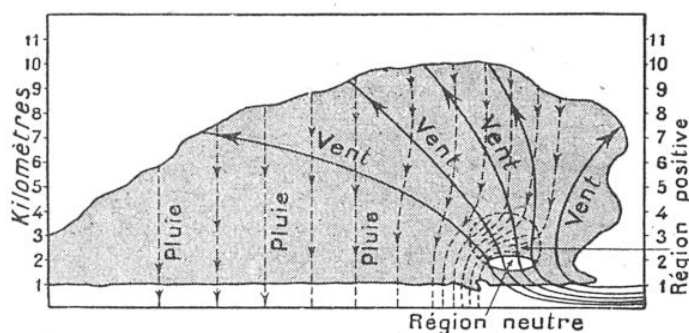


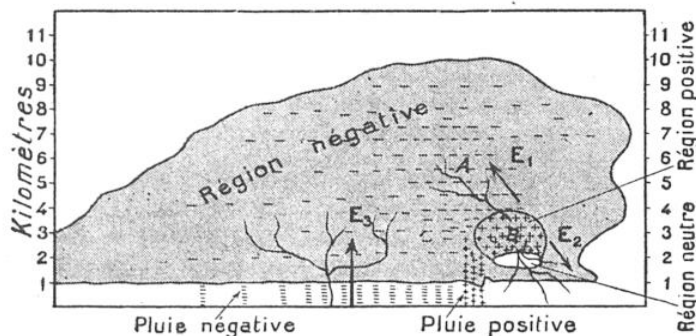
DIAGRAMME MONTRANT COMMENT LE VENT CIRCULE A TRAVERS UN NUAGE, A CONTRE-SENS DE LA PLUIE CONDENSÉE

Les gouttes de pluie sont ionisées négativement, sauf en un point central (région positive). D'où le triple mécanisme de formation des éclairs qu'expose le schéma suivant.

La préparation du coup de foudre

Les charges électriques portées par les gouttelettes du nuage

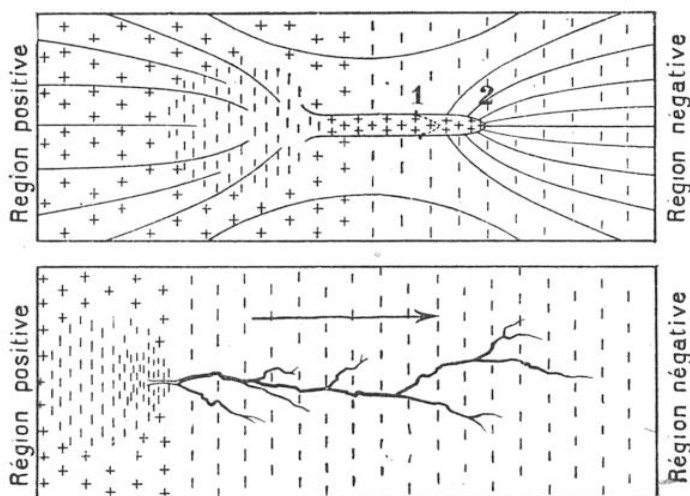
tombées de la région très haute des cirrus (nuages de glace) où les rayons ultra-violet du soleil les ont fortement ionisés positivement, pendant qu'ils agrègent l'eau « en surfusion » souvent présente à ces altitudes élevées ; 2° soit, encore, de la partie supérieure du cumulo-nimbus où les cristaux de neige tombés de la région des cirrus viennent échouer avec les charges positives qu'ils transportent et conservent pendant la traversée du cumulo-nimbus. Il est d'ailleurs admis aujourd'hui que toute pluie (à l'exception des bruines) tombant d'assez haut n'est que de la neige fondue. D'où l'explication du fait que les pluies sont chargées positivement, sauf de très rares exceptions.



LES TROIS SORTES D'ÉCLAIRS POSSIBLES DANS UN NUAGE ORAGEUX ÉLECTRISÉ

Un premier éclair E_1 peut se former en progressant de la région positive B à la région négative A. Un second, E_2 , peut se former, allant de la région positive vers la terre (c'est le cas général). Exceptionnellement, un troisième, E_3 , peut partir de la terre et progresser vers la région négative du nuage.

peuvent être telles que, soumises au champ électrique de l'atmosphère, au cours de la condensation du nuage, la poussée électrostatique qu'elles subissent contrecarre leur pesanteur. On conçoit donc comment l'action du champ électrique atmosphérique, lors de la formation du cumulo-nimbus, séparera les gouttelettes chargées positivement de leurs sœurs négatives, les unes étant, par exemple, repoussées vers le haut, et les autres, par conséquent, attirées vers le bas. Ainsi, les gouttelettes

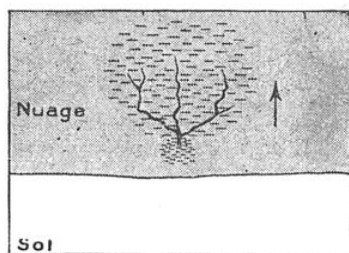


MÉCANISME DE LA PROPAGATION ÉLECTRIQUE CONSTITUANT LE PHÉNOMÈNE DE L'ÉCLAIR

En haut, on voit comment les atomes ionisés positivement (+) de la région positive progressent vers la région négative (—), en formant une sorte de fusée, dont la tête est positive, laissant derrière elle une traînée négative. En bas, formation d'un éclair allant de la région positive à la région négative.

positives et les négatives tendent à se séparer en deux camps opposés.

Mais ici intervient encore un phénomène particulier à la chute des gouttes d'eau dans l'air. Comme si elle échappait aux lois de l'accélération, une goutte de pluie tombe à une vitesse uniforme grâce au freinage qu'elle subit par frottement contre l'air. Ce frottement est d'autant plus intense que la goutte offre une

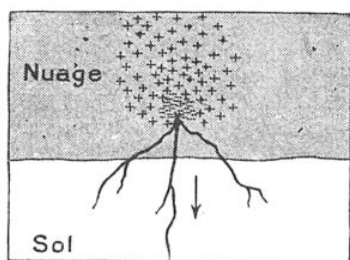


ÉCLAIR INTÉRIEUR AU NUAGE
(« E₁ » DU SCHÉMA GÉNÉRAL,
PAGE 200)

seconde ; celles de deux centièmes de millimètre tombent à raison de 32 centimètres par seconde, tandis qu'une goutte de 2 millimètres parcourt 1 m 26. On voit la progression extrêmement rapide. Quand les gouttes atteignent 1, 2, 3, 4 et 6 millimètres, elles tombent à raison de 4 m 40 ; 5 m 90 ; 6 m 90 ; 8 mètres par seconde.

Au delà de ces grosseurs, la vitesse des gouttes s'accroît, mais alors le courant d'air résultant les divise en gouttes plus fines. En sorte que jamais une goutte de pluie ne dépassera cette vitesse critique de 8 mètres par seconde. Et voici l'importance de cette loi pour la répartition des charges électriques au sein de notre nuage porteur de foudre.

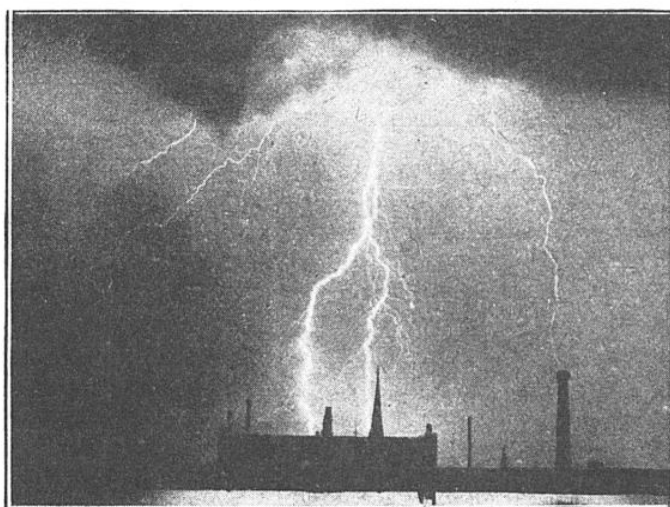
Considérons le schéma ci-joint (page ci-contre) du *cumulo-nimbus*. Les trajectoires de la pluie et du vent à son intérieur sont marquées par des lignes précises. De la composition des vitesses du vent et de la pluie résulte la formation de certaines régions privilégiées, au sein de la nue.



ÉCLAIR PROGRESSANT DU
NUAGE AU SOL (« E₂ » DU
SCHÉMA GÉNÉRAL, PAGE 200),
DONT UN BEL EXEMPLE PHOTOGRAPHIQUE
EST DONNÉ
CI-APRÈS

plus grande surface relativement à la masse — c'est-à-dire que son diamètre est plus réduit. Les gouttes d'un centième de millimètre tombent à raison de 3 millimètres par se-

brisée et rejetée dans les régions supérieures du nuage, avec surélectrisation du fait de cette rupture. La surélectrisation prend (voir note page 199) le signe positif. Donc, une charge négative correspondante est libérée : c'est l'air du vent qui emporte cette charge, sous forme d'ion gazeux, dans une région également supérieure. Les ions négatifs filant avec le vent iront former, toujours par le phénomène de condensation, des gouttes négatives dans une région supérieure éloignée, tandis que les gouttelettes positives obtenues par rupture retrouveront leur régime de chute uniforme juste au-dessus de la région de vitesse critique où le vent souffle à plus de 8 mètres-seconde.

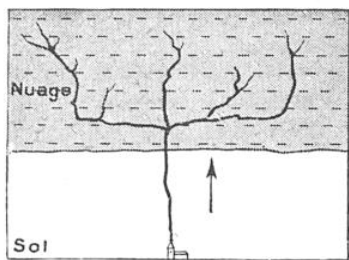


UN BEL EXEMPLE D'ÉCLAIR RAMIFIÉ DU NUAGE AU SOL
(CAS GÉNÉRAL, ÉCLAIR « E₂ » DU SCHÉMA, PAGE 200)

Le résultat final de ce mécanisme est celui-ci : le nuage se trouve divisé en trois régions. Dans la première (celle de la vitesse critique, 8 mètres par seconde), aucune accumulation électrique ne se produit. Dans la région immédiatement supérieure s'accumulent les gouttes d'eau chargées positivement. Dans une région supérieure ou latérale aux précédentes s'accumulent les gouttes négatives.

Voilà donc la masse nuageuse divisée en deux camps, plus une région neutre. Les gouttes positives et les négatives sont séparées, tels des soldats prêts à échanger des coups de feu — ici, des décharges électriques.

Nous allons voir que ces décharges peuvent prendre trois formes : d'abord un éclair intérieur au nuage, entre les deux camps de charges électriques, et puis deux espèces d'éclairs entre le nuage et la terre.



ÉCLAIR « E_3 » DU SCHÉMA GÉNÉRAL, PAGE 200 : LA DÉCHARGE PART DU SOL ET SE RAMIFIE VERS LE NUAGE

Le mécanisme de la formation et de la propagation de l'éclair à l'intérieur d'un nuage

Pour qu'une étincelle éclate entre le camp des gouttes posi-

tives et celui des négatives, à travers un air dépourvu d'ions (puisque tous les ions ont été absorbés par la condensation aqueuse), il faut que la différence de potentiel atteigne 30.000 volts par centimètre courant.

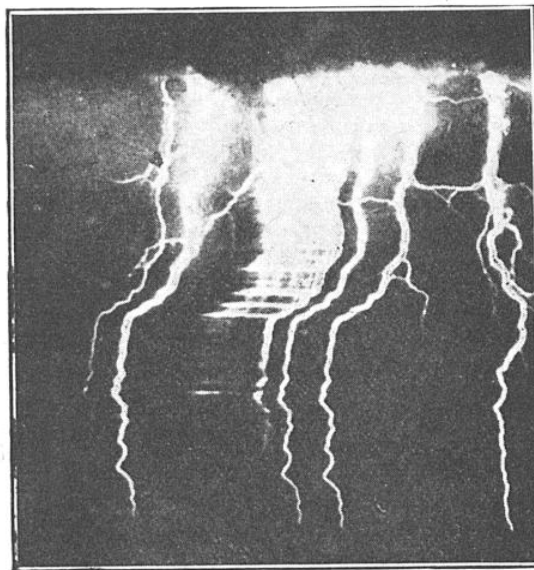
Les deux camps sont distincts, mais ont une frontière commune. Que, sur un seul point de cette frontière, le taux du voltage exigé soit réalisé, et une première décharge s'ensuit. Cette première décharge va être le signal de l'embrassement général.

Elle mérite donc une attention spéciale.

Une étincelle électrique se propage, dans un milieu gazeux, par l'ionisation violente, de proche en proche, des atomes de ce milieu. Tout comme les molécules ionisées précédemment décrites, ces atomes perdent des électrons (mais, cette fois, à dose massive), sous l'influence de la tension électrique. Les électrons se déplacent vers le pôle positif de la décharge, cependant que les noyaux atomiques restants et électrisés positivement par suite de leur perte d'électrons vont au pôle négatif. Mais les électrons libérés n'ont pratiquement aucune masse : la vitesse qu'ils atteignent dans un champ de 30.000 volts par centimètre est très grande. Les

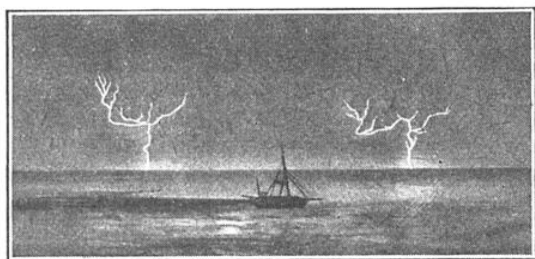
atomes positifs conservant leur caractère matériel, donc leur grande *inertie*, sont plus difficilement entraînés par la décharge.

Ceci étant compris, examinons ce qui va se passer dans le nuage autour de la première étincelle jaillie sur la frontière des deux camps ennemis. Le petit « tube » d'espace représentant le volume occupé par l'étincelle sera garni d'atomes positifs à l'une de ses extrémités (dirigée vers le camp des gouttelettes négatives) et d'électrons purs à son extrémité opposée. Les électrons mobiles se



PHOTOGRAPHIE D'UN ÉCLAIR DESCENDANT DU NUAGE VERS LA TERRE, PRISE AVEC UN APPAREIL EN ROTATION RAPIDE

La rotation de l'appareil photographique a pour effet de décomposer l'image apparente unique en plusieurs images, qui correspondent chacune aux décharges successives composant réellement l'éclair.



PHOTOGRAPHIE DE DEUX ÉCLAIRS DU TYPE « E_3 » (VOIR SCHÉMA GÉNÉRAL, PAGE 200) PARTANT DU SOL ET SE DIRIGEANT VERS LE NUAGE

Cet exemple, extrêmement rare à observer, a été photographié en Angleterre, à Herne Bay.

diffusant dans la foule des molécules positives les neutralisent ou bien donnent lieu à formation de gouttelettes négatives. Dans la l'un et l'autre cas, ils ne comptent plus dans le combat dont l'étincelle a donné le signal. Par contre, les atomes positifs demeurés groupés grâce à leur inertie progressent vers le camp de l'électricité négative, *tout en conservant leur formation tubulaire.*

A la pointe avançante de ce tube, le champ électrique est très intense : il s'ensuit un nouveau rebondissement de l'étincelle vers la région électrisée négativement ; d'où nouvelles ruptures d'atomes, nouvelles formations d'électrons libres et d'atomes fortement ionisés à signe positif. Et ainsi de suite,

jusqu'à ce que l'avant-garde des atomes positifs ait totalement parcouru la foule des gouttes d'eau négatives. L'éclair, à ce moment, est à bout de force. Parti de la frontière positive-négative, il s'évanouit dans le camp négatif.

Mais en chemin, il a lancé à droite et à gauche des ramifications. Des groupes importants d'atomes positifs s'écartent de la formation en colonne serrée, se sont égaillés en francs-tireurs. Ils ont formé les ramifications de l'éclair, toujours par le même mécanisme de propagation, de proche en proche.

Du nuage à la Terre et de la Terre aux nuages

Dans le cas précédent, la « foudre » n'est pas « tombée ». Mais lorsqu'elle tombe du nuage à la Terre, le mécanisme de propagation n'est pas différent.

La partie positive du nuage est ordinairement située à sa base. L'air sous-jacent subit de la part du nuage un effet d'induction : il se charge négativement. Si l'étincelle s'amorce au bas du nuage, elle progresse dans l'air négativement électrisé jusqu'au sol lui-même de signe négatif par suite de l'induction. L'éclair comportera des ramifications toutes dirigées vers le sol, même si toutes ne l'atteignent pas.

Si la base du nuage est, par exception, constituée par l'armée des gouttelettes négatives, l'air sous-jacent subit alors, par induction, une électrisation inverse, positive. Le même signe électrique affecte le sol et particulièrement les accidents qui le recouvrent, tels que les toits, les clochers, les arbres. Le champ électrique positif induit est maximum en ces points, d'où jaillira la première étincelle.

L'éclair, dans ce cas, part du sol pour aller se perdre, en se ramifiant vers le haut, dans la masse du nuage, toujours en vertu du même principe : l'électricité positive ouvre la marche dans la formation du

« tube » d'ionisation dont le déploiement ramifié constitue l'éclair.

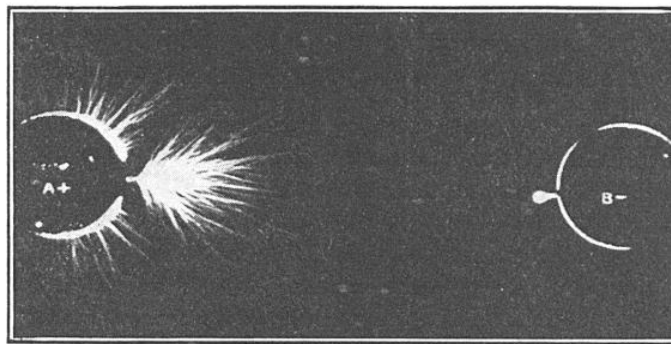
Cette seconde espèce d'éclairs est rare, partant difficile à observer — surtout photographiquement. Le docteur Simpson a pu cependant en recueillir un spécimen photographique (voir p. 202). Cette image vérifie nettement le sens vertical des ramifications, alors qu'une photographie de l'éclair inverse (p. 201) montre les ramifications dirigées vers le sol.

Une expérience du docteur Simpson qui confirme sa théorie de l'éclair

Le docteur Simpson a monté une expérience de laboratoire tendant à démontrer la constance de cette propagation du tube

d'ionisation à travers un gaz, lequel n'est qu'un lointain cousin, comme on vient de le voir, de l'étincelle électrique imaginé par nos ancêtres.

Le physicien anglais a disposé sur une plaque photographique (figure ci-contre) deux disques électrisés de signes contraire, figurant les régions différemment



EXPÉRIENCE DU DOCTEUR SIMPSON, DESTINÉE À DÉCELER LA PROPAGATION DE L'ÉTINCELLE

L'étincelle éclate ici entre deux disques posés sur un support isolant. On aperçoit la ramification de la décharge à partir du disque positif.

électrisées entre lesquelles jaillit la foudre. Il a toujours observé que les ramifications de la décharge sont dirigées de la région positive vers la négative, ainsi que le veut la théorie.

Qu'est-ce que la foudre globulaire ?

Est-ce à dire que la théorie de l'éclair du docteur Simpson ne laisse plus subsister aucun mystère sur la nature de la foudre ? Le feu du ciel porte avec lui, depuis trop longtemps, trop de légendes et d'effets bizarres pour qu'il soit permis de l'affirmer.

Un point très curieux et d'ailleurs essentiel concernant la structure de la foudre semble avoir été récemment élucidé par M. Mathias, directeur de l'Observatoire du Puy de Dôme, c'est la question, si longtemps controversée de la « foudre en boule » (1).

Depuis les premières relations à ce sujet

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 136, page 285.

d'Albert le Grand, jusqu'aux comptes rendus objectifs d'observateurs et de savants contemporains, on a toujours signalé l'existence des « foudres globulaires ». Par temps orageux, à la suite d'un éclair, apparaît soudain un globe de matière lumineuse qui semble flotter dans l'air à la manière d'une bulle de savon, jusqu'à ce que, dans une explosion formidable, ce globe éclate, à moins qu'il ne s'évanouisse sans bruit.

Un cas de foudre globulaire a pu être photographié récemment, en Angleterre (voir figure ci-dessous).

M. Mathias, rassemblant toutes les relations connues du phénomène et les confrontant, a réussi à en donner une explication scientifique plausible. Pour lui, comme pour le docteur Simpson, la décharge de l'éclair s'effectue suivant un réseau tubulaire, cylindrique, canalisant le transport de la charge électrique. Mais à la périphérie de ce tube se forme une combinaison chimique entre l'azote et l'oxygène de l'air

laquelle n'est réalisable que grâce aux hautes tensions de l'éclair et n'est stable qu'à la température élevée réalisée par la décharge. Cette matière, dont Marcellin Berthelot avait indiqué la formation, est appelée par M. Mathias « matière fulminante » (1). Produite « endothermiquement », c'est-à-dire avec absorption de chaleur, la matière fulminante *équivalait à un explosif* contenant une énergie sans cesse prête à être libérée. Cette libération a lieu dès que la matière fulminante se refroidit tant soit peu.

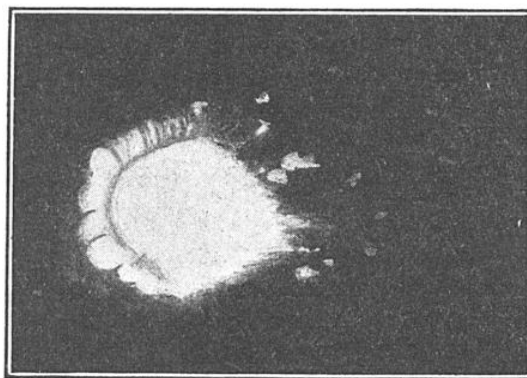
Dans un éclair ordinaire, la libération explosive s'effectue au fur et à mesure de la progression de l'éclair. Sitôt formée, la matière fulminante en mince tube se refroidit et explose. C'est l'explication du tonnerre. L'air est dilaté brusquement par l'explosion de la matière qui a été précédée, un instant auparavant, par la condensation de l'air en matière fulminante. Cette « rentrée d'air »

dans le vide produit sur le chemin de l'éclair forme le premier temps sonore du tonnerre, que redouble l'explosion. Ainsi les partisans du bruit du tonnerre par condensation de l'air autour de l'éclair (Arago) et ceux qui tenaient pour la dilatation par explosion (Schopenhauer) sont mis d'accord.

Parfois, sous l'influence de circonstances encore inconnues, le « tube » de matière fulminante conserve une certaine stabilité après le passage de la décharge : d'où les « serpents de feu » souvent observés après un coup de foudre. D'autre fois encore, le tube se résout en chapelets, dont les grains

brillants explosent ou s'évanouissent séparément. Enfin, le tube peut se rassembler en un globe sphérique.

Dans ce cas, il offre au refroidissement le minimum de surface : la matière fulminante conserve donc sa chaleur de formation un certain temps. Elle demeure stable avant d'exploser. C'est pourquoi la foudre globulaire a pu donner lieu à tant d'observations



L'UNIQUE PHOTOGRAPHIE DE « Foudre en boule » que l'on connaisse

plus ou moins fidèlement rapportées.

Si l'on se rappelle qu'au laboratoire, par éclatement d'une étincelle au-dessus d'une feuille de papier huilé, on obtient des granules très petits, mais assez persistants pour être facilement observables, d'une matière fulminante analogue à celle dont M. Mathias fait la théorie, il est juste d'accorder à cette théorie toute la valeur scientifique qu'elle mérite.

La matière fulminante dégagerait quatre fois plus d'énergie que le même poids de dynamite. Le jour où on saura la fabriquer dans des laboratoires disposant de tensions suffisantes, à condition d'apprendre également à la « stabiliser », la matière fulminante ne sera pas une des moindres conquêtes de l'industrie humaine. Surtout si, au moyen d'autres gaz, peut-être plus favorables que ceux de l'atmosphère, on arrive à mieux faire que la nature.

JEAN LABADIÉ.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 136, page 287.

LE FROTTEMENT : VOILA L'ENNEMI DU RENDEMENT MÉCANIQUE

Les théories modernes du graissage
expliquent l'action du lubrifiant entre les surfaces frottantes.

Par F. CHARRON

DOCTEUR ÈS SCIENCES

La vie sur un monde où le frottement n'existerait pas serait originale : il serait en effet impossible de marcher, de s'arrêter ; les automobiles patineraient indéfiniment ; les courroies n'entraîneraient plus les poulies ; les vis ne tiendraient plus dans leur logement, etc. Mais, à côté de ces bienfaits, le frottement se signale également par des méfaits. C'est lui qui diminue le rendement mécanique des machines et c'est à lui qu'est dû le grippage. Aussi a-t-on toujours cherché à le diminuer par la modification de la nature des surfaces en contact (applications des roulements à billes) et par le graissage. Cependant celui-ci ne peut être rationnellement conçu que si l'on connaît les lois de son efficace intervention et, par conséquent, les lois du frottement lui-même. Deux théories sont actuellement en présence pour expliquer le rôle du graissage : celle du graissage onctueux, fondée sur la modification des surfaces en contact par le lubrifiant, et celle du film d'huile en coin, fondée sur la viscosité d'un liquide. Cette dernière théorie, due à l'ingénieur anglais O. Reynolds, repose sur l'entraînement du lubrifiant par la partie mobile, de sorte qu'il se produit une espèce de concentration du lubrifiant qui engendre des pressions assez élevées pour équilibrer l'effort tendant à appliquer l'une contre l'autre les surfaces frottantes. Infiniment séduisante, cette théorie nouvelle ne semble cependant pas parfaite, car elle n'explique pas notamment l'action du graissage au démarrage. D'autres propriétés des lubrifiants, assez mal connues encore, doivent donc intervenir. Ces recherches, qui ont permis cependant aux techniciens d'étudier scientifiquement le délicat problème du graissage, se poursuivent activement. C'est ainsi qu'un congrès de graissage — dont l'importance au point de vue technique n'est pas négligeable — s'est tenu en juillet 1931, à Strasbourg, dont l'Université est, comme l'on sait, le siège de l'Ecole du Pétrole, par suite du voisinage de notre seul domaine pétrolier métropolitain.

Le frottement joue dans le monde un rôle capital

DANS presque toutes les machines en mouvement, il y a frottement mutuel d'organes qui se déplacent les uns contre les autres. On a bien essayé de remplacer ce frottement par le roulement de billes ou de rouleaux interposés, mais on ne peut pas mettre des billes ou des rouleaux partout, et, en fait, le frottement de glissement subsiste dans la majorité des cas. Il crée des résistances passives qui s'opposent au glissement, consomment en pure perte de la force motrice et causent une usure des parties en contact.

On a cherché à réduire ces résistances et cette usure, d'une manière très empirique, en graissant les surfaces en contact, et ce n'est que beaucoup plus tard que le mécanisme de la lubrification fut tiré au clair.

Nous venons de signaler les deux inconvé-

nients du frottement. En toute justice, il faut bien montrer ses avantages.

Quand nous accomplissons cet exercice si naturel qui consiste à marcher, à courir sur le sol, songeons-nous que c'est précisément le frottement mutuel entre ce sol et nos semelles qui nous le rend possible ? Sans frottement, nous ne pourrions avancer une jambe que l'autre ne se mit aussitôt à reculer ; et, si nous étions lancés par une cause extérieure, nous ne pourrions plus nous arrêter ! Les automobiles resteraient sur place, les courroies n'entraîneraient plus leurs poulies, les vis et écrous se dévisseraient d'eux-mêmes, etc. En vérité, on écrirait un roman des plus extravagants si on le situait dans un monde d'où le frottement serait banni.

Pour chercher à diminuer le frottement il faut en connaître les lois

Pour étudier un phénomène, il faut le simplifier. Voici pourquoi nous nous gar-

derons, tout d'abord, de troubler le frottement par l'intervention d'un lubrifiant, et nous rappellerons les lois, d'ailleurs fort simples, du *frottement à sec ou immédiat*.

Ces lois furent découvertes par le physicien Coulomb. Elles sont assez grossièrement approximatives et se résument ainsi :

Imaginons deux solides *A* et *B* en contact suivant une surface supposée plane, pour plus de simplicité (fig. 1). Ils sont pressés l'un contre l'autre par une force normale *N* au plan de friction. Si, dans ces conditions, on essaye de faire glisser *A* sur *B*, on éprouve une résistance. Pour la vaincre, il faut appliquer une certaine force *F* parallèle au plan commun.

La loi fondamentale du frottement consiste en ceci : *que la force tangentielle *F* est proportionnelle à la force normale *N*.*

Si, par exemple, *N* vaut 100 kilogrammes, la force *F*, juste nécessaire à la production du glissement, est égale à 20 kilogrammes.

Doublons *N* et portons-la à 200 kilogrammes ; la force *F* devient immédiatement double et atteint 40 kilogrammes, et ainsi de suite.

Autrement dit, il y a un rapport constant entre *F* et *N*, et ce rapport constant est une donnée excessivement importante appelée *coefficient de frottement*. Il est à peu près indépendant de la surface d'appui et de la vitesse. Toutefois, il est plus grand au départ que pendant le mouvement. Dans le cas imaginé pour servir d'exemple, il a la valeur 0,2.

Voici un tableau de quelques coefficients de frottement usuels. Quand les surfaces sont graissées, il n'y a plus exacte proportionnalité entre la force normale et la force tangentielle. Cependant, il est intéressant de faire le rapprochement entre métaux à sec et métaux huilés, même si les nombres ne doivent être considérés que comme approchés. L'avantage du graissage apparaît considérable.

Nature des surfaces.	Valeurs du coefficient de frottement
Fer sur fer à sec.....	0,15 à 0,20
Acier sur fonte à sec.....	0,14
Acier sur « antifriction » à sec...	0,07
Acier sur fonte à sec.....	0,05
Acier sur bronze bien graissé...	0,002

L'état de poli plus ou moins élevé des surfaces change le coefficient. Les auteurs qui se sont occupés de la question donnent des nombres différents, de sorte que ce tableau est assez imprécis. Tel quel, il est capable de donner de très utiles renseignements.

Soit, par exemple, une locomotive dont le poids adhérent, c'est-à-dire réparti sur les essieux moteurs, est de 60 tonnes. Quel effort maximum cette locomotive pourrait-elle exercer sur sa barre d'attelage?

En prenant la valeur moyenne 0,18 relative au coefficient de frottement des bandages sur les rails (fer sur fer), il est aisé de voir que cette traction a pour valeur : $60.000 \times 0,18 = 10.800$ kilogrammes.

Inutile de donner aux cylindres des dimensions permettant un effort supérieur ; le résultat serait de faire patiner les roues.

Sait-on que l'essor des chemins de fer fut assez longtemps retardé par suite de l'ignorance de ces lois et de ces données ? Les ingénieurs qui s'occupèrent des premières locomotives considérèrent comme parfaitement évident qu'un tel engin, muni de bandages lisses, manquerait d'adhérence. Ils se crurent donc obligés de garnir rails et bandages de dents fonctionnant comme pignons et crémaillères. On piétina sur place jusqu'au jour où l'on s'aperçut que ces

rails et bandages dentés étaient inutiles. Le calcul précédent est instructif à cet égard.

Les causes profondes du frottement sont dues à la constitution même de la matière

L'explication du frottement ordinaire invoquée consiste à supposer que les deux surfaces frottantes présentent des aspérités qui s'accrochent mutuellement, à la façon de deux morceaux de papier de verre dont les faces abrasives seraient en contact. De là viendrait la résistance au glissement.

Il y a certainement une part de vérité, mais cette théorie n'est pas complète, loin de là. Elle laisse supposer que le frottement disparaîtrait si l'on parvenait à polir parfaitement les surfaces. Or, précisément, quand

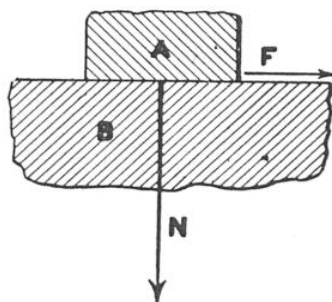


FIG. 1. — LOI FONDAMENTALE DU FROTTEMENT DE GLISSEMENT

*Le corps A, appuyé contre le corps B par une force *N* normale à la surface de contact, glisse sur lui. Le frottement entre H et B exige, pour entretenir ce mouvement, l'application d'une force tangentielle *F* proportionnelle à *N*. Le coefficient de frottement est donné par le rapport de ces deux forces.*

elles le sont trop bien, il apparaît un frottement énorme !

Ceci semblera paradoxal à nombre de lecteurs; rien, cependant, n'est plus exact. Mais il est indispensable, à ce sujet, de pénétrer plus avant dans la constitution intime des corps solides.

Un solide est un agrégat de molécules qui ne se touchent pas, mais sont en équilibre à des distances extraordinairement petites, lesquelles ne peuvent guère varier sans que naissent des forces énormes.

Les physiciens font intervenir, pour rendre certains raisonnements plus expressifs, des opérateurs infiniment déliés, bâtis à l'échelle des molécules, qu'ils appellent des *démons de Maxwell*. Si donc un de ces démons tenait une molécule de chaque main, il observerait les phénomènes suivants :

Les deux molécules approchées lentement l'une de l'autre ne manifesteraient d'abord qu'une attraction insignifiante (l'attraction universelle). Arrivées à une distance toute petite, appelée *rayon d'activité* moléculaire, elles s'attireraient énergiquement pour se fixer en équilibre à une distance de quelques dix-millionièmes de millimètre, puis opposeraient une répulsion presque invincible si l'opérateur tentait de les rapprocher encore.

Ces propriétés rendent compte de la rigidité des solides. Elles expliquent un nouveau phénomène qui apparaîtra moyennant certaines précautions : *l'adhérence*.

Juxtaposons deux solides suivant une paroi approximativement plane, mais néanmoins grossière pour les sens aigus d'un *démon de Maxwell*.

L'imperfection relative des parois ne permet pas à l'ensemble des molécules superficielles d'entrer dans leur domaine d'attraction mutuelle et il ne se manifeste aucune adhérence.

Mais, si l'on pouvait ajuster et polir idéalement ces parois, les diverses molécules superficielles de l'une se placeraient automatiquement dans le champ d'attraction des molécules superficielles de l'autre, dès qu'on les juxtaposerait, et l'on aurait reconstitué un solide unique ! Ce serait la soudure autogène d'un nouveau genre ; il n'y aurait plus aucun glissement possible.

On objectera que c'est une supposition. Bien entendu, nos moyens actuels ne permettent pas d'obtenir de pareils résultats. Cependant, des morceaux de verre bien travaillés adhèrent fortement l'un à l'autre. Les célèbres calibres suédois en acier au nickel manifestent une adhérence de plusieurs kilogrammes par centimètre carré. Deux

lames de mica fraîchement clivées et posées l'une sur l'autre se ressoudent aussitôt sans glissement possible.

D'ailleurs, tous ces phénomènes réussissent dans le vide, de telle sorte que la pression atmosphérique n'est nullement en cause.

Il est intéressant de noter qu'une élévation de température accentue ces phénomènes. Un physicien, Spring, provoqua de véritables soudures entre deux disques métalliques bien dressés, qu'il pressait l'un contre l'autre après les avoir chauffés bien au-dessous de leur point de fusion.

Ceci explique le *grippage*. Qu'arrive-t-il, en effet, si l'on veut néanmoins produire le glissement dans ces cas de soudure partielle en y mettant la force nécessaire ? Le résultat se devine. On brise ces petites soudures à mesure qu'elles se forment; la température s'élève, par suite de la transformation de travail en chaleur et, en vertu de la remarque précédente, ces mêmes phénomènes s'exagèrent jusqu'au grippage. Cet accident, toujours grave, est quasi fatal entre métaux frottant à sec, à moins que la pression mutuelle ne soit insignifiante.

Deux théories sont en présence pour expliquer l'action du lubrifiant

Ces phénomènes de soudure, d'adhérence et de grippage exigent, pour se produire à coup sûr, que les surfaces en contact soient extrêmement propres.

