

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

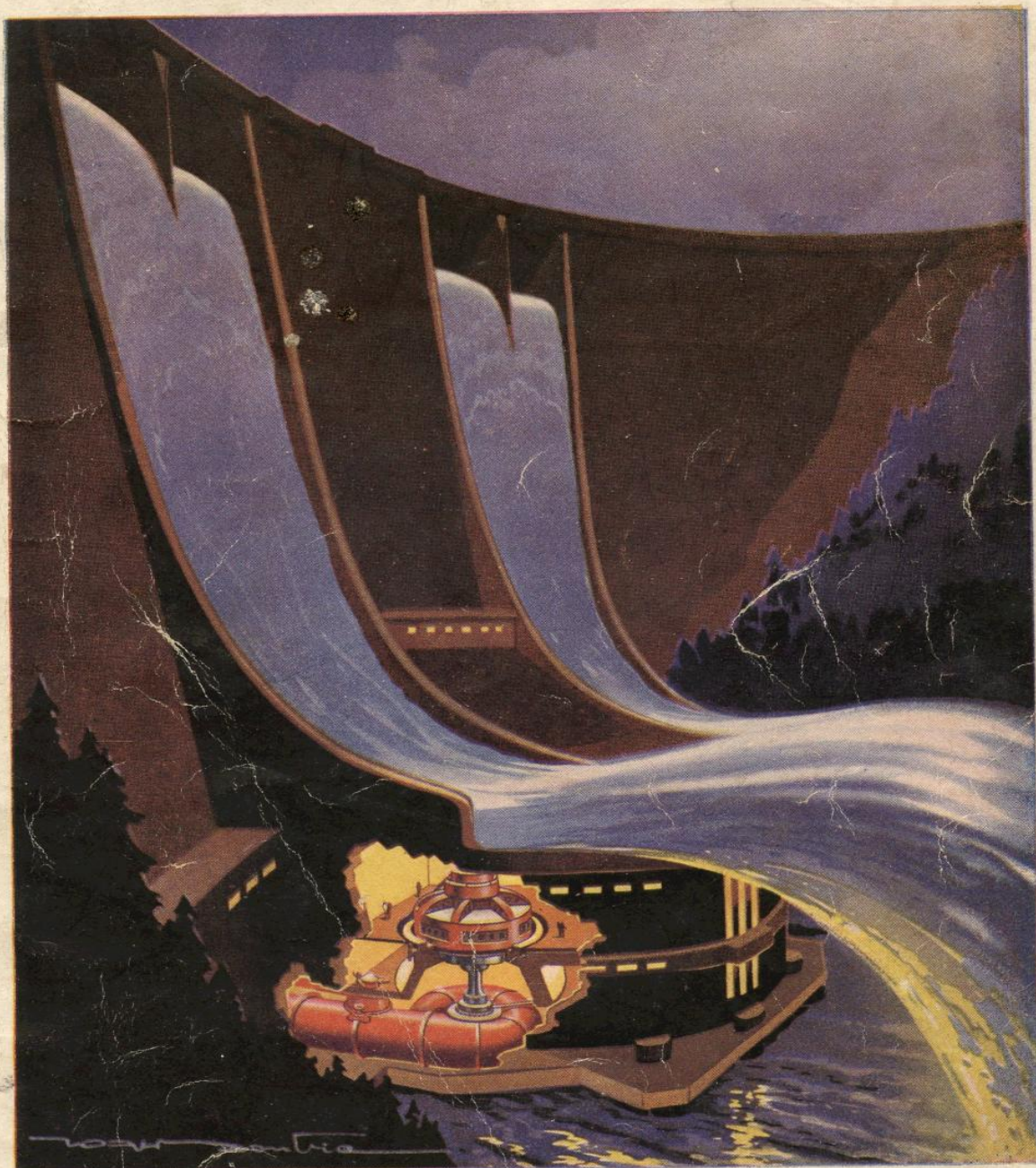
Notice de la Revue	
Auteur(s) ou collectivité(s)	La science et la vie
Auteur(s)	[s.n.]
Titre	La science et la vie
Adresse	Paris : La science et la vie, 1913-1945
Collation	339 vol. : ill. ; 24 cm
Cote	SCI.VIE
Sujet(s)	Sciences -- Vulgarisation Culture scientifique et technique Presse scientifique
Note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

Notice du Volume	
Auteur(s) volume	[s.n.]
Titre	La science et la vie
Volume	Tome 63. n. 307. Mars 1943
Adresse	Paris : La Science et la Vie, 1943
Collation	1 vol. (p.([99]-146)-[2] p.) : ill., couv. ill. en coul. ; 24 cm
Cote	SCI. VIE 307
Sujet(s)	Sciences -- Vulgarisation Culture scientifique et technique Presse scientifique
Thématique(s)	Généralités scientifiques et vulgarisation
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	10/12/2019
Date de génération du PDF	05/12/2019
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?SCVIE.307

MARS 1943

N° 387

SCIENCE ET VIE



7 FRANCS

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

LA RADIO

*s'apprend
aussi...*

Cours par Correspondance
Ecole Centrale de T.S.F.
(Annexe)
8, rue Porte de France
VICHY (Allier).

...par CORRESPONDANCE



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

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

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



ÉCOLE CENTRALE DE T.S.F

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

Publicités Réunies

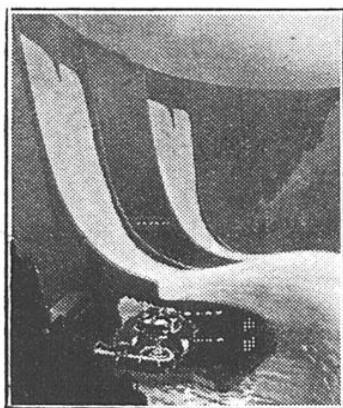
SCIENCE ET VIE

Tome LXIII - N° 307

SOMMAIRE

Mars 1943

- ★ La France poursuit son équipement hydroélectrique par la construction de barrages géants, par Maurice Rousselier 101
- ★ La protection de nos cultures contre les insectes exotiques : La police sanitaire des centres d'importation, par P. Vayssière..... 114
- ★ A la recherche des nappes d'eau souterraines du Sahara, par Pierre Cugnaux..... 123
- ★ Qu'est-ce qu'un « Rhumbatron » et un « Clystron » ? Une révolution dans le domaine des ondes ultracourtes, par F. Le Lionnais..... 127
- ★ Le « secret » de Stradivarius, par Henri François.... 137
- ★ Les A Côté de la Science, par V. Rubor..... 143

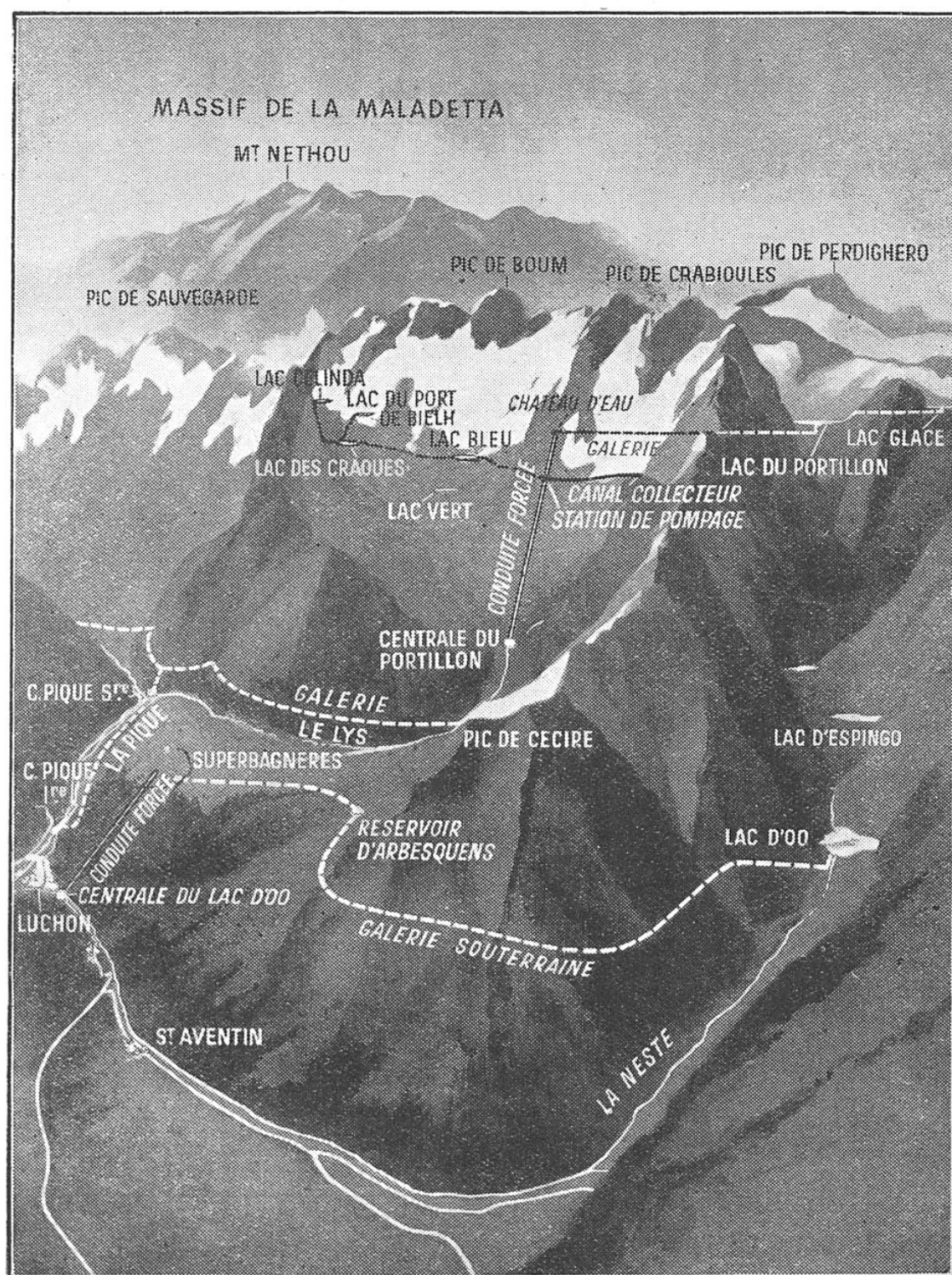


T W 23509

Dans cinquante ans, rivières et fleuves de France présenteront sans doute, au moins sur une fraction de leur cours, un aspect totalement différent de ce qu'il est aujourd'hui. On les verra descendre de lac en lac à travers des turbines qui capteront leur énergie. Les paysages nouveaux qui naîtront de cette exploitation intégrale de nos ressources en houille blanche ne seront pas sans grandeur. La couverture du présent numéro montre, en coupe partielle, le barrage-usine de l'Aigle, gigantesque monobloc d'une conception originale et hardie, avec ses quatre alternateurs totalisant 200 000 kilowatts, logés sous un déversoir en saut de ski projetant de 90 mètres de hauteur les eaux de crues jusqu'à 50 mètres du pied de l'usine. (Voir page 101 du présent numéro.)