Ainsi deux lames de mica fraîchement clivées adhèrent très bien. Mais il suffit de passer le doigt dessus pour empêcher toute adhérence. Les impuretés déposées par le doigt ne permettent plus aux molécules de s'approcher suffisamment.

Par analogie, on affaiblit donc le frottement, et on évite le grippage, en interposant systématiquement un liquide entre les pièces en mouvement. Ce liquide empêche l'adhérence de se manifester. Il modifie les propriétés superficielles des deux faces en contact et diminue le frottement, d'autant plus qu'il est plus « onctueux ».

Cette *onctuosité* d'un liquide est une propriété assez mal définie qui tient à la nature des actions mutuelles entre ses molécules et celles du métal.

Et voilà l'attitude prise par les théoriciens du *graisage onctueux* qui voient dans l'action du lubrifiant une modification de l'état des surfaces rendues plus aptes à glisser l'une sur l'autre.

Mais un éminent ingénieur anglais, O. Reynolds, et d'autres physiciens avec lui, disent ceci pour expliquer l'action du graissage :

Tout autre est le rôle du lubrifiant ; c'est un liquide visqueux introduit entre les surfaces qui ne se touchent pas. Et le mouvement des deux surfaces, pourvu qu'elles aient une disposition convenable, fait naître des pressions intérieures assez considérables pour maintenir un *film d'huile* relativement épais (quelques centièmes à quelques dixièmes de millimètre), malgré les charges qui tendent à l'écraser.

Disons tout de suite que nombre de techniciens, les uns partisans de la première théorie, les autres de la seconde, et s'ignorant mutuellement, publient des résultats bien entendus contradictoires, de sorte que, à part un très petit nombre de mémoires de

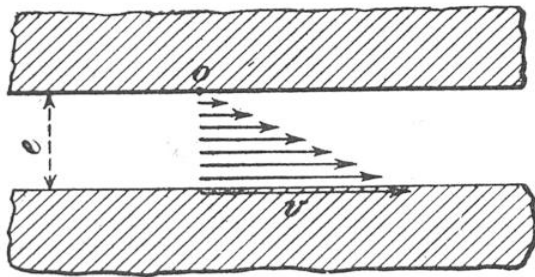


FIG. 2. — UNE LAME LIQUIDE D'ÉPAISSEUR e SÉPARANT DEUX CORPS, DONT L'UN GLISSE PAR RAPPORT À L'AUTRE AVEC UNE VITESSE v , PEUT SE DÉCOMPOSER EN COUCHES PARALLÈLES DONT LA VITESSE AUGMENTE DE ZÉRO À v , À MESURE QU'ELLES SE RAPPROCHENT DE LA PAROI MOBILE

grande valeur, la littérature du graissage est un véritable gâchis.

La théorie moderne de l'ingénieur anglais O. Reynolds Les propriétés du « film d'huile en coin »

Cette théorie de l'éminent ingénieur fait intervenir ce que les physiciens appellent la *viscosité* d'un liquide.

L'expérience schématisée par la figure 2 fera comprendre cette propriété des liquides.

Deux parois solides, planes, parallèles, indéfinies, sont séparées par un intervalle e assez faible, rempli d'un liquide quelconque. La paroi supérieure est fixe ; l'autre mobile dans son propre plan avec une vitesse v . Quelle est la distribution des vitesses du liquide entre les lames ?

Elle est très simple. Le mouvement se fait par couches parallèles infiniment minces, qui ont des vitesses progressivement croissantes depuis 0, au contact du plan supé-

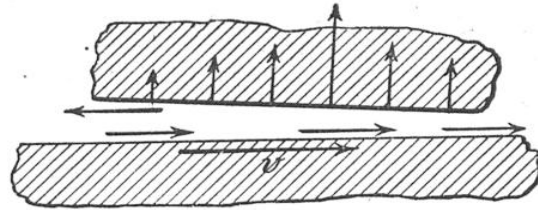


FIG. 3. — L'ÉPAISSEUR DE LA LAME LIQUIDE PLACÉE ENTRE DEUX PAROIS INCLINÉES VA EN DIMINUANT DANS LE SENS DU DÉPLACEMENT v . LA PRESSION DU LIQUIDE TEND ALORS À SOULEVER LA PAROI SUPÉRIEURE

rieur, jusqu'à v au contact du plan inférieur (fig. 2). Remarquons bien que *les couches liquides immédiatement contiguës aux parois ont la vitesse même de ces parois*. Ceci est une propriété fondamentale des liquides (1). La vitesse moyenne de la couche totale est la moitié de la vitesse inférieure, de sorte que le débit d'huile à travers une section droite quelconque est, par unité de largeur, la moitié du produit de la vitesse v par l'épaisseur e .

La pression est la même partout et n'a pas augmenté par le mouvement. Passons maintenant à la figure suivante 3, qui a beaucoup de ressemblance avec l'autre. Mais ici les parois ne sont plus parallèles ; elles forment un petit angle, de sorte que l'épaisseur du film d'huile est plus grande en amont qu'en aval.

Il est aisé de se rendre compte, cette fois, que le mouvement du plan inférieur va faire naître dans le film d'huile de fortes pressions.

En effet, si la distribution des pressions intérieures était uniforme comme précédemment, le flux d'huile à l'entrée serait égal au demi-produit de l'épaisseur *amont* par la vitesse v du plan inférieur.

Mais alors, le flux d'huile à la sortie serait lui-même égal au demi-produit de l'épaisseur *aval* par la vitesse v du plan inférieur.

Résultat incompatible, puisqu'il entrerait

(1) Et aussi des gaz.

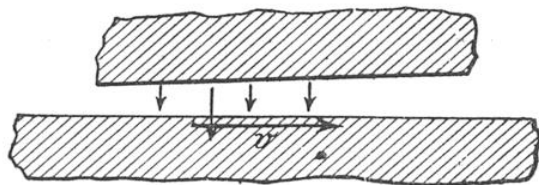


FIG. 4. - L'ÉPAISSEUR DE LA LAME LIQUIDE ALLANT EN AUGMENTANT DANS LE SENS DU DÉPLACEMENT, LA PAROI SUPÉRIEURE EST ASPIRÉE VERS LE BAS

à l'amont plus d'huile qu'il n'en sortirait à l'arrière.

Il se produit donc une sorte de bourrage générateur de pressions élevées dans le film, en vertu desquelles des filets liquides retourneront à l'arrière de manière à rétablir l'égalité des débits amont et aval (voir fig. 3).

Cet excès de pression peut être considérable et se chiffrer à de nombreux kilogrammes par centimètre carré ; il permet à la paroi supérieure d'équilibrer la charge qu'elle reçoit et au film d'huile de subsister quand même en séparant complètement les parois.

Tel est le mécanisme fondamental du « coin d'huile ». Les lois de l'hydrodynamique permettent de calculer, en fonction des éléments de la figure et de la viscosité du liquide, la pression en chaque point du film, la force portante totale, ainsi que l'effort de frottement devenu très faible. Ces calculs n'ont évidemment pas place ici.

Notons la circonstance suivante, extrêmement importante : la force portante augmente avec la vitesse et *varie en sens inverse de l'épaisseur moyenne du film liquide.*

Circonstance particulièrement heureuse et dont la conséquence est une sorte de régularisation automatique de l'épaisseur du film en fonction de la charge. Celle-ci augmente-t-elle ? Alors le film diminue d'épaisseur et l'accroissement de charge est victorieusement combattu. A condition, toutefois, que l'état des surfaces soit assez parfait pour que les aspérités qu'elles comportent ne chevauchent pas les unes sur les autres, venant déchirer la couche lubrifiante.

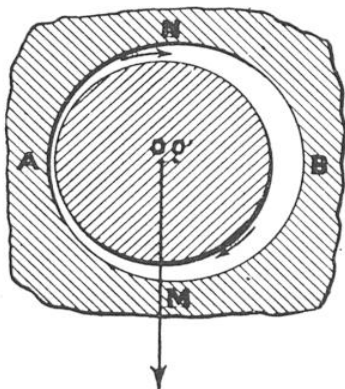


FIG. 5. — MÉCANISME DU GRAISSAGE D'UN PALIER PAR FILM D'HUILE

L'arbre s'excentre sous la charge ; il y a surpression, dans la région A M B, du film d'huile et succion dans la région A N B. La charge est ainsi victorieusement combattue.

Ainsi, c'est l'état de perfection dans l'ajustage et le fini des pièces qui limite pratiquement la charge admissible par centimètre carré. On comprend maintenant l'extrême importance d'un excellent usinage, que le rodage ob-

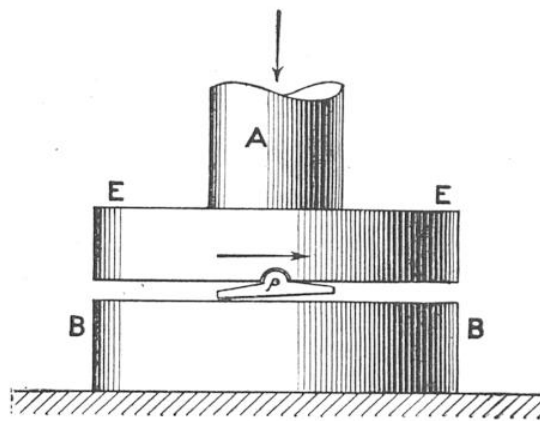


FIG. 6. — SCHÉMA D'UNE BUTÉE « MICHELL »

L'arbre A, qui supporte une forte charge axiale, repose en tournant sur la butée B. Des patins P, articulés à rotule et répartis sur tout le pourtour de l'épaulement E, s'appuient par une face bien plane sur un « coin d'huile » qui se forme entre cette face et la butée B. Pour plus de clarté, seul le patin P, en face de l'observateur, est représenté.

tenu par fonctionnement sous faible charge et graissage abondant perfectionne encore. Ceci motive le conseil donné à tout conducteur d'une machine neuve : *graisser abondamment et ménager les efforts entre pièces frottantes.*

Notons encore qu'il existe une inclinaison optimum, correspondant à une épaisseur amont un peu supérieure au double de celle d'aval, pour laquelle la force portante atteint la plus grande valeur possible.

Enfin, ajoutons que, dans ce cas de lubrification parfaite, la force de frottement atteint seulement quelques millièmes de la charge. Pour des raisons analogues, si l'inclinaison des surfaces était disposée en sens inverse (fig. 4), l'intervention du liquide produirait une succion qui tendrait à coller les pièces l'une sur l'autre. Un lubrifiant ne remplit donc pas son rôle envers et contre tout ; il faut encore une forme judicieuse des surfaces actives.

Comment la théorie du « film d'huile en coin » peut être appliquée aux coussinets ordinaires et aux butées

L'organe fondamental, qui se retrouve dans toute machine, est l'arbre tournant à l'intérieur de son coussinet, dont la lubrification doit être assurée avec soin. Il est particulièrement intéressant de voir comment la théorie précédente s'y adapte.

La figure 5 représente un palier et l'arbre correspondant vus en bout. Le rayon du

coussinet est nécessairement un peu plus grand que celui de l'arbre. (La différence est très exagérée sur la figure.) Supposons, pour une raison quelconque — qui se dégagera d'elle-même plus tard — l'arbre excentré, de manière que la ligne des centres soit horizontale. L'espace intermédiaire est rempli d'huile qui forme une couche mince d'épaisseur variable, minimum à gauche, maximum à droite. Le sens de rotation supposé de l'arbre est celui des aiguilles d'une montre.

On voit tout de suite que les phénomènes, dans la moitié inférieure AMB du film, sont analogues à ceux de la figure 3. Peu importe que le film soit enroulé en coquille au lieu d'être plan, il y a excès de pression dans cette région.

Tout au contraire, dans la moitié supérieure ANB , il y a dépression, comme dans la figure 4.

La moitié supérieure de l'arbre est soumise à une succion qui va s'ajouter à l'excès de pression développée sur l'autre moitié, et l'ensemble de ces forces soulève l'arbre vers le haut, équilibrant victorieusement la charge qu'il supporte. Il est amusant de remarquer que l'arbre s'excentre automatiquement, de manière à donner à la couche d'huile la forme qui convient précisément pour équilibrer la charge.

Nous avons vu précédemment qu'il y a une relation, entre l'épaisseur amont et l'épaisseur aval du film, qui assure un meilleur graissage. Il est donc nécessaire de laisser un jeu suffisant pour permettre à la couche d'huile de se régler ainsi. Les praticiens savent cela et laissent un jeu d'autant plus grand que l'arbre est plus gros. Il est d'ailleurs choisi par eux empiriquement.

On peut dire que jusqu'ici les praticiens ont eu de la chance ! Le palier graisseur le plus banal est une merveille au point de vue de l'application des lois de l'hydrodynamique à la technique du graissage. Et néanmoins, pendant bien longtemps, on ne

s'en est pas douté le moins du monde !

Moins facile est le graissage d'une *butée*. Si un arbre en bout, ou bien un épaulement, frotte sur une partie plane, il ne se passe rien d'analogue ; il n'y a pas de coin d'huile, aussi la lubrification est-elle moins bonne. Des ingénieurs ont essayé de provoquer ici les mêmes phénomènes en remplaçant la partie plane en contact avec l'épaulement de l'arbre, par une succession de plans inclinés

formant coins d'huile successifs. Tels sont les butées *Michell* (fig. 6) et les butées *Brillié*, qui leur ressemblent, tout en étant simplifiées et dépourvues de sabots articulés.

Les lumières et canaux d'arrivée de l'huile doivent être rationnellement disposés

Nous ne parlons pas ici du graissage sous pression, où, bon gré mal gré, le lubrifiant, chassé par une pompe, s'écoule entre les parties frottantes.

Pour permettre à l'huile d'arriver entre les surfaces à lubrifier, on creuse par-ci, par-là des trous qui communiquent avec des rainures, des pattes d'araignées de formes diverses. Tout cela est fait, en général, au petit bonheur. Or, on comprend que la position des trous et entailles n'est nullement indifférente. Les lumières d'accès doivent se trouver dans la région de la dépression ; alors l'huile est aspirée et répartie dans la région du maximum de pression, qui, elle, doit être complètement lisse. Si, au contraire, un trou d'arrivée se trouvait dans cette dernière région, non seulement l'huile n'entrerait pas, mais celle qui aurait pu y pénétrer serait aussitôt évacuée, sans effet utile, par cette malencontreuse ouverture.

La question est parfois assez délicate, par exemple, dans le cas d'un coussinet de tête de bielle, car les couches d'huile doivent équilibrer des efforts d'orientation variable.

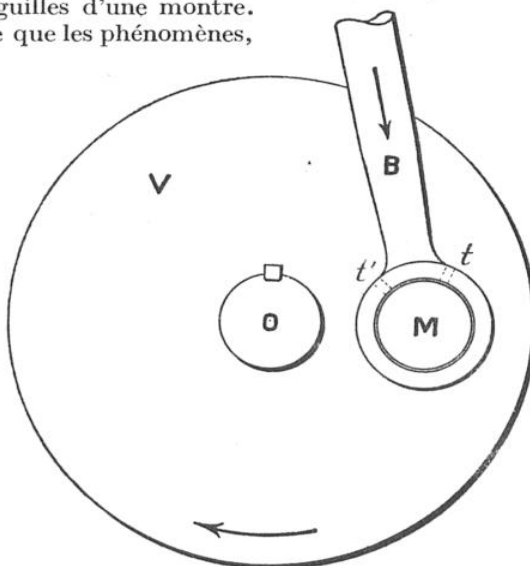


FIG. 7. - DISPOSITION FACHEUSE DES TROUS D'ACCÈS DE L'HUILE t ET t' DANS LA TÊTE DE BIELLE D'UN MOTEUR A EXPLOSIONS. Les ouvertures t et t' sont dans la région du maximum de pression, parce que, aux temps moteurs, la bielle B agit dans le sens de la flèche sur la manivelle M et, le reste du temps, c'est le volant V, sur l'arbre O, qui entraîne la bielle et agit en sens inverse. Ces ouvertures sont donc mal situées, puisque leur emplacement correspond à la partie A et B de la figure 5.

Néanmoins il est assez facile de se rendre compte que les ouvertures *a*, *b*, dans la tête de bielle d'un moteur à explosions, sont mal situées (fig. 7). Cependant, une telle disposition se rencontre de temps en temps.

Un ingénieur cité plus haut, M. Brillié, s'est avisé de l'empirisme qui préside à ces tracés. Il a établi des coussinets plus rationnels, creusés de bassins parallèles à l'axe et répartis sur la périphérie des coussinets. Ces bassins, pleins d'huile, se raccordent à angle très aigu avec la paroi de l'arbre, de manière à favoriser l'amorçage du film d'huile en coin.

Cette théorie n'explique pas cependant toutes les propriétés du graissage

Cette belle théorie d'O. Reynolds peut-elle être considérée comme résolvant entièrement la question du graissage ?

Pas tout à fait, car le liquide n'intervient dans cette théorie que par sa *viscosité*, et nous savons bien qu'il y a d'autres qualités exigibles d'un lubrifiant.

Sans quoi, en effet, de l'eau sucrée amenée à la consistance voulue vaudrait ni plus ni moins qu'une huile de même viscosité. Or, il est bien sûr que ce liquide constituerait un pitoyable lubrifiant !

La théorie de Reynolds est celle du « film intégral », pourrait-on dire. Mais, dans d'assez nombreux cas, ne serait-ce qu'au départ ou à faible vitesse, le film d'huile n'a pas eu le temps de se constituer ; alors, c'est là qu'interviennent des propriétés moléculaires assez mal connues du lubri-

fiant, englobées sous le nom d'*onctuosité*. La *tension superficielle*, l'*aptitude à mouiller* les surfaces métalliques entrent aussi en ligne de compte.

Ce qu'il faut retenir au point de vue pratique

Il semble que l'on peut dégager de cette étude du graissage les points suivants, très importants :

1° Le frottement immédiat ne doit pas être considéré comme un phénomène accessoire dû à la rugosité des surfaces et dont on pourrait se débarrasser par un meilleur poli. Il a ses causes profondes dans la constitution moléculaire des solides ;

2° La viscosité d'un liquide, circulant entre des surfaces de formes appropriées, fait naître un excès de pression qui permet au film de subsister malgré la charge ;

3° La force portante du film croît à mesure que l'épaisseur diminue, de telle sorte que c'est la perfection des surfaces qui limite pratiquement la charge. Ceci fait ressortir l'importance d'un bon usinage ;

4° La théorie précédente indique les régions des maxima et minima de pression. Elle guide le constructeur dans l'établissement de canalisations rationnelles pour l'accès de l'huile ;

5° Les conditions du meilleur graissage sont réalisées quand le film sépare complètement les surfaces. En dehors de ce cas, un lubrifiant agit encore par des propriétés spécifiques assez mal connues.

F. CHARRON.

On peut dire que l'année 1930 aura vécu sous le signe de la surproduction industrielle, et cela dans tous les domaines et dans tous les pays. En effet, de 1913 à 1929, le monde entier a accru de 12 % sa production de charbon — de 12 % également celle du fer — de 50 % celle de l'acier — d'environ 50 % celle du plomb et du zinc — de 200 % celle du cuivre et, enfin, de plus de 400 % celle de l'aluminium et du pétrole. Ajoutons à cela qu'à cette période de surproduction a correspondu, au cours de ces dernières années, une période de sous-consommation. La crise actuelle s'explique suffisamment par ces données.

L'EXPLOITATION INTENSIVE DES PRAIRIES ET L'EMPLOI RATIONNEL DES ENGRAIS

Par C. MATIGNON

MEMBRE DE L'INSTITUT, PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE

Il était admis, jusqu'ici, que la fixation de l'azote par certaines plantes, notamment par les légumineuses, dispensait complètement les agriculteurs d'apporter aux sols couverts de prairies des fertilisants azotés. Des expériences récentes ont prouvé, au contraire, que les engrais azotés pouvaient contribuer puissamment à l'amélioration de la valeur alimentaire de l'herbe, à l'« activation » de sa maturité, au prolongement de son développement à l'arrière-saison et à l'augmentation du rendement en quantité. L'emploi rationnel de ces matières azotées, que la synthèse chimique peut fournir aujourd'hui en quantités presque illimitées (1), a autorisé par ailleurs l'application d'une nouvelle technique de l'exploitation intensive des prairies, fondée sur les variations des qualités alimentaires de l'herbe aux différents stades de sa croissance. Il a été reconnu, en effet, que l'herbe renferme le maximum d'aliments nutritifs avant d'atteindre 8 à 10 centimètres de haut. Une exploitation rationnelle consistera donc à ne faire paître les animaux que dans les champs où l'herbe est jeune. Il suffit pour cela de diviser la propriété en enclos séparés et de faire parcourir au bétail le cycle de ces différents enclos, de sorte qu'il trouve toujours une herbe fraîche et jeune. Les expériences effectuées, notamment en Angleterre et en Hollande, ont démontré qu'une surface de 2.800 mètres carrés (0,28 hectare) donnait, grâce à cette nouvelle technique combinée avec l'emploi d'engrais azotés, le même résultat que 12.000 mètres carrés (1,2 hectare) exploités suivant les anciennes méthodes.

La synthèse chimique, en apportant, dans ces vingt dernières années, la solution du problème de la combinaison industrielle de l'azote élémentaire, a rendu possible la fabrication de tonnages, pour ainsi dire illimités, de matières azotées et, par suite, permet aujourd'hui de satisfaire à tous les besoins du sol en fertilisants azotés.

Chaque hectare de la surface de la terre supporte une colonne d'air qui contient 8 millions de tonnes d'azote. Actuellement, l'industrie chimique emprunte à l'air un peu plus d'un million de tonnes d'azote ; il lui faut environ six années pour priver l'atmosphère de la quantité d'azote contenue dans la colonne ayant cet hectare comme base. La surface de la terre comportant 50×10^7 hectares, on se rend facilement compte, d'après la grandeur de ce chiffre, que la composition de l'air que nous respirons ne peut être modifiée par un semblable prélèvement. D'ailleurs, il convient d'ajouter qu'un peu d'azote élémentaire s'échappe constamment du stock des matières organiques azotées en évolution dans le monde vivant, par suite de la décomposition fermentescible d'une très petite fraction de ces matières organiques.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 133, page 21.

Faut-il employer les engrais azotés sur les prairies ?

Les prairies avaient été considérées jusque dans ces dix dernières années comme échappant pratiquement à l'action des fumures azotées.

Boussingault, par l'établissement du bilan de l'azote dans la culture des prairies artificielles, avait montré qu'il y avait nécessairement fixation de l'azote élémentaire de l'air par les plantes ou tout au moins par certaines des plantes constituant la flore des prairies ; Berthelot et André avaient confirmé cette fixation toujours discutée, et Hellriegel et Wilfarth avaient établi le mécanisme de cette fixation dans le cas de légumineuses. Aussi était-il admis comme un dogme en agriculture qu'il n'était pas nécessaire d'apporter des fertilisants azotés aux sols couverts de prairie.

Cependant, des expériences poursuivies pendant des années par Lawes et Gilbert, à la célèbre station anglaise de Rothamsted, avaient démontré nettement une augmentation notable de rendement par l'emploi des engrais azotés. On a, dans ces dernières années, amélioré les prairies françaises dans beaucoup de régions : Charente, Sarthe

Calvados, etc., par la fumure azotée, fumure rendue possible par l'augmentation notable de la production d'engrais azotés ; ces résultats, quelque intéressants qu'ils soient, ne constituent qu'un commencement dans les voies nouvelles qui ont abouti récemment au système d'exploitation intensive des prairies.

L'exploitation intensive d'une prairie est liée à la valeur nutritive de l'herbe

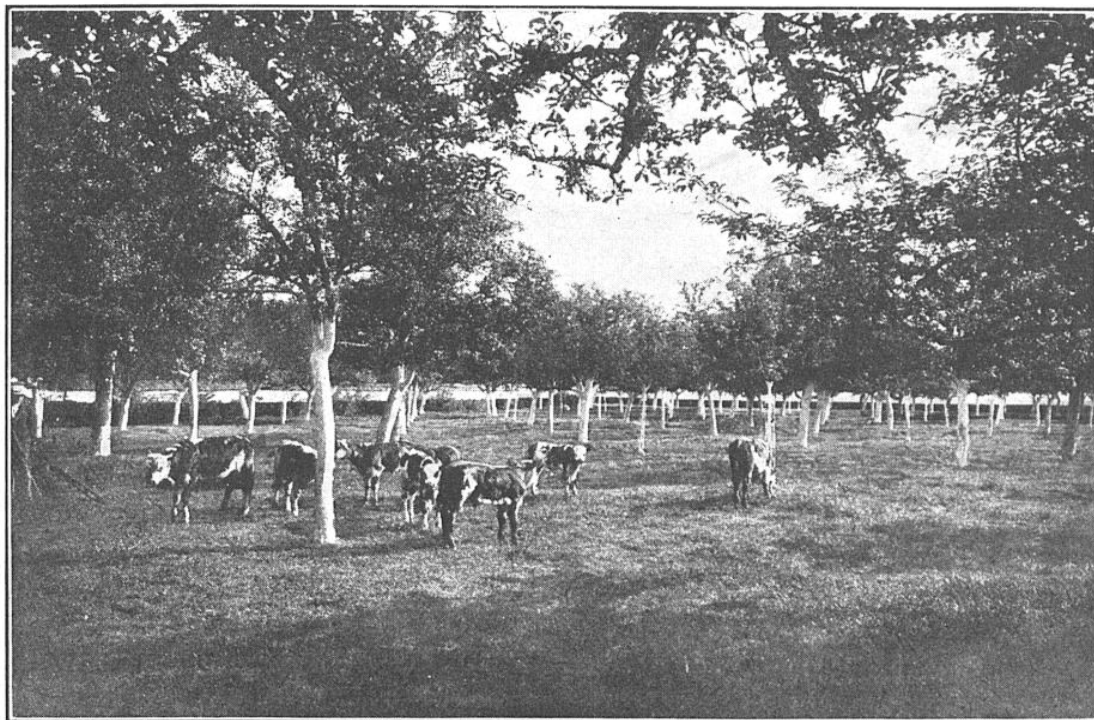
Ce nouveau système peut être défini par deux caractères essentiels : d'abord, par une

plus loin et connaître la composition de l'herbe dès les premiers stades de sa croissance.

Les résultats ont montré que l'abaissement du taux de protéine commençait très tôt, alors que la plante atteint un développement de 8 à 10 centimètres, la teneur en cellulose variant toujours en sens contraire.

La valeur alimentaire de l'herbe est donc plus élevée, à poids égal, chez l'herbe jeune.

Dans les bons foin, la teneur en protéine ne dépasse guère 11 % pour le produit sup-



PRÉ-VERGER SUR LE PLATEAU DE NEUBOURG (EURE)

C'est un bel exemple d'amélioration des prairies dans le département de l'Eure.

fumure de base phosphatée et potassique à laquelle se superpose une fumure azotée effectuée par applications successives ; en second lieu, par la consommation de l'herbe à l'état jeune, alors que sa hauteur ne dépasse pas 8 à 10 centimètres.

La composition chimique de l'herbe varie d'une façon continue avec l'âge de la plante ; sa richesse en *protéine*, l'aliment azoté qui a le plus de valeur, diminue bien avant la floraison et s'abaisse progressivement, en même temps qu'augmente la proportion de cellulose. Ces faits sont connus depuis longtemps déjà.

Dans ces derniers temps, on a voulu aller

posé sec ; dans la jeune herbe, elle atteint régulièrement une valeur de 25 %.

En fait, la pratique des pâturages s'accorde avec le fait précédent. Le bon herbager a reconnu depuis longtemps qu'il obtient de meilleurs résultats en maintenant ses pâtures « tondues de près » et en évitant de laisser pousser l'herbe bien haut.

Un gaspillage de l'herbe élevée aurait pu fournir une explication de cette pratique, mais l'étude chimique du développement de la plante nous en fournit aujourd'hui l'explication.

Dans le procédé intensif, on organisera donc les pâturages de manière à ne faire

consommer au bétail que de l'herbe jeune, en pratique d'une hauteur de 8 à 10 centimètres ; il faudra, au cours de la saison, multiplier sur un même champ le nombre de pâtures.

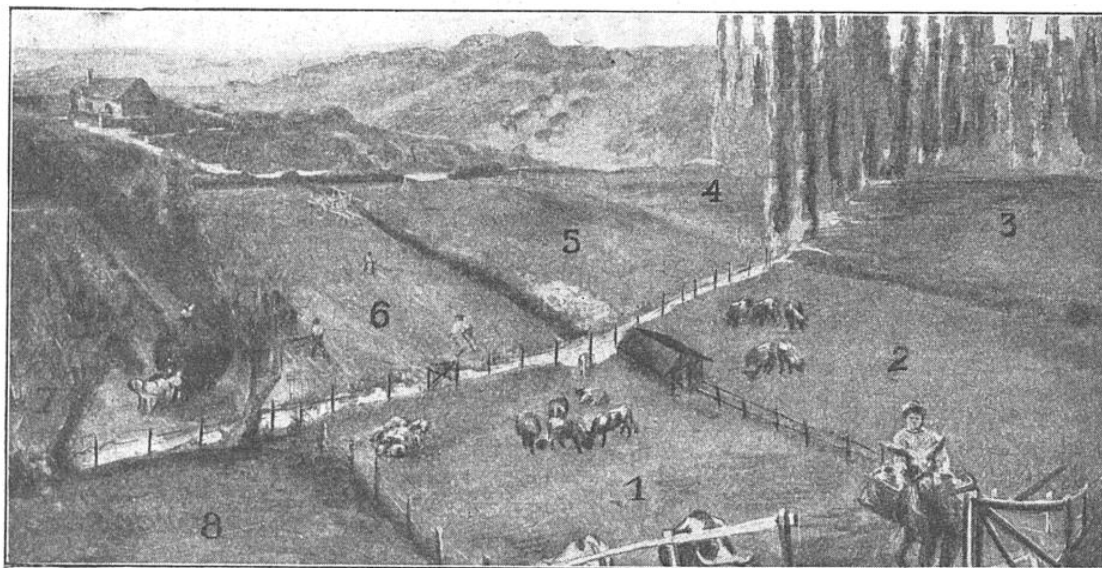
Le clos de pâture unité aura une surface proportionnelle au nombre d'éléments du troupeau, et cette surface sera déterminée par la nécessité d'arriver à la tonsure totale des clos dans un espace assez court : six à dix jours.

Aussitôt la pâture terminée, on fait inter-

(résultats de cinquante déterminations) :

4 avril-20 mai	25 %
24 mai-2 juillet	23 %
7 juillet-20 août	23 %
27 août-1 ^{er} octobre	25 %
4 octobre-24 octobre	25 %

Non seulement cette constance se maintient dans les bonnes prairies, mais également dans les prairies de qualité moindre, grâce à la répétition de la fumure azotée. En outre, l'azote augmente le rendement en quantité et favorise le développement



SCHEMA D'UTILISATION RATIONNELLE D'UN HERBAGE

Dans la parcelle 1, des vaches sèches, chevaux, moutons, etc., venant de la parcelle 6, pâturent l'herbe laissée par le bétail qui est passé dans la parcelle 2. Ce dernier, comprenant des vaches laitières et des animaux à l'engrais, pâture l'herbe jeune très nutritive, avant de céder la place au bétail de la parcelle 1 et de passer dans la parcelle 3, où l'herbe, d'une dizaine de centimètres de hauteur, est déjà bonne à pâturer. Dans les parcelles 4 et 5, la végétation est moins avancée. Dans la parcelle 6, que le bétail actuellement en 1 vient de quitter, on se livre aux opérations de hersage, ébousage et épandage d'engrais azotés. Les parcelles 7 et 8 constituent une réserve, dont l'herbe peut être pâturée ou fauchée suivant les besoins.

venir l'engrais azoté, par exemple, le sulfate d'ammoniaque, à la dose de 100 à 150 kilogrammes à l'hectare. Trente ou quarante jours après, l'herbe est de nouveau à la hauteur désirée, et la pâture recommence encore pendant six à dix jours, et les mêmes opérations se répètent pendant toute la saison.

L'expérience a démontré que la valeur alimentaire de l'herbe se maintient sensiblement constante d'une pâture à l'autre.

Voici, par exemple, la teneur moyenne, en protéine brute, de l'herbe supposée sèche, obtenue dans un centre d'essai anglais, aux différents stades de la saison

de l'herbe au début et à la fin de la saison, de telle sorte qu'il est possible de commencer plus tôt la pâture au printemps et de la prolonger plus tard à l'automne.

Ainsi donc, amélioration de la valeur alimentaire ; maintien de cette valeur alimentaire à un taux élevé ; augmentation du rendement de l'herbe en quantité ; activation de la maturité de cette herbe et prolongement de son développement à l'arrière-saison : tels sont les résultats remarquables obtenus par l'emploi de l'azote.

La conclusion de nombreux essais effectués dans quatre-vingts stations d'expérimentation anglaises en 1927 peut se traduire

d'une façon fort simple. Pour assurer la nourriture d'une vache par pâturage pendant toute la saison, il a été nécessaire, par les anciens procédés, de disposer de 0,8 à 1,2 hectare de prairie ; avec la nouvelle méthode, le même résultat a été obtenu sur une superficie moyenne de 0,28 hectare.

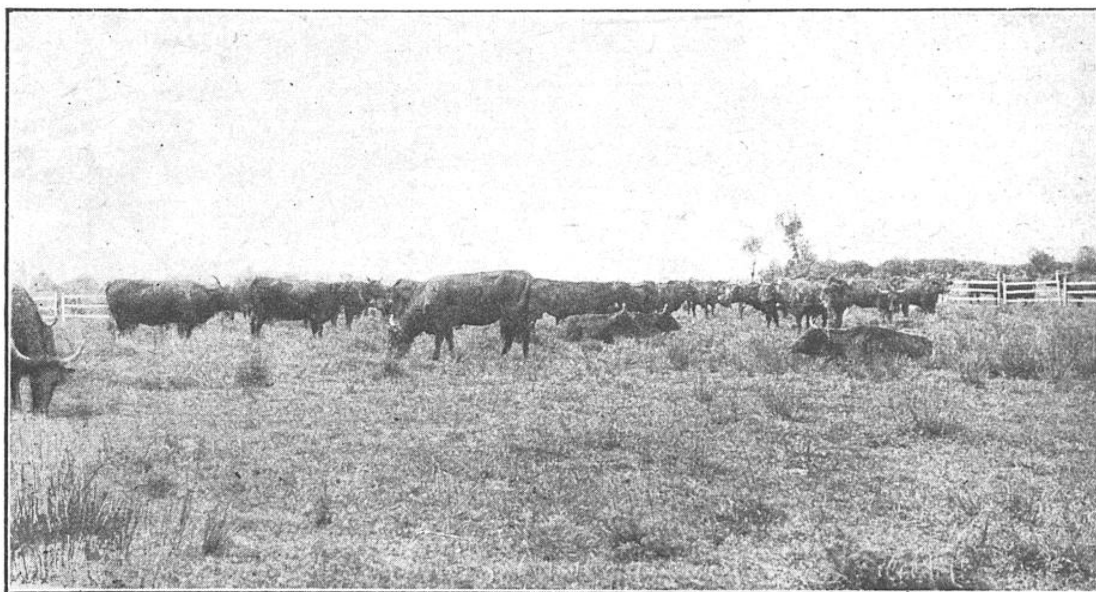
Dans quelques cas, une prairie de 0,2 hectare, et même moins, a pu suffire. Il est bien entendu que la fumure azotée doit être complétée par une fumure phosphatée et potassique et, si le sol l'exige, par un chaulage.

A cet effet, à l'automne ou au commen-

Comment organiser rationnellement l'exploitation des prairies

Nous avons, dans ce qui précède, examiné les pâtures successives sur un même enclos ; de cet exposé résulte la nécessité de disposer d'un certain nombre d'enclos pour assurer une nourriture continue au bétail.

Ce nombre est toujours au moins de six, mais il vaut mieux disposer de sept à huit enclos pour parer aux aléas résultant d'un temps exceptionnellement sec.



VACHERIE A LA FUMADE A CISTERNES, PRÈS DE LOUFIAC, DANS LE CANTAL

A droite, une des barrières qui séparent les différents enclos.

cement de l'hiver, on répartit sur la prairie 400 à 500 kilogrammes de scories par hectare et une même quantité de sylvinite riche, ou bien leurs équivalents, et l'on débute à la fin de l'hiver par une fumure azotée de 150 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque à l'hectare.

On peut se demander si l'animal trouve dans cette herbe à haut rendement, la quantité d'acide phosphorique et de chaux dont il a besoin pour assurer le développement de son squelette et sa production laitière.

L'analyse a montré que la teneur de l'herbe en acide phosphorique était suffisante pour les besoins des animaux, mais que la teneur en chaux pouvait être déficiente pour les bonnes vaches laitières. Il convient alors d'assurer à ces dernières leur ravitaillement en chaux par l'emploi d'un aliment complémentaire très calcifère.

Les animaux passeront successivement d'un enclos à l'autre, pour revenir au premier quand le cycle de rotation sera accompli ; la durée du cycle est définie par le temps nécessaire à la plante pour atteindre le développement convenable à la pâture.

On a poussé plus loin encore la rationalisation de cette exploitation en divisant les animaux de la ferme en deux catégories : les animaux de première ligne, vaches à lait, animaux à l'engraissement, agneaux précoces, et les animaux de deuxième ligne génisses pleines, bétail de réserve, chevaux, jeunes animaux, moutons.

On amène les animaux de première ligne dans l'enclos à pâturer, on les y abandonne pendant trois à cinq jours, puis on les remplace par les animaux de deuxième ligne, qui achèvent la consommation de la prairie,

tandis que les premiers vont pâturer sur la prairie fraîche de l'enclos voisin.

Les résultats obtenus en Angleterre, en Hollande, aux Etats-Unis

J'ai déjà dit les résultats très remarquables obtenus par l'emploi du système d'exploitation intensive, 0,28 hectare produisant, en moyenne, le même résultat que 0,8 à 1,2 hectare de prairies pâturées suivant les anciennes méthodes et sans emploi d'azote.

Je citerai encore d'autres résultats vraiment surprenants. On a pu obtenir pendant la saison, avec de jeunes bœufs, une augmentation de poids vif de 842 kg 5 par hectare ; dans une autre ferme anglaise, on a pu recueillir par hectare 7.987 litres de lait.

En Hollande, la même méthode conduit au même succès.

L'herbe, au moment de la pâture, contient environ 80 % d'eau. Ce dernier corps joue donc un rôle considérable dans son développement. Il n'est pas

douteux, par suite, que la méthode intensive ne peut s'appliquer que sur des prairies placées dans des conditions climatologiques convenables. On se heurterait certainement à un insuccès complet, si l'on voulait étendre cette méthode à des prairies dont le sol ne pourrait disposer d'une quantité d'eau suffisante.

La Hollande, l'Angleterre se trouvent particulièrement favorisées à ce sujet, tant par leur régime de pluie, leur état hygrométrique que par les conditions physiques du sol.

Il n'est pas douteux que la même méthode ne doive donner en France d'aussi bons ré-

sultats, pourvu qu'on l'utilise avec discernement dans les régions où le sol peut, en année normale, assurer à la prairie la quantité d'eau nécessaire à son rapide et abondant développement.

Aux Etats-Unis, l'alimentation humaine consomme 15 millions de tonnes de céréales, tandis que celle des animaux exige 40 millions de tonnes de ces mêmes grains. On s'est demandé s'il n'y aurait avantage à étendre le système intensif au blé, au seigle et aux autres céréales, qui, consommées comme foin, auraient un rendement meilleur pour les animaux qu'à l'état de grain.

Au Tennessee, on a coupé le blé d'hiver pour en faire du foin quand les jeunes pousses atteignaient

37 cm 5, avant l'apparition du premier nœud dans la tige. Une première coupe a eu lieu le 3 avril, une deuxième le 27 ; on aurait pu répéter une troisième coupe. Le foin fut séché artificiellement dans un dessiccateur approprié. Les résultats ont dépassé toutes prévisions.

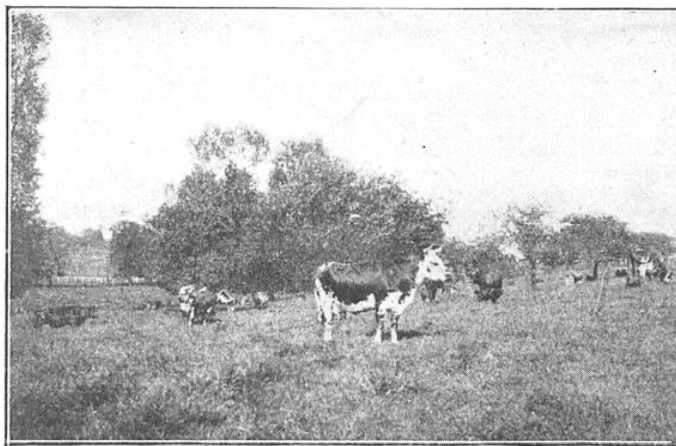
Alors que le blé arrivé à ma-

turité donnait 12 quintaux 24 par hectare, contenant 1.076 kilogrammes de matières nutritives, le foin correspondant en apportait 4.926 kilogrammes, soit plus de quatre fois et demi.

Si le foin de céréales peut être desséché dans des conditions économiques, on voit tout l'intérêt que présenterait, pour l'alimentation des herbivores, la substitution du foin de céréales au grain.

Une véritable révolution agricole pourrait résulter de ces directives nouvelles, si des inconvénients sérieux ne s'opposaient pas à leur application économique.

CAMILLE MATIGNON.



HERBAGE DANS LE PAYS DE BRAY, OU LE BÉTAIL
PATURE DANS UN PRÉ D'HERBE JEUNE

VOICI LA LOCOMOTIVE DE 1931

Par Jean MARCHAND

INGÉNIEUR I. E. G.

Il y a plus de cent ans (1) que fut inauguré solennellement le premier chemin de fer, de Stockton à Darlington (Angleterre), et, cependant, la locomotive à vapeur reste jusqu'ici maîtresse du trafic ferroviaire, malgré l'électrification, malgré la locomotive à turbines (2) ou à moteurs Diesel (3). Son principe n'a pas varié : elle utilise toujours l'adhérence d'une roue lisse sur un rail lisse, une chaudière multitubulaire dont le tirage est assuré par l'échappement de la vapeur des cylindres dans la cheminée à l'air libre. Par contre, les perfectionnements de détail, dont elle a été l'objet, lui ont permis de suffire à un trafic sans cesse croissant. Grâce à l'augmentation de l'adhérence, grâce à l'amélioration de son rendement, elle remorque aujourd'hui, sans défaillance, des trains de 500 tonnes à 100 kilomètres à l'heure (Paris-Liège en quatre heures, sans arrêt). On verra ici comment on est arrivé à la conception de la locomotive à pistons ultra-moderne, dont l'aspect extérieur suffit à donner une imposante idée de sa puissance.

DANS tous les domaines des sciences appliquées à la vie moderne : force motrice, éclairage, télégraphie, transports sur routes, sur mers ou dans les airs, les progrès de la technique se sont révélés depuis un siècle par l'application de nouvelles formules qui ont révolutionné les méthodes en vigueur il y a cent ans. Il y a plus de cent ans cependant que les chemins de fer sillonnent le monde, et la locomotive à vapeur à pistons reste encore maîtresse des

transports sur voie ferrée, bien que les locomotives à turbines (1), à moteurs Diesel (2), ou surtout électriques (3) soient pour elle de redoutables concurrentes. C'est que, depuis leur vieille ancêtre *la Fusée*, de 1829, la machine moderne s'est constamment perfectionnée pour répondre aux besoins sans cesse croissants du trafic.

Que faut-il entendre par là ? Perfectionner une machine à vapeur pour chemins de fer consiste à résoudre deux problèmes dis-

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 96, page 457.

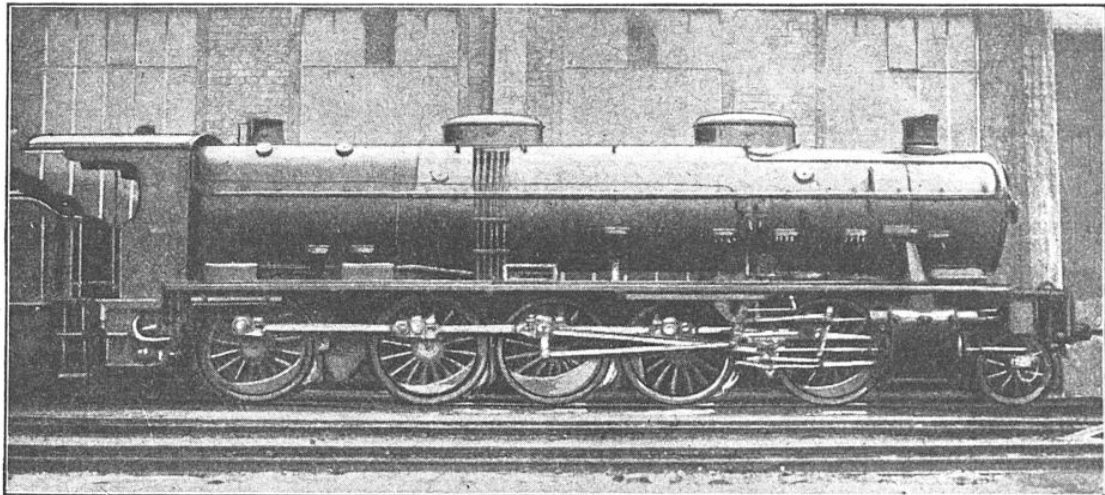
(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 88, page 347.

(3) Voir *La Science et la Vie*, n° 161, page 383.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 88, page 347.

(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 161, page 383.

(3) Voir *La Science et la Vie*, n° 118, page 265.



POUR ACCROÎTRE L'ADHÉRENCE DES LOCOMOTIVES, ON AUGMENTE LE NOMBRE DES ESSIEUX MOTEURS. CETTE MACHINE « DÉCAPOD », DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU NORD, COMPORTE 5 ESSIEUX SOIT 10 ROUES MOTRICES ACCOUPLES AU MOYEN DE BIELLES

tinets : permettre l'augmentation du tonnage remorqué, d'une part ; diminuer la consommation de combustible, d'autre part. De la solution du premier problème dépend, en effet, l'intensité du trafic possible sur une ligne, puisqu'on ne peut impunément augmenter le nombre de rames en circulation, et de celle du second dépend l'exploitation économique des réseaux.

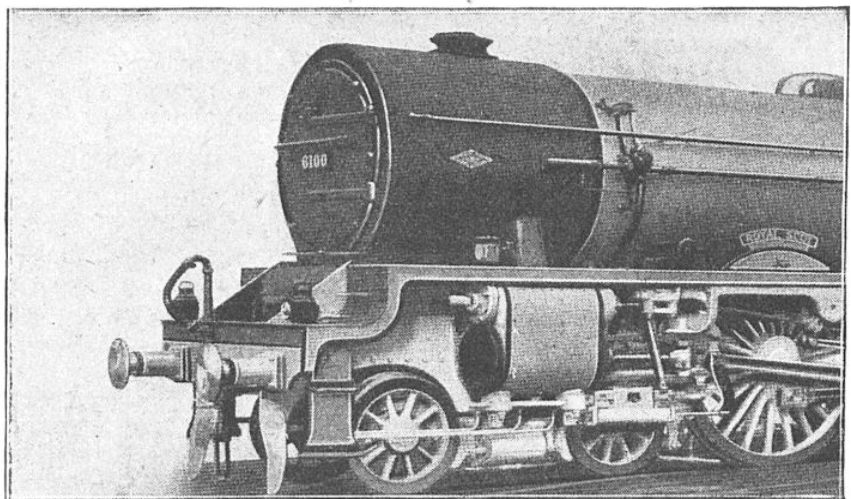
Comment on accroît le tonnage que peut remorquer une locomotive

Nous avons tous observé le patinage des roues d'une locomotive au démarrage d'un train lourd, même si la voie est sèche et propre, et nous avons vu, parfois, le chauffeur obligé de jeter du sable sous les roues pour assurer le départ. Nous concevons donc immédiatement que, pour augmenter le tonnage que peut remorquer une locomotive, il ne suffit pas d'accroître sa *puissance*, mais qu'il faut encore agir sur un autre facteur : le *poids adhérent*.

La puissance de la machine est directement fonction du poids de vapeur qui, par seconde, travaille dans les cylindres, c'est-à-dire du poids d'eau que, dans le même temps, la chaudière peut vaporiser, c'est-à-dire enfin de la quantité de chaleur dégagée dans le foyer.

Pour augmenter la puissance, il faut donc accroître la surface de la grille sur laquelle brûle le charbon. Malheureusement, on est vite limité à cet égard, car, d'une part, la largeur immuable de la voie (1 m 45) n'autorise pas une largeur de grille de plus de 2 mètres et, d'autre part, au delà de 2 m 80 de longueur, le chargement de la grille ne peut être convenablement assuré par un chauffeur.

On a donc cherché à activer la combustion au moyen du tirage forcé produit par l'échappement de la vapeur dans la cheminée, après qu'elle a travaillé dans les cylindres, de sorte qu'on arrive aujourd'hui à des *taux de combus-*



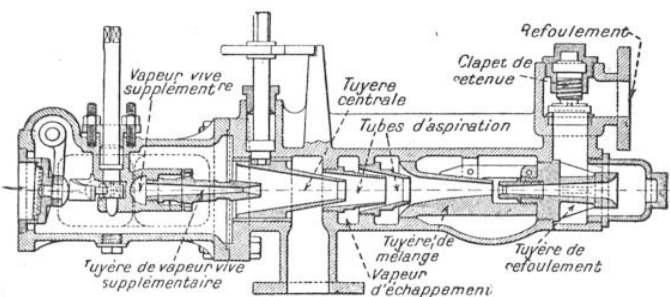
LOCOMOTIVE ANGLAISE « TENWHEEL », DU « LONDON, MIDDLELAND AND

tion de 350, 500 et même 700 kilogrammes par mètre carré de surface de grille et par heure, alors que dans les installations fixes ce taux ne dépasse guère 200. De même, la chauffe au charbon pulvérisé (1) permet d'augmenter la chaleur dégagée.

D'ailleurs, les puissances actuellement réalisées suffisent largement aux besoins, et c'est surtout le poids adhérent qui limite le tonnage remorqué.

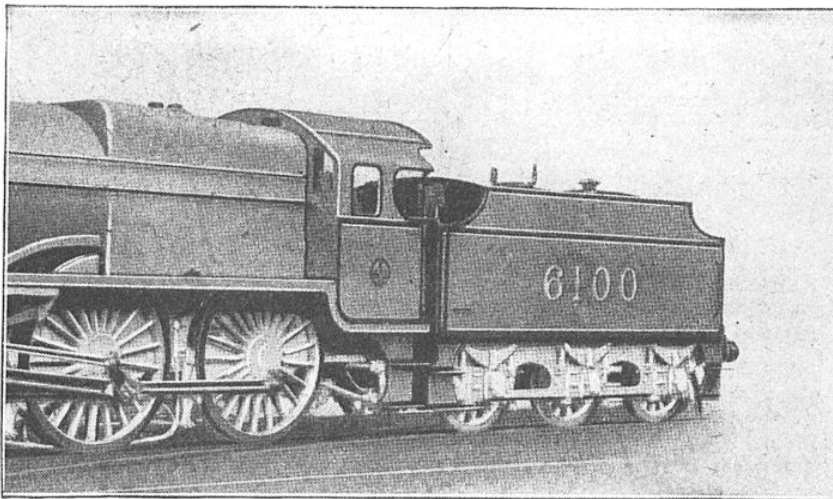
Les voies ferrées et les ouvrages d'art sont calculés, en France, pour supporter des essieux chargés de 18 tonnes 5 au maximum. Comme, par ailleurs, les courbes interdisent de coupler entre eux plus de cinq essieux pour les rendre moteurs, on voit que le poids adhérent maximum sera de 5×18 tonnes 5 = 92 tonnes 5 et, pour les machines de vitesse

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 158, page 137.



COUPE DE L'INJECTEUR DAVIES ET METCALFE, TYPE « F »

La vapeur d'échappement pénètre dans la tuyère centrale, se condense au contact de l'eau et crée un vide, qui augmente la vitesse de cette vapeur. Celle-ci entraîne l'eau vers les tuyères d'aspiration, où une nouvelle arrivée de vapeur accélère sa vitesse et la refoule vers la chaudière.



SCOTTISCH RAILWAY », MUNIE DE L'INJECTEUR METCALFE, TYPE « H »

où seulement quatre essieux sont moteurs : $4 \times 18 \text{ tonnes } 5 = 74 \text{ tonnes (Mountain) (1)}$. En admettant une *adhérence* (2) voisine de un septième, l'effort de traction est donc de 11 tonnes. En tenant compte de la résistance de l'air et de la résistance des rails au roulement, on en déduit facilement qu'une telle locomotive peut remorquer un train de 615 tonnes à 75 kilomètres à l'heure sur une pente de 8 millimètres par mètre (3). Ce

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 96, page 462.

(2) L'adhérence est le rapport de l'effort de traction au poids moteur.

(3) Rampes normales en France sur les grandes lignes.

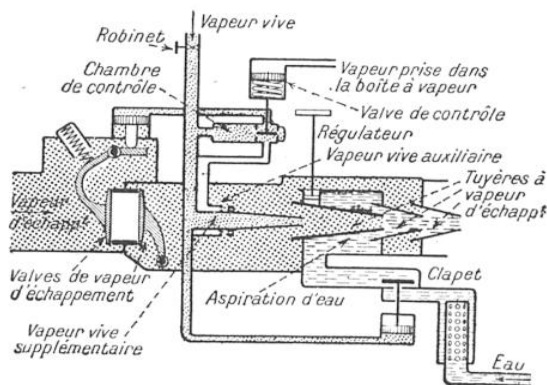


SCHÉMA DE L'INJECTEUR, AVEC CONTRÔLE AUTOMATIQUE DAVIES ET METCALFE, TYPE « H »

Ce dispositif substitue automatiquement la vapeur vive à la vapeur d'échappement, lorsque le mécanicien ferme son régulateur. Les admissions à l'appareil de la vapeur d'échappement et de l'eau sont également réglées automatiquement, de sorte que la manœuvre se réduit à l'ouverture d'un robinet.

poids est fréquemment atteint par nos grands express. Comme, par ailleurs, il faut tenir compte de ce que le couple moteur de la locomotive n'est pas constant (puisque'elle n'a que quatre cylindres) et que son maximum ne doit pas dépasser celui qui correspond à l'adhérence, sous peine de patinage, on voit que l'effort moyen reste nettement inférieur à celle-ci. C'est pourquoi on admet que la Mountain P.-L.-M. n'entraînera le train de 615 tonnes qu'à 56 kilomètres-heure dans les

rampes à 8 millimètres. Heureusement, ces rampes sont généralement abordées en vitesse, de sorte que l'énergie cinétique du train facilite les montées.

Il semble donc, en résumé, que la locomotive à vapeur actuelle ait atteint son maximum de rendement pour la remorque de trains lourds sur de fortes rampes.

Pour aller plus loin, il serait indispensable d'augmenter l'adhérence, c'est-à-dire le poids, donc de renforcer les voies. Plusieurs réseaux français, notamment le P.-L.-M., ont actuellement à l'étude le renforcement des voies à 20 tonnes et ultérieurement à 22 et 24 tonnes. Une autre solution consiste à adopter une nouvelle forme de machines pour augmenter le nombre d'essieux couplés, par exemple la locomotive articulée ou la locomotive électrique, dont un grand nombre de types français ont six essieux couplés moteurs.

A ce point de vue, on utilise en Amérique, pour augmenter l'adhérence momentanément, au démarrage, par exemple, un dispositif dénommé *booster*, qui consiste en un cylindre à vapeur supplémentaire attaquant un essieu porteur de la locomotive ou même du tender. La vapeur vive n'y accède, au démarrage, que pendant trente secondes, puis son arrivée est automatiquement coupée et le dispositif débrayé.

Le rendement thermique de la locomotive à pistons est très faible

Le rendement d'une machine est, on le sait, le rapport entre la quantité d'énergie restituée, sous la forme appropriée au but

poursuivi, et la quantité d'énergie reçue.

Pour une locomotive, ce rendement est égal au rapport de l'énergie disponible à la jante des roues motrices à celle contenue dans le combustible brûlé.

D'après le principe de Carnot, pour qu'une machine puisse transformer de la chaleur en travail, il faut deux sources de chaleur, à deux températures différentes, la source chaude et la source froide. De plus, au point de vue purement thermique, le rendement est proportionnel à la différence des températures absolues (1) de la source chaude et de la source froide.

Sur une locomotive à pistons, où la vapeur, après avoir travaillé dans les cylindres,

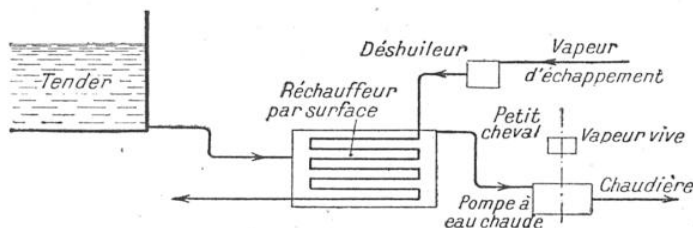


SCHÉMA DU RÉCHAUFFEUR FRANÇAIS CAILLE-POTONIÉ

c'est-à-dire de la vapeur au sortir de la chaudière. Pour élever cette température initiale, on a porté successivement le timbre de la chaudière à 15, 16 kilogrammes par centimètre carré, et même davantage, et de plus on a *surchauffé* la vapeur. Cette élévation de température a, en outre, l'avantage de diminuer l'encombrement, puisque un kilogramme de vapeur, à pression et température élevées, contient plus d'énergie utilisable sous un volume plus faible.

Dans les conditions pratiques actuelles, le rendement de la locomotive serait, théoriquement, de 20 %. En réalité, on reste loin de cette valeur, par suite des *pertes de chaleur*, du *laminage de la vapeur* dans la tuyauterie et de la *contre-pression à l'échappement*.

Si on ajoute les *pertes par rayonnement*, par les gaz chauds ou non complètement brûlés s'échappant par la cheminée, par le charbon incomplètement consumé qui tombe dans le cendrier, on arrive à un rendement inférieur à la moitié du précédent.

Enfin, en tenant compte de la quantité d'énergie nécessaire pour la propulsion de la machine elle-même, on aboutit en définitive au crochet de traction du tender à un rendement oscillant entre 3,5 et 5 %. C'est peu, évidemment.

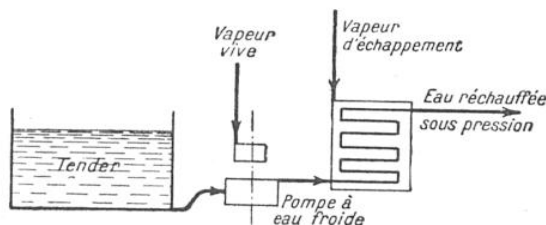
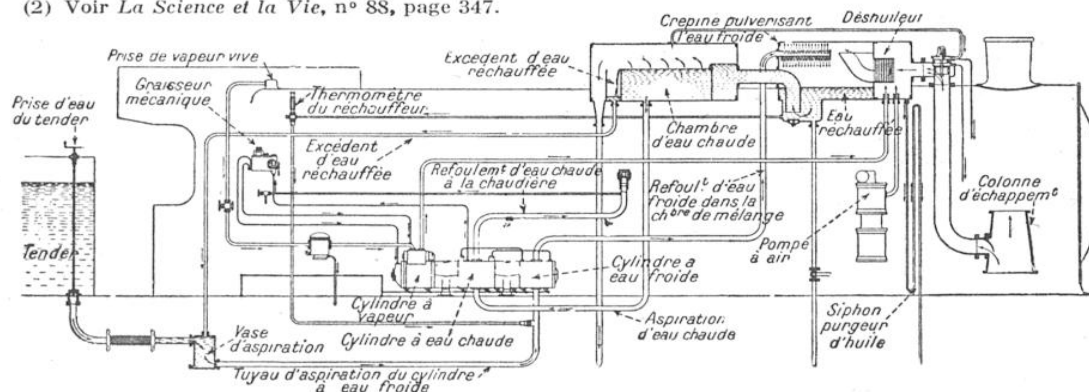


SCHÉMA DU RÉCHAUFFEUR ALLEMAND KNORR

s'échappe dans l'atmosphère, la source froide (atmosphère) est à une température assez élevée. (Sur les locomotives à turbines (2), au contraire, la présence d'un *condenseur* permet de diminuer la température de la source froide.) On peut donc agir uniquement sur la température de la source chaude,

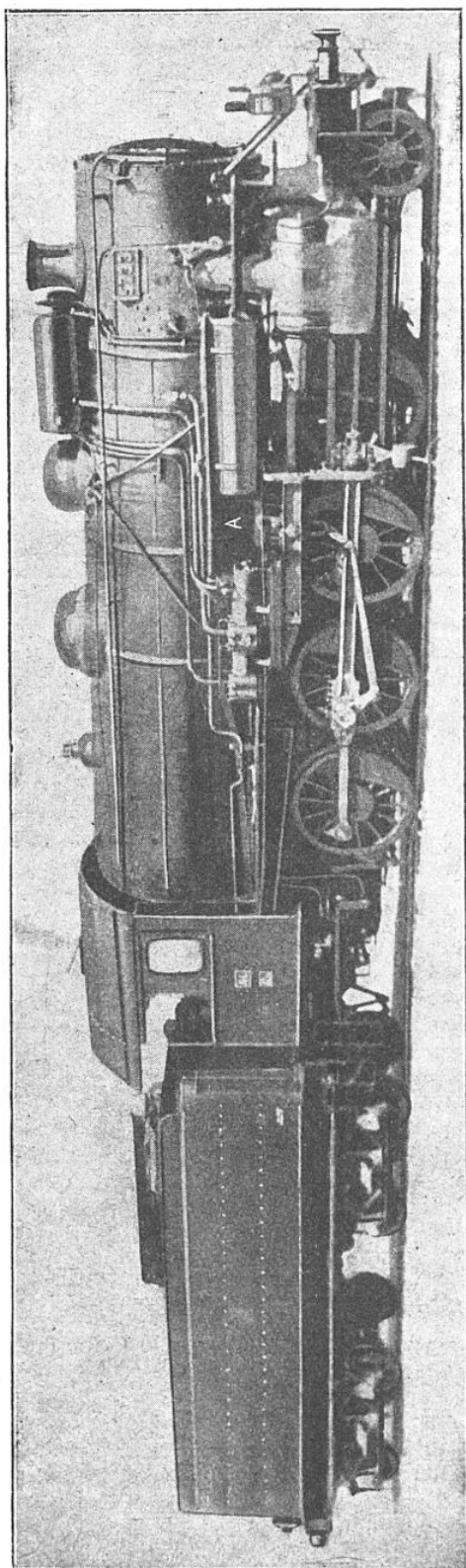
(1) La température absolue est comptée, en degrés centésimaux, à partir de 273° C au-dessous de zéro.

(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 88, page 347.



RÉCHAUFFAGE A. C. F. I. (SOCIÉTÉ L'AUXILIAIRE DES CHEMINS DE FER ET DE L'INDUSTRIE)

Cet ensemble, assez compliqué, pèse 1.500 kilogrammes. Son débit atteint 20 mètres cubes à l'heure, quand la pompe (cylindres à vapeur, à eau chaude et à eau froide) bat 50 coups à la minute. L'économie réalisée atteint, en moyenne, 11 %.



UNE DES LOCOMOTIVES « CONSOLIDATION » DE L'ALSACE-LORRAINE, ÉQUIPÉE AVEC UN RÉCHAUFFEUR A. C. F. I.
On remarque, au-dessus du tablier, en A, la pompe qui assure le réchauffage de l'eau d'alimentation.

Les récents perfectionnements apportés au système moteur

Le premier souci des ingénieurs a été de diminuer les pertes, qui ont une action si néfaste sur le rendement. Mais, comme il n'est pas possible de les supprimer, on a cherché, en outre, à récupérer la chaleur perdue.

Le premier problème a amené le *compoundage* et la *surchauffe*, le deuxième a donné naissance au *réchauffage de l'eau d'alimentation*.

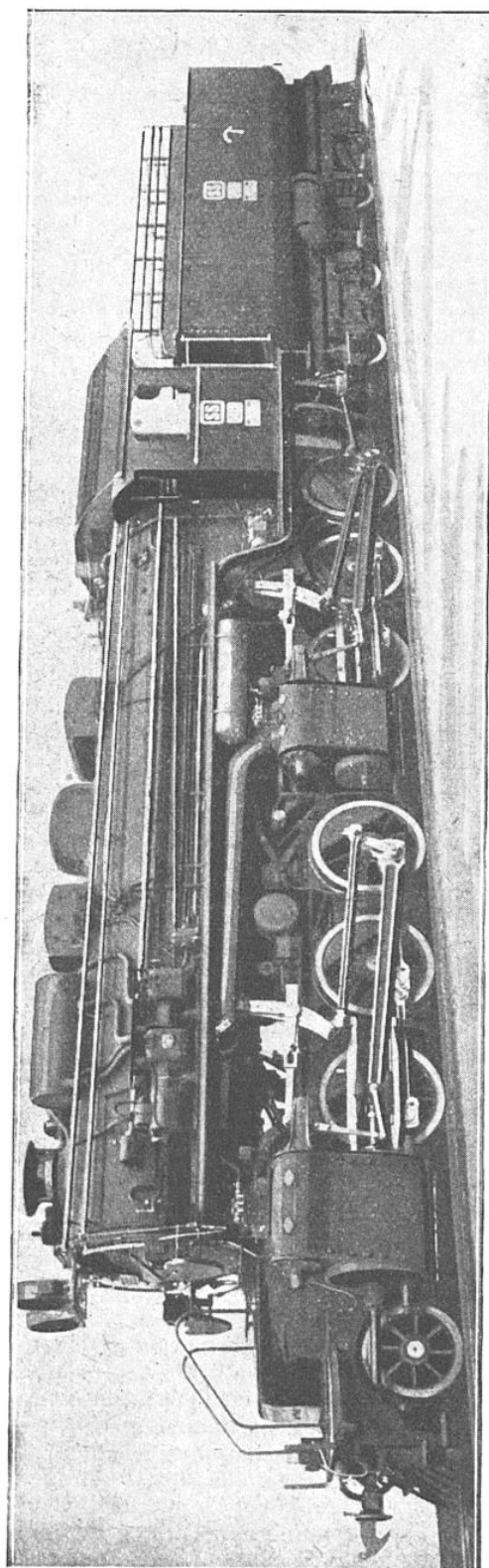
Comment le compoundage et la surchauffe ont permis d'améliorer le rendement de la locomotive à pistons

Pour utiliser au maximum la pression de la vapeur, on a cherché à la détendre le plus possible dans les cylindres. Des phénomènes de condensation limitant cette détente, on a eu recours au *compoundage*. Celui-ci consiste à utiliser la pression de la vapeur, au sortir des *cylindres haute pression* où elle a travaillé, dans des cylindres de plus grand diamètre dits à *basse pression*. La détente plus poussée, sans pour cela augmenter l'effet nuisible des parois, améliore le rendement.

La *surchauffe*, qui consiste à porter la vapeur à une température supérieure à celle correspondant à l'ébullition de l'eau sous une pression égale au timbre de la chaudière, a permis d'emmagasiner plus de calories dans un même poids de vapeur et d'éviter les condensations prématurées dans les cylindres.

L'emploi simultané de ces deux perfectionnements, déjà introduits dans la locomotive à pistons avant la guerre, est d'ailleurs toujours discuté. Le compoundage entraîne, en effet, un supplément de frottements et une complication dans la distribution, qui ne sont pas toujours contrebalancés par l'économie de combustible qu'il réalise.

Quant à la surchauffe, elle a fait l'objet d'études récentes en ce qui concerne les faisceaux tubulaires (en contact avec les gaz chauds du foyer) dans lesquels circule la vapeur, avant de se rendre aux cylindres. Ainsi, on a remarqué qu'il était plus utile de chercher à diminuer la résistance des tubes surchauffeurs au passage des gaz chauds (en effet, le surchauffeur est constitué par des tubes situés dans les tubes à fumée), plutôt que de chercher à augmenter la surface de chauffe elle-même. Actuellement, les difficultés de graissage et la résistance des



LOCOMOTIVE ARTICULÉE « MALLET », POUR TRAINS DE MARCHANDISES DES CHEMINS DE FER DES INDES NEERLANDAISES, ÉQUIPÉE AVEC UN RÉCHAUFFEUR D'EAU D'ALIMENTATION A. C. F. I.

aciers limitent la surchauffe à 400° C au maximum. L'économie de combustible qui en résulte est de l'ordre de 15 %.

L'échappement constitue une sérieuse source de pertes

La perte due aux calories emportées par la vapeur d'échappement atteint et dépasse 50 %. Comment peut-on la diminuer ?

Nous avons vu que, pour activer la combustion sur la grille, il était indispensable d'utiliser un tirage forcé. On ne peut, ici, songer à édifier une haute cheminée d'usine ! Ce tirage forcé est précisément réalisé par la vapeur qui s'échappe dans la cheminée à travers un appareil nommé *échappement*.

Pour que la vapeur s'évacue rapidement et qu'elle entraîne les fumées dans cet échappement, qui fonctionne comme une trompe à vide, elle doit posséder évidemment, à la sortie du cylindre, une certaine pression, appelée *contre-pression à l'échappement*. Le tirage se mesure par la valeur de la dépression produite par l'échappement dans la boîte à fumée située à l'avant de la locomotive.

Le problème consiste donc à trouver un dispositif d'échappement qui donne le maximum de dépression pour un minimum de contre-pression. Des expériences ont montré qu'il fallait diviser les jets de vapeur et multiplier les niveaux d'aspiration. On est arrivé ainsi à diminuer la contre-pression jusqu'à 200 grammes par centimètre carré. Comparée aux 16 kilogrammes par centimètre carré du timbre de la chaudière, cette contre-pression est bien faible, et il semble que les recherches actuelles doivent plutôt être orientées vers l'obtention du maximum de souplesse dans la marche, c'est-à-dire d'un échappement réglable qui permettrait de passer d'un taux de combustion de 200 kilogrammes de charbon par mètre carré de surface de grille, à un taux de 700 à 800 kilogrammes par mètre carré de grille. On a songé, pour cela, au turbo-ventilateur, qui sera peut-être la solution de l'avenir.