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

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



T W 23748

L'AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE DE LA VALLÉE DE LUCHON

LA FRANCE POURSUIT SON ÉQUIPEMENT HYDROÉLECTRIQUE PAR LA CONSTRUCTION DE BARRAGES GÉANTS

par Maurice ROUSSELIER
Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

La houille blanche est appelée à jouer un rôle de plus en plus important dans l'économie humaine. Au contraire des gisements de charbon et de pétrole, dont on peut prévoir l'épuisement, à longue échéance il est vrai, l'énergie hydraulique, comme d'ailleurs celle des mers et des vents, se renouvelle sans cesse et apparaît ainsi inépuisable. Une usine hydroélectrique « rembourse » en moyenne en deux années le charbon consommé lors de l'élaboration des matériaux de sa construction. Par la suite, sa production représente une économie nette de cette houille noire dont on sait aujourd'hui qu'il est infiniment préférable d'en extraire chimiquement les sous-produits de valeur, plutôt que de la consumer brutalement dans les foyers. Mais la « relève » des centrales thermiques par les centrales hydroélectriques soulève de délicats problèmes d'équilibrage en vue de remédier aux irrégularités saisonnières de leur production et de l'adapter aux besoins instantanés de la consommation. Leur solution réside dans l'interconnexion, par laquelle les centres de production s'épaulent mutuellement, et dans le stockage par les réservoirs artificiels des barrages et les réservoirs naturels des lacs de montagne. La France n'a fait encore qu'« écrémer » ses ressources en houille blanche, dont 25 % seulement sont en exploitation. L'équipement du reste de ses chutes d'eau, qui a reçu une impulsion nouvelle depuis 1938, se poursuit suivant un plan rationnel d'équipement de caractère national qui permettra d'en obtenir le maximum de rendement et de souplesse.

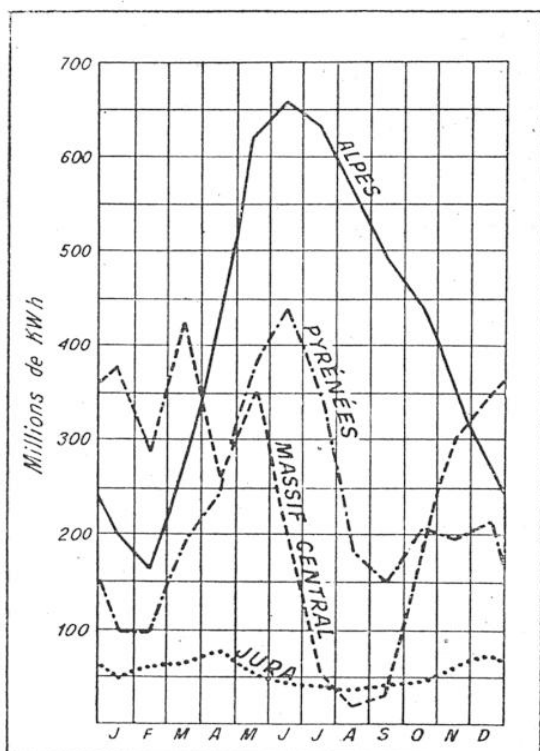
Les tendances actuelles dans le développement de la production hydroélectrique

LES tendances générales auxquelles obéissent les projets d'aménagement de chutes d'eau résultent d'une adaptation incessante aux besoins de la consommation en énergie électrique : évident sur le plan de l'intérêt national, ce principe était plus ou moins vérifié dans les périodes de libéralisme économique où la conception d'une usine nouvelle était généralement influencée par le souci d'en placer la production au taux le plus rémunérateur, c'est-à-dire là où la marge entre l'offre et la demande, sur le marché de l'énergie, était la plus forte.

Il y a quelques dizaines d'années, il n'y avait pas à proprement parler de marché de l'énergie électrique : le producteur ne visait qu'à satisfaire des besoins locaux, et ne cherchait à tirer d'un cours d'eau que la puissance permanente, c'est-à-dire correspondant au débit en période d'étiage (ou de basses eaux), de façon à être assuré de satisfaire les abonnés à peu près toute l'année. Il en serait résulté un véritable gaspillage de la richesse hydroélectrique dont les effets se seraient fait sentir à long terme, si l'interconnexion n'était venue créer une situation nouvelle, en réalisant la conjuc-

gaison des usines thermiques et hydrauliques qui permit à ces dernières de s'équiper pour des débits de plus en plus élevés, l'appoint de puissance nécessaire en période d'étiage étant fourni par les centrales thermiques.

L'interconnexion consiste à mettre en commun les productions des centrales et les besoins des consommateurs par un réseau « maillé » unique, sur lequel ils se branchent : elle réalise une espèce d'entraide des producteurs, permettant dans une certaine mesure aux uns de suppléer aux défaillances des autres, en même temps qu'un étalement relatif des irrégularités de consommation. C'est tout récemment que l'interconnexion a pu être réalisée à l'échelle nationale grâce à d'importants progrès techniques dans la construction des lignes de transport de force, dont la tension de service de plus en plus élevée a permis de transporter de grandes puissances à de grandes distances avec des pertes acceptables : les tensions de 100 000 volts, suffisantes en principe pour les besoins régionaux, ont été portées à 150 000 et 220 000 volts pour le « super-réseau » général qui dessert le territoire. Parallèlement, l'amélioration constante des dispositifs de protection contre les surtensions accidentelles, généralement d'origine atmosphérique, a permis de réduire fortement la fréquence des incidents de ligne et d'améliorer ainsi la sécurité générale : actuellement la durée moyenne des pannes chez



T W 23757

FIG. 1. — GRAPHIQUE DE LA PRODUCTION MENSUELLE MOYENNE DES QUATRE GRANDES RÉGIONS HYDRAULIQUES FRANÇAISES

Ce graphique fait ressortir la variété des régimes : régimes alpin et pyrénéen avec fonte des neiges au printemps et en été et étiage d'hiver; régime type Massif Central avec étiage d'été et hautes eaux d'hiver, régime jurassien qui est un régime mixte remarquablement régulier. La région des Alpes est celle qui offre le plus de ressources et dont l'exploitation est actuellement la plus développée. Aussi impose-t-elle à la production française une courbe de variations annuelles qui rappelle fortement la sienne (fig. 2). Pour corriger cette courbe, il conviendra de développer au maximum l'équipement du Massif Central.

l'abonné est descendue à quelques minutes par an seulement. Le réseau national d'interconnexion, malgré quelques imperfections résultant de la capacité insuffisante de certaines grandes artères où de l'énergie se « bloque » dans les « goulets », réalise non seulement la mise en commun des ressources hydrauliques du pays, mais encore contribue à leur adaptation à la consommation.

Cette possibilité est d'ailleurs bien spéciale aux circonstances géographiques qui confèrent à la France une incomparable variété des régimes des cours d'eaux (fig. 1) sur un espace réduit, alors que les autres pays, trop peu étendus, sont voués à un régime unique ou bien sont trop vastes pour que, dans l'état actuel de la technique, l'interconnexion puisse s'y faire à l'échelle nationale.

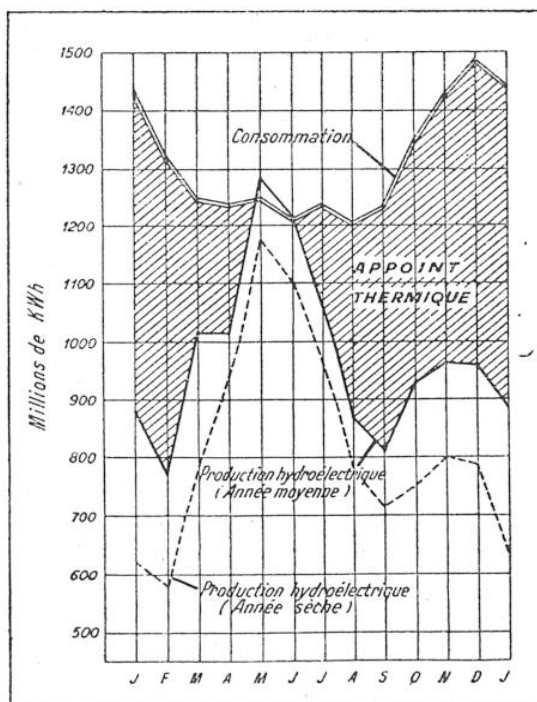
Le régime alpin est caractérisé par une période de fonte des neiges qui s'étend d'avril à juillet, avec des débits soutenus jusqu'en septembre par la fonte des névés et des glaciers; en hiver le gel produit au contraire un étiage

accentué. Il est certain que l'effort d'aménagement s'est jusqu'ici largement porté sur les Alpes où les forts débits combinés aux grandes hauteurs de chute permettent l'établissement de chutes économiques, et que le régime alpin tend à imposer sa prépondérance à la production générale, ce qui accentue la sous-production hivernale et la surproduction du printemps.

Le régime pyrénéen est une variante du régime alpin due à une situation plus méridionale et à une altitude plus faible : fonte des neiges précoce suivie d'un étiage d'été, amélioration temporaire due aux pluies d'automne, d'ailleurs insuffisante pour que ce seul régime apporte une contribution totale au remplacement de l'énergie d'origine thermique, si bien qu'il possède à ce sujet des défauts aussi graves que ceux du type alpin.

Nous ne citerons que pour mémoire le régime jurassien dont la régularité est satisfaisante, mais qui ne peut participer que de façon minime à la production totale.

Le Massif Central est la quatrième grande région hydraulique : ses bassins d'altitude moyenne sont arrosés d'abondantes pluies d'automne et d'hiver, et donnent des débits sou-



T W 23754

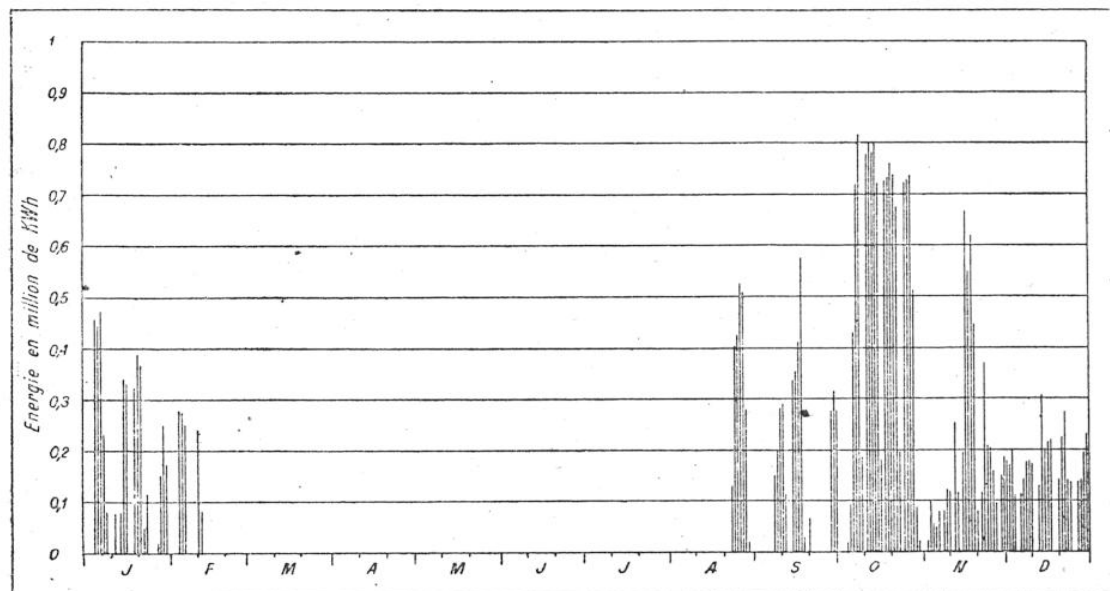
FIG. 2. — VARIATION SAISONNIÈRE DE LA PRODUCTION ET DE LA CONSOMMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

La consommation est durant presque toute l'année supérieure à la production d'origine hydraulique. L'appoint est fourni par l'énergie thermique. Pour remplacer celle-ci, il faudrait développer la production hydraulique en faisant d'abord porter l'effort sur les régions du type Massif Central aux hautes eaux d'hiver pour atténuer le minimum de la courbe de production. Pour réduire les déversements aux périodes de hautes eaux, on devra construire de grands réservoirs d'accumulation qui sont par ailleurs indispensables pour le comblement des étiages irréguliers que ne traduit pas le graphique.

tenus, coupés toutefois en janvier ou février par de courtes sécheresses dues au gel. Par contre, il présente un étiage généralisé de juillet à octobre, et l'imperméabilité du sol granitique entraîne de brusques variations de débit nécessitant une importante autorégulation par des réservoirs. C'est donc par une dilatation de la production du Massif Central qu'il faudra chercher l'adaptation à la courbe de consommation : l'étiage d'été restant compensé en partie par le régime alpin, le programme devra

irrégulier que comble actuellement l'énergie thermique (fig. 2); cette dernière ne pourra donc être remplacée que par une énergie hydraulique *reportable*, c'est-à-dire dont on pourra disposer à tout instant et à toute époque de l'année : on la nomme habituellement *énergie de lac*.

Dans l'échelle décroissante des qualités de l'énergie hydraulique, on trouve ensuite l'énergie *non reportable* mais susceptible de se concentrer sur les pointes journalières de consom-



T W 23756

FIG. 3. — GRAPHIQUE DES PRODUCTIONS QUOTIDIENNES DE LA CENTRALE THERMIQUE DE PARIS-ISSY-LES-MOULINEAUX EN 1937

La capacité actuelle de production quotidienne de l'usine est de 4,5 millions de kWh. La puissance installée n'est pour ainsi dire jamais utilisée à plein, et la production totale est une fraction très faible de la capacité de production annuelle. L'irrégularité de l'exploitation entraîne de nombreuses difficultés au point de vue de l'approvisionnement et du personnel. Enfin, les « productions nuisibles » dues à ce que l'obtention du régime d'utilisation des générateurs thermiques n'est pas instantanée et la nécessité de maintenir constamment « en veilleuse » des groupes thermiques qui doivent être toujours prêts à parer à toute éventualité ajoutent à ces inconvénients de lourdes sujétions. On conçoit donc la supériorité des grands réservoirs hydrauliques, possédant une souplesse parfaite, sur les centrales thermiques, pour l'adaptation de la production à la consommation de l'énergie électrique.

prévoir un équipement en réservoirs suffisant pour combler les courts étiages accidentels d'hiver qui présentent le danger d'affecter toute la France.

Le lac, accumulateur d'énergie

La consommation a des nécessités plus complexes que ne peut traduire la courbe (fig. 2) des variations mensuelles des besoins : il se produit des irrégularités hebdomadaires (creux des dimanches et fêtes), journalières (pointes du matin et de l'après-midi, « surpointe » du soir suivie du creux de la nuit), et accidentelles ou imprévisibles (par exemple la tombée du brouillard, sur Paris déclenche une pointe imprévisible). De l'autre côté, la production est soumise à des irrégularités de caractère aléatoire que l'on peut également appeler par convention : journalières, mensuelles ou annuelles, chaque période étant tantôt plus sèche, tantôt plus humide que sa valeur moyenne.

Ce sont ces marges à caractère extrêmement

mation : elle est produite par des bassins de faible capacité.

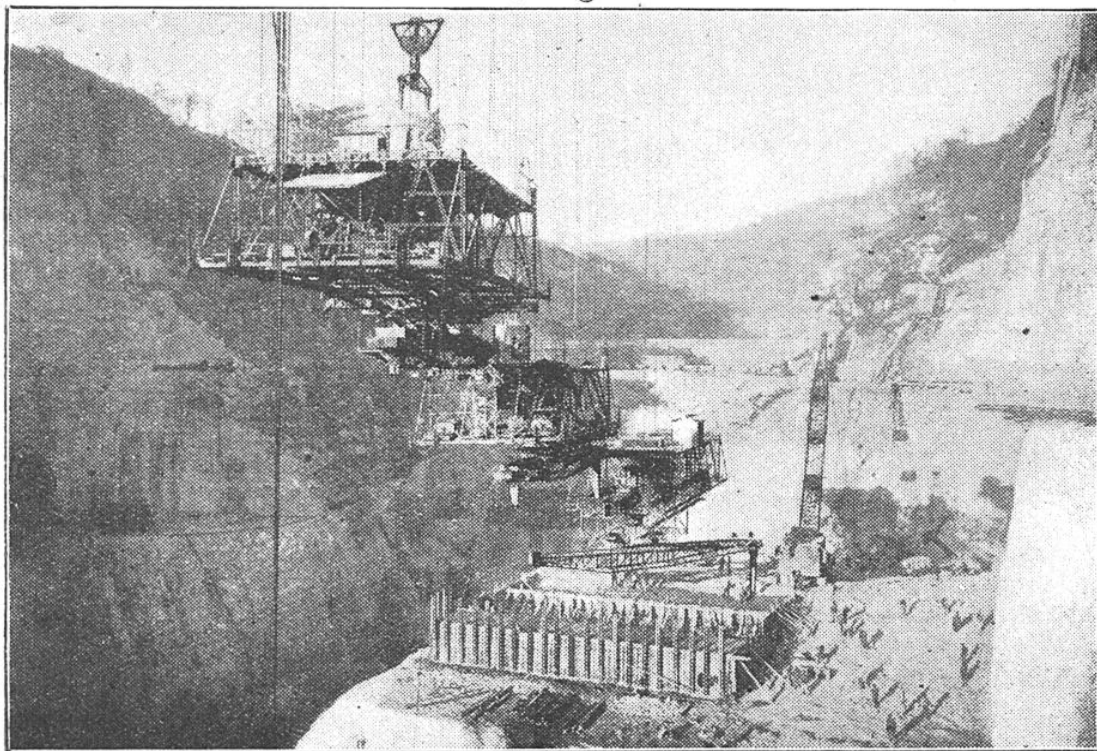
Enfin vient l'énergie *au fil de l'eau* dont la puissance est liée au débit de la rivière, et qui forme la « base » du diagramme de consommation sur laquelle l'énergie thermique et l'énergie de lac inscrivent ce que les électriciens nomment la « dentelle ».

Les besoins de la consommation sont d'ailleurs variables, et la demande globale augmente à un rythme qu'il est relativement possible de prévoir. Mais en même temps, ces besoins peuvent subir des déplacements dans le temps comme dans l'espace. Ces déplacements n'ont d'ailleurs pas lieu de façon absolument fatale, et il est dans une large mesure possible de les diriger.

Les producteurs et distributeurs s'efforcent en effet d'adapter *reciproquement* la consommation à la production, soit en consentant des tarifs plus réduits aux « heures creuses », soit par la création d'industries électrochimiques susceptibles d'un travail saisonnier en période

de déversement. Cet effort s'est traduit au cours des dernières années par une réduction importante du pourcentage d'énergie hydraulique non placée, c'est-à-dire « déversée », qui est passé de 48 % en 1932 à moins de 17 % en 1937. Une amélioration sensible pourrait être encore vraisemblablement obtenue par une tarification plus souple généralisant l'usage domestique de l'électricité aux heures creuses par l'accumula-

Mais avant de réaliser dans le détail l'adaptation de la production et de la consommation, nous ne devons pas perdre de vue que la production hydraulique ne couvre à l'heure actuelle que 55 % de nos besoins. Ces besoins s'accroissent à un rythme très rapide : de 13,5 milliards de kWh en 1928, la consommation est passée à 15,5 milliards en 1933 et à 20,8 milliards en 1939, soit une augmentation



T W 23761

FIG. 4. — COULÉE DES PREMIERS BLOCS DU BARRAGE DE GÉNISSIAT

Le bloc est assis sur un redan creusé dans la rive : les premiers « coffrages grimpants » viennent d'être placés et seront montés au fur et à mesure de la coulée. Les usines à béton sont ici suspendues à des fils pour livrer le béton au point précis d'utilisation, et éviter la dissociation causée par les longs trajets dans les goulottes : on aperçoit successivement, de haut en bas, les deux transporteurs à béton, la « poutre-usine », où le béton est repris et malaxé, et la poutre de répandage accrochée sous la poutre-usine.

tion : en Suisse, où cette tarification est à variation horaire, on a réussi à effacer le creux nocturne et même à faire apparaître une pointe de nuit ! Il est vrai que l'usage de l'électricité crée de nouveaux besoins qui remanient sans cesse le problème, la vente d'une série de grille-pain à bas prix pouvant produire une pointe à l'heure du petit déjeuner !

Ne retenons de cela que la multiplicité des solutions possibles pour résoudre l'adaptation journalière, qui peuvent intervenir à la production (création de bassins journaliers), où à la consommation (développement de l'appareillage domestique à accumulation), cette dernière solution permettant de diminuer la puissance à installer et la capacité des lignes de transport de force. Ces considérations ne doivent pas manquer d'influencer un plan d'équipement national dont la tendance devra s'inspirer du mode le plus économique.

Il ne semble pas que l'unité de vues soit d'ailleurs bien acquise.

de près de 60 % en onze ans ! Si l'on songe qu'il reste à réaliser 75 % de l'équipement du pays, le premier mot d'ordre doit être *produire*.

Aussi retiendrons nous principalement les deux tendances suivantes :

— La première consiste à augmenter la production par de puissantes usines en spéculant sur les possibilités futures d'adaptation de la consommation, facilitée par l'abaissement du prix de revient du kWh : ces usines nécessitent des moyens financiers considérables et offrent un caractère d'intérêt national ;

— la seconde, tout en répondant à des nécessités immédiates, cherche à réaliser au mieux la compensation des divers régimes du réseau français (aménagement du Massif Central) et à régulariser la quantité d'énergie disponible (« usines de lac » possédant d'importants réservoirs d'énergie).

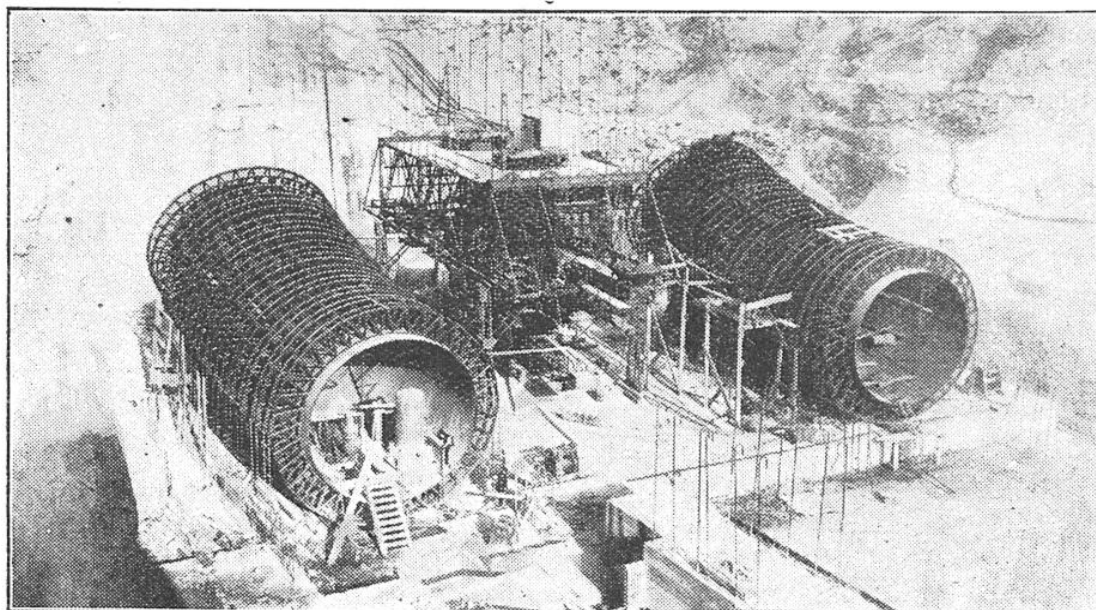
Parmi les grands ouvrages en construction à l'heure actuelle qui vont être décrits par la suite, Génissiat relève de la première catégo-

rie, l'usine du Portillon comme « usine de lac » et les grandes usines-barrage des rivières du Massif Central relèvent de la seconde.