La distribution de vapeur fait toujours l'objet de nombreuses études

Dans la locomotive à pistons, comme dans toute machine à vapeur, celle-ci, après avoir passé par le *régulateur* commandé par le mécanicien, se rend dans les cylindres pour agir alternativement sur chaque face des pistons. Un organe spécial, le *tiroir*, découvre aux moments voulus les orifices d'admission et d'échappement. La vapeur à haute pression, une fois admise dans le cylindre, pousse

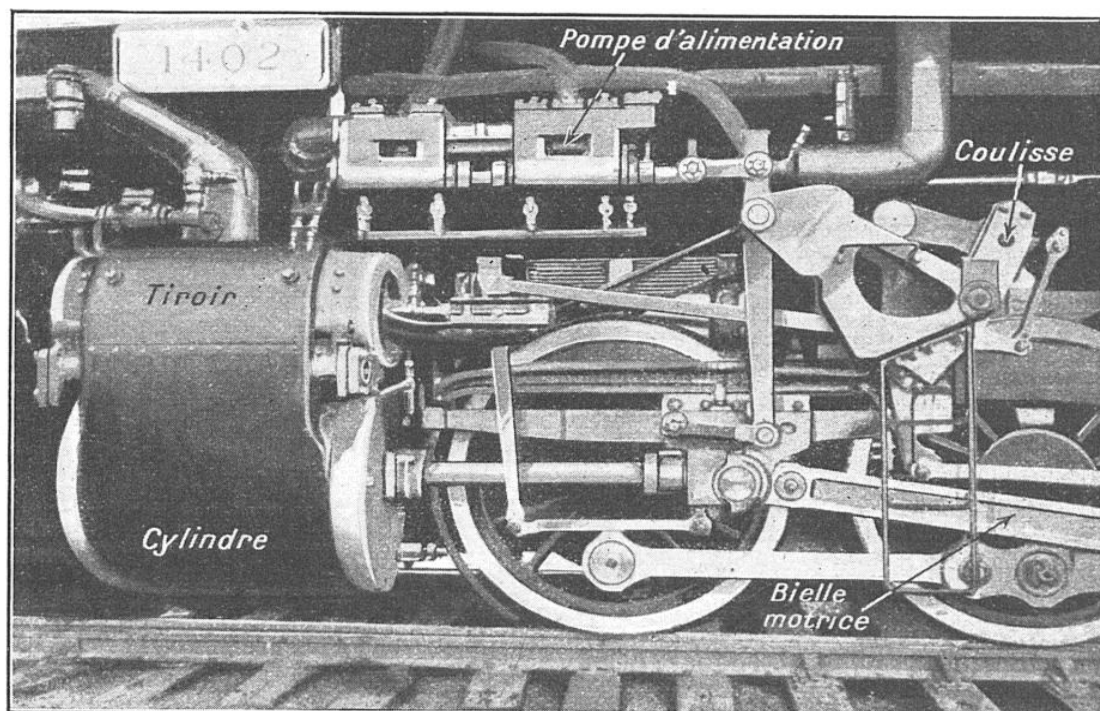
le piston et se détend jusqu'au moment où l'ouverture de l'échappement lui permet de se rendre, soit dans les cylindres basse pression (machines compound), soit dans l'atmosphère (machines à simple expansion). C'est donc le mouvement du tiroir qui règle toutes les phases de la distribution de la vapeur dans les cylindres.

A l'origine, le tiroir était simplement commandé par un excentrique calé sur un des essieux moteurs de la machine. Ainsi, le

mécanicien peut régler la détente de la vapeur suivant les circonstances et assurer la marche dans les meilleures conditions économiques possibles.

En faisant dépasser au coulisseau l'axe d'oscillation de la coulisse, tous les mouvements sont inversés, et on obtient ainsi le changement du sens de la marche de la machine.

Il ne semble pas, tout d'abord, que de grands perfectionnements puissent être



DISTRIBUTION DE VAPEUR DE LA LOCOMOTIVE AMÉRICAINE « JAMES ARCHIBALD » A HAUTE PRESSION, 35 KILOGRAMMES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ (DELAWARE AND HUDSON RAILWAY 1930)

mouvement de rotation des roues était transformé en un mouvement rectiligne alternatif. On s'aperçut bientôt que ce n'était pas suffisant. Il était, en effet, impossible, par exemple, de changer le sens de la marche.

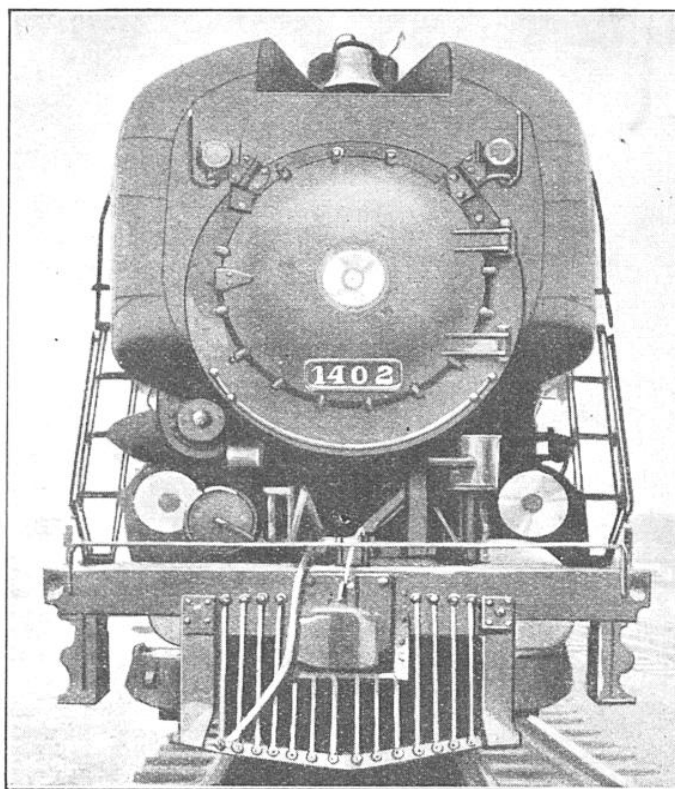
Aussi a-t-on adjoint au dispositif une pièce oscillante, appelée *coulisse*, recevant son mouvement d'une manivelle calée sur un essieu (à la place de l'excentrique). Le tiroir est, dès lors, actionné par une bielle reliée à un *coulisseau*, pouvant occuper dans la coulisse une position quelconque, plus ou moins éloignée de son axe d'oscillation. Le mouvement du tiroir peut donc prendre une amplitude variable, c'est-à-dire que, grâce au volant de changement de marche, le

attendus, en ce qui concerne cette distribution, au point de vue du rendement. Il apparaît cependant qu'il y aurait intérêt à rendre indépendantes les phases de la distribution, qui sont, en réalité, un peu plus nombreuses que celles que nous avons signalées. En effet, pour rendre la marche plus économique, on admet la vapeur un peu avant que le piston soit à fond de course (admission anticipée), d'où il résulte une certaine compression. De même, l'échappement est ouvert avant la fin de la course (échappement anticipé). De sorte que les phases de la distribution sont, en définitive : *admission, détente, échappement anticipé, échappement, compression, admission anti-*

cipée. Avec le système décrit ci-dessus, à une admission donnée correspondent des durées bien déterminées des autres phases.

Pour les rendre indépendantes, on cherche actuellement à effectuer la distribution au moyen d'un arbre à cames et de soupapes. Les diverses cames pouvant être décalées par la manœuvre du changement de marche, le mécanicien peut obtenir un réglable optimum de chaque phase.

L'économie résultant de ces dispositifs serait de 5 %.

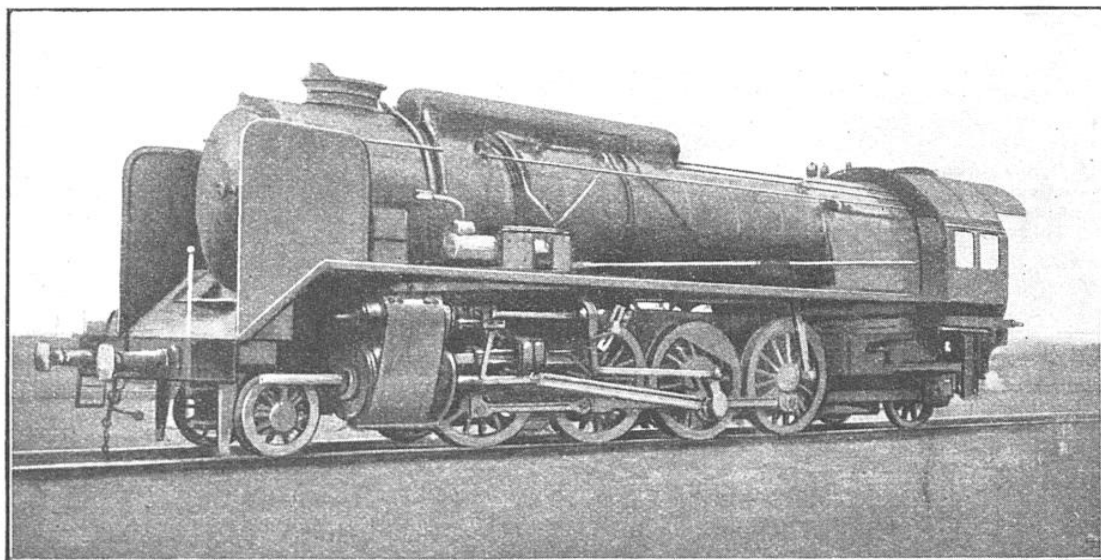


VUE AVANT DE LA LOCOMOTIVE AMÉRICAINE A HAUTE PRESSION « JAMES ARCHIBALD », TIMBRÉE A 35 KILOGRAMMES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ

L'utilisation des calories perdues améliore sensiblement le rendement de la locomotive à pistons

Nous avons vu que, par suite de l'absence de condenseur, consécutive au manque de place et à la nécessité d'augmenter le tirage dans le foyer, un nombre important de calories était perdu dans la vapeur d'échappement.

Le dernier perfectionnement apporté à la locomotive à pistons, en même temps que le plus im-



LOCOMOTIVE A VOYAGEURS « MIKADO », DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE DES CHEMINS DE FER BELGES, MUNIE A L'AVANT D'UN DISPOSITIF CONTRE LE RABATTEMENT DE LA FUMÉE (1929)

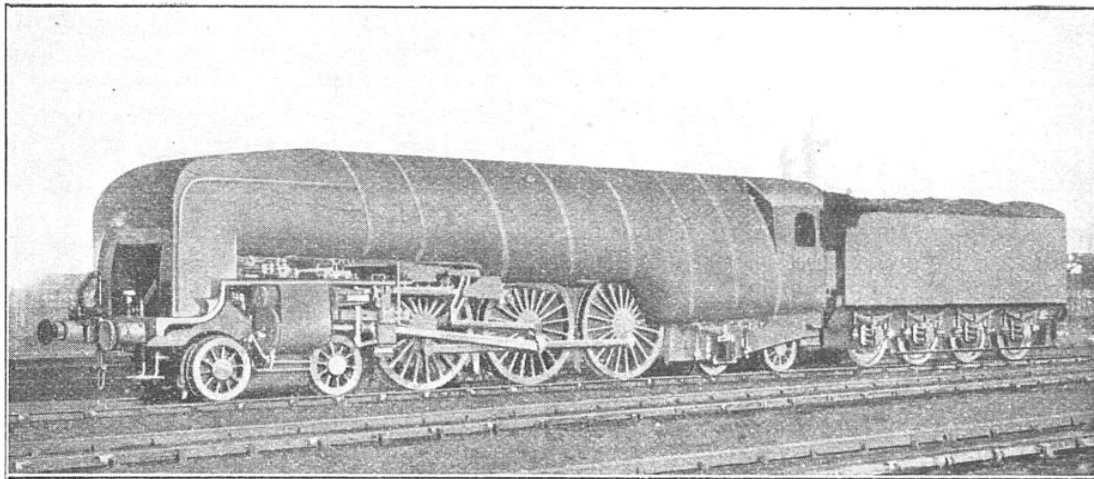
portant, puisque l'économie de combustible, qui en résulte, atteint 10 %, consiste à utiliser les calories perdues pour réchauffer l'eau d'alimentation à la température la plus élevée possible, de sorte que la chaudière n'ait à fournir que le minimum de chaleur. En fait, la température d'ébullition de l'eau à la pression de 16 kilogrammes par centimètre carré est de 200° C, et l'eau est réchauffée à 100° C environ.

Les types de réchauffeurs sont variés, mais peuvent se rattacher à deux types : les injecteurs dérivés du Giffard classique, où la va-

ment qui lui communique une nouvelle vitesse. Ainsi, on peut actuellement, avec de la vapeur d'échappement à 1 kilogramme par centimètre carré, retouler l'eau dans une chaudière à 10 kilogrammes par centimètre carré. Si la pression est plus forte, il faut ajouter un petit jet de vapeur vive.

Appareil robuste, peu encombrant, bon marché, ne nécessitant aucun entretien, ce type d'injecteur est très répandu. Plus de 20.000 sont en service dans le monde entier.

L'inconvénient de l'injecteur est qu'il ne fonctionne bien que pour un débit donné



LOCOMOTIVE ANGLAISE COMPOUND A HAUTE PRESSION (31 KG 600 PAR CENTIMÈTRE CARRÉ)
DU « LONDON AND NORTH EASTERN RAILWAY »

La boîte à fumée et les écrans qui entourent la cheminée ont été conçus de manière à rejeter vers le haut la fumée, afin de dégager le champ visuel du mécanicien. Cette locomotive, où aucun organe ne forme saillie, a été spécialement étudiée, au tunnel aérodynamique de « The City and Guilds Technical College » (Londres), pour obtenir le minimum de résistance de l'air.

peur vive est remplacée par la vapeur d'échappement, et les réchauffeurs à pompe.

Le fonctionnement de l'injecteur Giffard est fondé sur le vide produit par la condensation brusque de la vapeur par l'eau venant du tender : l'appareil fonctionne d'autant mieux que l'eau est plus froide. En se basant sur ce que la pression du mélange d'eau et de vapeur, dans le tuyau de refoulement, est plus élevée que la pression de la vapeur envoyée dans l'injecteur, on peut alimenter l'appareil avec de la vapeur à une pression moindre que celle de la chaudière, par exemple avec de la vapeur d'échappement. C'est alors qu'il devient économique. En pratique, il est constitué par une série de deux cônes de mélange où l'eau est aspirée et réchauffée. A la sortie de chaque cône, le jet reçoit un appoint de vapeur d'échappe-

ment qu'il craint le gel (1) et qu'il n'est pas réglable. De plus, pour que l'économie réalisée reste intéressante, il faut que l'appoint de vapeur vive soit exactement réglé, opération délicate. Aussi, préfère-t-on aujourd'hui, en France, le réchauffeur à pompes.

Le réchauffeur à pompes fonctionne à la manière d'un condenseur. Mais, alors que le but de ce dernier est de condenser le maximum de vapeur avec un minimum d'eau froide, le rôle du réchauffeur est d'élever le plus possible la température de l'eau d'alimentation avec le minimum de vapeur. En principe, le réchauffeur comprend donc une pompe puisant l'eau du tender, le système de réchauffage proprement dit et les arrivées de la vapeur d'échappement et de

(1) Sur le seul réseau du P.-O., 30 injecteurs ont éclaté durant l'hiver rigoureux 1928-1929.

vapeur vive. Comme pour un condenseur, le réchauffeur peut donc être à *surface* (eau circulant dans un faisceau tubulaire entouré de la vapeur) ou à *mélange* (la vapeur se condensant au sein même de la masse d'eau).

Le réchauffeur à mélange, moins lourd et moins encombrant, est le plus employé.

Voici encore d'autres perfectionnements de moindre importance

Parmi les accessoires de la locomotive qui ont été perfectionnés récemment, il faut signaler les distributeurs d'huile (Détroit). Pour les hautes surchauffes, au lieu de graisser par gouttes d'huile séparées, on envoie l'huile en émulsion dans de la vapeursaturée; il en résulte une économie d'huile, et le graissage est parfait.

L'éclairage à acétylène remplace de plus en plus l'ancienne lampe à huile.

Pour diminuer la résistance au frottement des boudins des roues contre les rails dans les courbes, on a imaginé de graisser ces boudins.

Signalons les sècheurs de vapeur, les ramoneurs de tubes à fumée, encore peu employés.

Dans le but de faciliter la vision des signaux par le mécanicien, les locomotives modernes sont munies de dispositifs rabattant la fumée et la vapeur d'échappement. Pour cela, les chemins de fer allemands utilisent des panneaux de tôle parallèles à la voie et situés de part et d'autre de la boîte à fumée. La forme de paraboloïde donnée à l'avant des locomotives Mountain du P.-L.-M. joue le même rôle. Le *carénage*

des parties saillantes (cheminées et dômes) donne également de bons résultats en évitant les tourbillons brassant la fumée. Enfin, le réseau de l'Etat a équipé deux séries de machines avec des souffleurs à vapeur, que le mécanicien met surtout en service au moment voulu et qui chassent rapidement fumée et vapeur.

De tout ce qui précède, il faut surtout retenir que le perfectionnement le plus important de la locomotive à pistons est le réchauffage de l'eau d'alimentation.

Pour réduire les frais résultant de la consommation du combustible, il semble qu'il faille orienter les recherches vers l'utilisation d'un charbon peu onéreux (lignite ou charbon à forte teneur en cendres) qu'il faut pulvériser (1), et vers l'emploi d'un moteur thermique à rendement supérieur (tendance vers les hautes pressions et les locomotives à turbines (2). Signalons aussi l'apparition des moteurs Diesel (3).

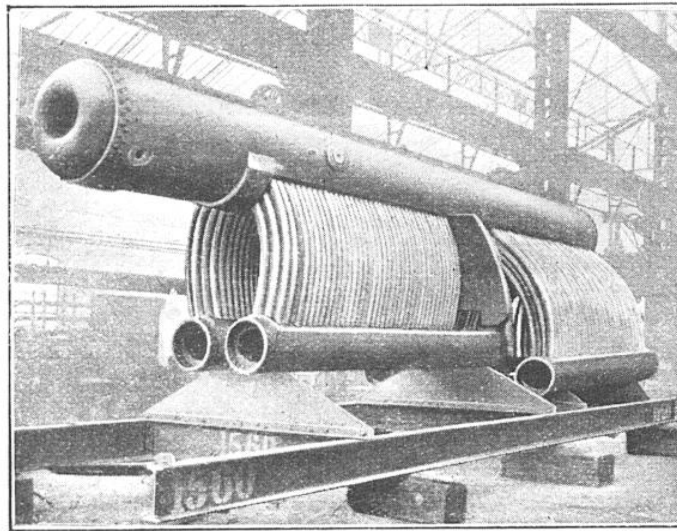
En 1931, la locomotive à pistons apparaît encore la maîtresse de l'heure comme moyen de transport sur les grands réseaux ferroviaires du monde. N'oublions pas que les progrès techniques tendent constamment vers l'économie et, qu'à ce point de vue, un gain de 5 % sur la dépense en charbon se traduit, pour notre pays, par une économie annuelle de 70 millions de francs pour nos sept grands réseaux.

JEAN MARCHAND.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 158, page 137.

(2) Voir *La Science et la Vie*, n° 88, page 347.

(3) Voir *La Science et la Vie*, n° 161, page 383.



ENSEMBLE DE LA CHAUDIÈRE DE LA LOCOMOTIVE A HAUTE PRESSION DU « LONDON AND NORTH EASTERN RAILWAY »

Au-dessus des tubes de vaporisation de l'eau, se trouvent les corps cylindriques contenant les éléments surchauffeurs de vapeur.

LA SCIENCE ET LA TECHNIQUE AU SERVICE DE LA FEMME AMÉRICAINE

L'équipement du « home » aux Etats-Unis

Par Paulette BERNÈGE

Les Etats-Unis ont été, au cours de ces dernières années, un vaste champ d'études où de nombreuses et éminentes personnalités européennes sont allées se rendre compte sur place de l'organisation industrielle extrêmement poussée, qui a assuré l'essor prodigieux de la fabrication en grande série. Mais quel est celui de ces missionnaires d'un nouveau genre qui s'est occupé de pénétrer dans le « home » de l'Américain, de savoir comment les progrès scientifiques et techniques avaient influencé le labeur quotidien de la ménagère ? Il appartenait à l'une de nos collaboratrices d'entreprendre cette enquête, pour rapporter d'Amérique une documentation précise sur les multiples appareils ménagers utilisés dans tous les milieux sociaux. Elle a su, en outre, dégager de ses observations les idées directrices qui ont favorisé le développement de la mécanique au service de la femme américaine, développement à peine ébauché en Europe.

Comment il faut concevoir la vie américaine

La vie américaine, sous toutes ses formes, privée, publique, industrielle ou commerciale, est toujours dominée par l'entreprise géante. L'âme américaine se façonne à l'ombre du gratte-ciel, comme l'âme française s'est façonnée à l'ombre des clochers de village. Voilà ce qu'il ne faut jamais oublier, lorsqu'on pense aux Etats-Unis ; la vie familiale n'échappe pas davantage à cette influence dominante ; elle est inspirée, réglée, elle aussi, par la « mass production ».

Il résulte de cette tendance généralisée une orientation bien déterminée, à savoir :

1° Les besognes ménagères tendent à s'exécuter de plus en plus en usine et de moins en moins au foyer (lessive, couture, alimentation, par exemple). L'entreprise géante (comme les abattoirs de Chicago, les moulins du Quaker Oats, la blanchisserie de Brooklyn, les grands magasins de Soers Roebuck... et bien d'autres) offre au ménage américain des produits de consommation tout prêts, exécute en grande série les besognes domestiques les plus variées.

2° La vie domestique américaine n'est pas stable ; il devient impossible de se figer dans une habitude. Le foyer américain se trouve constamment renouvelé par les inventions scientifiques, dont s'emparent immédiatement l'industrie et la finance, le commerce et la publicité, la propagande et l'éducation.

Ainsi, depuis le lancement des glacières automatiques, les modifications suivantes sont apparues dans les coutumes alimentaires : consommation plus grande de produits à base de lait, consommation plus grande de légumes verts périssables comme la laitue, généralisation presque absolue des desserts glacés. J'ai même vu la technique de la cuisine transformée, puisque certaines « kitchenettes » (1) d'appartements de luxe possèdent un réfrigérateur, mais pas de cuisinière ; la réfrigération et la conservation se substituant, dans certains cas, à l'ancienne et universelle cuisson.

3° Enfin, pour tous les travaux qui, obligatoirement, doivent s'effectuer sur place, dans le ménage, nous voyons apparaître un renouvellement complet de l'outillage, un effort de perfectionnement et d'automatisation que nous sommes loin d'égaliser.

La fabrication en grande série des appareils ménagers

Grâce à la fabrication en grande série des appareils ménagers par de puissantes entreprises, nous pouvons dire que :

a) L'outillage ménager américain est beaucoup plus unifié que le nôtre. Où que vous alliez, vous trouvez les mêmes fourneaux, les mêmes buffets, les mêmes glacières, de mêmes formes, de mêmes marques, de mêmes dimensions, de mêmes couleurs, de même prix ;

b) L'outillage ménager américain est

(1) Petites cuisines.



FIG. 1. — UNE MACHINE AMÉRICAINE À LAVER DE MÉNAGE ENTièrement ÉMAILLÉE, AUSSI BIEN À L'INTÉRIEUR QU'À L'EXTÉRIEUR

Cette machine est montée sur roulettes ; ses rouages sont complètement abrités sous la machine ; seul, le bouton de mise en marche fait saillie et se trouve à portée de la main. Ce modèle comporte, à droite, une essoreuse centrifuge.

généralement plus *luxueux* que le nôtre. De même que les chemins de fer ne possèdent ni deuxième, ni troisième classe, la formule étant « sleeping pour tous », de même les maisons américaines ne possèdent pas d'outillage de travail médiocre et bon marché, la formule étant : belles cuisines, belles salles de bains, belles buanderies pour tous ;

c) L'outillage ménager américain est, presque toujours, meilleur marché que le nôtre, à qualité égale. Le même phénomène se passe dans les fabriques d'appareils ménagers et dans les usines de Ford. Les prix sont bas, à cause des grandes séries mises en fabrication, d'une part, à cause de la standardisation des modèles, d'autre part, à cause de l'équipement et de l'organisation technique de l'usine, enfin. Une belle machine à laver, avec essoreuse et calendreuse électriques, vaut, là-bas, 3.570 francs. Il faudrait en France au moins 10.000 francs pour obtenir l'équivalent.

N'insistons pas ; il était nécessaire tout d'abord de dégager ce fait dominant : l'influence de la grosse entreprise sur la vie privée, celle-là facilitant celle-ci, grâce aux moyens puissants dont elle dispose. Cette influence peut se résumer en deux termes : la grosse entreprise fabrique de plus en plus pour la femme des objets de consommation tout prêts, supprimant les travaux domes-

tiques ; la grosse entreprise essaie de plus en plus de fabriquer un outillage ménager mécanique bien au point et d'utilisation simple.

Dans la poursuite de ces deux buts, elle vise à faciliter toujours davantage les besoins ménagères.

Vers le plus grand confort

En réalité, j'ai été beaucoup moins frappée par le nombre des nouveautés rencontrées que par les perfectionnements de l'outillage déjà connu. Voici, néanmoins, une série d'appareils qui méritent d'être signalés.

L'hygiène. — C'est peut-être le domaine de l'hygiène qu'il y a particulièrement lieu d'admirer. Les salles de bains américaines sont universellement vantées pour leur confort et leur agencement pratique.

Les caractéristiques de cette pièce peuvent se résumer comme suit :

a) La baignoire est toujours bâtie dans le mur (je n'ai rencontré, au cours d'un voyage de trois mois, que deux baignoires à pied, considérées comme de vieux modèles). La baignoire se bâtit toujours dans le mur, même dans les maisons ouvrières modestes, pour des raisons d'esthétique, mais surtout des raisons de propreté. Il n'y a plus à nettoyer le dessous de la baignoire ;

b) Les canalisations d'amenée et d'évacuation des eaux sont toujours de large diamètre, avec une pression d'eau très forte ; une baignoire se remplit en moins de deux minutes et se vide aussi rapidement. Pour prendre un bain, il ne faut jamais attendre ;

c) Le chauffage de l'eau se fait par des distributions centrales (chauffage municipal, central de l'immeuble ou simplement du bungalow) ; ma surprise a été grande de ne

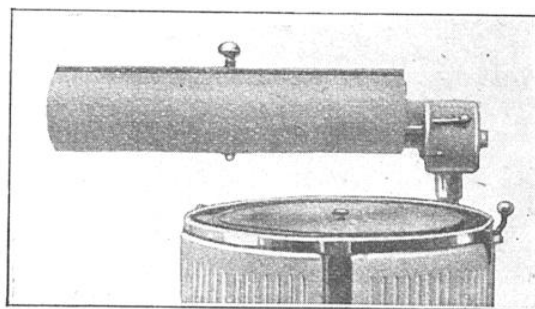


FIG. 2. — LE DERNIER « CRI » EN MATIÈRE DE MACHINE À LAVER EN AMÉRIQUE

Une petite machine à repasser se fixe sur la machine à laver, au même endroit que l'essoreuse à roulettes. Le même moteur actionne les trois appareils.

rencontrer, au cours de mes visites, *aucun* chauffe-bains (1) ;

d) Les lavabos possèdent, dans les grands immeubles, généralement trois robinets : chaud, froid, glacé. La robinetterie et sa pose — aussi bien au-dessus des lavabos que des baignoires — sont toujours telles que les nettoyages soient faciles et les astiquages de métaux supprimés. Ainsi, la

plus aisée par l'emploi général des céramiques murales.

Bref, les salles de bains ordinaires, en Amérique, ressemblent, par leur aspect extérieur, à nos salles de bains de luxe européennes, auxquelles elles ajoutent diverses commodités, en particulier les canalisations à large diamètre, la distribution d'eau chaude et d'eau glacée par centrale.

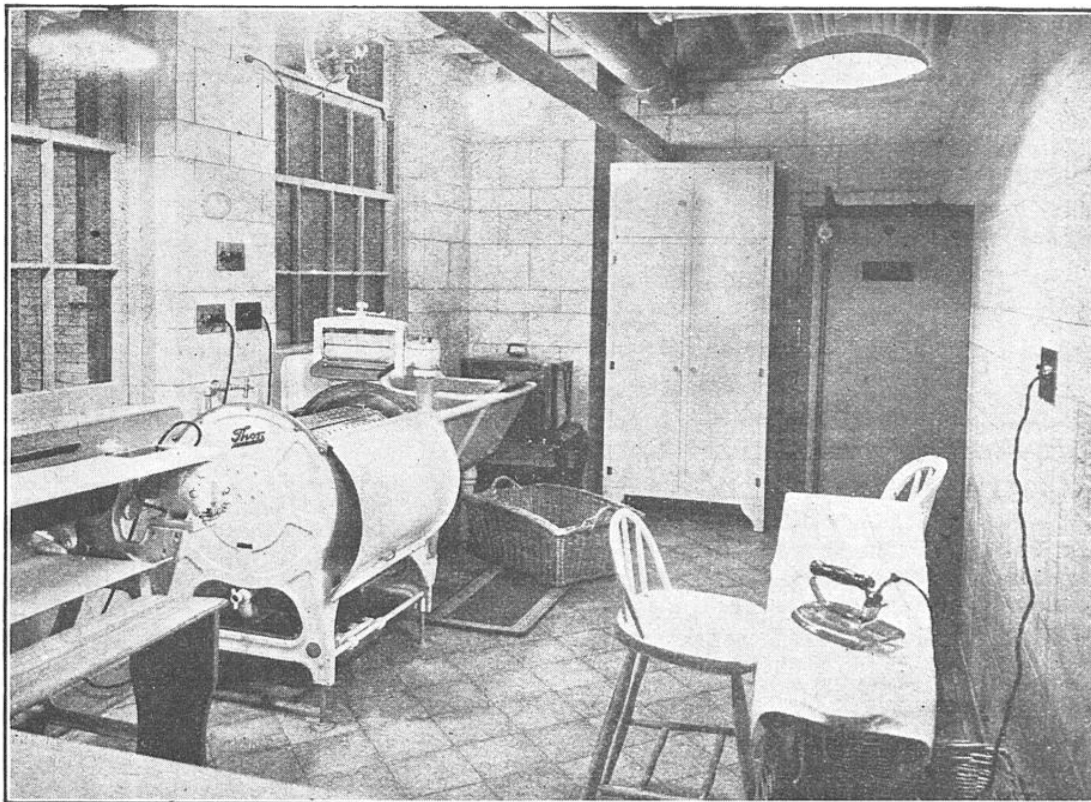


FIG. 3. — UNE BUANDERIE MODÈLE RÉCEMMENT INSTALLÉE A NEW YORK

On remarquera les prises de courant et leurs voyants lumineux. Au-dessus de la planche à repasser, un petit placard métallique, encastré dans le mur, est destiné à recevoir le fer électrique, même brûlant.

robinetterie de porcelaine semble devoir dominer le marché ;

e) Les surfaces sont lisses, planes, avec un minimum de parties en avancement ; les objets à fixer obligatoirement sur le mur sont placés en retrait : le distributeur de papier hygiénique, le porte-savon, la petite armoire à toilette et à pharmacie. On obtient, de cette manière, des pièces belles, sobres, d'une propreté facile et impeccable, rendue encore

(1) Le chauffe-bains tend à disparaître également en France dans les grandes agglomérations, au fur et à mesure de la transformation des immeubles. Déjà le chauffage urbain est à l'essai à Paris. Voir *La Science et la Vie*, n° 128, page 137.

Un petit dispositif ingénieux vu dans un hôtel de Baltimore : le chauffe-fer à friser électrique encastré dans le mur. Il suffit de passer le fer ordinaire dans l'orifice pour établir le contact et chauffer le fer.

Physiothérapie, électrothérapie, mécano-thérapie. — A côté des appareils sanitaires et les complétant, on trouve souvent, même dans des maisons de moyenne importance, toutes sortes de machines permettant les soins les plus variés. Un remarquable ensemble de ces appareils se trouve au « Health Institute » de l'hôtel Roosevelt, à New York. La salle de gymnastique comprend, en effet,

d'ingénieux dispositifs (rouleaux amincisseurs de fabrication française, cheval mécanique allemand, système italien à plan incliné mobile pour la marche sur place, système belge analogue horizontal, chaise vibratoire, bicyclette allemande pour pédaler sur place, appareils de canotage, etc.), qui permettent de conserver au corps toute sa souplesse et à l'organisme son parfait fonctionnement.

De-ci, de-là, on trouve, dans les maisons américaines bien équipées, tel ou tel de ces appareils que je viens de citer. C'est le cas de l'hôtel Roosevelt, où ils sont tous groupés.

Les machines à laver ont acquis une remarquable perfection

Il est difficile d'indiquer la situation exacte de l'Amérique en matière de machines à laver. Il semble possible, néanmoins, de dire que les États-Unis ont manifesté des tendances diverses. Il y a vingt ans, les grandes villes confiaient leur blanchissage à des blanchisseries, qui devaient, je suppose, ressembler à nos blanchisseries provinciales. Puis vint la mode des machines à laver à domicile ; tout le monde, même en ville, voulut avoir son appareil. Les anciennes blanchisseries, perdant leur clientèle, fournirent alors un effort énorme de redressement, pour arriver, de nos jours, à des installations remarquables. Et, de nouveau, nous assistons à l'heure actuelle à un revirement de l'opinion ; les populations urbaines recommencent à confier leur linge au blanchisseur, plus avantageux, et dont les ser-

vices, remarquablement organisés, répondent absolument aux besoins de l'époque.

Nous croyons donc pouvoir affirmer que les machines à laver domestiques sont surtout utilisées dans les campagnes.

Quelles sont les caractéristiques de ces machines, qui nous paraissent différer, à tous points de vue, de nos modèles français ?

a) *L'aspect extérieur et les matières employées.* — Les différences sont saisissantes ; plus de bois et jamais de galvanisé ; toutes les machines que j'ai rencontrées dans les écoles, les magasins, les expositions, les maisons particulières, sont parfois en cuivre, ou en nickel, mais, généralement, maintenant émaillées. L'intérieur et l'extérieur sont émaillés, presque toujours en blanc, quelquefois en vert clair ; ces émaux, cuits à très haute température, sont pratiquement incassables. Grâce à eux, les machines sont propres et belles. Je ne connais pas un seul modèle français qui puisse leur être comparé ;

b) *Le principe de fonctionnement* diffère également. Le type français, à tambour, se trouve encore aux États-Unis, mais tend à disparaître. Il se conserve seulement dans les machines de

blanchisserie industrielle. Les modèles de ménage qui prédominent et triomphent possèdent, dans le bas de la cuve, des palettes tournantes, mues d'un mouvement de va-et-vient. Généralement, ces palettes peuvent être réglées sur deux vitesses : l'une, rapide, pour le gros linge très sale ; l'autre, lente, pour le linge délicat, les bas de soie, le linge de femme et les dentelles ;

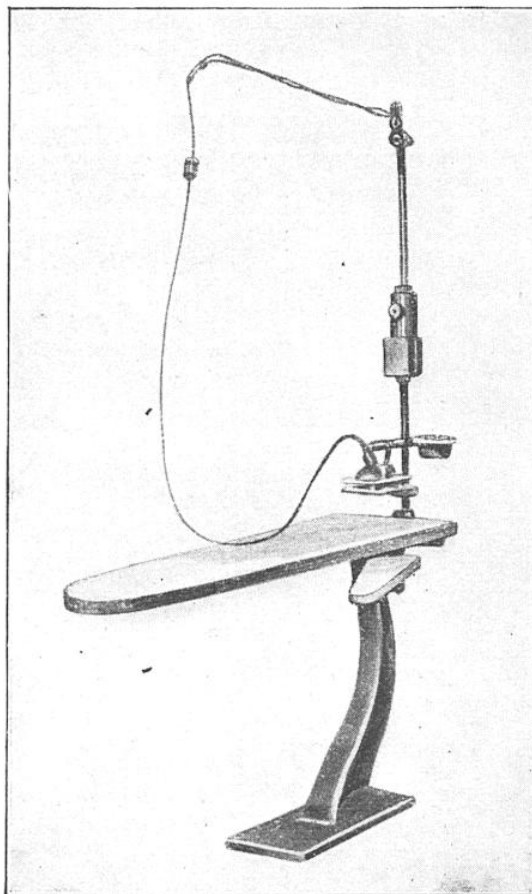


FIG. 4. — UNE PLANCHE À REPASSER AMÉRICAINE PARTICULIÈREMENT BIEN COMPRISE
Grande et petite jeannettes ; repose-fer suspendu au-dessus de la planche, de manière à ne pas restreindre la surface de travail ; petit godet contenant de l'eau amidonnée pour humecter le linge ; commutateur à portée de la main. Le fil électrique est maintenu vertical par deux bras métalliques, de manière à ne jamais gêner les mouvements de l'opératrice. (American Laundry Machinery.)

c) *Cuire ou ne pas cuire.* — L'ébullition est-elle indispensable pour obtenir une bonne lessive ? Les Américaines, en cela, sont d'un avis opposé au nôtre. Jamais, en Amérique, le linge ne bout dans une machine à laver ; celle-ci se fait toujours sans brûleur ni chauffage. Il y a à cela plusieurs raisons. D'abord, la femme américaine, presque toujours, possède l'eau chaude au robinet ; il lui suffit d'amener cette eau dans la machine à l'aide d'un tuyau de caoutchouc ; il est donc tout à fait inutile de prévoir de brûleur sous la machine à laver pour chauffer les eaux de lessive.