L'aménagement du Rhône : Génissiat

L'usine de Génissiat (1) représente la première étape d'un gigantesque projet d'aménagement du Rhône français pour la navigation, l'irrigation et la production hydroélectrique. A ce dernier point de vue il s'agit de construire vingt usines utilisant le Rhône sous 340 m de chute

superficie de 350 ha et d'une capacité de 53 millions de mètres cubes. On a adopté le type « poids » résistant à la poussée de l'eau par sa masse propre et non par un arc-boutement sur les rives comme le type « voûte » ; toutefois l'implantation est faite suivant un arc à très grand rayon. L'empattement à la base atteint 70 m : le corps de l'ouvrage sera composé de six massifs ou *plots* accolés de 20 à 25 m de largeur, traversés chacun par l'une des six conduites en acier de 5,75 m de diamètre amenant l'eau aux turbines. La séparation, en plots coulés iso-



T W 23763

FIG. 5. — LE MONTAGE DES DEUX PREMIÈRES CONDUITES FORCÉES DE L'USINE DE GÉNISSIA

Ces conduites forcées doivent être calculées pour résister non seulement à la pression intérieure, mais encore à la contre-pression extérieure de l'eau « d'imprégnation » du barrage, capable d'écraser la conduite en cas de vidange. C'est pourquoi on les a renforcées par des poutres circulaires en treillis. L'échelle est donnée par les deux ouvriers qui se trouvent dans la conduite de gauche. Entre les deux conduites se trouve une usine à béton.

au total et dont la production annuelle atteindra 9 milliards de kWh, chiffre voisin de la production de l'ensemble des usines hydroélectriques actuelles. Sur ce total, Génissiat doit fournir 1,8 milliards de kWh suivant un régime voisin du type alpin, malgré la légère régularisation naturelle du lac Léman, qui ne saurait malheureusement, en raison des nombreuses villes qui le bordent, être aménagé en réservoir artificiel. Par contre, le cours inférieur du Rhône présente un régime mixte à hautes eaux d'automne et d'hiver, dû à l'apport d'affluents issus de régions très variées : aussi l'étape prochaine prévoit-elle, à une dizaine de kilomètres au nord d'Orange, dans le Vaucluse, la construction de l'usine de Mondragon, dont la production atteindra 1,5 milliards de kWh.

Le barrage de Génissiat (fig. 4) se situe à 7 km au sud de Bellegarde, où le Rhône coule dans un cañon étroit aux parois à pic dont la largeur est inférieure à 100 m : il aura une hauteur totale de 104 m au-dessus des fondations et créera un lac de 23 km de long, d'une

lément, des grandes masses de béton, est une technique qui n'est d'ailleurs pas nouvelle et permet d'éviter les fissures dues au retrait et à la température. Le béton est en effet mauvais conducteur et ne dissipe que lentement la chaleur due à la prise : on a pu constater, grâce à des couples thermoélectriques noyés dans la masse, que la température interne de grands ouvrages était encore de 50° à 60° C, plusieurs années après leur mise en service.

L'usine, transversale à la vallée, fait corps avec le pied du barrage dont le parement aval se raccorde au toit du bâtiment. Le plan définitif prévoit l'installation de six groupes de 90 000 à 130 000 ch d'une puissance totale de 420 000 kW et dont une partie seulement sera installée avant la mise en eau.

Les travaux comportent deux phases successives :

Les travaux préparatoires, dont le but est de mettre à nu le rocher de fondation sous la protection des ouvrages* de dérivation provisoire : commencés en 1937, ils furent terminés en août 1939, mais la retraite de 1940 provoqua la submersion des chantiers qui constituaient

(1) Voir La Science et la Vie, n° 286 (juin 1941).

lées dans le lac du Portillon, dont la capacité utile prévue est de 13 millions de mètres cubes, par une station de pompage branchée sur la conduite forcée à la cote de 2 240 m. Enfin l'aménagement doit être complété par la construction d'un canal collecteur de 3 000 m de long qui recueillera les eaux de ruissellement du cirque du Lys pour les déverser dans le lac Bleu.

La conduite forcée représente une très belle réalisation, menée à bien dans les conditions difficiles dues à l'altitude, à l'enneigement et aux avalanches : longue de 2 650 mètres, sa pente atteint par endroits 108 %. L'usine est un modèle de sobriété et de concentration de puissance, et ne comprend qu'un alternateur unique de 40 000 kW entraîné par deux roues Pelton en porte à faux sur l'arbre (fig. 7). La production atteindra 55 millions de kWh, en majeure partie constitués d'énergie de lac.

Le barrage de l'Aigle

Le barrage de l'Aigle (fig. 10 et 11) est un barrage de 90 m de haut situé sur le cours de la moyenne Dordogne, dont la retenue viendra affleurer le pied du barrage de Marèges situé 25 km plus à l'amont. Le lac ainsi créé aura un volume de 160 millions de mètres cubes ; la production annuelle de l'usine sera de 400 millions de kWh, avec une puissance de pointe de 200 000 kW. Avant d'entrer dans les détails techniques de l'ouvrage, il est intéressant de montrer comment cet aménagement s'intègre dans le cadre des aménagements voisins, existants ou projetés.

Le projet d'équipement général de la haute et de la moyenne Dordogne, inclus dans le projet d'équipement général du pays mis sur pied en 1938, prévoit une suite ininterrompue d'usines-barrage (fig. 8 et 9) dont les caractéristiques seront voisines de celles de Marèges. La chute de Marèges, créée par un barrage de 90 m de haut et d'une puissance de 150 000 kW, est suivie à l'aval par la chute de l'Aigle, puis par le barrage de Chastang, qui en est au stade des études et des travaux préparatoires et créera une retenue de 32 km au niveau des eaux de fuite de l'Aigle, et permettra de disposer d'une chute de 71 m. A l'amont de Marèges le barrage projeté de Bort retiendra une énorme réserve d'environ 400 millions de mètres cubes (1), qui d'une part régularisera le

débit de la Dordogne qui peut passer de 15 m³/s à l'étiage à 1 500 m³/s en crue, soit un rapport de 1 à 100, et d'autre part représentera un stock considérable d'énergie reportable grâce à l'utilisation simultanée sur toutes les usines d'aval.

Cette situation en tête du « chapelet » d'usines hydroélectriques, semble d'ailleurs être un des intérêts dominants du projet, une usine-barrage isolée n'étant pas susceptible de fournir une énergie de lac élevée, quelque impressionnant que puisse être le volume de la retenue.

En effet, chaque fois que les besoins en énergie de lac sont particulièrement impérieux (comme ce fut le cas pendant l'hiver 1941-1942), l'usine-barrage ne peut « tirer » que sur une faible tranche sous peine de voir diminuer rapidement le rendement par réduction de la hauteur de chute, et, chose plus grave, d'hypothéquer sur les débits à venir qui permettraient de rétablir la situation normale, et devraient alors être partiellement utilisés à combler le trou creusé avant de travailler sous la chute maximum.

Dans le « chapelet » d'usines, seule la chute supérieure, directement abouchée au réservoir de tête, pourrait se trouver « dévaluée » : il y a intérêt à laisser travailler les usines d'aval sous la chute maximum et à ne tirer sur leurs réservoirs que pour les besoins de la pointe journalière. Aussi, pour ces dernières, les grands réservoirs sont-ils inutiles, et doit-on s'efforcer de réaliser le « chapelet » avec le maximum d'économie.

Il est envisagé de terminer l'aménagement de la moyenne Dordogne par un petit barrage d'une dizaine de mètres, à quelques kilomètres à l'aval de celui de Chastang. Ce barrage n'aurait qu'un faible intérêt pour la production d'énergie et serait destiné principalement à créer un bassin de compensation qui amortirait les « lâchures » de pointe des usines qui peuvent atteindre un débit de 300 m³/s et représenter de véritables crues. Des études sont en cours pour examiner si la compensation est réellement nécessaire ou plus exactement pour vérifier si elle ne s'opère pas naturellement au bout de quelques kilomètres : si l'on excepte la section de quelques kilomètres qui a été réservée pour ne pas noyer

France, le Sautet sur le Drac, dont le barrage atteint 134 m de haut, ne possède que 100 millions de mètres cubes utiles, et Sarrans sur la Truyère 300 millions de mètres cubes, dont 180 seulement utilisables.

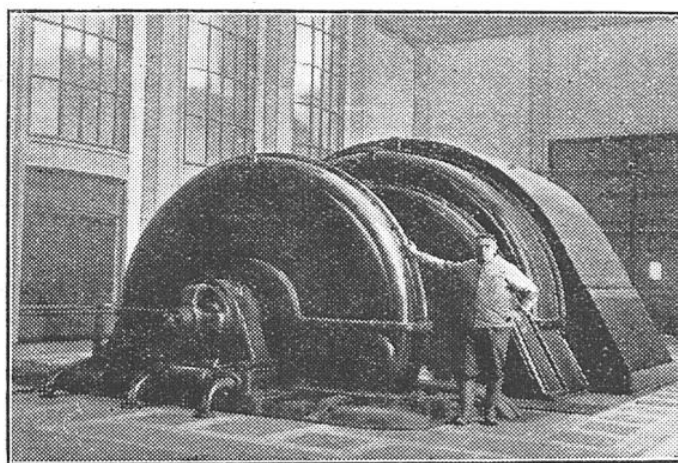


FIG. 7. — LE GROUPE GÉNÉRATEUR UNIQUE DE 50 000 KILOWATTS DE LA CENTRALE DU PORTILLON

La salle des machines de l'usine du Portillon est un modèle de netteté et d'élégance. L'alternateur est entraîné par deux turbines Pelton placées de part et d'autre en porte-à-faux sur l'arbre : les services auxiliaires de régulation et de commande des vannes ont été reportés sous le plancher de la salle. La manutention du rotor de l'alternateur, qui pèse 120 tonnes, est assurée par le couplage de deux ponts roulants de 60 tonnes.