Nous assistons ici à un enchaînement de causes très curieux : grâce à la machine à laver, qui fait la lessive sans donner de

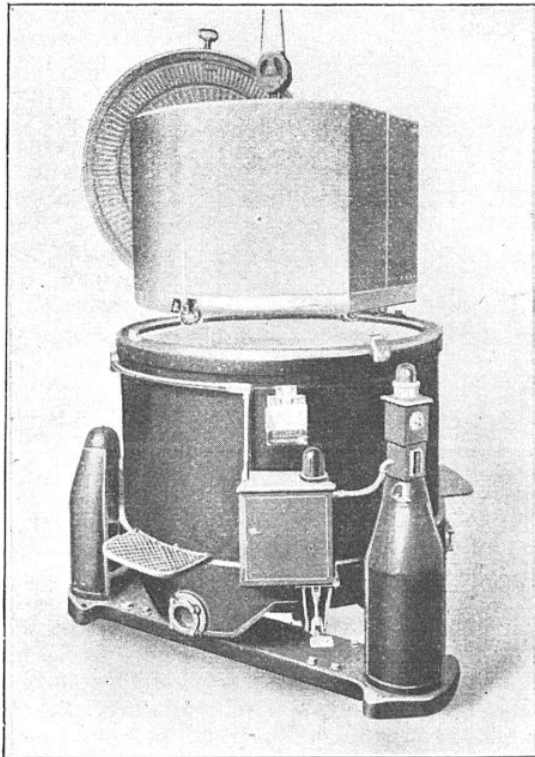


FIG. 5. — UNE ESSOREUSE CENTRIFUGE DE HAUTE PUISSANCE, DERNIER TYPE

Le panier intérieur s'enlève avec une poulie ; monté sur roulettes, il sert de corbeille transporteuse après l'essorage. Grâce au soin apporté à la préservation des mécanismes, les accidents sont impossibles.

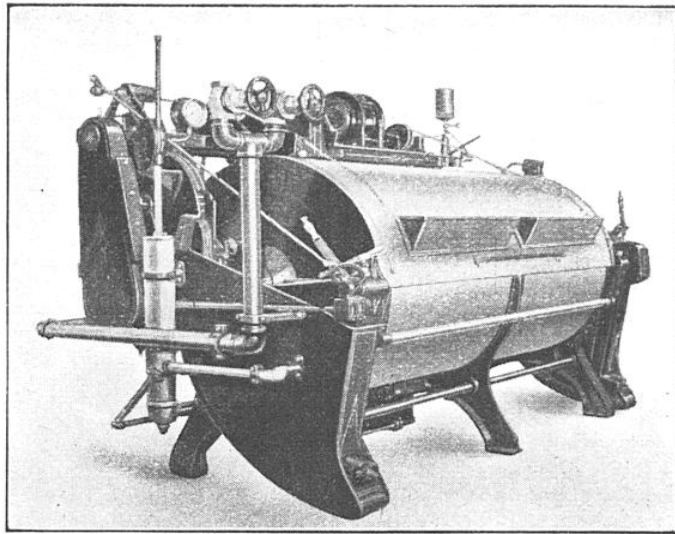


FIG. 6. — MACHINE À LAVER POUR GRANDE BLANCHISSERIE

Les tambours sont en métal « monel » (1) ; tous les rouages sont abrités sous des carter protecteurs. Ces appareils, très complexes, sont entièrement automatiques, s'arrêtent, repartent, se vident, se remplissent jusqu'à dix fois en soixante minutes, mécaniquement. (American Laundry Machinery.)

peine, la femme américaine change constamment de linge ; elle est encouragée à faire porter par les siens, à porter elle-même et à utiliser dans sa maison un linge impeccable. La propreté est ainsi l'œuvre de la machine, en très grande partie, et, d'autre part, le linge n'étant jamais très sali s'accommode fort bien de n'être pas lessivé à l'ébullition.

d) *Le mécanisme.* — Je dois ajouter que toutes les machines sont maintenant électriques ; je n'ai pas vu, au cours de tout mon voyage, un seul modèle à main ; de plus, les rouages sont toujours abrités, placés généralement sous la cuve ; seul le commutateur se trouve à portée de la main (fig. 1). Peu de trépidation et, aussi, peu de bruit. Bref, on a l'impression très nette que ces appareils ne sont pas des objets de bazar, mais ont fait l'objet, dans les moindres détails, d'études sérieuses pour les établir ;

e) *Essorage, calendrage.* — L'essorage et le calendrage sont mal étudiés chez nous. Sauf dans le cas de buanderie importante, on ne rencontre, en France, que les vieux modèles américains d'essoreuses à rouleaux, tournant à la main. Quant aux calendreuse familiales, elles n'existent pour ainsi dire pas du tout.

En Amérique, chaque machine à laver

(1) Alliage de nickel (67 %), de cuivre (30 %), de manganèse (2 %) et de fer (1 %).

possède son essoreuse *électrique* à rouleaux, à moins qu'elle ne possède une essoreuse centrifuge faisant corps avec elle (fig. 1). Les calendreuses de ménage sont fréquentes. La dernière nouveauté groupe les trois appareils en un seul : machine à laver, essoreuse et calendreuse (fig. 2).

Cet ensemble remarquable vaut environ 3.750 francs (un mois et demi de salaire d'une sténo-dactylographe new yorkaise !);

f) *Quelques détails.* — Nous avons remarqué, comme nouveautés, un casier métallique dans le mur, destiné à recevoir le fer électrique, même chaud ; des prises de courant munies d'un voyant rouge pour attirer l'attention, empêcher les oublis de débranchement (fig. 3) ; quelques modèles de planches à repasser parfaitement combinées pour l'aisance du travail (fig. 4).

Dans les appareils industriels surtout, nous observons une recherche de détails étonnante (fig. 5 et 6).

L'aménagement rationnel de la cuisine

Les remarques que nous venons de faire sur les buanderies, s'appliquent exactement aux cuisines américaines : pas de camelote, pas de matières brutes bon marché, pas d'équipement primitif (carrelages, émaux, aciers chromés, laques épaisses, appareils mécaniques, systèmes de régulation). Je n'ai pas aperçu un seul buffet de cuisine en

bois blanc, un seul fourneau en fonte noire ; tous les meubles sont livrés « finis », c'est-à-dire laqués et les cuisinières sont émaillées. Comme disait un humoriste, Maurice Ponthière : « Mettre du charbon dans son fourneau équivaut à sucrer son café avec une betterave. » Les

Américains ne commettent plus de ces erreurs grossières ; le charbon a disparu des cuisines ; seuls sont employés le gaz, l'électricité et le pétrole.

Quelques détails intéressants, notés au cours de mes visites : des bouteilles à gaz sous pression sont employées dans les maisons de campagne et permettent, malgré l'isolement, d'avoir le gaz chez soi. Ces bouteilles, au nombre de deux, sont renouvelées au fur et à mesure que l'une d'elles est vide ; on ne se trouve jamais démuní.

Les cuisinières de tous modèles ont fait l'objet de recherches remarquables. Alors que les régulateurs de température de four sont encore regardés chez nous comme des curiosités, ces perfectionnements sont déjà répandus aux Etats-Unis. Les émaillages, les isolants, les robinets, en un mot tous les détails, ont été soumis à un examen attentif ; ainsi trouve-t-on des robinets de sûreté, pour les cuisinières à gaz, en prévision des accidents surtout causés par les enfants ; ainsi trouve-t-on des cuisinières à gaz dans lesquelles la pression de la vapeur, au moment de l'ébullition des



FIG. 7. — UN COURS SCIENTIFIQUE DE CUISINE PRATIQUE A LA COMPAGNIE DU GAZ DE CHICAGO

Mrs Peterson, chef du Service d'Education, fait une démonstration de la nouvelle « cuisinière-glacière ». Dans le bas du bloc, la glacière ; dans la partie supérieure, la cuisinière. Les deux sont, paraît-il, parfaitement isolées. Cet ensemble est destiné aux minuscules appartements disposant de peu de place, mais désirant, néanmoins, avoir tous les comforts.

liquides contenus dans les récipients, réduit la flamme du gaz ; ainsi, automatiquement, dès qu'une marmite bout, la consommation de combustible est-elle diminuée.

Je n'insiste pas sur les réfrigérateurs, maintenant bien connus en France (1) ; je confirme seulement le fait que ces appareils, considérés ici comme des outils de luxe, sont couramment employés aux États-Unis, même par des employés ou des ouvriers. La dernière nouveauté, en la matière, pour les « kitchenettes »,

(1) Au dernier Salon des Arts Ménagers de Paris, de nombreux réfrigérateurs (la plupart d'origine américaine) ont démontré que ces appareils s'implantent également en France. Malheureusement, leur prix fort élevé ne les met pas encore à la portée de toutes les bourses. Nous aurons, du reste, ultérieurement l'occasion d'étudier tout spécialement ces appareils et d'en décrire les différents systèmes, en mettant en valeur leurs avantages particuliers.

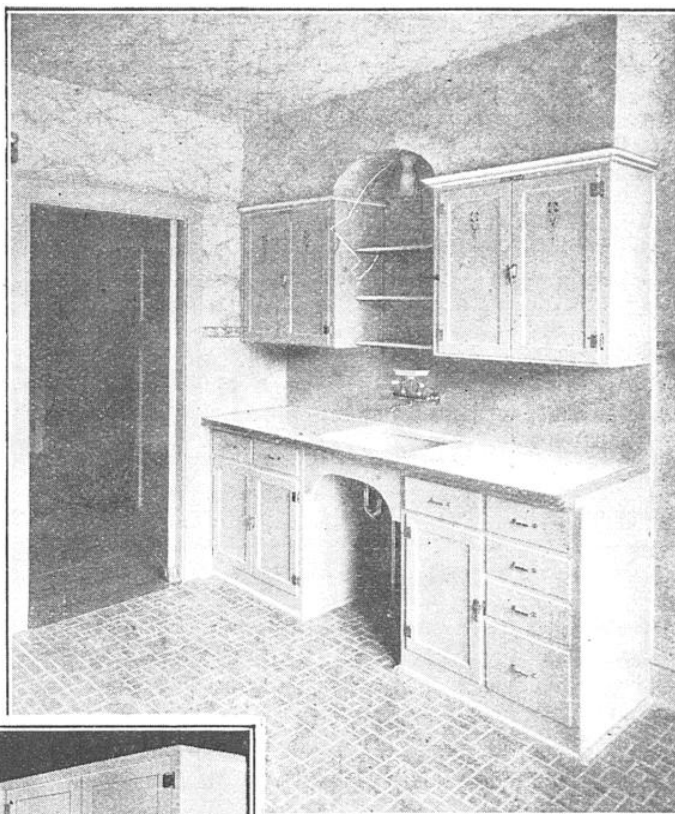


FIG. 9. — ÉVIER AMÉRICAIN ENCASTRÉ SOUS UNE TABLE ÉMAILLÉE DE PRÈS DE 3 MÈTRES DE LONGUEUR (modèle Napanee)

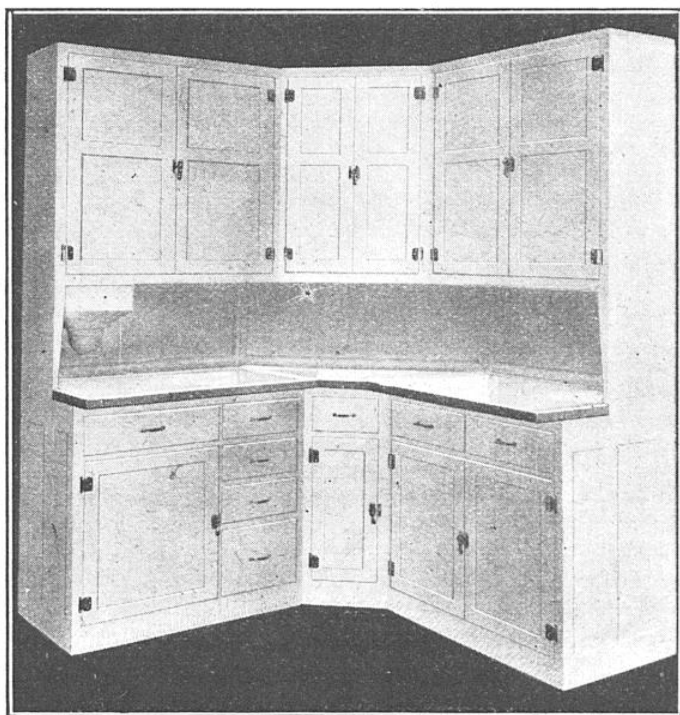


FIG. 8. — CE MEUBLE D'ANGLE DE CUISINE EST TRÈS PRATIQUE POUR UTILISER AU MAXIMUM UNE PLACE RESTREINTE. On remarque, à hauteur de la main, les tables de travail recouvertes d'émail (modèle Napanee).

consiste à grouper, en un même bloc émaillé blanc, la glacière dans le bas, la cuisinière au-dessus ; les deux étant parfaitement isolés, il n'en résulte, paraît-il, aucune diminution de rendement pour le réfrigérateur (fig. 7).

Les éviers sont également magnifiques ; de même que les émaux de couleur sont en vogue pour les salles de bains, de même la couleur triomphe à la cuisine. On trouve des éviers vert d'eau, mauves, bleu clair, ocrés. Les modèles de luxe possèdent, formant corps avec eux, une machine à laver la vaisselle, dont, seules, les manettes chromées débordent de la porcelaine. Il n'est pas rare de trouver des éviers encastrés dans des tables émaillées de trois mètres de long, en une seule

pièce, c'est-à-dire s'étendant sur toute une face de la cuisine (fig. 9). En voyant de pareils ensembles, lisses, unis, sans fentes ni rebords, on comprend comment les cuisines américaines peuvent être si facilement propres et belles.

La robinetterie elle-même est ingénieuse ; les robinets d'eau chaude et froide sont généralement munis d'un bec mélangeur ; on obtient ainsi de l'eau courante à la température désirée.

Sous l'évier, on aperçoit divers modèles de poubelles automatiques s'ouvrant avec le pied ; un modèle plus nouveau consiste en un petit seau en porcelaine blanche, contenant un second seau en aluminium ; le premier est fixe, le deuxième s'enlève pour le vidage des épluchures. Les deux sont accrochés au siphonnage de l'évier par un ressort extensible et pivotant. On tire le seau à soi au moment de l'utilisation, on le repousse ensuite, il reste toujours suspendu et toujours à portée de la main.

Il y aurait beaucoup à dire sur l'aména-

gement des buffets ; la tendance actuelle consiste, semble-t-il, à recouvrir le mur entier, du plafond jusqu'au sol, par des placards bâtis ; on ne perd pas de place et on obtient ainsi une belle surface lisse, sans encoignures, ni dessous, ni dessus, nids à poussière constants (fig. 8).

Parmi le petit outillage culinaire, nous avons remarqué, outre le cuiseur à œufs électrique, déjà vieux d'une année, de petits batteurs à moteur fort pratiques pour battre la pâte, les œufs, la mayonnaise, des « mixers » divers, des extracteurs de jus de fruits.

En terminant cette enquête sur place, il est juste de reconnaître que, si l'Amérique a conquis le premier rang dans la fabrication en série d'un outillage de luxe destiné à l'équipement du « home », c'est aux laboratoires officiels et à l'industrie privée qu'elle le doit — laboratoires dans lesquels s'effectuent de patientes recherches, de méthodiques essais, de minutieuses mises au point, un rigoureux contrôle, avant de le livrer à l'usager.

P. BERNÈGE.

LES MOTEURS A COMBUSTION INTERNE PEUVENT ÊTRE AUSSI ALIMENTÉS AUX HUILES VÉGÉTALES

EN général, les produits pétrolifères ont été, jusqu'ici, presque exclusivement employés à l'alimentation des moteurs à combustion interne (Diesel ou semi-Diesel).

Ces résidus pétrolifères sont beaucoup plus économiques que l'essence, mais ils présentent l'inconvénient, pour la France, d'être aussi importés de l'étranger.

C'est l'une des raisons pour lesquelles on a cherché à utiliser les huiles végétales, que l'on trouve abondamment dans de nombreuses régions et, en particulier, dans le domaine colonial français.

Il y a là un problème économique et technique de la plus haute importance, puisque la France ne possède pas de pétrole, ou si peu, et qu'au contraire, sur ses territoires d'outre-mer, la culture des plantes oléagineuses est particulièrement féconde.

Parmi celles-ci, nous citerons, en premier lieu, les huiles d'arachide et, ensuite, celles de palme et de ricin.

Les techniciens poursuivent donc leurs recherches pour l'utilisation, dans les moteurs à combustion interne de puissances variées, de l'huile d'arachide en particulier.

Ces huiles sont d'excellents combustibles,

surtout pour les moteurs qui tournent à une vitesse moyenne. Il y a lieu, par contre, de leur faire subir, au préalable, un réchauffage avant l'injection, de façon à ce qu'après avoir traversé les filtres et les divers organes d'alimentation, elles acquièrent une fluidité suffisante.

Actuellement, pour l'huile d'arachide, on cherche même à supprimer ce réchauffage préalable et à l'injecter directement dans les moteurs à combustion interne, après filtration.

Au point de vue technique, il est intéressant de constater que les modifications à faire subir à un moteur à combustion interne, alimenté aux produits pétrolifères, pour la substitution des huiles végétales, sont minimales.

Ce sont des questions de pression et de vitesse qui interviennent ; mais, d'ores et déjà, on peut dire, sans exagération, que les huiles végétales sont appelées à jouer un rôle de premier plan dans les moteurs industriels.

L'avenir nous dira si la France peut ainsi, dans une certaine mesure, s'affranchir, pour sa force motrice, de l'exclusivité du pétrole étranger.

VERS LE DÉVELOPPEMENT DU TOURISME AÉRIEN EN FRANCE

Par José LE BOUCHER

Le récent Tour de France, accompli par vingt-quatre avions de tourisme, vient de démontrer les intéressants progrès accomplis dans l'établissement d'appareils à la fois légers, de pilotage facile, mus par des moteurs de puissance réduite. Plus de deux cent cinquante avions de tourisme ont déjà été acquis par des particuliers en France, grâce à la prime d'achat créée par le ministère de l'Air. (On sait que le ministère prend à sa charge la moitié du prix d'achat.) Les terrains d'atterrissage existent également nombreux chez nous. L'aviation de tourisme ne peut donc manquer de se développer rapidement. Les études aérodynamiques en cours, tant dans le but d'améliorer la finesse et la sécurité des avions que de diminuer encore la puissance des moteurs et, par conséquent, la consommation en carburant, aboutiront sans doute, dans un avenir prochain, à la construction d'appareils vraiment pratiques, à la portée de tous. Au début de l'automobile, quelques enthousiastes seuls se risquaient à conduire le véhicule mécanique, et, cependant, quelque dix ans plus tard, le nombre des « autos » dans le monde dépassait trente millions ! L'avion, lui aussi, fera ses adeptes.

LE tourisme aérien, peut-on dire, n'existait pas en France, il y a trois ans à peine. En effet, bien rares étaient, à cette époque, les propriétaires d'avions particuliers, alors qu'en Angleterre, à la même date, le touriste de l'air n'était déjà plus un phénomène exceptionnel. Or, à l'heure actuelle, deux cent cinquante avions particuliers environ sont en mesure de sillonner le ciel de France. Quelle est la cause de cette généralisation spontanée ? Indiscutablement, l'initiative prise par le ministère de l'Air de créer ce qu'on appelle la prime d'achat. Le futur propriétaire d'un avion de tourisme peut s'adresser au ministère, qui, après examen de sa demande, prend à sa charge la moitié du prix d'achat de l'avion. Un crédit de 12 millions figure, à cet effet, dans le budget du ministère de l'Air.

Cette initiative a donc été couronnée de succès, puisqu'elle a réellement créé quelque chose là où il n'y avait rien. Elle était indispensable, sans doute, pour donner chez nous à l'aviation de tourisme un essor plus difficile à prendre qu'en Angleterre. Pourquoi ? Tout d'abord, parce que le chiffre des grosses fortunes, en Angleterre, est supérieur à celui des fortunes équivalentes en France. Il fallait donc déclencher le mouvement en aidant une clientèle possible. Chercher cette clientèle, c'était, d'autre part, inciter indirectement les constructeurs à s'intéresser à créer l'avion de tourisme. Mais cette mesure, qui peut être excellente au début d'une ère nouvelle, devra disparaître

un jour, sans quoi cela risquerait de fausser tout le problème de l'aviation de tourisme. En effet, les prix n'auront pas tendance à baisser, comme on l'espère et comme il faut le souhaiter, si le constructeur a l'assurance que l'Etat prendra toujours par devers lui la moitié du prix d'achat. Grâce à la prime, il est normal de voir un particulier, aujourd'hui, payer 33.000 francs un petit biplace de sport équipé d'un excellent moteur de 95-100 ch ; 33.000 francs, n'est-ce pas bier modeste comme prix, en 1931, pour une semblable machine ? 33.000 ! mais c'est le prix d'une voiture de série classique !

Et 66.000, d'autre part, si l'on fait abstraction de la générosité de l'Etat, n'est-ce pas un peu trop élevé ? Tout au moins si le prix du brevet, de l'apprentissage n'est pas compris dans ce chiffre.

On se doute bien que l'Etat, en prenant sa part des frais d'achat d'un avion, n'a pas obéi au simple désir de constituer en France une catégorie de privilégiés appelés à goûter les joies du tourisme aérien.

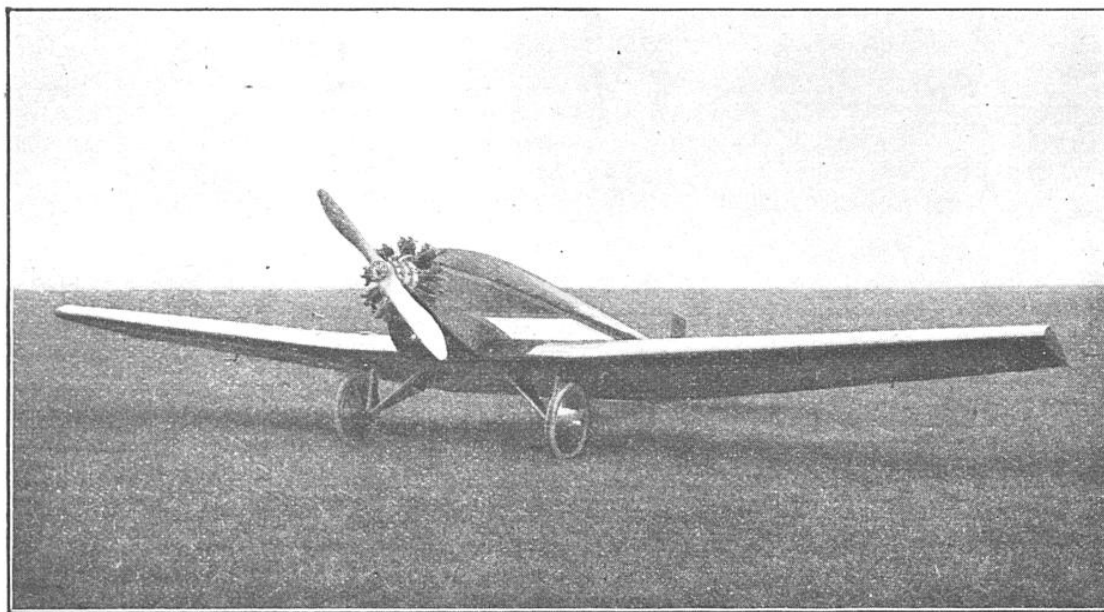
Tous ces touristes pourraient-ils, du jour au lendemain, être mis au volant ou au manche de n'importe quel appareil militaire ? Nous ne le croyons pas. La qualité essentielle d'un avion de tourisme doit être la facilité de son pilotage. C'est le type de machine qui doit pouvoir être mis dans les mains du plus grand nombre. Il n'en est pas de même de l'avion de combat, qui doit, avant tout, répondre à sa destination militaire.

En outre, le tourisme aérien développera chez ceux qui le pratiquent une science beaucoup plus longue à acquérir que la science du pilotage : celle de la navigation. Quelle que soit la machine utilisée, cette science est toujours ardue et complexe. Un bon touriste de l'air deviendra, par la pratique répétée du vol, à peu près à coup sûr, un bon navigateur.

Il est bien plus difficile de trouver un petit terrain d'atterrissage qu'un grand aérodrome, une bourgade qu'une grande ville. Or, le vrai touriste s'écartera nécessairement

ciable aux qualités qu'on est en droit d'exiger d'un avion de tourisme.

Avant d'examiner quelles sont ces qualités, il faut noter que le développement de l'aviation de tourisme peut constituer une nouvelle source de richesses, analogue à celle que l'on doit à l'automobile. Certaines régions françaises, le Midi en particulier, offrent de si admirables possibilités au tourisme aérien, en raison des conditions météorologiques qui dominent dans cette contrée, qu'il n'est pas insensé de voir dans l'utilisation de l'aviation touristique et de l'aviation



AVION DE TOURISME « FARMAN 230 », ÉQUIPÉ AVEC UN MOTEUR SALMSON

des grandes lignes aériennes ; il perdra de vue la ligne de chemin de fer ou la route nationale, si commodes à suivre pour se rendre d'un centre à un autre, mais si parfaitement inutiles quand il y a des nuages ou quand l'itinéraire n'épouse pas l'un de ces fils conducteurs disposés sur la terre par la main de l'homme.

Il peut donc y avoir un bénéfice essentiellement national à tirer de la prime d'achat créée par le ministère de l'Air. En tout cas, ce qui est certain, c'est que cette prime a stimulé les acheteurs et les constructeurs. L'Angleterre eut le monopole, durant quelques années, du petit avion de tourisme, avec une machine sortie de l'usine de Havi-land, le *Moth*. Mais, en quelques années, toute une floraison d'appareils s'est levée en France, qui répondent déjà de façon appré-

utilitaire le prolongement naturel de l'auto et de l'autocar. Si la Riviera française est idéale à parcourir par les routes de corniche, le survol de la côte de Toulon à Monte-Carlo ne le cède en rien par la beauté du spectacle qui s'étale sous les yeux des touristes de l'air.

Enfin, troisième point à considérer, le développement de l'aviation de tourisme est de nature à faciliter le recrutement plus large des personnels *de toutes catégories*, si nécessaire à nos formations militaires, en généralisant et en éduquant « le sens de l'air ».

Les terrains d'atterrissage ne sont pas assez nombreux en France

L'avion de tourisme vient à son heure en France. En effet, il devait être normalement

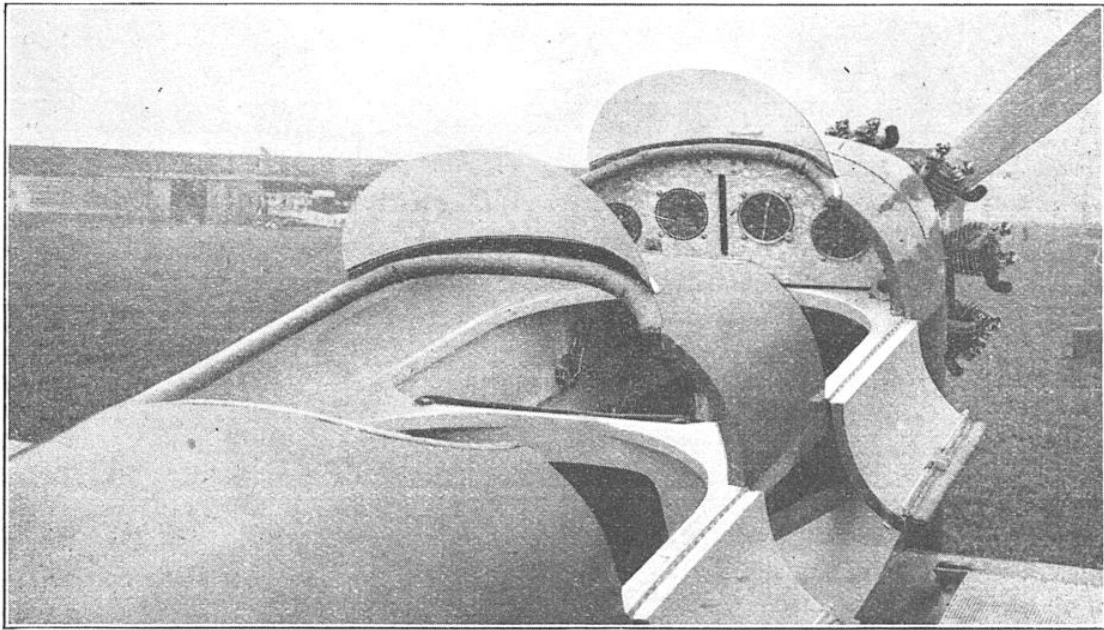
précédé d'une organisation minutieuse de l'infrastructure

Or, les terrains, petits et grands, aménagés par les soins du ministère de l'Air ou des Chambres de commerce, ou des deux réunis, sont, à l'heure actuelle, en nombre tel — deux cents environ — que la possibilité de se poser un peu partout en France, dans des conditions normales, existe déjà. Ils ne sont cependant pas encore assez nombreux, il en faudrait cinq cents environ; de plus, il reste, dans certains cas, à les aménager de telle façon que le touriste de l'air y trouve aisé-

sager une carte au millionième ou à plus grande échelle.

Le tourisme aérien exige des appareils légers et sûrs

Ils sont nombreux déjà, les types d'avions de tourisme offerts aux amateurs. On a pu voir, au dernier Salon de l'Aéronautique qui s'est tenu à Paris, de nombreux spécimens d'appareils adaptés, de façon appréciable, à leur véritable destination. Plusieurs classes se distinguaient déjà. L'avion de grand tourisme, représenté en particulier par les



POSTE DE PILOTAGE DU « FARMAN 230 », ÉQUIPÉ AVEC UN MOTEUR RENAULT

ment des facilités pour gagner la ville la plus proche ou pour se ravitailler en combustible.

A cet égard, il faut souhaiter que soit réalisée au plus vite une carte aérienne de la France, analogue à celles, si nombreuses, si variées et si complètes, que connaissent bien les automobilistes. Bien entendu, le principe de cette carte devrait s'inspirer de la vision très particulière qu'offre l'avion. Il faut permettre l'identification rapide de la région survolée. La convention internationale du 13 octobre 1919 prévoyait l'emploi de repères portant des références numériques et graphiques reportées sur la carte. L'idée, bonne en soi, n'a pas encore, croyons-nous, été réalisée, même partiellement.

L'échelle de cette carte soulève également un certain nombre de problèmes. Suivant le genre de voyages accomplis, on peut envi-

Farman, types 190 (230 ch) et 200, à moteur Salmson de 120 ch. Ce sont déjà là de fortes machines, susceptibles d'emmener trois personnes à bord et d'entreprendre de très grands voyages.

A titre d'exemple, donnons les caractéristiques du Farman, type 200, afin que le lecteur se rende compte des lignes générales actuelles d'un appareil dit de grand tourisme.

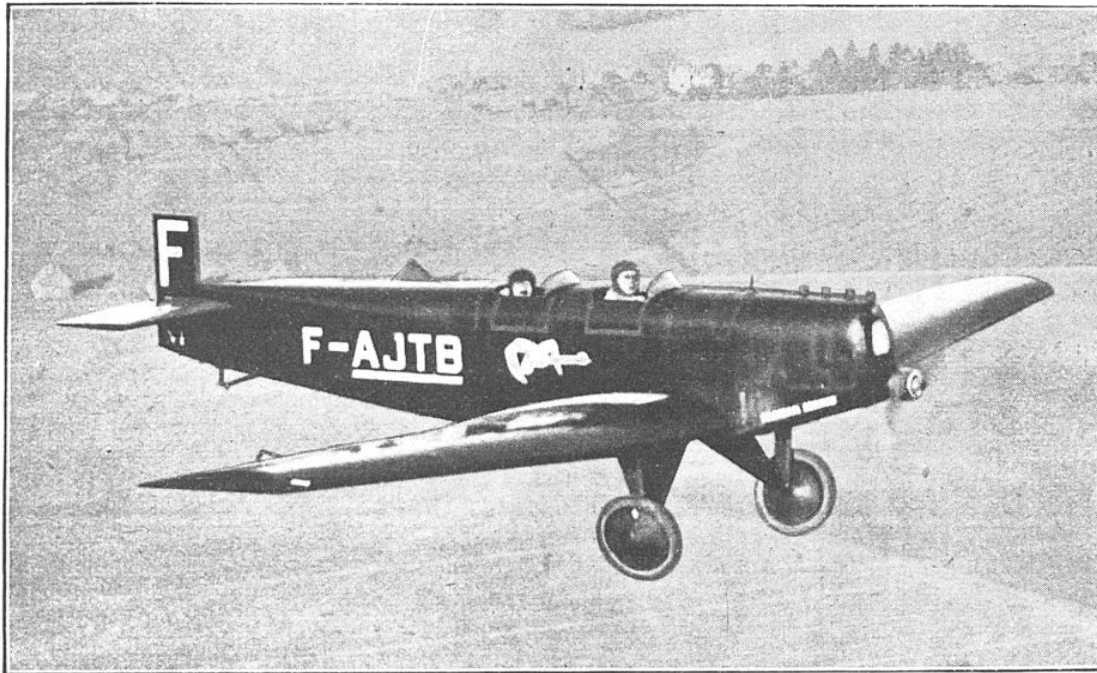
Le poids à vide de la machine est de 587 kilogrammes; l'essence (140 litres) intervient dans le poids général pour 115 kilogrammes; l'huile pour 14 kilogrammes; l'équipage pour 160 kilogrammes; les aménagements pour 16 kilogrammes; le chargement utile pour 108 kilogrammes.

L'ensemble du poids total maximum représente 1.000 kilogrammes. Des instruments

de bord bien éclairés facilitent le pilotage. Le ou les passagers sont confortablement installés ; une porte, placée sur le côté gauche du fuselage, permet l'accès facile de la carlingue. Un coffre à bagages, très pratique et fermant à clé, est disposé à l'arrière de la carlingue. Disons, enfin, que deux sièges, le troisième étant un strapontin, sont prévus pour recevoir des parachutes-sièges.

On trouve à bord les accessoires normaux, tels qu'extincteurs, démarreurs. Tel quel, le

lacets imposés par divers facteurs atmosphériques (grains) ou naturels (obstacles), a été de 110 kilomètres à l'heure, pour une navigation à l'altitude moyenne de 600 à 1.000 mètres et un régime moteur presque toujours maintenu à 1.500 tours, alors qu'il peut atteindre 1.800 tours. La consommation d'essence, soigneusement mesurée, a varié de 31 à 34 litres à l'heure. Il est dommage que la même vérification n'ait pu être faite pour l'huile, en raison de projections d'huile dues au manque d'étan-



LE « FARMAN 231 » (MOTEUR RENAULT) EN PLEIN VOL

Farman 200 représente assez bien le type spécifique actuel de l'appareil de grand tourisme.

Voyon maintenant ce que dépense un appareil semblable. On dispose, à cet égard, d'une base sérieuse. C'est sur une machine de cette nature que le commandant Hebrard et M. Maurice Kalon entreprirent un tour de France organisé par le comité français de propagande aéronautique. Suivant un horaire arrêté à l'avance, les deux aviateurs ont parcouru toutes les régions françaises, s'arrêtant dans la plupart des grandes villes. Il ont totalisé ainsi 43 h 9 m de vol, parcouru 4.500 kilomètres, atterri vingt-sept fois, dont vingt-quatre sur des terrains différents et une fois en campagne.

La vitesse commerciale réalisée, compte tenu de l'envol, de l'atterrissage et des

chété des portes de visite situées à l'arrière du moteur et, peut-être aussi, de l'absence d'un radiateur d'huile qui en eût diminué la fluidité. Il est facile pour les constructeurs de remédier à cet inconvénient.

Certes, la dépense de 31 à 34 litres d'essence à l'heure est appréciable ; mais il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit, en l'espèce, d'un appareil de grand tourisme de 1.000 kilogrammes et d'un moteur de 120 ch. Les voitures dites de grand tourisme, qui brûlent leurs 30 et 36 litres aux 100 kilomètres et *non pas à l'heure*, ne sont-elles pas nombreuses ?

Beaucoup plus économique est le monoplan *Farman 230*, par exemple, équipé d'un 95-100 ch Renault, dont nous reproduisons la photographie. Avec cet appareil,

les regrettés Lallouette et Jean de Permangle allèrent d'une traite de Paris à Villa-Cisneros, dans le Rio del Oro, aux confins de la Mauritanie. C'est assez dire le formidable rayon d'action de cette petite machine. Ce même type d'avion, muni d'un 40 ch, a fait 163 kilomètres dans l'heure.

France-Mauritanie sans escale, 163 kilomètres à l'heure, ces deux caractéristiques ne montrent-elles pas assez les qualités de l'appareil ? Elles les montrent trop, à notre

représenté à l'heure actuelle par les petits *Farman 230* et *231*.

Potez, avec son 36 à bec de sécurité, Caudron, Morane-Saulnier, d'autres encore, ont établi des appareils de tourisme qui ont chacun leurs qualités propres. C'est ainsi que le *Potez 36*, muni d'un moteur 95-100 ch Renault, représente, croyons-nous, l'appareil qui convient admirablement au débutant. La fente fixe (1) disposée en avant de l'aile supérieure, en augmentant



AVION « POTEZ », TYPE 36 ÉQUIPÉ D'UN MOTEUR RENAULT DE 95 CHEVAUX

sens. Ces qualités sont trop poussées. Un avion de tourisme ne doit pas être une machine à « battre des records », ni un appareil de grand raid. Or, on conviendra que relier d'un seul bond la France à la Mauritanie dépasse quelque peu les bornes du tourisme. Ces qualités ne peuvent exister qu'au préjudice d'autres qualités, celles-là plus indispensables au bon avion de tourisme, à notre avis : la facilité du pilotage (ce qui implique des vitesses d'atterrissage très réduites), la résistance aux chocs, afin de pardonner les maladresses du touriste, qui exige un train d'atterrissage particulièrement solide.

Et c'est ainsi qu'on est appelé à distinguer dès maintenant une nouvelle classe d'appareils de tourisme : l'avion de sport, fort bien

la sustentation de l'appareil aux grands angles, tolère les gaffes du plus maladroit des touristes.

Dans le cas du *Potez 36*, la sécurité, facteur essentiel du tourisme aérien, est portée à un haut degré de perfection. La disposition des passagers, logés dans une cabine intérieure confortable, représente une deuxième qualité qu'on doit exiger de l'avion de promenade.

Les avantages dus à l'emploi de la fente fixe, appelée « bec de sécurité », de la conduite intérieure, se payent, évidemment. L'augmentation de trainée, force nuisible, qui résulte de l'ouverture permanente de la fente, diminue la vitesse dans des proportions appréciables.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 170, page 139

ciables, 5 % aux dires des constructeurs intéressés, 10 % selon les services techniques. Est-ce trop payer le surcroît de sécurité dont bénéficie le propriétaire d'un avion, désireux de se promener simplement, sans autre considération. Nous ne le croyons pas. L'avion de tourisme doit être *sûr, rapide, confortable et solide*. Ajoutons qu'en raison des multiples plans d'eau existant en France, l'avion de tourisme idéal devrait être amphibie, tel le *Schreck*, qui a vivement intéressé les visiteurs du dernier Salon.

rissage maladroit, il faut tenir compte des frais occasionnés au touriste de l'air par les réparations. Dans ce dessein, il faut lui épargner les risques de casse.

Comment doit être conçu le moteur d'un avion de tourisme

Mais alors la question des poids, si primordiale en matière d'aviation, intervient. Faire solide équivaut encore, à l'heure actuelle, à faire lourd. Or, faire lourd, c'est imposer à la machine un gros moteur, qui



AVION « CAUDRON C. 270 », ÉQUIPÉ D'UN MOTEUR SALMSON DE 95 CHEVAUX

Le pilotage doit être aisé

Le point le plus délicat du pilotage, et qui demeurera vraisemblablement toujours ainsi, est l'atterrissage. Or, le touriste de l'air n'est pas et ne doit pas être, par définition, un as du pilotage, mais, au contraire, un pilote moyen, très moyen. Il importe donc que son appareil tolère ses gaffes en l'air — d'où nécessité des voilures auto-stables, aptes à résister aux dangers de perte de vitesse, grâce aux systèmes maintenant connus et dont l'efficacité est vérifiée, tels que fente, girouettes, avertisseurs — et aussi les gaffes au sol, d'où nécessité d'avoir un train d'atterrissage particulièrement solide, afin de résister aux atterrissages ratés sans céder. Outre les dangers que peut présenter un atter-

justement ne doit pas être en matière d'aviation touristique, puisqu'il convient de mettre l'avion à la portée du plus grand nombre de bourses. De nos jours, la puissance courante pour un avion de tourisme biplace oscille entre 80 et 100 ch. C'est beaucoup. C'est un axiome en aviation qu'il faut disposer de plus de puissance que de moins ; mais cet axiome, dans l'état actuel de la construction en matière d'avion de tourisme, retarde l'abaissement qu'on est en droit d'attendre dans les prix d'achat et de revient. Sans tomber dans les exagérations des partisans de l'avionnette mue par un moteur équivalent à celui d'une motocyclette courante, on peut espérer que l'avion de tourisme biplace de demain n'exigera pas plus de 60 ch, sans que le pilote ait jamais besoin d'utiliser

cette puissance totale. Ajoutons qu'à notre avis le moteur type devrait être un six cylindres au moins, afin qu'une bougie défaillante (par exemple un mauvais contact), accident dont les automobiles elles-mêmes ne sont pas exemptes, n'oblige pas à un atterrissage *immédiat*, mais permette au pilote de prolonger son vol jusqu'au plus prochain aérodrome, ou tout au moins, pour ne pas demander trop, lui permette de choisir un terrain sans être dans la nécessité de se poser *n'importe où et n'importe comment*

cheurs de l'avion de promenade doivent avant tout opérer, mais sur la diminution des résistances passives de la cellule.

L'avenir de l'avion de tourisme est lié d'abord à une diminution progressive et rationnelle des résistances à l'avancement et, subsidiairement, à une augmentation de la puissance spécifique du moteur.

Au delà d'une certaine valeur, au contraire, l'avenir de l'avion de vitesse est uniformément représenté par une augmentation de puissance, les résistances à l'avancement



AVION MORANE-SAULNIER « MOTH », ÉQUIPÉ D UN MOTEUR GIPSY 100 CHEVAUX

Ce moteur, bien entendu, devrait comporter le double allumage, afin de diminuer encore les mêmes risques de panne que présentent un encrassement de bougies ou autres incidents de cette nature.

Ce type de moteur existe-t-il ? Le récent Tour de France, accompli par vingt-quatre appareils de tourisme, sur lesquels vingt et un sont parvenus à bon port, tend à démontrer que, dès maintenant, nous disposons de moteurs de 90-100 ch intéressants. Il faut faire mieux ; il faut abaisser le nombre de chevaux-moteurs et obtenir, cependant, les mêmes résultats techniques. Comment faire ? Une solution se présente immédiatement à l'esprit : la finesse aérodynamique.

Ce n'est pas sur l'augmentation de la puissance spécifique du moteur que les cher-

devenant subsidiaires. Les hydravions de la Coupe Schneider, avec leurs haubans multiples, leurs flotteurs, ne sont pas des appareils d'une finesse aérodynamique surprenante. En revanche, ils possèdent des moteurs d'une puissance spécifique effarante et d'une légèreté remarquable. De même, les automobiles de course d'un Segrave, d'un Kaye Don, mettent en jeu de très grosses *puissances*, nous ne dirons pas spécifiques, car la question de poids n'intervient pas ici (au contraire, en raison de l'adhérence qu'il est nécessaire d'obtenir), mais la finesse de la machine, c'est-à-dire son aptitude à vaincre la résistance à l'avancement, est tout à fait subsidiaire.

Cette comparaison n'a pas, évidemment, de valeur intrinsèque ; car, comme chacun le

sait, la loi générale qui ordonne que la résistance croisse comme le carré de la vitesse, bien que valable pour tous les engins, se complique, dans le cas de l'automobile, des résistances dues au roulage. Toutefois, on met en évidence cette vérité que l'avion de tourisme doit chercher une amélioration de son rendement, non dans l'augmentation de sa puissance, mais dans l'amélioration de sa finesse aérodynamique, ou, en d'autres termes, qu'il ne doit pas chercher à vaincre les résistances par sa force, mais à diminuer les résistances qui s'offrent à lui.

Quelques constructeurs français semblent,

Charge par mètre carré	35 kg	500
Charge par cheval	12 kg	900
Puissance par mètre carré	2 ch	7
Vitesse maximum au sol	155 km/h	
Vitesse minimum	65 km/h	
Vitesse de croisière	135 km/h	
Plafond	4.500 mètres	
Rayon d'action	500 km	

Il saute aux yeux que les 35 kilogrammes au mètre carré de surface et les 13 kilogrammes par cheval font de l'avion de tourisme Mauboussin un avion un peu chargé, un peu délicat à piloter, bien que les écarts de vitesse annoncés soient très intéressants ;



HYDRAVION-AMPHIBIE « SCHRECK-F. B. A. », TYPE 310

d'ailleurs, avoir adopté ce point de vue.

L'avion léger *Mauboussin M-XI*, biplace de grand tourisme, à moteur Salmson AD-9 de 40 chevaux, est l'un des types d'appareils où la finesse aérodynamique a été particulièrement étudiée. Il est intéressant à ce titre de donner ses caractéristiques générales :

Envergure totale	11 m	750
Profondeur maximum de l'aile	1 m	600
Longueur totale	5 m	500
Hauteur totale	2 m	860
Surface portante	14 m	600
Puissance nominale : 1 moteur Salmson AD 9 de 40 chevaux.		

Poids à vide	320 kg
Poids du combustible	45 kg
Poids de l'équipage	150 kg

Poids total 515 kg

mais, surtout, il ressort de ces chiffres que la machine présente une finesse aérodynamique inusitée pour un avion de tourisme.

Quand on aura réussi à lier cette finesse à la sécurité provenant d'une voilure autostable munie des dispositifs de sécurité les plus appropriés pour lutter contre la perte de vitesse ; quand on aura ajouté à ces deux conditions : finesse et sécurité, les qualités de confort nécessaires, silence du moteur, sièges bien appropriés, démarreur de bord, frein sur roues permettant de partir et d'atterrir sur des terrains réduits ; enfin, des prix intéressants, tout au moins pour les pièces de rechange et l'achat d'un moteur solide, simple et sûr, la silhouette de l'avion de tourisme aura pris son caractère général et permanent. On l'entrevoit dès maintenant.

J. LE BOUCHER.

OUTILLAGE GÉANT POUR CHANTIERS GÉANTS

Par Fr.-Ch. DONDI

Au fur et à mesure que la construction moderne, par son importance comme par sa rapidité d'exécution, a progressé avec le développement des industries mécaniques, elle a fait appel à celles-ci pour substituer le plus possible la machine à la main-d'œuvre humaine. C'est ainsi que l'on utilise aujourd'hui couramment des pelles mécaniques enlevant jusqu'à 15 mètres cubes de matériaux d'un seul coup. De même, le « dragline » — sorte de benne racleuse perfectionnée — évacue jusqu'à près de 500 mètres cubes à l'heure. Les excavateurs à godets, de plus en plus nombreux, de plus en plus puissants, creusent à des profondeurs atteignant 30 mètres, enlevant 1.000 mètres cubes à l'heure, ce qui représente le travail de 1.000 terrassiers environ, en supposant que ceux-ci ne se gênent point dans leurs mouvements. Ces quelques exemples suffisent à montrer quelle importance l'outillage mécanique tient maintenant dans les travaux publics. Pour réaliser ce matériel ultra-moderne, il a fallu non seulement concevoir des dispositifs mécaniques fort ingénieux et à grand rendement, mais encore utiliser dans leur construction les métaux les plus durs et les plus résistants, afin de prolonger le plus possible la « vie » de ces appareils soumis à des efforts énormes. C'est ainsi que les aciers spéciaux que nous livre aujourd'hui couramment la sidérurgie moderne ont retardé notablement l'usure de tous ces appareils de terrassement. D'autre part, l'emploi de la chenille, ou « caterpillar », permet — depuis peu — à ce puissant outillage de se déplacer relativement avec aisance et a autorisé des accroissements de poids jusqu'à interdits. En effet, ce système fort ingénieux de la bande de roulement, employé déjà pour les tracteurs sur terrains variés, facilite considérablement la mobilité de ces machines pesant plus de 25 tonnes. Ce gros outillage est — comme l'on sait — propulsé, soit par moteur à explosion par essence, soit par moteur Diesel à huile lourde. Cet aménagement mécanique est le véritable titan des travaux modernes, et le chantier de construction d'aujourd'hui, équipé d'après les derniers progrès de la technique, est une sorte de synthèse de la manipulation mécanique substituée à la manipulation humaine. Le cerveau reprend tous ses droits. Il est, en somme, l'instigateur qui anime tout ce système, et cela lui suffit.

LA mécanique, qui règne en souveraine dans toutes les branches de l'industrie, s'est également imposée dans le domaine des entreprises de construction. Il en résulte que si, d'un côté, l'introduction des machines a permis une diminution générale des prix de revient, elle a mis, en même temps, les entrepreneurs dans la possibilité de mieux utiliser la main-d'œuvre dont ils disposent.

Avant d'établir le type d'installation mécanique le plus adapté au travail à exécuter, il faut avoir une conception nette du travail même. En général, chaque chantier exige des travaux élémentaires qui se suivent dans un ordre différent, suivant l'importance et le genre de l'ouvrage à construire.

Lorsque les plans ont été établis sur le papier, après l'examen géologique de la conformation des roches, on peut effectuer le tracé topographique exact sur le terrain.

L'emplacement se trouve ainsi délimité

avec des piquets de bois. C'est dans cette zone qu'on exécute le travail préalable d'excavation pour l'établissement des fondations.

La pelle mécanique se prête aux travaux les plus variés

Jadis, on employait des terrassiers pour ce travail. Le faible rayon d'action d'un terrassier, qui ne peut lancer le contenu de sa pelle à plus de 3 ou 4 mètres horizontalement, à plus de 1 m 60 ou 2 mètres verticalement, la lenteur excessive et la dépense assez importante qu'exige l'excavation manuelle, ont fait abandonner complètement ce système. On a recours, maintenant, aux excavateurs mécaniques, fonctionnant soit à la vapeur, soit électriquement, soit enfin par des combinaisons de moteurs à explosions ou de moteurs Diesel avec des machines électriques. Dans ce cas, les commandes sont essentiellement électriques, des moteurs indépendants effectuant les mouvements de levage, de rota-

tion et servant même au déplacement d'ensemble de l'engin. Le moteur à essence ou à huile lourde est connecté à une dynamo qui fournit l'énergie électrique pour tout l'excavateur.

Il existe aujourd'hui des types différents d'excavateurs, employés pour tous les travaux.

C'est parmi ceux-ci que l'entrepreneur devra choisir l'appareil qui correspond le

autres travaux de lourde excavation. Enfin, les plus gros modèles sont des unités tournantes, servant surtout à déblayer les couches de stériles dans les mines à ciel ouvert et les mines de charbon en particulier.

L'excavateur petit modèle, très mobile et très souple, est construit comme un véhicule moderne à chenilles pour se déplacer sur des terrains de n'importe quelle nature. Il en existe également sur châssis spéciaux, pour



PELLE DRAGUEUSE DIESEL-ÉLECTRIQUE DE 1 MÈTRE CUBE, SERVANT A L'ÉTABLISSEMENT D'UNE PISTE, AUX ÉTATS-UNIS

mieux au travail qu'il doit mener à bien.

La *pelle mécanique* peut convenir aussi bien dans les terrains lourds et rocheux que dans le gravier ou dans l'argile. La capacité du godet de la pelle est extrêmement variable. Les plus petits tiennent un demi-mètre cube et les plus grands jusqu'à 10 mètres cubes et plus. Jusque vers 1 m³, on les utilise pour le travail général d'excavation, tel qu'on le pratique dans les villes pour la construction des immeubles, pour le tracé de routes nouvelles, dans les carrières de sable, de gravier, etc. Entre 1 m³ 5 et 3 mètres cubes, ces pelles trouvent leur meilleure application dans les carrières, les mines et

rouler sur rails, le reste de la construction demeurant identique.

Les plus perfectionnés de ces types sont à un seul moteur. Un seul mécanicien suffit pour en régler la marche. Les moteurs actionnant les excavateurs de ce type ont des puissances comprises entre 40 et 70 ch, selon la capacité de la pelle.

Pour effectuer des virages avec ces machines dont le poids est compris entre 9.000 et 25.000 kilogrammes, on bloque, pendant le fonctionnement, une des chenilles (celle qui se trouve du côté intérieur de la courbe que l'on doit décrire).

Si les chenilles sont commandées par un

seul mouvement principal, on a recours au différentiel, semblable à celui des ponts arrière des autos, pour augmenter ou diminuer la vitesse d'une des chenilles par rapport à l'autre.

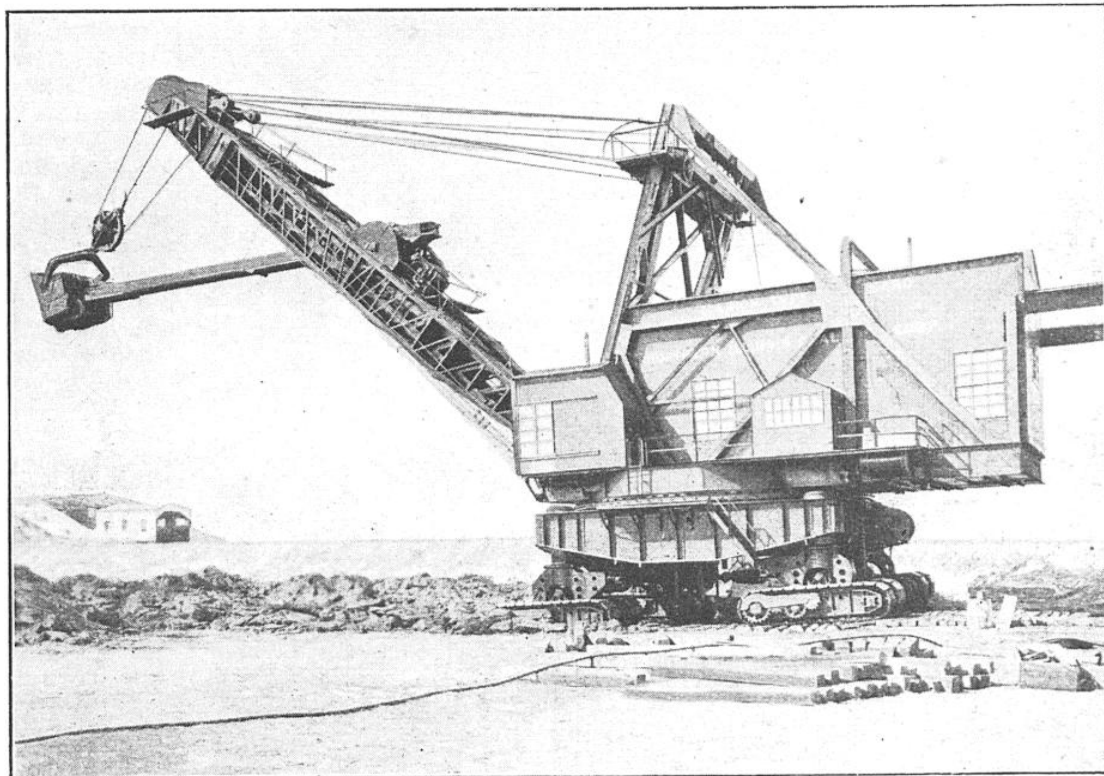
Remarquons que si, pour tourner sur le terrain, l'excavateur doit marcher avec une chenille péniblement freinée, le rendement est sensiblement inférieur à celui des mêmes

Tous ces mouvements sont obtenus avec un treuil à deux tambours directement commandé par le moteur.

Au début du travail, le mécanicien, en agissant sur le treuil, fait décrire au godet, en le relevant, un arc de circonférence.

Dans ce mouvement, le godet racle le terrain et se remplit.

On tourne alors la partie supérieure de



PELLE DRAGUEUSE ÉLECTRIQUE GÉANTE, DE 9 MÈTRES CUBES DE CAPACITÉ ET PESANT 925 TONNES, UTILISÉE POUR LES EXCAVATIONS LOURDES DANS UNE MINE DE CHARBON, AUX ÉTATS-UNIS

excavateurs avec différentiel, tandis que les organes soumis à l'action de freinage sont assujettis à une forte usure.

Comment fonctionne une pelle mécanique

Examinons maintenant le fonctionnement d'un excavateur à pelle. Ses mouvements sont de quatre sortes :

- 1° Rotation autour de son axe vertical ;
- 2° Déplacement sur le terrain ;
- 3° Déplacement longitudinal du bras porte-godet ;
- 4° Rotation de ce même bras autour de son point d'appui sur la flèche.

l'engin d'un demi-tour et, tandis que le godet demeure dans la même situation, on exerce, soit à la main, soit au moyen du treuil, une traction sur un câble qui déclenche le taquet qui maintient le fond du godet dans sa position de fermeture.

Par son propre poids, ajouté à celui du matériel contenu dans le godet plein, celui-ci tourne autour de son pivot et le contenu du godet tombe dans les wagonnets ou dans les chariots de transport.

Après la décharge, on ferme le godet en effectuant une traction sur le même câble.

Le godet doit pouvoir se remplir presque complètement dans le cours de ces opé-

rations. Dans les types les mieux construits, le rendement volumétrique du godet (rapport du volume du matériel déchargé dans chaque pelletée à la capacité du godet) atteint parfois les valeurs de 90 à 95 %. Cela veut dire donc que, dans chaque pelletée, le godet se remplit de matériel dans la mesure de 90 à 95 %. Le godet doit être de construction solide et résistante. Il est construit en acier spécial et la partie avant, qui est la plus exposée à l'usure, est renforcée avec une plaque de protection en acier dur spécial et armée de dents (trois ou quatre) également en acier de forte épaisseur et d'une longueur suffisante, afin de réaliser sur le bord du godet qui attaque le terrain une sorte de peigne. Afin d'obtenir un rendement aussi élevé que possible, la capacité du godet doit être égale à celle des wagonnets ou des chariots de déchargement; par exemple, avec un godet de $3/4$ de mètre cube, utiliser des wagons de $3/4$ de mètre cube, etc.

Le godet peut se renverser et fonctionner dans cette situation comme niveleur pour les talus ou pour l'excavation des fossés, etc.

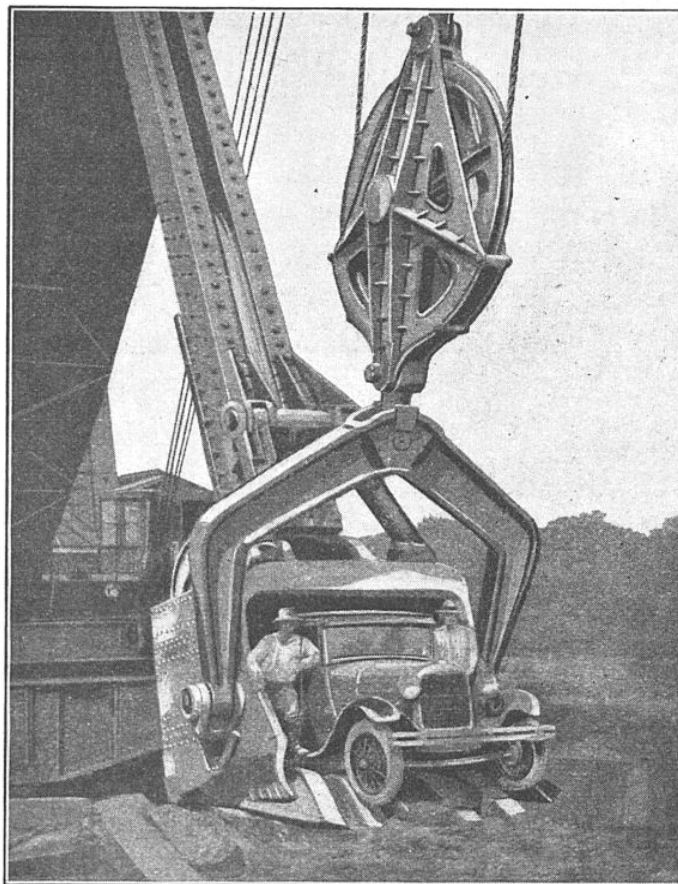
Dans les terrains de compacité moyenne, on peut, si le mécanicien est habile, effectuer une décharge toutes les quarante-cinq secondes, ce qui correspond à un rendement, avec une pelle de 1 mètre cube, de 80 mètres cubes à l'heure. Ce chiffre est donné à titre d'indication générale, chaque travail parti-

culier ayant un rendement propre, par suite du genre de travail, de l'habileté du mécanicien, de la régularité et de la vitesse avec laquelle se suivent les wagonnets pour le transport des matériaux, etc.

La photographie page 244 montre une pelle Diesel-électrique d'un mètre cube envi-

ron de capacité, utilisée pour la construction d'une piste dans un district forestier des Etats-Unis. Cette route est destinée à faciliter le halage des troncs, depuis la forêt mise en coupe jusqu'à la scierie, installée dans la vallée. Actionnée par un moteur Diesel rapide de 92 ch, cette machine est économique, par suite de sa faible consommation de combustible.

Page 245, nous voyons une pelle électrique de 9 mètres cubes, montée sur chenilles, commençant les premières excavations lourdes dans une mine de charbon des environs de



UNE AUTOMOBILE ENTRE FACILEMENT DANS LE GODET DE 15 MÈTRES CUBES DE CETTE PELLE DRAGUEUSE GÉANTE, LA PLUS GRANDE DU MONDE, PESANT 1.800 TONNES EN ORDRE DE MARCHE

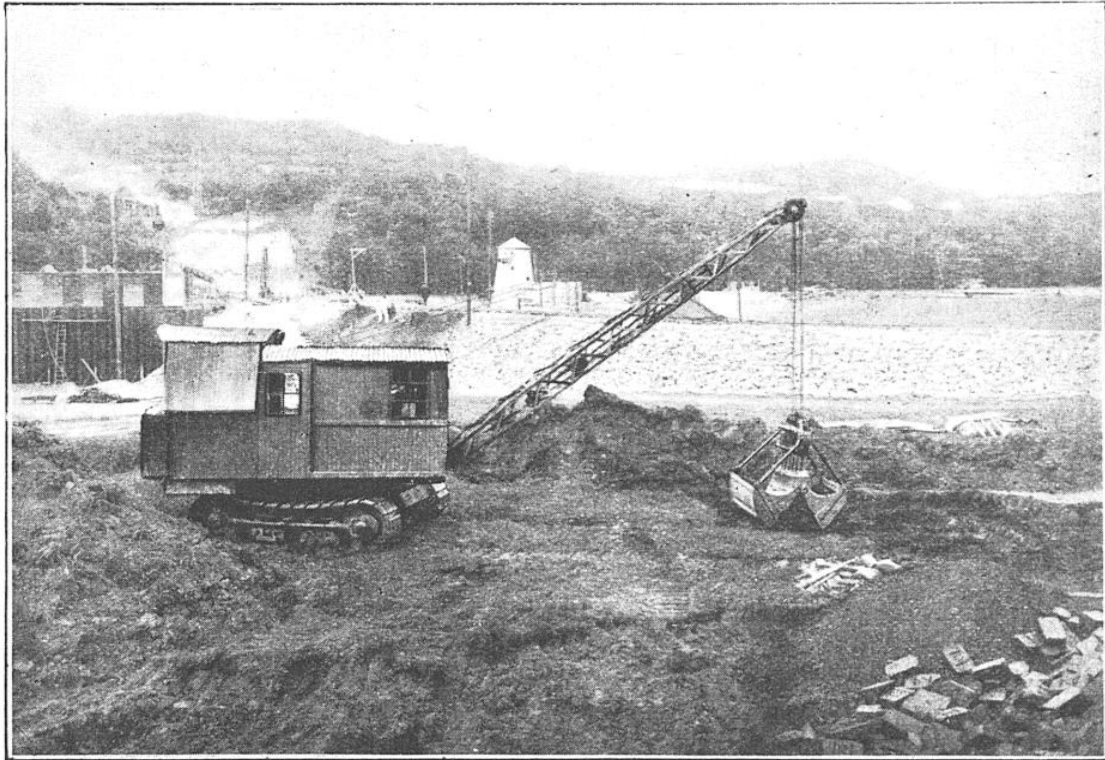
Chicago (Illinois, Etats-Unis). Cette dragueuse géante pèse 925 tonnes, et la poutre constituant la flèche a 18 m 50 de long. Elle fonctionne entièrement à l'électricité, le courant étant reçu de l'extérieur par un câble, visible au premier plan de la photographie. Dans ce câble se trouvent quatre fils conducteurs, trois pour le transport de l'énergie (courant triphasé) et le quatrième servant à mettre le châssis de la pelle au potentiel de la terre. La partie inférieure du châssis est en acier et repose sur

quatre cylindres équilibreurs hydrauliques, qui permettent de maintenir constamment la plate-forme horizontale, de sorte que la partie mobile effectue sa rotation autour d'un axe parfaitement vertical et, de ce fait, n'exerce, sur le châssis inférieur, aucun effort de torsion.

La partie supérieure tourne d'une seule pièce, sur des rouleaux. Toute la machinerie est montée sur le châssis, dans la cabine.

quent, aussi, la vitesse des moteurs. La moitié du poids de cette machine est au-dessus des rouleaux et effectue donc les mouvements de rotation.

Les machines de cette sorte sont utilisées principalement pour débayer les premières couches de stériles qui recouvrent un gisement de charbon peu profond, que l'on désire exploiter à ciel ouvert. Les premières couches, relativement minces, sont généra-



EXCAVATEUR A BENNE PRENEUSE POUR LE TRAVAIL DANS DES TERRAINS TRÈS MEUBLES

Le courant électrique fourni est alternatif, mais, comme le courant qui convient le mieux aux moteurs de levage est le courant continu, il faut le redresser. Pour cela, on utilise un groupe convertisseur composé d'un moteur synchrone et de trois génératrices à courant continu, montées sur le même bâti et fixées sur l'arbre du moteur. L'une d'elles fournit l'énergie pour les moteurs de levage, une autre, pour ceux servant à la rotation du châssis supérieur ; la troisième, pour ceux servant au déplacement de l'ensemble. On utilise un tel montage, car il permet d'effectuer la commande des moteurs simplement en faisant varier l'excitation des génératrices. Leur tension varie alors et, par consé-

quement trop peu résistantes pour que l'on puisse songer à y creuser économiquement des galeries. La pelle dragueuse en question permet d'évacuer de telles couches jusqu'à 14 mètres de profondeur. Il existe des pelles encore plus grandes, de 15 mètres cubes de capacité, avec des flèches de 30 mètres de long et pesant approximativement 1.600 t.

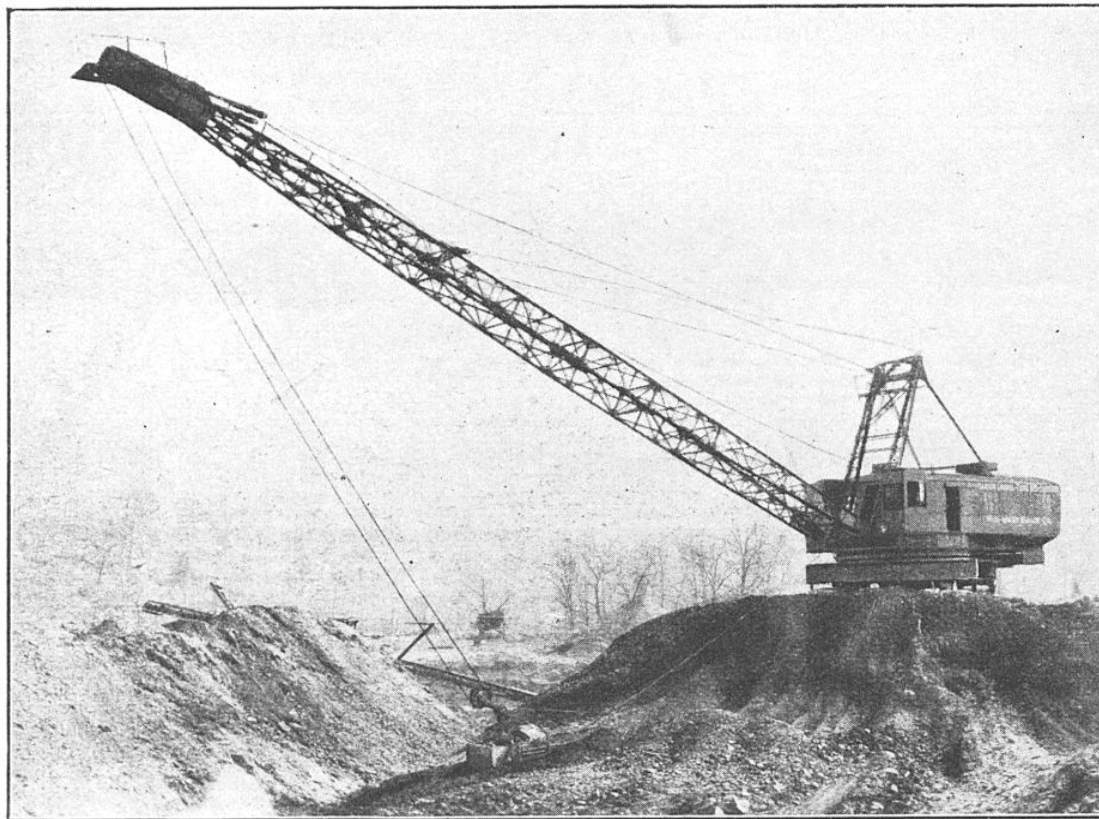
C'est ainsi qu'à la mine Fidelity, des United Electric Coal Companies, fonctionne une dragueuse pesante, en ordre de marche, 1.800 tonnes, et dont la pelle a une capacité de 15 mètres cubes. (Voir la photographie page 246.) La disposition des moteurs est la même que pour la machine précédente. Une génératrice de 860 kilowatts assure l'alimen-

tation des moteurs de levage et deux génératrices de 350 kilowatts, l'une, pour les moteurs d'avancement, l'autre pour les moteurs de giration.

Deux moteurs de 450 ch servent au levage, deux de 150 ch, à l'avancement et deux de 150 ch, à la giration. La machine peut donner un coup de pelle toutes les quarante-sept secondes pour une rotation de 65 degrés.

construite en acier avec les bords de fermeture renforcés et souvent empeignés avec des dents en acier au carbone, comme nous avons vu pour les excavateurs à pelle.

Le fonctionnement de cette pelle est fort simple. La benne est supportée par les câbles de levage à l'extrémité de la flèche de l'engin et, par ces mêmes câbles, elle est soulevée ou abaissée à la position voulue.



UN DES PLUS PUISSANTS « DRAGLINES » CONSTRUITS JUSQU'À CE JOUR, CAPABLE D'ENLEVER PRÈS DE 12.000 MÈTRES CUBES DE DÉBLAIS PAR JOUR

La benne preneuse, engin d'excavation

Des accessoires divers permettent la transformation des pelles mécaniques en autres catégories d'engins d'excavation, machines à bennes preneuses, grues, excavateurs à câble (*dragline*), etc. La transformation d'un type en un autre est facile et rapide. Il suffit, en général, de changer la flèche.