(1) Parmi les plus grands réservoirs réalisés en

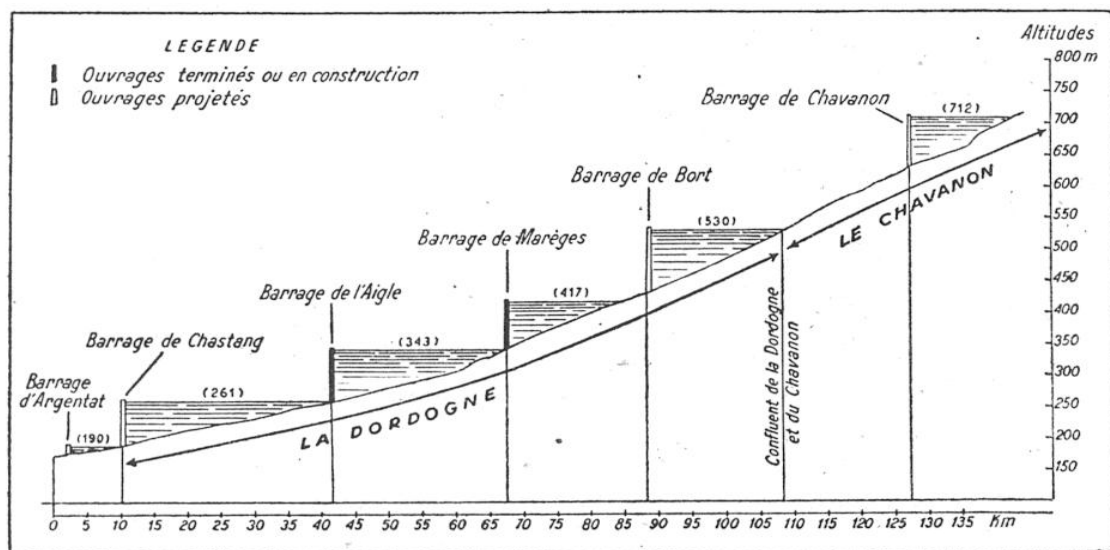


FIG. 8. — PROFIL EN LONG DU CHAPELET DES USINES HYDRAULIQUES DE LA MOYENNE DORDOGNE

L'ensemble des quatre usines de Bort, de Marèges, de l'Aigle et de Chastang assurera l'utilisation presque intégrale de l'énergie hydraulique de la Dordogne sur un cours de 110 km avec une dénivellation totale de 340 m. Alors qu'une usine isolée ne peut utiliser sa réserve d'eau sans consentir une chute de rendement de 20 à 30 %, le chapelet d'usines permet de faire travailler à plein rendement les usines d'aval en commençant par vider partiellement les réservoirs d'amont.

la ville de Bort, on utilisera de façon totale la dénivellation de la Dordogne sur un cours de 100 km, avec 340 m de chute (et même 422 m si l'on tient compte de l'usine du Chavanon sur l'affluent supérieur du même nom).

Le bloc « barrage-usine-déversoir »

Si l'Aigle rejoint déjà par sa hardiesse et ses innovations techniques les récents grands barrages dont Marèges est le type, il témoigne en outre d'une conception tout à fait originale, caractérisée non seulement par la constitution du bloc usine-barrage qui s'impose d'ailleurs de plus en plus dans les projets modernes, mais par l'association à ce bloc d'un déversoir qui fera passer le flot de crue sur le

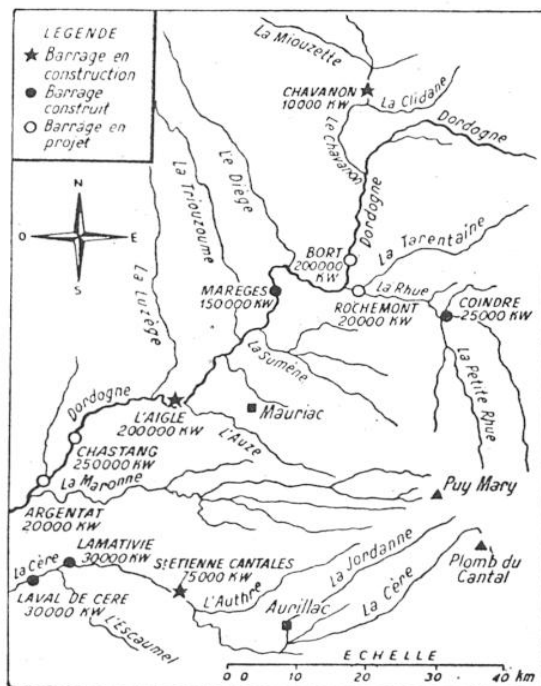


FIG. 9. — LES USINES CONSTRUITES, EN CONSTRUCTION OU EN PROJET DE CONSTRUCTION SUR LA DORDOGNE ET SUR LA CÈRE

Les usines construites ou en voie d'achèvement sur la Dordogne et ses affluents : la Diège, la Triouze, la Rhue, etc., représentent une puissance totale de plus d'un million de kW pour le seul bassin de la Moyenne Dordogne. La production annuelle correspondante sera de 2 milliards de kWh, soit environ le sixième de la production hydraulique française actuelle. La Cère, dont le programme est en voie d'achèvement avec Saint-Etienne-Cantalès, va fournir à bref délai un appoint de puissance de 125 000 kW.

toit de la salle des machines et le rejettera à l'aval par un « saut de ski » convenablement étudié. Nous retrouverons une disposition analogue à St-Etienne-Cantalès sur la Cère (fig. 13).

Outre sa simplicité et son unité esthétique, les avantages économiques d'une telle réalisation résultent du coût élevé des organes évacuateurs de crues des grands ouvrages, qui doivent parfois admettre des débits énormes et dissiper une énergie se chiffrant par plusieurs millions de chevaux. Par prudence, le contrôle administratif impose des débits considérables, dépassant les crues connues ou observées, et dont la fréquence probable, parfois calculée par extrapolation des observations de nombreuses années, est généralement de l'ordre de

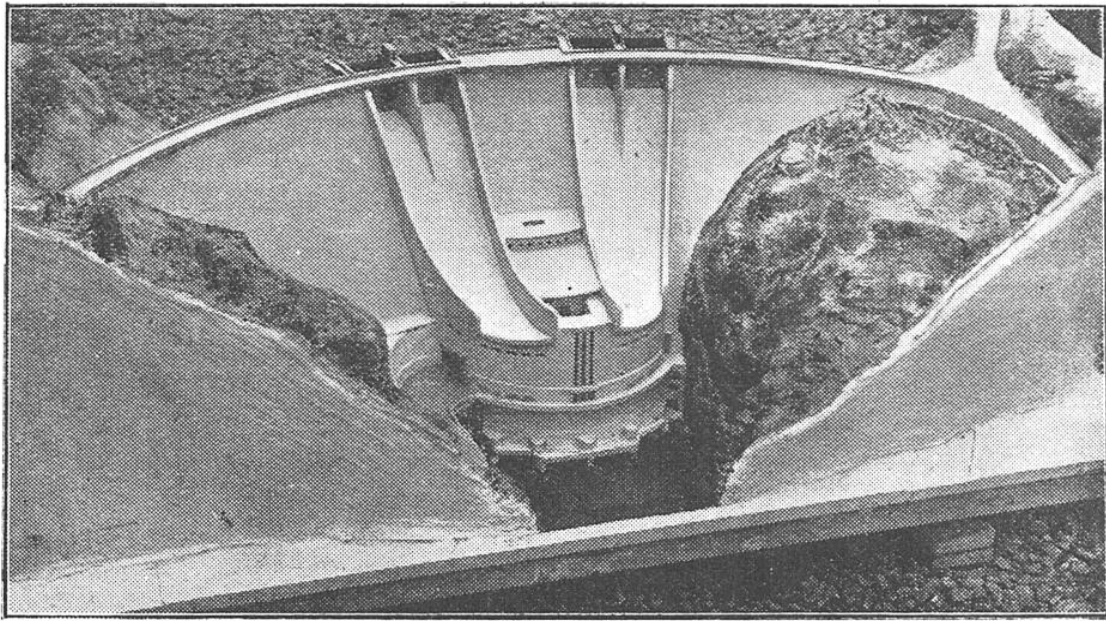
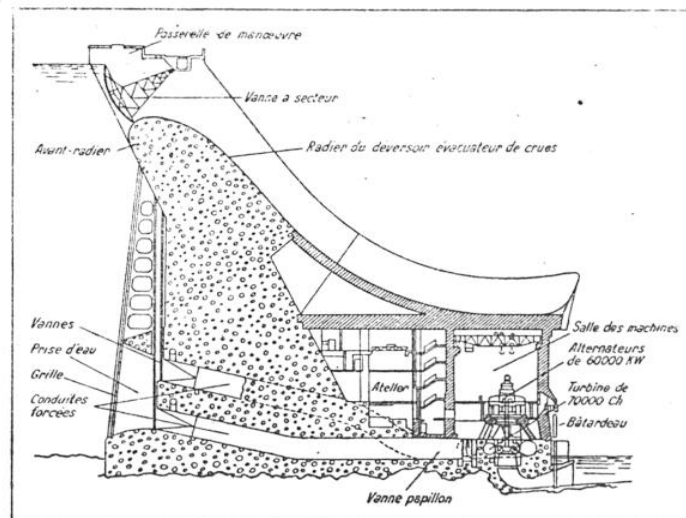


FIG. 10. — LA MAQUETTE DU BARRAGE DE L'AIGLE

T W 23751

Ce barrage du type poids-voute, d'une hauteur de 90 m, présente les caractéristiques suivantes : rayon du parement amont : 150 m; épaisseur au sommet : 5 m; épaisseur à la base : 40 m. Il retiendra 160 millions de mètres cubes d'eau dans un lac de 25 km de longueur. Au pied du barrage, on aperçoit l'usine électrique qui produira 400 millions de kWh par an. Sur le toit de l'usine, le déversoir avec « saut de ski », qui rejette à 50 m du pied du barrage l'eau des crues de la Dordogne, et est capable d'évacuer 4 000 m³ par seconde.

une pour cent ou mille ans. Rien ne permet de chiffrer ce « degré de prudence » qui reste purement subjectif : une méthode que l'on a pu qualifier d'« américaine » (probablement parce qu'elle s'inspire du même calcul que la suppression du gardiennage des passages à niveau aux U.S.A., lequel entraînerait des frais supérieurs à ceux des accidents!), consisterait précisément à ne pas dépasser pour les ouvrages le montant d'une prime globale d'assurances pour le risque couru en cas de catastrophe. Encore nous a-t-il été donné de voir, lors des dernières inondations monstres



T W 23758

FIG. 11. — COUPE DE L'USINE-BARRAGE DE L'AIGLE A DÉVERSOIR INCORPORÉ

On remarquera la forme particulièrement étudiée du profil du radier du déversoir qui épouse les filets liquides sans créer de dépressions, sources de vibrations de l'ouvrage et de cavitation à la surface du béton; on a prévu à cet effet un avant-radier supplantant le parement amont du barrage. L'épaisseur du radier (3 m), qui constitue le toit de l'usine, réalise une protection efficace contre les bombardements.

des vallées du Tech et de la Têt, des précipitations dépassant toutes les prévisions antérieures.

A Sarrans, sur la Truyère, le débit maximum à évacuer est de 2 400 m³/s et se produit théoriquement une fois tous les quinze mille ans : les évacuateurs sont constitués par deux galeries revêtues, de 75 m² de section chacune, à ouverture en forme de trompe, dont la longueur est de 500 m. A Marèges, il y a trois évacuateurs de crues totalisant 2 700 m³/s dont l'un est à l'air libre sur la rive droite du barrage, et les deux autres souterrains.

Le déversoir de l'Aigle a été cal-

culé pour évacuer 4 000 m³/s; depuis l'origine des mesures de débit sur la Dordogne on a d'ailleurs plusieurs fois enregistré des débits de 1 500 m³/s. Il est constitué par deux bâches symétriques s'appuyant sur le parement aval du barrage et se prolongeant sur le toit de l'usine, énorme dalle en béton armé de 3 m d'épaisseur, suffisante pour éviter les infiltrations et qui s'incurve en « tremplin de ski » de façon à rejeter les eaux à plus de 50 m à l'aval des fondations. Les eaux créeront ainsi rapidement par érosion un « gour » où leur

nécessita un avant-radier en forme de carène surplombant le parement amont du barrage, ainsi que les mesures propres à éviter qu'aux faibles débits la lame d'eau ne vienne coller à la paroi et ruisseler sur les murs et les vitrages de l'usine. Tout cela a nécessité de minutieuses études sur modèle réduit et sur maquette, construits à proximité du chantier, qui ont tenu en même temps le plus grand compte de l'esthétique architecturale de l'ensemble.