Le type à benne preneuse ou à grue dérive du type principal par changement de la flèche et de l'outil de travail. Le premier de ces deux types comporte la benne *draguse*,

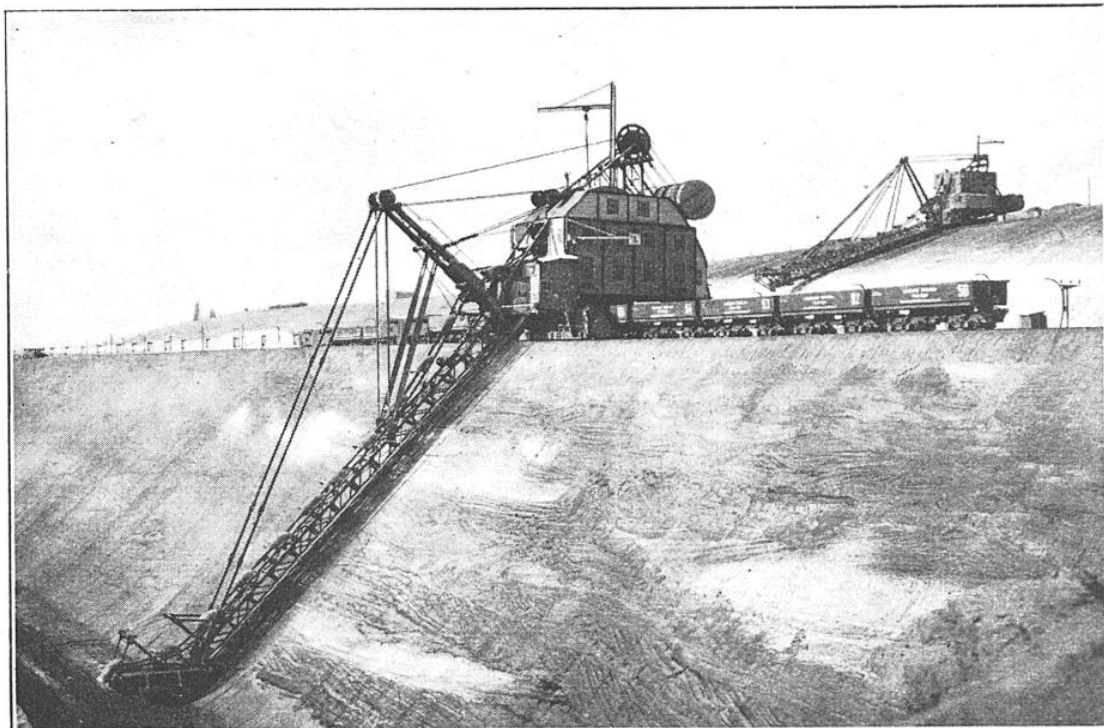
Le matériel à charger peut être en tas le long d'une rivière ou bien dans le lit d'un cours d'eau ou même dans une péniche ou un chaland. La benne, commandée par le treuil principal, descend jusqu'à se poser sur le matériel à charger. Alors, le mécanicien déroule le câble qui se trouve sur le deuxième des tambours du treuil et communique au point d'articulation des mâchoires de la benne un mouvement vertical de descente par rapport à la benne qui continue en même temps le sien. De ce fait, comme les tiges ont une longueur invariable, l'on conçoit que les mâchoires s'ouvrent, tandis que la benne se

déplace. Les mêmes mouvements dans le sens contraire font fermer la benne, qui, plongée dans les matériaux à soulever avec les mâchoires ouvertes, se remplit. Le mécanicien fait alors tourner la machine d'un demi-tour, en réouvrant la benne lorsque celle-ci se trouve au-dessus du point de décharge. Les matières tombent et la machine tourne d'un autre demi-tour pour revenir dans la position de recharge.

Ces excavateurs servent surtout pour les

la benne se remplit par son bord tranchant. Au point de déversement, elle se vide automatiquement par basculage. Ces appareils, étant d'une portée assez limitée, sont généralement montés sur chenilles pour en augmenter la mobilité.

La photographie de la page 248 montre un des plus grands *draglines* construits jusqu'à ce jour. Ces excavateurs géants sont commandés par un seul homme et fonctionnent généralement d'une manière conti-



EXCAVATEURS A GODETS EFFECTUANT DES COUPES EN FOUILLE DE 22 MÈTRES, DANS UNE MINE DE LIGNITE, EN ALLEMAGNE

matériaux peu compacts (gravier, sable, etc.), mais ils sont également employés (surtout aux Etats-Unis) pour soulever des sacs de ciment, des pièces de bois, etc.

Si l'on change l'outil en lui substituant une poulie et un crochet, on a une véritable grue, qui peut être employée pour les travaux les plus divers.

Le « dragline »

Une des principales applications de la grue aux travaux d'excavation est le *dragline*. Une benne étant attachée à la chaîne d'une grue, une autre chaîne permet, grâce à un treuil spécial, de la ramener vers la grue en la traînant sur le sol ; dans ce mouvement,

nue pendant les trois équipes de chacune huit heures par jour. Ils enlèvent environ 3.800 mètres cubes à chaque équipe, soit 11.400 mètres cubes par jour. Ils peuvent ainsi poursuivre les excavations jusqu'à une profondeur de 21 mètres.

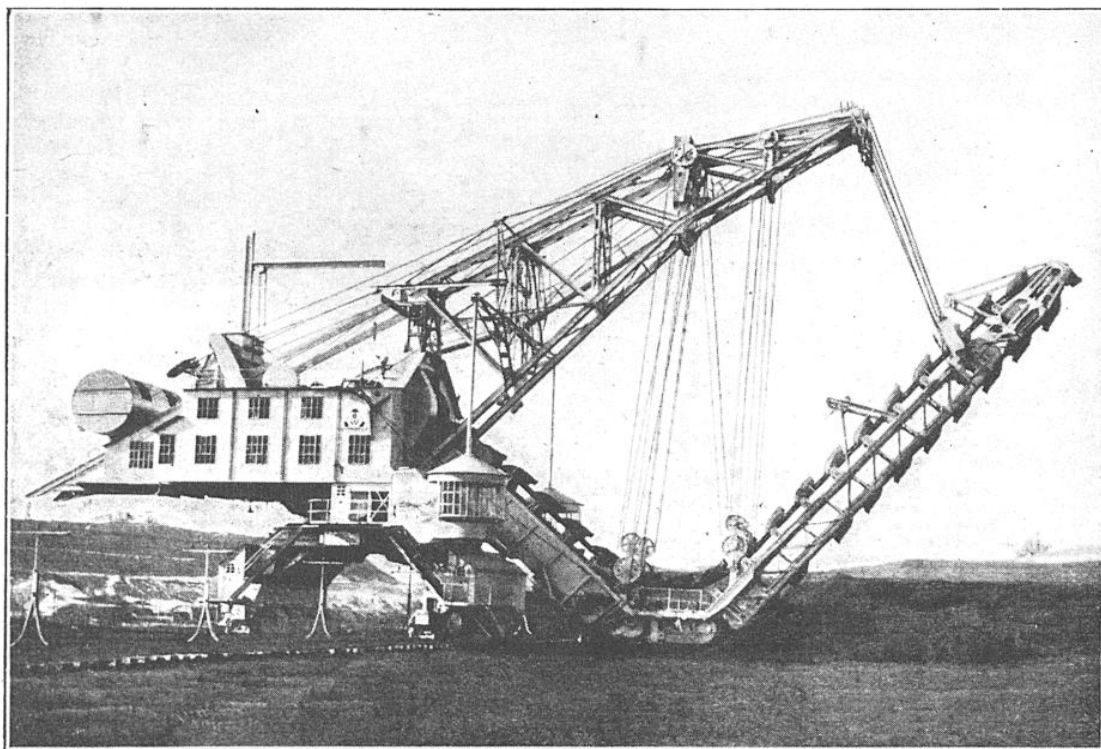
L'excavateur à godets permet d'atteindre de grands rendements

Si l'on exige un rendement élevé en tonnes par jour de matériel excavé et si le terrain le permet, on aura recours aux excavateurs avec chaîne à godets, qui ont des rendements assez importants et supérieurs à ceux des excavateurs à pelle. L'emploi d'un tel excavateur ne serait pas à conseiller pour l'exca-

vation d'un barrage en haute montagne, car il s'agit là de machines fort lourdes (poids en ordre de marche : de 7 à 70 tonnes) qui nécessitent l'établissement d'une voie assez large (2 m 50 environ) sur rails à peu près horizontaux.

Les godets qui raclent le sol à excaver se remplissent pendant leur mouvement (vitesse 0,50 à 0,55 m/sec), se soulèvent et laissent tomber les matières dans une trémie, qui

Les godets peuvent parcourir dans leur mouvement, dans un plan vertical, soit une ligne droite, horizontale ou non, soit une ligne brisée quelconque, parce que la flèche qui les soutient est articulée normalement en trois points. La flèche même est soutenue par la chaîne. Ces appareils sont employés dans l'exploitation des gisements de lignite, dans les terrains lourds et pour des travaux de déblaiement fort importants.



EXCAVATEUR GIRATOIRE GÉANT DE 25 MÈTRES DE HAUTEUR, CAPABLE D'EXTRAIRE 850 MÈTRES CUBES A L'HEURE, DANS UNE MINE DE LIGNITE, EN ALLEMAGNE

peut alimenter un cribleur pour la séparation en sable, gravillon, gravier, etc., ou même dans des wagonnets passant au-dessous de la trémie et qui sont chargés lorsqu'on ouvre la porte. Ces wagonnets peuvent soit fournir des trains isolés, soit, dans les grandes entreprises, constituer une chaîne ininterrompue.

La construction des excavateurs à godets doit être particulièrement robuste ; beaucoup d'organes sont établis en acier extra-dur au manganèse, notamment les couteaux des godets. Ce type d'excavateur est particulièrement indiqué pour l'exploitation des mines régulières à ciel ouvert, pour la formation des tranchées régulières pour canaux, etc.

Les exploitations de lignite et les excavateurs à godets

L'extraction du lignite s'effectue le plus souvent à ciel ouvert. Il est donc nécessaire de déblayer les couches stériles avant de pouvoir exploiter la mine. La puissance (épaisseur) des couches varie très fortement d'une mine à l'autre ; pour certaines, le stérile atteint 70 mètres ; dans d'autres, il ne dépasse pas quelques mètres ; la puissance du lignite dépasse parfois 100 mètres. On emploie principalement l'excavateur à chaîne à godets, non seulement pour l'excavation du stérile, mais encore pour l'exploitation du charbon. Suivant leurs dimensions, ces ap-

pareils peuvent être actionnés soit électriquement, pour les grands modèles sur rails, soit à la vapeur, pour les excavateurs de dimensions moyennes. Enfin, les plus petits, montés sur chenilles, sont munis de moteurs Diesel. Le rendement des gros excavateurs à godets peut dépasser, pour des profondeurs de fouilles de 30 mètres, 1.000 mètres cubes à l'heure. Les deux excavateurs de la page 249,

qui font en commun l'excavation du stérile dans une mine de lignite, font chacun une coupe en fouille de 22 mètres. La photographie de la page 250 montre un excavateur giratoire employé à l'exploitation du lignite. La partie supérieure de l'appareil avec l'élinde peut effectuer une rotation complète sans aucune difficulté, et l'excavateur peut passer du travail en fouille au travail en butte en quelques minutes. On a ainsi la possibilité d'effectuer l'excavation du stérile et du lignite avec un

seul engin. Au fur et à mesure de l'avancement du travail, les voies de l'excavateur sont déplacées d'une longueur correspondant aux progrès de la fouille au moyen d'un *ripeur*. Les dimensions de cet appareil géant sont imposantes : sa hauteur atteint 25 mètres ; son poids est réparti au moyen de cylindres équilibreurs hydrauliques sur 48 roues porteuses ; il est capable d'extraire 850 mètres cubes par heure, sur une longueur de 32 mètres. L'élinde est suspendue par plusieurs treuils

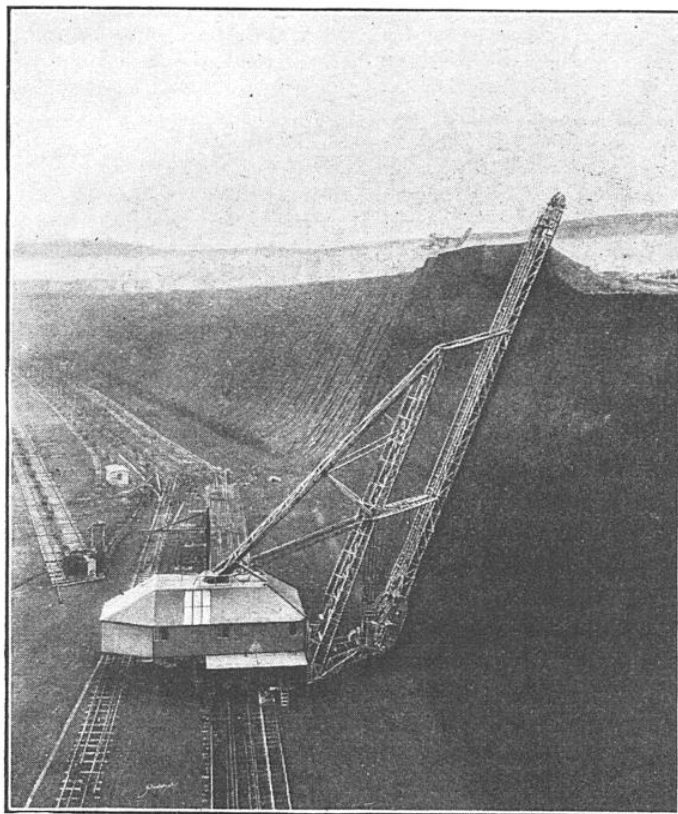
indépendants qui déplacent automatiquement un contrepoids mobile, de manière que le centre de gravité de l'engin demeure au centre de la plate-forme, quelle que soit la position de l'élinde.

Il nous faut enfin mentionner un type d'appareil un peu spécial, l'*excavateur racleur* (voir ci-dessous). Il permet d'effectuer un travail extrêmement régulier, même dans

des matières relativement dures, comme le lignite ou l'ardoise. Il comporte un long châssis métallique, que l'on peut appliquer contre le terrain au moyen d'un parallélogramme articulé. Une chaîne sans fin, munie de dents et de racloirs d'acier, gratte le charbon sur 40 mètres de hauteur. Celui-ci tombe au bord de la pente, où il est ramassé par une chaîne à godets ordinaire. L'excavateur se déplace de telle manière que le châssis portant la chaîne racleuse reste parallèle à lui-même. Un dis-

positif d'équilibrage permet de faire travailler également les parties inférieures et supérieures de la chaîne. Actionné électriquement par un moteur de 150 ch, l'excavateur pèse 320 tonnes en ordre de marche. La chaîne à godets vide le charbon dans une trémie, d'où il tombe dans des wagonnets, fixés à une chaîne sans fin, qui passent sous l'excavateur. Grâce à ce dispositif, la production peut atteindre 900 mètres cubes à l'heure.

CH. DONDI.



EXCAVATEUR RACLEUR DE 320 TONNES, CAPABLE D'EXTRAIRE, SUR 40 MÈTRES DE HAUTEUR, 900 MÈTRES CUBES DE LIGNITE A L'HEURE

LE PNEU RESSUSCITERA-T-IL LE RAIL ?

Par Jean MARCHAND

110, 115, 120 kilomètres à l'heure, indique l'aiguille du compteur de vitesse ! Et cependant, c'est le calme presque absolu dans le véhicule qui nous emporte — 14 voyageurs — sur la voie ferrée, entre Saint-Arnoult et Coltainville, tronçon de la ligne Massy-Palaiseau-Chartres. Seul, le ronronnement régulier et monotone du 46 ch Hispano décèle la force motrice, source de la vitesse. Nous pouvons nous lever, aller et venir sans avoir recours à un point d'appui quelconque ; la conversation est rendue aisée par le silence ; une impression totale de sécurité se dégage. Mais voici la gare terminus du trajet. Elle surgit à 100 mètres et nous roulons encore à 90 kilomètres à l'heure ! Qu'importe ! Ce court espace suffit pour nous arrêter à temps, sans à-coups.

La voiture sur pneus et sur rails

Par quel prodige est-on parvenu à mettre au point ce véhicule, auprès duquel le plus luxueux Pullmann n'offre qu'un confort médiocre ? La simplicité de la solution que les ingénieurs de Michelin ont su trouver est étonnante. Vous prenez un châssis de série (ici, un Hispano), vous lui adaptez des roues munies de boudins-guides, vous ajustez une carlingue bien profilée (ici, c'est une carlingue de l'avion Wibault, remarquée au dernier Salon de l'Aviation (1), dont l'arrière repose sur deux nouvelles roues à pneus, et vous installez cela sur la voie ferrée. Pourquoi donc a-t-il fallu plus de deux ans pour mettre au point cette petite merveille ? C'est que, si la solution actuelle est simple, le problème à résoudre était hérissé de difficultés. Le rail ne présente que 4 à 5 centimètres de largeur. Faire rouler un pneu sur ce ruban d'acier semblait un miracle d'équilibre. Certes, les boudins sont là pour guider la roue. Cependant, les rails présentent parfois, à leurs joints, des différences de niveau atteignant 2 cm 5, leur écartement peut aller à 3 cm 5, autant d'occasions pour que les rebondissements du pneumatique provoquent un déraillement. Voulant réaliser le maximum de douceur, on essaya d'abord les boudins en caoutchouc. Désillusion, ceux-ci montaient carrément sur le rail.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 164, page 132.

Voici, après six mois d'études et deux ans d'essais, la solution : la roue est constituée par un disque d'acier embouti, dont le boudin présente exactement la forme de celui d'une roue de wagon. Le pneumatique spécial gonflé à 6 kg par centimètre carré est fixé sur la bande de la roue, contre le boudin. Autre difficulté : étant donné la faible distance des boulons fixant les éclisses à la surface de roulement du rail, il fallait, sous peine que le boudin ne vienne à chaque joint du rail rouler sur les têtes de ces boulons, que la différence de diamètre entre un pneu neuf gonflé et un pneu usagé à plat ne dépassât pas 1 centimètre ! Impossibilité hier, réalité aujourd'hui. Ainsi, à 100 kilomètres à l'heure, le dégonflement instantané d'un pneumatique, provoqué volontairement en faisant sauter la valve, pour simuler un éclatement, n'est aucunement ressenti par les voyageurs : ceci, grâce à un bandage en bois situé dans la chambre à air et dont le jeu, par rapport au pneu, est de 8 millimètres. La « Micheline », tel est le nom de baptême de ce véhicule, continue sa route sans aucune inclinaison. Certes, le pneu en souffrirait à la longue, mais comme il suffit de trois minutes pour changer une roue, il est facile, à la première gare, de tout remettre en état.

Telle est la « Micheline » de vitesse, établie, non pour battre des records, mais pour voir « ce qui se passerait » à la vitesse limite imposée par les règlements des chemins de fer, 120 kilomètres-heure. Voici maintenant la « Micheline » de service. Montée sur cinq trains de roues (un boggie avant de trois essieux, dont les deux premiers sont moteurs, et un boggie arrière de deux essieux), elle transporte, sur un parcours de 50 kilomètres sans arrêt, 24 voyageurs et leurs bagages, à une vitesse commerciale de 92 kilomètres-heure. Un moteur d'automobile de 20 ch seulement suffit pour réaliser ce tour de force : maintenir une vitesse commerciale de 53 kilomètres à l'heure sur un trajet de 28 kilomètres, avec neuf arrêts de 30 secondes.

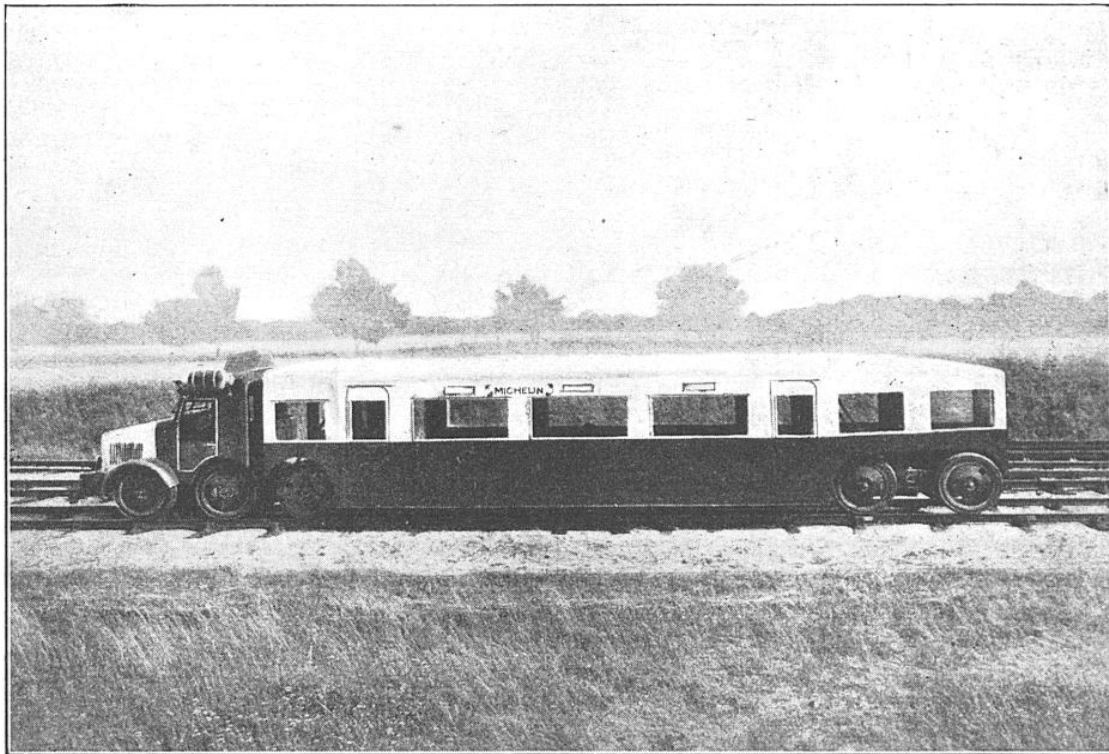
L'état de la voie importe peu à ce véhicule. Sur la ligne Saint-Florent-Issoudun, voie stratégique peu entretenue, où le maximum toléré pour les trains ordinaires n'est que 60 kilomètres-heure, il a roulé sans en-

combre à 100 et même 120 kilomètres-heure.

Enfin, véritable révolution qui fait tressaillir les agents de chemins de fer, les Michelin's peuvent se succéder *à vue*, c'est-à-dire sans protection par des signaux. L'arrêt étant obtenu en 100 mètres, à la vitesse de 100 kilomètres à l'heure (alors qu'il faudrait 1.000 mètres pour un train), il suffit de laisser un intervalle de 200 mètres entre deux véhicules pour garantir une sécurité complète. Cet arrêt rapide va

matière d'exploitation ferroviaire, ce sont les voyageurs qui coûtent le plus aux réseaux et que, sur les lignes à faible trafic, le transport des voyageurs grève lourdement leur budget. Ainsi, les trains circulant sur la ligne secondaire Palaiseau-Chartres, composés de deux voitures troisième classe, d'une voiture mixte première-seconde, d'un fourgon et d'une locomotive, pèsent 120 tonnes pour les 108 places qu'ils offrent aux voyageurs...

Comme, en moyenne, le tiers seulement de



LA « MICHELIN » DE 24 PLACES, MUE PAR UN MOTEUR A EXPLOSIONS DE 20 CHEVAUX, ET DONT LA VITESSE ATTEINT 100 KILOMÈTRES A L'HEURE

d'ailleurs de pair avec un démarrage foudroyant : en 600 mètres, on atteint 80 kilomètres à l'heure ; il faudrait 1.500 mètres pour un train.

Vers une exploitation plus économique des chemins de fer

Tels sont les résultats obtenus aux essais récents auxquels nous avons assisté. Le pneu ressuscitera-t-il le rail ? avons-nous dit. Mais le rail n'est pas mort ! Certes non. Cependant, la crise des chemins de fer qui sévit à l'heure actuelle, pose, avec une intensité particulière, le problème du meilleur rendement des lignes. Or, personne n'ignore que, en

places est occupé — et nous avons vu un convoi où quatre voyageurs seulement se partageaient les banquettes — le poids mort correspondant aux 75 kilogrammes d'un voyageur ressort donc à 3.000 kilogrammes environ. Rien d'étonnant à ce que la traction d'un tel train coûte très cher. Pourquoi, dira-t-on, ne pas alléger ce matériel dont la locomotive, avec ses 50 tonnes, occupe presque la moitié du poids ? Tout simplement parce que l'adhérence des roues avec leur bandage d'acier sur le rail, également en acier, étant faible, il est nécessaire de charger fortement les essieux pour éviter le patinage. De plus, les roues métalliques, en transmet-

tant intégralement les chocs, obligent à une construction extrêmement robuste et lourde.

Tout autres seront les choses si nous munissons ces roues de pneumatiques. L'adhérence du pneu (1) sur l'acier étant triple de celle de l'acier sur lui-même, (0,6 au lieu de 0,2), on voit immédiatement que — toutes choses égales, d'ailleurs — le poids nécessaire, pour un effort de traction déterminé, sera divisé par trois. Et cette adhérence explique en même temps les arrêts quasi instantanés et les démarrages rapides. De plus, le coussin élastique formé par l'air contenu dans le pneu permet, en amortissant les chocs, une construction plus légère, de sorte que la « Michelin » — qui pèse 4.370 kilogrammes à vide et 6.530 kilogrammes en charge — ne présente qu'un poids mort de 175 kilogrammes par voyageur.

On conçoit, dès lors, comment serait rationnellement exploitée une ligne comme celle sur laquelle les essais ont été faits. Au lieu du train vide, qui y circule péniblement trois fois par jour, ce qui oblige les habitants de la campagne, situés à seulement 10 kilomètres de Chartres, de perdre une journée entière pour se rendre à la ville et en revenir, une « Michelin » pleine assurerait économiquement et rapidement l'aller et le retour. Un seul mécanicien suffirait, au lieu des quatre agents (un mécanicien, un chauffeur, un chef de train, un conducteur) que nécessite le train. Rien de plus simple, en outre, que de faire partir successivement plusieurs véhicules, se succédant à vue, les jours où le trafic est plus intense (foires). Il n'est pas douteux, d'ailleurs, que la rapidité et le confort ne fassent croître rapidement le nombre des voyageurs. Ici, l'organe créera le besoin, comme le train a créé le goût des voyages.

Il est facile d'imaginer d'ailleurs, la sou-

(1) Nous disons du pneu, car les bandages pleins, essayés tout d'abord, donnaient lieu à des patinages.

plesse que ce mode de transport peut apporter même à l'exploitation d'une grande ligne. Il peut prendre, aux points d'arrêts du rapide, les voyageurs pour les localités voisines et les amener rapidement à destination, le bon marché du transport permettant de mettre en route une « Michelin » chaque fois que le besoin s'en fait sentir. Le train omnibus aura vécu.

Et ne peut-on envisager la voiture de luxe extrarapide sur pneus, Paris-Deauville par exemple ? Rien ne s'oppose techniquement à la réalisation de vitesses dépassant 150 kilomètres à l'heure (au-dessus de 160 se pose le problème de la résistance des pneus, car, à cette vitesse, l'effort dû à la force centrifuge est du même ordre de grandeur que la résistance même de la gomme).

Le prix d'un tel voyage serait élevé, car la vitesse est chère. Avez-vous remarqué qu'il faut 46 ch à la « Michelin » de vitesse pour atteindre 120 kilomètres à l'heure avec 14 passagers, alors que la « Michelin » normale emporte 24 passagers à 100 kilomètres à l'heure avec un moteur de 20 ch seulement ?

« Ce n'est pas une évolution, c'est une révolution ! » a déclaré un des dirigeants de nos grands réseaux, émerveillé par les possibilités de ce nouveau mode d'exploitation ferroviaire, au cours des essais auxquels les ré-

seaux furent conviés.

Il est juste de rendre hommage ici au créateur du pneumatique démontable pour bicyclettes (il y a quarante ans, lors de la première course Paris-Brest, gagnée par Terront), à l'homme qui, le premier, a fait rouler une auto sur pneus (course Paris-Bordeaux de 1895), qui, enfin, a conçu le pneu pour le chemin de fer, à André Michelin, disparu trop tôt pour assister à la consécration de sa conception hardie.

JEAN MARCHAND.



LE PNEUMATIQUE MONTÉ SUR LA ROUE, DISQUE D'ACIER EMBOUTI
A gauche, le boudin d'acier qui guide la roue sur le rail.

L'ÉLECTROMÉCANIQUE, BASE DE L'INDUSTRIE MODERNE

L'École Bréguet

Par Jean MARTON

L'ÉLECTRICITÉ est, aujourd'hui, la grande source d'énergie à laquelle font appel la grande majorité des industries. Toutefois, sauf pour celles qui l'utilisent directement (électrolyse, éclairage électrique, etc.), cette énergie, à la fois la plus souple et la plus puissante, ne peut être regardée que comme le merveilleux animateur d'une usine, d'une exploitation. De sorte que, s'il faut un technicien de l'électricité, il faut, en outre, un excellent mécanicien pour assurer la bonne marche d'une industrie. D'ailleurs, l'établissement même d'une machine électrique ne comprend-il pas, en dehors de tout calcul d'électrotechnique, une grande part de mécanique, base essentielle de la construction ? L'ingénieur électricien doit donc également être ingénieur mécanicien.

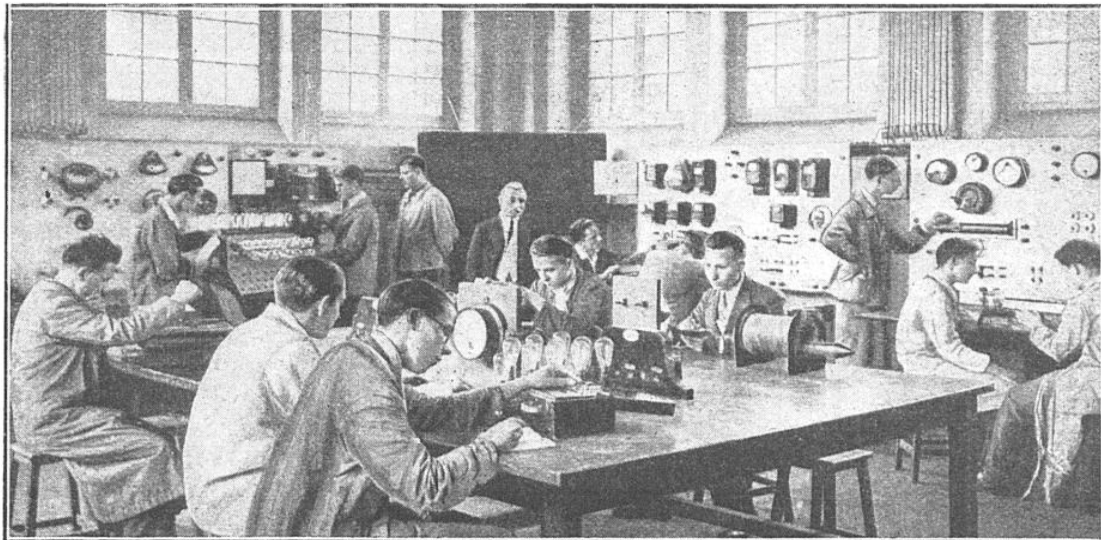
D'avoir compris au plus haut point cette idée maîtresse, il faut rendre hommage aux éminents fondateurs d'une école, l'École Bréguet, où sont judicieusement enseignées ces deux techniques. Et cela, dès 1904, après l'Exposition Universelle qui venait

de démontrer l'apreté de la lutte industrielle entre tous les pays.

Après dix-huit ans d'enseignement, en 1922, la reconnaissance par l'Etat de l'École Bréguet sanctionne ses efforts ; quatre ans plus tard, le diplôme qu'elle délivre aux élèves qui ont satisfait aux examens — diplôme d'ingénieur des industries électromécaniques — reçoit le caractère officiel, qui lui manquait encore.

Les photographies ci-jointes vont nous montrer comment est conçu l'enseignement à la fois technique et pratique qui est donné à l'École. Nous ne pouvons considérer ici que l'aspect scientifique de cette institution. Mentionnons cependant, sans nous y attarder, l'aspect engageant de l'établissement, le soin qui a été pris pour donner aux jeunes gens, suivant la formule à laquelle on revient aujourd'hui : un esprit sain dans un corps sain.

Les élèves ? Deux grandes divisions : le *cours supérieur* (trois années), où des jeunes gens de seize à dix-huit ans, déjà nantis d'une solide instruction générale,

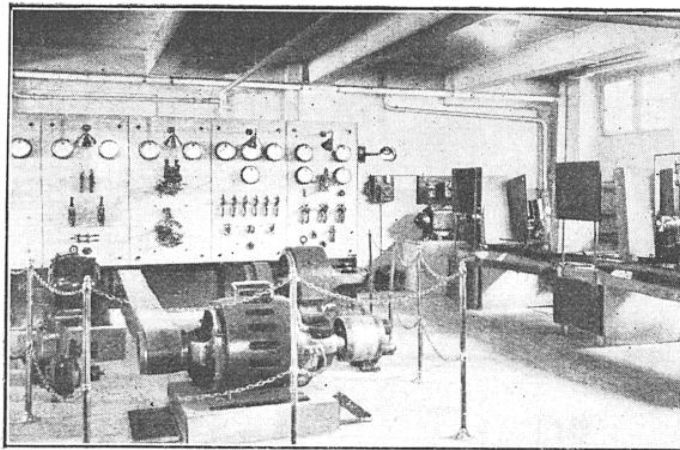


VUE PARTIELLE DU LABORATOIRE DES MESURES ÉLECTRIQUES DE L'ÉCOLE BRÉGUET

ont accès directement ; le *cours préparatoire*, qui, en deux ans, transforme le grand garçonnet de quatorze à quinze ans en un élève capable de poursuivre avec fruit les leçons de la première division.

L'enseignement d'un futur ingénieur doit être, avons-nous dit, à la fois pratique et théorique. Pénétrons donc dans les laboratoires, où, chaque jour, les élèves vont se familiariser avec les moteurs, les dynamos, les alternateurs, les transformateurs, les appareils de mesure, où ils vont effectuer eux-mêmes les montages industriels qu'ils retrouveront plus tard sans embarras.

Voici, tout d'abord, le laboratoire des mesures électriques, base de toute manipulation d'électrotechnique, où les élèves mettent en pratique les données théoriques qui leur ont été exposées dans les claires salles des cours. Etude des courants de faible intensité, des lampes d'éclairage, des compteurs, mesures des résistances, des capacités, des selfs se font sous le contrôle d'appareils de précision. Voici ensuite le laboratoire des applications générales de l'électricité, où le téléphone, les enseignes lumineuses, l'équipement électrique des automobiles, les appareils ménagers, les rayons X, la T. S. F. livrent leurs secrets aux élèves. Voici, enfin, le laboratoire industriel. Moteurs, dynamos, alternateurs, transformateurs sur leurs bancs d'essais



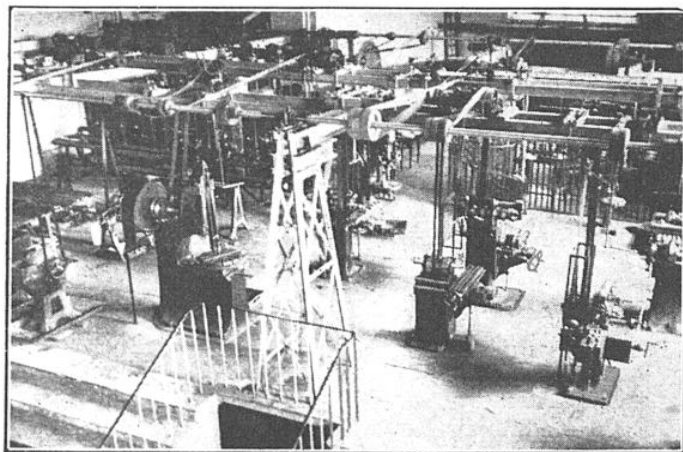
GROUPES MOTEURS ET BANCS D'ESSAIS DU LABORATOIRE D'ESSAIS DE MACHINES

permettent d'effectuer autrement qu'au tableau noir les montages industriels, d'étudier le rendement des machines, d'effectuer leurs couplages, d'apprendre à remédier aux pannes, etc...

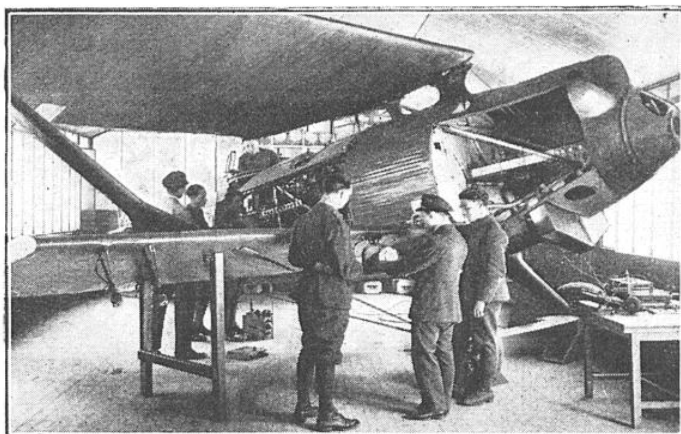
Mais n'oublions pas la mécanique, puisque l'électricien doit être mécanicien ! Voici donc les ateliers, avec les tours, fraiseuses, raboteuses, perceuses, la forge, le modelage, et le laboratoire de mécanique, où les élèves procèdent à la vérification des principes fondamentaux de la mécanique rationnelle et réalisent pratiquement les divers essais enseignés dans le cours de résistance des matériaux.

Tous ces travaux divers assurent au futur ingénieur la pratique avec laquelle il doit être familier, sinon pour exécuter lui-même, du moins pour pouvoir contrôler les travaux qu'il dirigera plus tard. Quelle force pour un ingénieur qui peut dire à ses ouvriers : « Mais non, mon ami, voici comment il faut s'y prendre ! » et qui, outils en mains, est capable de prouver le bien-fondé de ses observations ! Il n'en faut pas plus pour doubler le rendement de la main-d'œuvre.

Ainsi, l'initiative privée réussit-elle chaque année à donner, à de nombreux jeunes gens, l'instruction technique et pratique nécessaire pour entrer dans la vie industrielle et, avec une intelligente persévérance, s'y créer une situation enviable.

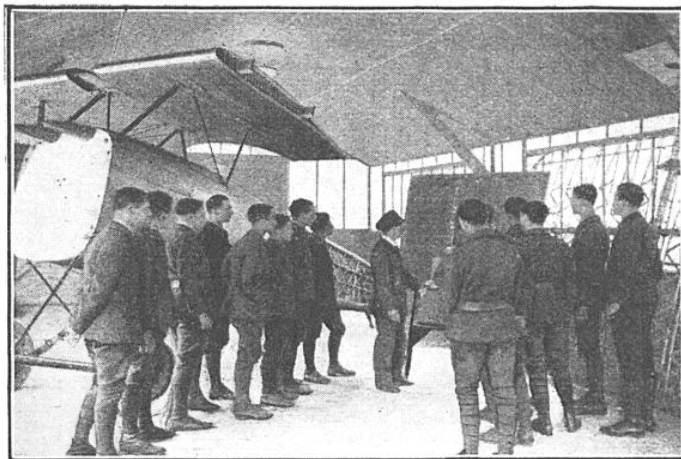


L'ATELIER DE MÉCANIQUE ET SES NOMBREUSES MACHINES-OUTILS

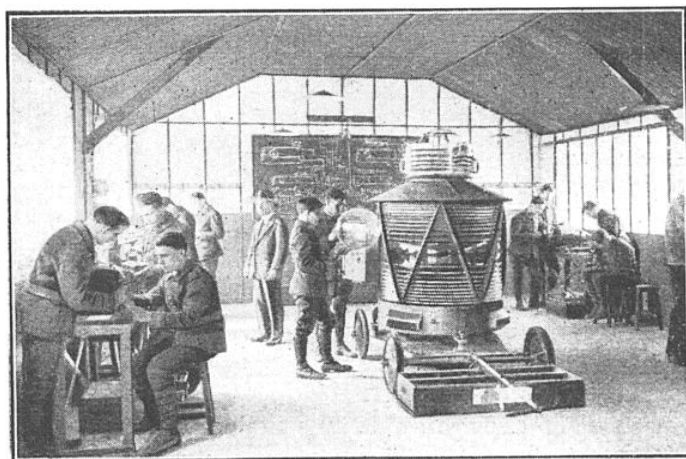


ÉTUDE DE L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UN AVION

Il nous faut signaler encore une nouvelle section, récemment créée pour satisfaire aux besoins du ministère de l'Air : la *section spéciale pour les militaires* — élèves candidats au brevet supérieur de mécanicien — électriciens de forces aériennes. Les jeunes gens d'au moins dix-huit ans qui désirent s'engager dans le personnel non navigant de l'aéronautique militaire, et possédant une instruction générale correspondant au moins au niveau du brevet simple, adressent leur demande au directeur de l'Ecole Bréguet, qui décide de la suite à donner. Ils s'engagent ensuite pour quatre ans. Pendant huit mois, ces militaires, casernés à Paris,



COURS DE T. S. F. POUR LES ÉLÈVES MILITAIRES



ÉTUDE DES PHARES DES TERRAINS D'ATERRISSAGE

suivent à l'Ecole des cours théoriques et pratiques sur la technique de l'aviation. Nos photographies les montrent soit autour d'un avion sur lequel ils étudient en détail l'équipement électrique, point essentiel de la sécurité aérienne, soit dans le laboratoire où l'agencement électrique des terrains d'atterrissage leur est pratiquement exposé. Nantis du brevet supérieur de sous-chef mécanicien-électricien des Forces aériennes, les élèves sont ensuite affectés à un corps de l'aviation militaire, où ils accèdent rapidement au grade de sous-officier. L'importance de l'enseignement

reçu à l'Ecole par ces jeunes gens leur permet d'acquérir des connaissances techniques approfondies. Ils sont ainsi susceptibles, à l'expiration de leur engagement, ou de continuer la carrière militaire et de concourir pour les écoles d'officiers, ou de trouver dans l'industrie des situations civiles intéressantes et rémunératrices.

Il n'est donc pas exagéré de dire que tout ce qui touche à l'électricité dans ses multiples applications, bénéficie à l'Ecole d'un champ d'études qui prépare les élèves à la lutte industrielle, pour laquelle on n'est jamais trop puissamment armé. J.M.

LES CARRIÈRES DE LA T. S. F.

LA T. S. F. nous offre l'exemple d'une découverte récente dont le développement connaît un prodigieux essor. Les stations de Télégraphie sans fil se multiplient, aussi bien dans les métropoles que dans les colonies. La radiotéléphonie, source de documentations et de distractions, constitue, à elle seule, une des branches, la plus importante de la radio-électricité. Mentionnons également : le cinéma sonore et parlant, qui prend sans cesse de l'extension et dont la technique s'apparente étroitement à celle de la T. S. F. ; le télécinéma et la radiotélévision, qui constitueront bientôt une nouvelle branche dans cette industrie, déjà si prospère.

On conçoit donc que le nombre de techniciens nécessaires pour créer, mettre au point et utiliser ces multiples installations, devienne sans cesse grandissant. Ainsi, la T. S. F. et ses branches dérivées offrent à de nombreux jeunes gens des carrières variées et intéressantes. Il n'est pas jusqu'aux jeunes gens désireux d'effectuer leur service militaire dans des conditions à la fois instructives et attrayantes qui ne puissent bénéficier des bienfaits de la T. S. F., à la condition, toutefois, d'avoir acquis, au préalable, les connaissances élémentaires, mais nécessaires, exigées par l'autorité militaire. Les principales armes dans lesquelles les jeunes sans-filistes peuvent accomplir leur temps, sont : le Génie, l'Aviation et la Marine.

Parmi les diverses carrières qu'ouvre la Radio, en voici quelques-unes qui démontreront l'intérêt des débouchés accessibles aux différents spécialistes.

Citons, tout d'abord, la situation d'officier radio de la Marine marchande, qui peut être classée parmi les plus attrayantes, étant donné la place privilégiée que le Radiotélégraphiste occupe à bord, les voyages qu'il effectue dans toutes les parties du monde et

les nombreux loisirs dont il dispose pour perfectionner ses connaissances.

Il acquiert, en deux ou trois ans de navigation, une expérience précieuse et peut entrer, ensuite, comme spécialiste radio dans les grandes administrations d'Etat ou privées.

Dans l'industrie, citons l'ingénieur et le sous-ingénieur radio, qui s'occupent de l'installation et du réglage des grandes stations, de la direction technique des Firmes

radio-électriques et des travaux de laboratoires. Signalons ensuite les chefs-monteurs radioélectriciens, qui suppléent souvent à l'Ingénieur et auxquels incombent généralement les services de dépannage et de vérification.

Dans les colonies, le réseau radiotélégraphique se développe sans cesse ; un grand nombre de postes sont en exploitation en tous points du globe : Afrique, Madagascar, Martinique, Indochine, etc...

Le ministère de l'Air possède en France et en Afrique du Nord un merveilleux Service radio-électrique, utilisant plusieurs centaines de chefs de poste et

d'opérateurs. Son réseau s'étend et se perfectionne sans cesse.

En résumé, aussi bien dans la marine marchande et l'industrie que dans les grandes administrations d'Etat, la T. S. F. donne aux jeunes gens des débouchés intéressants. Elle permet, en outre, aux jeunes conscrits d'avoir la possibilité d'effectuer leur service militaire d'une façon très supportable.

Parmi les établissements préparant aux différents examens de la Radio, citons l'un des plus importants : l'Ecole centrale de T. S. F., dont le siège est à Paris, 12, rue de la Lune. La Direction de cette école a bien voulu nous signaler qu'elle assumait les préparations, soit le jour, soit le soir, soit par correspondance, et que la durée moyenne des études variait entre six et dix mois.



UN ÉLÈVE-OFFICIER RADIO EN EXERCICE
D'ÉMISSION A L'ÉCOLE CENTRALE DE T. S. F.

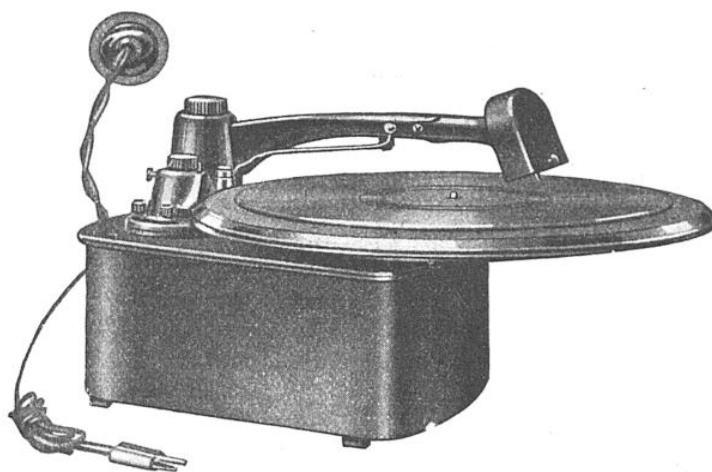
LA T. S. F. ET LES CONSTRUCTEURS

Un bloc-moteur pick-up spécial

LA diversité des appareils se rapportant à la T. S. F. rend le choix de l'amateur difficile. Le meilleur conseil qu'on puisse lui donner est de s'adresser à des maisons qui s'attachent surtout à présenter un matériel de fabrication soignée et qui étudient sans cesse des nouveautés intéressantes.

Parmi ces dernières, signalons la firme Max Braun, de Francfort, qui, ayant ouvert son agence à Paris, vient de « sortir » certains appareils aussi intéressants par l'indit qu'ils représentent que par leur prix de vente accessible à toutes les bourses. Une des dernières nouveautés, vendue actuellement sur le marché français, est constituée par le *bloc-moteur pick-up spécial*, permettant d'écouter un disque de phonographe sur n'importe quel

appareil de T. S. F. En effet, il suffit de brancher une prise de courant sur le secteur et de brancher également les fiches du cordon du pick-up sur le poste de T. S. F., pour que ce dernier soit transformé automatiquement en un ensemble phonographique de très haute qualité. L'appareil est représenté, du reste, ci-dessus, et la photo montre l'extrême simplicité de ce bloc, qui est connu sous le nom d'*ensemble standard phono-pick-up*. Cet ensemble a permis de combiner l'excellent moteur à induction Max Braun avec son pick-up monté sur le même bâti en fonte de dimensions très réduites. Il comporte également un régulateur de vitesse permettant de faire varier cette dernière de 75 à 82 tours par minute, un arrêt automatique agissant sur le circuit d'alimentation du moteur, et un contrôle du volume du son très progressif et constant permet d'écouter le disque avec la puissance voulue. L'appareil complet est fourni avec le cordon de branchement, avec fiche pour pick-up et prise de courant pour secteur.



ENSEMBLE DU BLOC-MOTEUR PICK-UP SPÉCIAL

La résistance du pick-up étant de 1.200 ohms permet le branchement direct, sans aucun transformateur de liaison, ce qui facilite grandement l'emploi de ce bloc standard sur tous les appareils existants.

Un adaptateur pour ondes courtes

LES émissions à écouter sur les ondes inférieures à 75 mètres sont de plus en plus nombreuses et de plus en plus intéressantes. Avant-hier, c'était la station du Vatican qui entraînait en service; hier, c'était le Poste Colonial qui commençait ses émissions, sans parler des amateurs. Or, la plupart des récepteurs actuels ne permettent pas d'obtenir de telles auditions.

La maison Gody vient de combler cette lacune en construisant un adaptateur qui, branché devant n'importe quel appareil, permet de recevoir en haut-parleur toutes les ondes comprises entre 12 et 75 mètres. Cet adaptateur, d'encombrement très réduit, ne nécessite aucune source de courant spéciale.

Son apparition est d'autant plus opportune que les parasites atmosphériques, si redoutables en été, n'ont pour ainsi dire aucune influence sur les ondes très courtes.

Les résultats obtenus ont montré, d'ailleurs, l'excellence de ce matériel. Ainsi, à Madagascar, ont été facilement entendus : Chelmsford (25 m 5), Nairobi (31 m 1), Eindhoven (31 m 4) et Berlin (31 m 5), situés à plus de 7.500 kilomètres ! A la Martinique, Sainte-Assise, Saïgon, des postes anglais et américains ont été également entendus.

Adresses utiles

pour « La T. S. F. et les Constructeurs »

Bloc-moteur pick-up : EQUIPEMENTS RADIO-ÉLECTRIQUES, 82, rue de la Folie-Méricourt, Paris (11^e).

Adaptateur pour ondes courtes : ET^{LS} GODY, quai des Marais, Amboise (Indre-et-Loire).

COMMENT FONCTIONNE LE CINÉMA A FILM SANS FIN

Le développement pris, ces dernières années, par la publicité ne pouvait manquer de rapprocher, sous des formes diverses, celle-ci du cinéma et l'idée de la publicité par le film devait inévitablement amener les constructeurs à étudier des appareils spéciaux, susceptibles de projeter un film sans fin, d'une durée suffisante pour présenter un scénario.

Projeter en continu un film de court métrage n'offre aucune difficulté, mais si nous rappelons que le débit est d'environ 20 mètres à la minute, nous voyons que, pour projeter une scène de cinq minutes, il faut pouvoir faire défiler 100 mètres.

Un premier moyen de tourner la difficulté consiste à utiliser du film de format réduit, c'est-à-dire le film de 9 millimètres (Pathé-Baby) ou 16 millimètres (Kodak et appareils similaires). Avec ce film, il suffit d'environ 40 mètres pour projeter une scène équivalente à 100 mètres de film normal. Les appareils de projection sont, d'ailleurs, eux-mêmes d'un format plus réduit que ceux à film de 35 millimètres, ce qui présente un certain intérêt pour la présentation en vitrine où la place est généralement limitée.

Une première solution du problème consiste à guider le film, à sa sortie du projecteur, vers un magasin, sorte de grande boîte verticale de 50 à 60 centimètres de large. Il vient s'y ranger en S, comme le montre la figure 1. Le film cinématographique, par la nature même de son support, forme très facilement des boucles et, dans le cas particulier qui nous occupe, il est à remarquer que, le magasin ayant une épaisseur intérieure égale à la largeur du film, aucun organe mécanique particulier n'est nécessaire pour produire le magasinage en S.

Une série de galets, à la

base du magasin, assure une sortie convenable de la bande.

Ces dispositifs sont relativement encombrants, le magasin pouvant atteindre 1 m 75 de haut.

Mais nous pouvons encore considérer un film bobiné,

comme l'indiquera la figure 2, sous forme d'une couronne, les deux extrémités du film étant collées. Admettons que

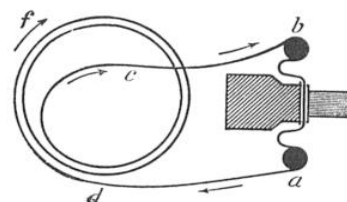


FIG. 2. — PRINCIPE DES BOBINAGES D'UN FILM SANS FIN

animée d'un mouvement de rotation dans le sens de la flèche *f*. La partie du film qui sort en *a* du projecteur vient s'enrouler sur la couronne, la partie centrale de la couronne *c* se déroule et vient entrer dans le projecteur en *b*. Si la vitesse de la couronne de film est réglée en concordance avec celle du projecteur de telle sorte que son débit en *c* corresponde au débit du tambour *b*, le film pourra se dérouler sans interruption.

Toutefois, à la réflexion, on voit que le raisonnement qui précède, lequel semble exact parce que nous avons raisonné sur un petit nombre de spires, est faux.

En effet, le diamètre extérieur de la couronne est plus grand que le diamètre intérieur. Pour un tour de la couronne, la longueur de film débitée en *c* ne sera pas égale à la longueur enroulée de *d*, et cette différence sera d'autant plus grande que nous aurons un plus grand nombre de spires. Le brin *c b a d*, extérieur à la couronne, va constamment avoir tendance à se raccourcir ; il s'ensuivra une tension excessive et le déchirement du film.

Pour éviter cette tension intempestive, il faut admettre que les spires, en outre de leur mouvement de rotation, pourront glisser l'une sur l'autre, afin qu'en tous ses points le film ait un même déplacement linéaire. Ce mouvement de glissement compensera la différence des diamètres à l'enroulement et

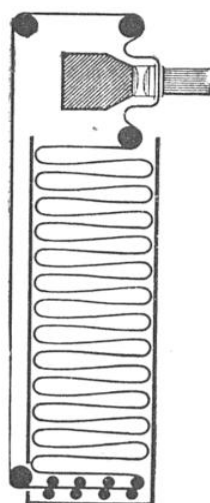


FIG. 1. — APPAREIL A FILM SANS FIN MUNI D'UN MAGASIN VERTICAL

à la sortie. Dans ces conditions, le système pourra fonctionner parfaitement.

Les appareils à film sans fin, basés sur le principe du film bobiné, peuvent se différencier en deux types principaux, selon que la couronne de film est dans un plan vertical ou dans un plan horizontal.

Dans l'appareil dont la photographie ci-dessous montre la disposition intérieure, la couronne est supportée par une série de galets formant chemin de roulement. Un tambour denté entraîneur tire sur le film à l'intérieur de la couronne, imprimant à celle-ci son mouvement de rotation. Des galets latéraux maintiennent le film sur le côté et ceux qui sont visibles en avant peuvent se soulever pour permettre l'introduction du film.

Un point très important à respecter est celui de l'enroulement initial du film. Le bobinage, comme nous l'avons dit plus haut, ne doit pas être serré, mais, une fois le collage de raccordement effectué, le serrage initial, s'il a été fait correctement, ne se modifie plus au cours de la rotation.

Un dispositif identique peut être utilisé, mais en disposant le film sur un plateau horizontal. Cette disposition présente sur la précédente un avantage. Les spires prennent appui sur le plateau par le bord du film, ce qui n'a aucun effet au point de vue du serrage des spires les unes contre les autres, tandis qu'il n'en est pas ainsi dans la disposition verticale, où, par suite de leur poids, les spires viennent frotter l'une sur l'autre dans la partie supérieure de l'enroulement.

En outre du système de bobinage sans fin proprement dit, tel que nous l'avons décrit

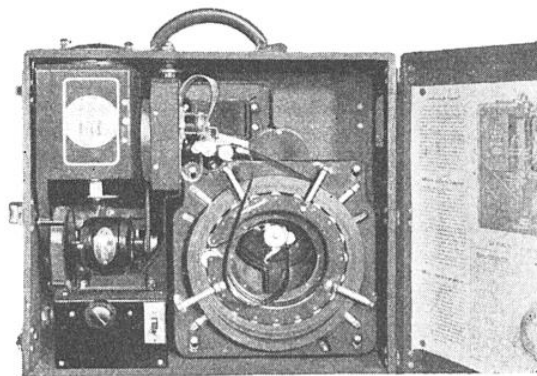


FIG. 3. — MÉCANISME INTÉRIEUR D'UN PROJECTEUR A FILM SANS FIN PORTATIF

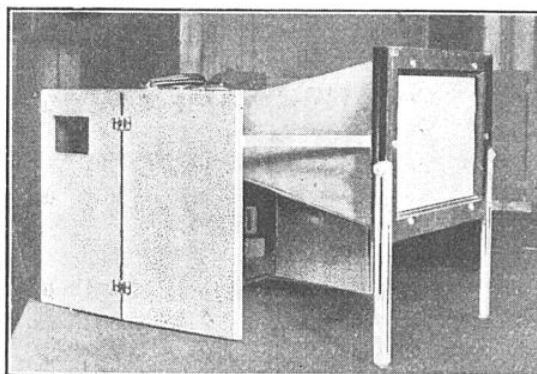


FIG. 4. — APPAREIL DE PROJECTION POUR FILM SANS FIN, AVEC ÉCRAN DÉMONTABLE

dans ce qui précède, les appareils ont été munis de dispositifs accessoires intéressants.

L'un des principaux parmi ces accessoires est un contacteur qui coupe automatiquement le courant électrique en cas de rupture du film, ce qui évite ainsi, soit le débobinage du film, soit l'éclairage de l'écran sans projection d'image. Ces contacteurs sont, d'ailleurs, réalisés d'une façon très simple. Les uns utilisent la propriété isolante du film, qu'il suffit de faire passer entre deux galets qu'il isole électriquement ; lorsqu'une rupture de film se produit, les deux galets viennent en contact, fermant ainsi le circuit d'un relais qui coupe le courant. Sur d'autres appareils, on trouve un dispositif de rupteur à mercure. Par l'intermédiaire d'un galet soutenu par le film, le rupteur en position normale laisse passer le courant. Si le film vient à casser, le rupteur bascule, le contact est coupé, l'appareil s'arrête.

Les écrans, ainsi que les meubles qui contiennent l'appareil de projection, ont, eux aussi, retenu l'attention des constructeurs, soit que ceux-ci aient cherché à obtenir un ensemble susceptible d'être placé dans une vitrine, un hall, un magasin, ou encore qu'ils aient visé à rendre l'appareil très portable en le présentant sous forme de valise.

La projection se fait généralement par transparence sur un écran en verre ou en celluloïd dépoli. Un auvent donne sur l'écran une ombre portée afin que la projection soit visible dans le jour, ce qui est possible lorsqu'on ne cherche pas à obtenir une trop grande dimension de l'image. G.-P. B.

LES A COTÉ DE LA SCIENCE

INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

Par V. RUBOR

Une intéressante machine pour le tirage des plans

LES progrès réalisés dans le tirage de plans industriels, depuis l'antique exposition à la lumière du jour dans un châssis photographique immense et encombrant, sont remarquables. Aujourd'hui, la machine a remplacé la main-d'œuvre, permettant d'obtenir ainsi des résultats toujours semblables à eux-mêmes et assurant une énorme économie de temps et de main-d'œuvre. On sait que les machines à tirer les plans sont basées sur l'éclairement du document à reproduire au moyen d'une lumière très actinique, comme celle qui est émise par les lampes à vapeur de mercure, dont les radiations sont riches en rayons violets et ultraviolets.

Voici, à ce sujet, une intéressante réalisation d'une semblable machine, appelée « Tireplan ». Elle se compose de deux rouleaux entraîneurs et d'une chaîne de billes encadrant le tube à vapeur de mercure ; une toile sans fin passe sur ces rouleaux et glisse autour du tube en entraînant les feuilles de papier que l'on y place. Le contact avec le tube est assuré d'une façon absolue par la chaîne de billes, et les papiers sont écartés du tube, à la fin de leur parcours, au moyen d'une raclette.

Cette toile est entraînée par un petit moteur électrique, avec démultiplicateur et potentiomètre qui donnent la vitesse convenable.

Ce dispositif extrêmement simple supprime la nécessité d'une glace bombée, qui peut occasionner des dépôts de poussière et qui, si claire qu'elle soit, a une absorption

qui diminue le rendement de ces appareils.

Dans le nouveau système, il n'y a jamais de poussière, l'extérieur du tube étant constamment nettoyé par la toile sans fin. Aussi est-il toujours prêt à fonctionner, sans nettoyage préalable, cause de bris du tube.

Ce tirage direct, sans perte de lumière, donne une grande rapidité : avec un tube de 350 watts, on impressionne 0 m 40 par minute en 1 m 10 de large, soit 26 mètres carrés à l'heure. La dépense à l'heure,

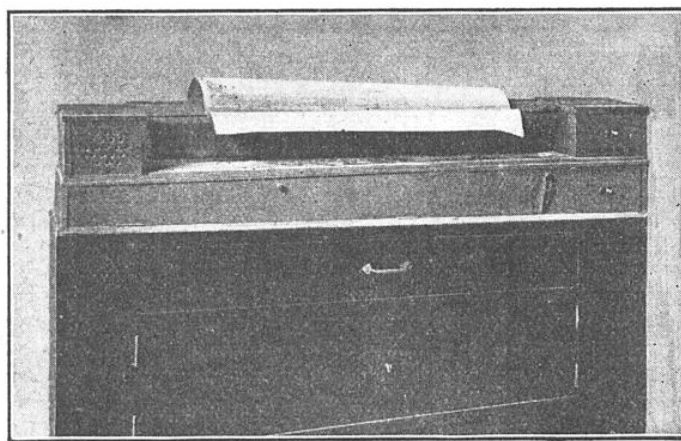
tube et moteur, est de 0 fr 65, soit : 350 watts pour le tube + 20 watts pour le moteur = 370 watts ; $3,7 \times 0,177 = 0 \text{ fr } 65$.

Les épreuves obtenues sur papier ferro-prussiate ozalid (traits foncés sur fond clair) ou héliosont très nettes, même pour les calques où le trait est faible (mine de plomb n° 4) : toutes les

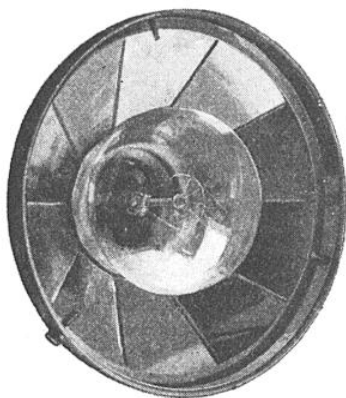
finesses du dessin sont rendues.

Depuis l'invention des papiers qui permettent d'obtenir un positif sur un positif, avec toutes les finesses et demi-teintes de l'original et toute la puissance des noirs, les tirages dits industriels, qui étaient généralement obtenus par du papier au ferro-prussiate (c'est-à-dire négatif sur positif), ont pris un développement considérable, puisqu'ils trouvent leur utilisation non seulement chez les architectes, les ingénieurs, les décorateurs, les industriels et les entrepreneurs, mais encore dans les maisons de commerce pour tirer des circulaires, fiches, barèmes, etc.

Le « Tireplan » peut également servir de duplicateur. Il suffit de confectionner des calques tapés à la machine à écrire, ruban noir, comme une lettre ordinaire, sur lesquels on peut porter au tampon noir l'empreinte d'un cliché trait ou simili. Ces calques peuvent servir indéfiniment : on peut



VUE D'ENSEMBLE DE LA MACHINE A TIRER LES PLANS



LE RÉFLECTEUR A FACETTES
DU DIFFUSEUR « TITAN »

entraîné automatiquement et régulièrement par un dispositif spécial ; la machine devient alors une petite rotative.

Un bon diffuseur de lumière

EN matière d'éclairage, on cherche aujourd'hui, de plus en plus, à éviter l'éblouissement causé par des lampes à incandescence électriques nues. Aussi les enferme-t-on dans des « diffuseurs », appareils qui ont pour but de donner à la source lumineuse une grande surface et, par suite, un éclat plus faible. Malheureusement, ces appareils, s'ils ne sont pas convenablement établis, nécessitent l'emploi de lampes puissantes et, par suite, occasionnent une dépense d'énergie supplémentaire.

Le diffuseur représenté ci-dessous, combiné avec un réflecteur spécial, augmente, au contraire, la puissance lumineuse dans la direction voulue, tout en évitant l'éblouissement. A cet effet, la lampe spéciale est placée, d'une part, dans l'axe d'un réflecteur à facettes de glace étamées et métallisées et, d'autre part, à l'intérieur du globe en verre dépoli.



ENSEMBLE DU RÉFLEC-
TEUR « TITAN »

les multiplier en les tirant sur calque ozalid transparent.

On peut aussi, en réunissant par une bande gommée les deux bords opposés d'un calque, tirer des épreuves jusqu'à épuisement du rouleau de papier sensible, rouleau de la largeur du calque

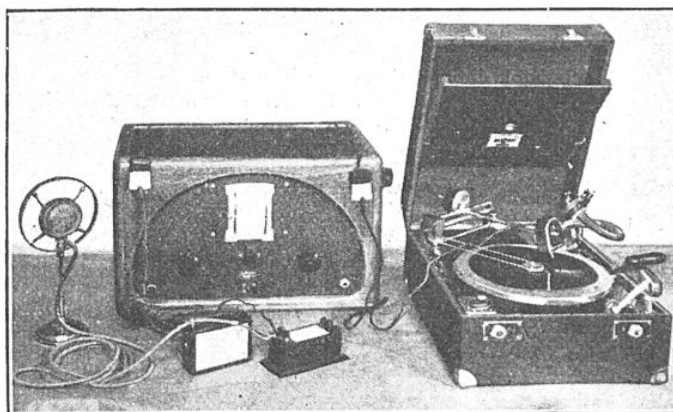
Pour enregistrer soi-même sa voix au phonographe

L'ALBUM photographique peut-il être complété par un album phonographique, où la voix des personnes amies sera enregistrée d'une façon simple et peu coûteuse ? Voici un appareil qui résout ce problème. Le disque souple est à base de gélatine et d'acétate de cellulose, qui est capable de donner de deux à trois cents auditions excellentes.

L'appareil enregistreur proprement dit se compose d'un pick-up enregistreur alimenté par un microphone dont le courant modulé est amplifié par un poste de T. S. F.

Le disque étant enduit d'une matière qui en durcit le sillon, la reproduction peut être faite immédiatement.

L'enregistrement sonore à la portée de tous peut servir, non seulement pour animer les souvenirs, mais encore pour le per-



APPAREIL POUR ENREGISTRER SA VOIX

fectionnement du jeu d'un acteur (qui pourra s'entendre lui-même et se corriger), pour l'étude des langues étrangères, etc.

Un tourne-pages pratique

L'APPAREIL, page 264, résout ingénieusement le problème du tournage des pages d'une partition musicale. Dans une petite boîte métallique, qui se fixe instantanément au pupitre, est enfermé le mécanisme robuste qui exécute le travail du musicien. Des branches en fil d'acier sortent de l'appareil et sont rappelées vivement, une à une, vers la gauche, à chaque percussion sur une large touche en galalithe. Le morceau étant préparé, chaque branche placée entre les pages, le mouvement nécessaire pour les tourner est minime.

D'ailleurs, on peut adapter une pédale qui, au moyen d'une chaînette, permet



LE TOURNE-PAGES

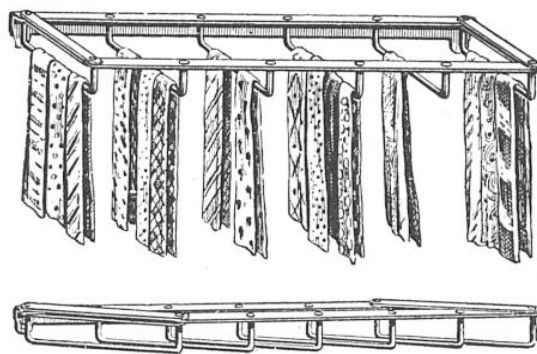
n'entraîne pas deux pages à la fois, un petit index mobile articulé se place sur le côté droit de la partition.

Un porte-cravates peu encombrant

PARMI les dispositifs qui, tout en présentant un faible encombrement, permettent de placer de nombreuses cravates sans les froisser, celui qui est représenté ci-dessus se présente sous la forme d'un parallélogramme articulé, en métal nickelé, dont les deux grands côtés sont réunis par de petites

d'actionner l'appareil avec le pied lorsqu'on utilise un pupitre à pied. Ce même avantage de la pédale se retrouve avec le piano. Il suffit, en effet, de faire passer la chaînette dans le piano et de placer la pédale de commande à côté des deux autres. Le dispositif à la main reste toujours en fonction.

Enfin, pour que le déplacement d'air



LE PORTE-CRAVATES DÉPLIÉ ET REPLIÉ

tringles destinées à recevoir les cravates.

Fixé derrière la porte de l'armoire ou de la penderie, au moyen de vis très fines qui n'abîment pas le meuble, cet appareil peut, suivant le modèle, permettre de ranger de vingt-quatre à quarante-cinq cravates. Lorsque celles-ci sont placées à cheval sur les petites tringles, il suffit de repousser à droite ou à gauche la barrette antérieure pour que toutes les cravates se rangent parfaitement, les unes contre les autres. Quand il est ouvert, au contraire, il facilite le choix de la cravate sans déranger ses voisins.

V. RUBOR.

Adresses utiles pour les « A côté de la Science »

Le Tireplan : M. ANDRÉ SELMERSHEIM, 60, boulevard Saint-Marcel, Paris (5^e).

Diffuseur « Titan » : M. ANDRÉ GOUTORBE, 1, rue d'Enghien, Paris (10^e).

Enregistreur de phono : E^{te} GALLIAVOX, 37, avenue Victor-Hugo, Paris (16^e).

Tourne-pages : E. CARREGARI, 22, rue Cluseret, Suresnes (Seine).

Porte-cravates : E. JEAN BEER, 16, rue Sorbier, Paris (20^e).

TARIF DES ABONNEMENTS A « LA SCIENCE ET LA VIE »

FRANCE ET COLONIES

Envois simplement affranchis.....	{ 1 an..... 45 fr.	Envois recommandés....	{ 1 an..... 55 fr.
	{ 6 mois... 23 —		{ 6 mois... 28 —

ÉTRANGER

Pour les pays ci-après :

Australie, Bolivie, Chine, Danemark, Etats-Unis, Grande-Bretagne et Colonies, Iles Philippines, Indes Néerlandaises, Irlande, Islande, Italie et Colonies, Japon, Norvège, Nouvelle-Zélande, Palestine, Pérou, Rhodésie, Suède.

Envois simplement affranchis.....	{ 1 an..... 80 fr.	Envois recommandés....	{ 1 an..... 100 fr.
	{ 6 mois... 41 —		{ 6 mois... 50 —

Pour les autres pays :

Envois simplement affranchis.....	{ 1 an..... 70 fr.	Envois recommandés....	{ 1 an..... 90 fr.
	{ 6 mois... 36 —		{ 6 mois... 45 —

Les abonnements partent de l'époque désirée et sont payables d'avance, par mandats, chèques postaux ou chèques tirés sur une banque quelconque de Paris.

« LA SCIENCE ET LA VIE » — Rédaction et Administration : 13, rue d'Enghien, Paris-X^e
CHÈQUES POSTAUX : 91-07 PARIS

Directeur : G. BOURREY. — Gérant : M. LAMY.

Paris. — Imp. HÉMERV, 18, rue d'Enghien.