Indiquons encore que le personnel de la

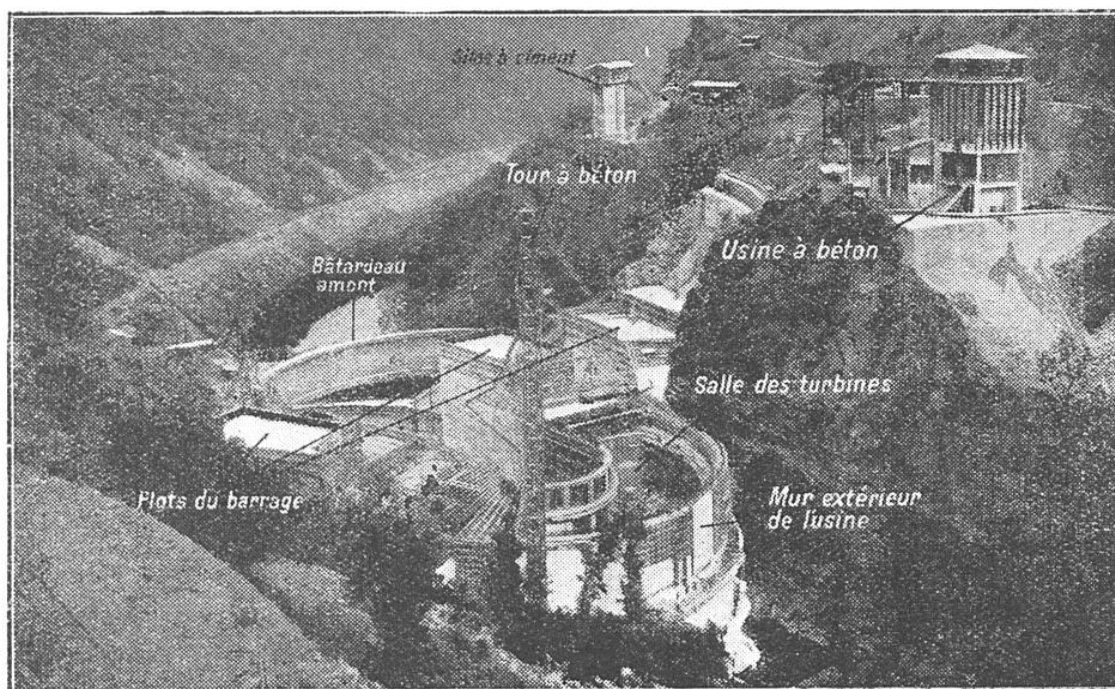


FIG. 12. — LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE L'AIGLE : ÉTAT DES TRAVAUX LE 15 OCTOBRE 1942

Les travaux s'effectuent sous la protection d'un batardeau constitué par un barrage-voûte de 17 m de hauteur et de 50 m de rayon. Le barrage est divisé en plots de 14 m de largeur réunis par des joints étanches. On aperçoit plusieurs de ces plots en construction. Pour utiliser au mieux l'espace disponible au pied du barrage, l'usine est disposée en demi-cercle. Le béton est fabriqué dans une usine haute et acheminé vers les chantiers par des bennes suspendues.

énergie s'amortira par brassage, et ne pourra produire aucune érosion régressive vers l'ouvrage. Notons en passant que l'on réalise par cela même la protection contre les bombardements aériens, prévue par ailleurs dans l'aménagement de Génissiat. Il était nécessaire d'obtenir une lame d'eau étroite en raison de l'exiguïté de la gorge, afin de ne pas perturber l'écoulement d'aval. Cette exigence a été réalisée par la convergence des deux bâches, dont les filets liquides s'écrasent au point de contact en forme de « crête de coq » suivant un processus analogue à celui de la formation de la flamme du bec papillon. Une part importante de l'énergie se dissipe ainsi en l'air au point de convergence, ce qui diminue d'autant les phénomènes d'érosion.

D'autres problèmes hydrauliques se sont également posés. Il a fallu étudier la courbure du radier du déversoir de façon à supprimer les vibrations de l'ouvrage, ce qui

salle des machines ne vivra pas éventuellement derrière un rideau d'écume, dans le fracas assourdissant de la chute! Ce n'est guère que pendant soixante jours par an que le débit de la Dordogne sera supérieur aux 300 m³/s qui passent par les turbines et que le déversoir fonctionnera.

Le barrage est du type mixte poids-voûte, en ce sens que sa forme en voûte procure une économie appréciable sur le barrage-poids classique, mais qu'il reste moins élancé que la voûte pure. Comparé à Marèges que l'on peut considérer comme un modèle de légèreté, le barrage de l'Aigle a 5 m d'épaisseur au couronnement contre 3, et 40 m à la base contre 30; le volume du béton est de 280 000 m³ contre 180 000. Une certaine masse était d'ailleurs nécessaire pour supporter les déversements de crues sans vibrations dangereuses. Aux fondations, on n'a trouvé que quelques mètres d'alluvions sur un gneiss très homogène, dans lequel

on a néanmoins injecté par précaution un coulis de ciment jusqu'à 30 ou 40 m de profondeur.

La mise en œuvre d'un tel volume de béton (le cube total, usine et déversoir compris, atteint 350 000 m³) n'est pas sans présenter quelques difficultés. L'organisation du chantier offre de nombreuses particularités nouvelles, spécialement dans le classement et le silotage des agrégats. Une première usine à béton installée dans le fond de la gorge a pour mission de couler les fondations et le bâtiment d'usine; depuis, une « usine haute », installée sur le plateau, bétonne le corps de l'ouvrage : elle est alimentée en ciment par un transporteur aérien de 9 km la reliant à un embranchement ferroviaire spécialement construit au nord de Mauriac. Le bétonnage se fait par plots de 14 mètres, dont le joint de contraction est obturé par une lame de cuivre. Pour la première fois dans la technique du bétonnage en grande masse on a utilisé de gros agrégats allant jusqu'à 25 cm et nécessitant des bétonnières spéciales; technique qu'il ne faut pas confondre avec celle, désormais classique, du *béton cyclopéen* consistant à noyer dans la masse du barrage de gros blocs qui font prise avec le béton.

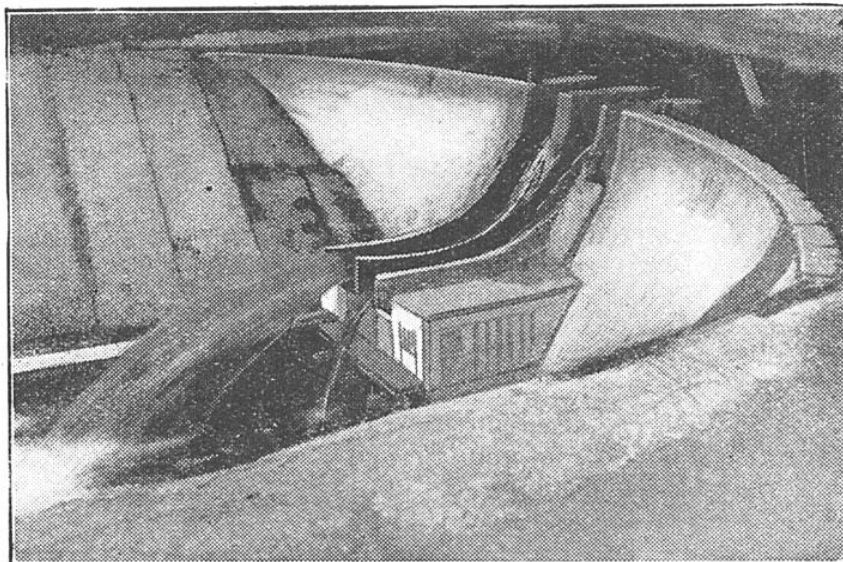
Pour loger les quatre groupes de l'Aigle parallèlement à la crête du barrage, il eût fallu, de même qu'à Génissiat, entailler les parois de la gorge, ce qui n'aurait pas été sans diminuer la résistance des culées rocheuses équilibrant la poussée de la voûte. Par une solution tout à fait originale les groupes de l'Aigle ont été répartis sur un demi-cercle et les services auxiliaires placés au centre, suivant une disposition peut-être courante en architecture, mais qu'à notre connaissance un certain conservatisme a toujours empêché d'appliquer en matière d'usines hydroélectriques. Il y aura quatre groupes identiques à axe vertical de 70 000 ch chacun, dont deux seulement seront montés dans la phase actuelle des travaux. Le courant sous une tension de 12 000 V issu des alternateurs sera envoyé par un câble jusqu'au poste de transformation à 220 000 V, situé à flanc de coteau, au-dessus du niveau maximum de la retenue. Les disjoncteurs à 220 000 V protégeant l'installation seront situés sur le plateau, au-dessus de l'usine; de là, le courant rejoindra le grand réseau d'interconnexion du Massif Central à Paris.

L'équipement de la Cère et le barrage de Saint-Etienne-Cantalès

La Cère est un affluent de la Dordogne qui possède sensiblement le même régime hydrau-

lique que cette dernière, avec toutefois des débits réduits en proportion de l'étendue plus faible de son bassin d'alimentation : les débits d'hiver sont de l'ordre de 25 m³/s et les crues normales d'environ 250 m³/s. On retrouvera donc dans le programme d'aménagement de la Cère les mêmes caractéristiques que dans celui de la Dordogne, avec le grand réservoir saisonnier de tête, capable, soit de régulariser le cours d'eau sur le plan local, soit de fournir à la demande sur le réseau général un appoint important d'énergie reportable.

Actuellement, l'aménagement de la basse



T W 23759

FIG. 13 — MAQUETTE DU BARRAGE DE SAINT-ÉTIENNE-CANTALÈS

Les essais sur modèle réduit permettent d'étudier l'écoulement des déversoirs et de l'améliorer par des retouches effectuées sur la maquette. La photo ci-dessus montre l'aspect du jet par le seul évacuateur de crues de la rive droite, qui correspondrait à un débit réel de 500 m³/s.

Cère est déjà réalisé par les usines de Lamativie et de Laval-de-Cère (1) qui sont au « fil de l'eau » avec galerie d'adduction latérale et conduite forcée. La chute totale utilisée est de 260 m et produit annuellement 250 millions de kWh : la puissance maximum de 50 000 kW se trouve actuellement un peu insuffisante pour cadrer avec les conceptions nouvelles.

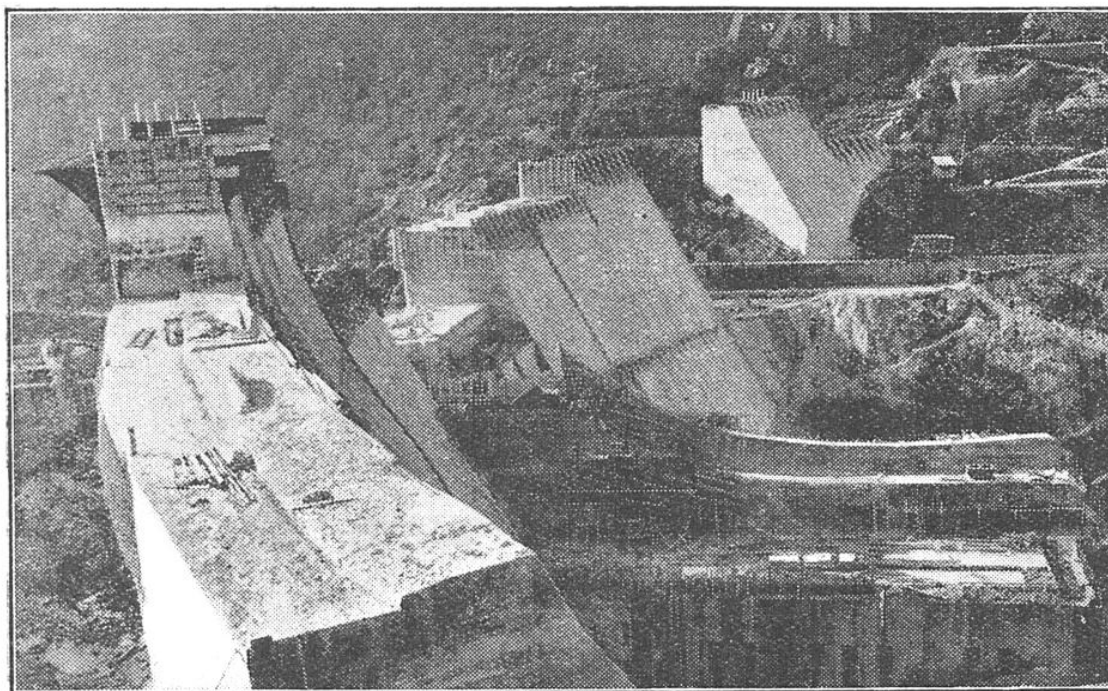
Le barrage de Saint-Etienne-Cantalès, haut de 70 m, créera une retenue de 130 millions de mètres cubes, longue de 15 km, qui noiera le viaduc de Ribeyrès jusqu'au ras du tablier, les piles métalliques étant protégées par un revêtement bétonné. Il s'apparente au barrage de l'Aigle par sa formule mixte poids-voûte et le bloc « usine-barrage-déversoir », avec toutefois un évacuateur de crues plus classique dans sa conception. La capacité d'évacuation du déversoir seul est de 1 000 m³/s; là encore il ne fonctionnera qu'en crue exceptionnelle, le débit cumulé des turbines (165 m³/s) et de la vanne de vidange (80 m³/s) pouvant absorber les crues normales.

A 2 km à l'aval de Saint-Etienne-Cantalès un barrage de 18 m de haut créera un bassin

(1) Voir : « L'aménagement du Massif Central », dans *La Science et la Vie*, n° 225 (mars 1936).

de compensation de 2 500 000 m³ qui jouera un double rôle : soit concentrer les débits sur les heures de pointe en période d'étiage, ceci à l'usage des usines inférieures qui sont au fil de l'eau et ne possèdent aucun moyen d'accumulation; soit au contraire étaler les lâchures de l'usine de Saint-Etienne-Cantalès de façon à ce que les usines d'aval, moins fortement équipées, puissent les absorber. Ce réservoir permettra ainsi de remédier aux imperfections de l'ensemble en le modulant avec beaucoup de souplesse.

nel. Ici, comme dans le domaine de la production industrielle, c'est par une concentration en usines de grosse puissance que l'on abaissera le prix de revient des aménagements restant à effectuer, lesquels deviennent de plus en plus « chers » au fur et à mesure que l'on a équipé les plus intéressants : l'avenir est aux projets hardis de puissants barrages ou d'adductions grandioses captant les eaux de plusieurs rivières et les dérivant sur des dizaines ou des centaines de kilomètres, sans que pour cela les possibilités de *décentralisation* en



T W 23760

FIG. 14. — L'ÉTAT ACTUEL DES TRAVAUX DE SAINT-ÉTIENNE-CANTALÈS

L'un des plots va bientôt atteindre sa hauteur définitive; le gros œuvre de l'usine, dont on aperçoit les hautes baies verticales en bas et à droite, est en cours d'achèvement. Noter les coffrages métalliques « grimpants » qui suivent le bétonnage au fur et à mesure de son exécution, et la préparation des surfaces de reprises sur le plot au premier plan : repiquage à vif du béton et redan pour bien « accrocher » les assés.

Les nouveaux progrès de la technique de construction des barrages

La période d'inaction due au malthusianisme économique de ces dix dernières années, suivi de la guerre et de la pénurie de matières premières et de main-d'œuvre, a favorisé en un certain sens l'éclosion de projets plus réfléchis et d'une technique plus étudiée. En effet, dans les conjonctures favorables de l'économie, on aménageait les secteurs les plus intéressants, par un véritable « écrémage » de la richesse hydroélectrique du pays, dans des conditions parfois précipitées, fonctions des circonstances financières et des intérêts intercalaires (intérêts improductifs pendant la durée des travaux) qui grèvent lourdement les œuvres de longue haleine. Beaucoup de constructions ont été jadis entreprises sans études sérieuses sur les débits, sans intégration dans le programme d'un aménagement d'ensemble, même local, mais ration-

nelles. Ici, comme dans le domaine de la production industrielle, c'est par une concentration en usines de grosse puissance que l'on abaissera le prix de revient des aménagements restant à effectuer, lesquels deviennent de plus en plus « chers » au fur et à mesure que l'on a équipé les plus intéressants : l'avenir est aux projets hardis de puissants barrages ou d'adductions grandioses captant les eaux de plusieurs rivières et les dérivant sur des dizaines ou des centaines de kilomètres, sans que pour cela les possibilités de *décentralisation* en

petites usines soient tout à fait oubliées. Par l'utilisation d'installations de chantiers et de machines puissantes on pourra obtenir des réductions de main-d'œuvre de l'ordre de 70 à 80 %, taux obtenus sur les grands chantiers américains. A l'intérieur d'un même chantier, la coulée d'un bloc unique « barrage-usine-déversoir » est un exemple heureux de concentration.

Les études sur modèles réduits, véritables maquettes hydrauliques qui permettent d'étudier les phénomènes réels par extrapolation, sont devenues, ainsi que dans le domaine de l'aérodynamique, de pratique courante. On leur doit en particulier l'établissement de formes rationnelles pour les barrages déversoirs, « accompagnant » les filets liquides sans vibrations ni cavitations, l'étude des phénomènes d'érosion et d'ensablement dans les rivières, la vérification des débits, l'adoption de plus en plus fréquente de piles profilées « aérodynamiques », la solu-

tion de nombreux problèmes spéciaux parmi lesquels nous citerons la construction du batardeau de coupure de Génissiat par déversement d'un massif de blocs rocheux rendu autostable dans le courant par l'incorporation de tétraèdres métalliques.

Une deuxième catégorie de progrès techniques, d'application plus récente, résulte du souci d'économiser des matières premières devenues onéreuses ou rares : ainsi que dans le domaine des ersatz, il n'est pas douteux que

maintes de ces solutions de crise ne puissent devenir ultérieurement pratique courante. La tôle d'acier des conduites forcées a été remplacée dans une plus large mesure par le béton armé, le béton fretté, ou même le bois fretté, suivant des techniques déjà en honneur dans les pays où le bois s'imposait par sa qualité et son bon marché. Dans la construction des barrages, la maçonnerie s'était vue depuis longtemps détrônée par le béton coulé en grandes masses par l'intermédiaire de goulottes, l'amenant depuis les usines à béton au chantier. A son tour le béton, devenu cher et contingenté, a tendance à céder la place, au moins dans les

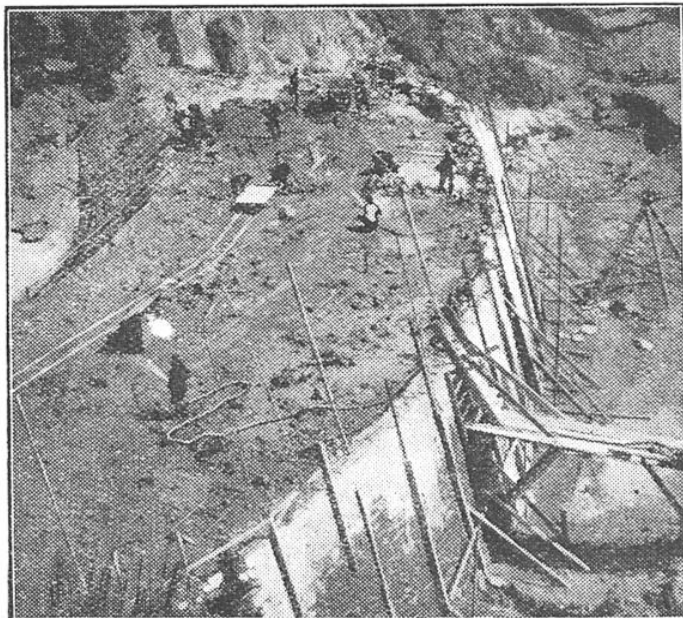
ouvrages de moyenne importance, aux barrages en enrochements ou encore aux digues en terre corroyée et damée, qui nécessitent la proximité de terrains d'emprunt de teneur argilo-sableuse convenable. Dans ce dernier domaine nous sommes loin d'avoir atteint en hardiesse et en puissance la technique américaine, où le remblayage hydraulique permet de déposer d'énormes masses de terre : la terre, désagrégée à la carrière par un canon à eau, est entraînée et se dépose sur la crête de l'ouvrage, les matériaux fins et imperméables au centre, formant une *clef* étanche, les graviers sur les bords. La plus grande digue en terre réalisée en France est en cours d'achèvement sur le Taurion, petit affluent de la Vienne, sur lequel elle crée un réservoir de 20 millions de mètres cubes : haute d'environ 22 mètres, elle

est simplement revêtue d'une maçonnerie en pierre de 0,30 m d'épaisseur.

Entre autres innovations originales, le barrage de Laurenti, dans la haute vallée de l'Aude, est constitué par un véritable béton sans ciment dont la compacité est obtenue par l'arrosage abondant d'un agrégat « tout venant » ; on a pu envisager des parements maçonnés ancrés dans la masse du barrage par des tirants en béton armé, dont la raideur est comparable à celle des parements des barrages

en maçonnerie. Ce type de construction se différencie donc très nettement de la digue en terre aux pentes très douces et procure une économie substantielle sur le cube mis en œuvre.

La technique des usines a bénéficié dans tous les domaines de nombreux progrès, qui, pour paraître plus lents, n'en ont pas moins été continus : augmentation du rendement des turbines qui a pu atteindre 92 à 93 % ; augmentation de la puissance des groupes qui permet d'envisager des « Pelton » de 40 000 kW et des « Francis » de 85 000 kW (1) ; simplification des services et des dispositions de l'usine, qui se traduit par la netteté de plus en plus grande



1° W 23.62

FIG. 15. — UNE DES TECHNIQUES NÉES DE LA PÉNURIE DES MATÉRIAUX : LE BARRAGE EN TERRE « TOUT-VENANT » DE LAURENTI

Le corps du barrage est constitué par un mélange de pierres et de sable emprunté à une carrière et rendu très compact par damage et arrosage. Les parements sont de simples murs de moellons fortement accrochés à la masse du remblai. Ces murs permettent de donner aux parois du barrage des pentes beaucoup plus raides que dans les profils classiques des barrages de terre, tout en profitant des avantages d'une installation de chantiers sommaire et rustique.

des installations.

Telles sont les considérations générales qui permettent d'une part de juger le sens dans lequel évoluent les aménagements hydroélectriques et, d'autre part, de faire le point en matière de technique ; il reste encore des possibilités considérables dans l'extension des installations de houille blanche, qui n'attendent pour se manifester que des circonstances meilleures.

Maurice ROUSSELIER.

(1) Les turbines Pelton sont mues par l'action d'un jet d'eau venant frapper des augets répartis sur la périphérie : elles conviennent aux hautes chutes. Dans les turbines du type Francis, la veine d'eau, moulée par les aubes fixes d'un distributeur, met en rotation les aubes mobiles. Pour les très basses chutes, on utilise des turbines-hélices.

LA PROTECTION DE NOS CULTURES CONTRE LES INSECTES EXOTIQUES : LA POLICE SANITAIRE DES CENTRES D'IMPORTATION

par P. VAYSSIÈRE

Professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle

L'importation en France de produits agricoles nombreux et variés en provenance des pays voisins ou des continents éloignés : céréales, fruits frais ou secs, plantes ornementales, essences forestières, etc., si active avant la guerre, n'allait pas sans de graves dangers pour les cultures indigènes. En effet, tous ces produits exotiques sont susceptibles d'abriter des parasites jusqu'ici inconnus sur notre sol; bien que souvent peu dangereux dans leur pays d'origine, ceux-ci peuvent, dans les nouvelles conditions d'existence qui leur sont offertes, se multiplier au point de constituer de véritables fléaux. Déjà, avant la guerre, nos grands ports d'importation étaient dotés de services de surveillance et de stations de désinfection par gaz toxiques auxquelles devaient être soumises toutes les expéditions suspectes. Cette organisation devra être reprise et développée après la guerre, car la création d'une véritable police phytosanitaire est certainement le plus économique et le plus sûr des moyens pour éviter de nouvelles invasions parasitaires désastreuses, comme l'ont été, dans un passé encore proche, celles du phylloxéra et du doryphore.

Les grandes invasions d'insectes nuisibles

LA nécessité de l'existence d'un service destiné à la protection des végétaux est maintenant reconnue par la plupart des pays. Elle s'est imposée à l'esprit à la suite de l'importation, dans diverses contrées, de parasites qui se sont révélés comme des calamités dans leur nouvel habitat.

Nous ne rappellerons que pour mémoire l'invasion des vignobles français, à partir de 1862, par le phylloxera introduit d'Amérique, qui s'est propagé en « tache d'huile » et qui a entraîné une modification totale de la culture de la vigne dans la plus grande partie de l'Europe.

Nous avons des exemples plus récents de multiplications catastrophiques d'insectes exotiques s'acclimatant dans des contrées où ils ont été imprudemment introduits. Sans parler de l'odyssée bien connue de l'*Icerya purchasi* (1), des *Liparis* (*L. chrysorrhœa* et *L. dispar*) (2), nous signalerons de plus récentes in-

vations telles que celles de la pyrale du maïs, du petit hanneton japonais, du doryphore, du pou de San José.

La pyrale du maïs

La pyrale du maïs, désignée par les Américains sous le nom de « European corn borer », a dû être importée aux États-Unis entre 1909 et 1914, fort probablement de Hongrie ou d'Italie, avec du maïs à balais destiné à des manufactures. Mais cet insecte fut découvert dans les cultures, pour la première fois, seulement en 1916, et une prospection immédiate permit de se rendre compte qu'il s'était implanté sur une large zone en Massachusetts. Progressivement, il étendit son action néfaste sur les territoires voisins, tant aux États-Unis qu'au Canada. Dans l'Ohio, les dégâts étaient insignifiants en 1921. En 1927 les pertes s'élevaient, en de nombreux points, à plus de 50 % de la récolte. On a pu estimer que, de 1925 à 1926, le « Corn borer » avait augmenté en nombre de 400 %, et en 1926, dans certains États, tel l'Ontario, la récolte de maïs fut pratiquement détruite sur plus de 2 000 km², ce qui entraîna, pour cette région, une baisse considérable sur la valeur des terres, malgré les efforts faits pour remplacer le maïs par d'autres cultures. La question, du point de vue américain, était extrêmement complexe, car le maïs était cultivé,

(1) L'*Icerya purchasi* est une cochenille originaire d'Australie; elle s'est répandue dans la plupart des régions tempérées. On fait appel, pour la combattre, à une coccinelle, le *Novius cardinalis* (voir : « La lutte biologique contre les ennemis des cultures », par P. Vayssière, dans *La Science et la Vie*, n° 280, décembre 1940, et « Les insectes utiles à l'agriculture », par P. Beck, dans *La Science et la Vie*, n° 305, janvier 1943).

(2) Les chenilles de *Liparis dispar* ravagent les peupliers. Elle est combattue par le calosome syc-

phante (voir également le n° 280 de *La Science et la Vie*).

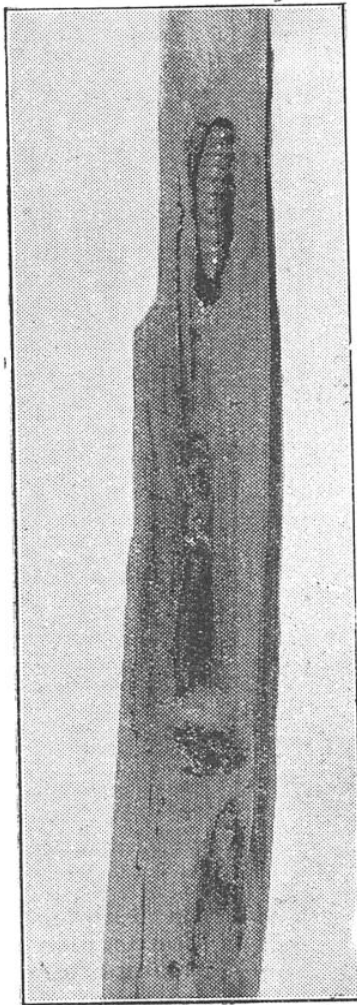


FIG. 1. — COUPE LONGITUDINALE D'UNE TIGE DE MAÏS RONGÉE PAR LA PYRALE

En bas une chrysalide, en haut une chenille de la pyrale, tristement célèbre par ses ravages aux Etats-Unis, où elle est désignée sous le nom de « Corn borer ».

tensive de la pyrale du maïs, il n'en est plus de même en ce qui concerne *Popillia japonica*, petit hanneton très polyphage à l'état adulte (il attaque le feuillage des pommiers, pêchers, cerisiers, pruniers, vigne, saules, rosiers, betteraves, haricots etc...) dont la larve se développe aux dépens du système racinaire des plantes herbacées et en particulier des graminées des prairies naturelles. Comme les Américains, nous importons en temps normal des bulbes de lis du Japon. La matière qui est employée pour le voyage, comme étant la seule qui permette le départ ultérieur de la végétation, est la terre, c'est-à-dire un produit susceptible de conserver des insectes vivants à un stade quelconque d'évolution, malgré toutes les mesures prises par les Japonais pour éviter le transport de parasites hors de leur territoire. On considère

aux Etats-Unis seuls, sur une étendue trois fois plus grande que celle qui est consacrée à cette culture dans l'Europe tout entière. C'est pourquoi le Service Fédéral de Défense des Végétaux (Federal Horticulture Board), en liaison étroite avec le Bureau d'Entomologie et les Services des Etats envahis et limitrophes, organisa la lutte contre ce fléau. Un Comité international de recherches fut constitué, tandis que les Américains créaient en Europe un laboratoire d'études, qui était avant la guerre à Hyères, chargé d'étudier la pyrale et de récolter et multiplier ses parasites en vue de leur acclimatation sur le Nouveau Continent.

Le hanneton japonais

Si nous, Européens, nous n'avons pas à nous préoccuper de la multiplication in-

que les premiers individus de *Popillia japonica* ont été probablement introduits aux Etats-Unis, à l'état larvaire, vers 1912, avec la terre entourant les racines d'azalées et iris du Japon. En 1916, quelques adultes furent capturés et identifiés, mais la zone infestée en New Jersey semblait alors très restreinte et ne pas dépasser 2,5 km². En 1921, elle atteignait 650 km²; en 1927, plus de 6 200 km². En outre, la densité de l'insecte en un point donné augmentait également dans des proportions considérables d'année en année. Cependant, il est à noter que le petit hanneton n'a jamais attiré l'attention comme insecte nuisible dans son pays d'origine qui paraît être constitué par les principales îles méridionales de l'archipel nippon. Quoi qu'il en soit, aux Etats-Unis, le « Japanese beetle » a provoqué la création d'un service spécial chargé de son étude et de sa destruction, pourvu d'un budget annuel de près de 200 000 dollars.

Comme les précédents, bien d'autres parasites dangereux attirent maintenant notre attention, uniquement parce que l'on mesure les méfaits qu'ils ont commis dans les régions où ils ont été importés. La fourmi d'Argentine, qui n'a jamais été nuisible dans son pays d'origine, s'est fait tristement remarquer au fur et à mesure qu'elle étendait sa zone d'occupation. Elle est maintenant bien installée sur notre continent et envahit régulièrement les régions septentrionales.

Le pou de San José

Le pou de San José (1), ce fléau des arbres fruitiers, est d'origine asiatique. Il s'est établi en 1873 dans la vallée de San José en Californie et s'est propagé au point que, en 1912, tous les Etats, sauf six, de la République Nord-

Américaine, étaient envahis. Depuis, sa présence a été signalée d'Australie, de Nouvelle-Zélande, du Japon, des Haïti, du Chili, du Canada, d'Afrique du Sud, et... d'Europe. La France n'a pas échappé à la contamination et le pou de San José peut être considéré avec certitude comme un hôte définitif de nos vergers. La grande diffusion dans le monde entier des fruits, pommes et poires surtout, provenant des régions contaminées et demeurant sou-

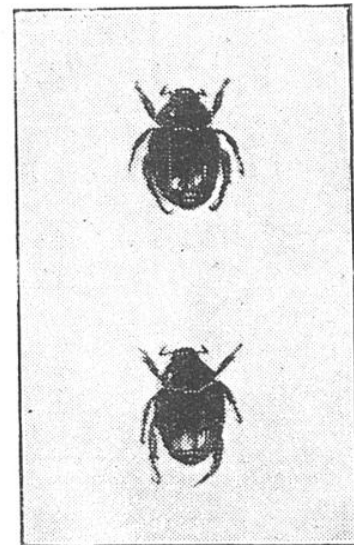


FIG. 2. — LE PETIT HANNETON JAPONAIS (ENCORE INCONNU EN EUROPE)

A l'état adulte, l'insecte s'attaque à de nombreux arbres fruitiers et d'ornement. Sous la forme de ver blanc, c'est un fléau des prairies.

(1) *Aspidiotus perniciosus*.

vent porteurs d'individus bien vivants, nous avait pourtant contraints à prendre toutes mesures de protection jugées utiles afin de lui interdire l'entrée de notre pays, alors indemne... Mais il ne faut pas oublier que la progéniture d'une seule femelle, quand les conditions sont favorables, est estimée, pour une année, à plus de 1 600 000 000 d'autres femelles. Désormais, nous devons envisager de vivre avec cet hôte indésirable, tout comme nous avons été obligés de le faire avec le doryphore dont il est inutile de rappeler ici l'invasion encore présente à toutes les mémoires.

Tous les nouveaux venus sont suspects

Il est toutefois un point sur lequel il est nécessaire d'insister, car il est trop souvent négligé par les intéressés eux-mêmes : des parasites, tels que ceux dont nous venons de rappeler l'importance économique, ont acquis celle-ci seulement parce qu'ils ont trouvé des conditions favorables à leur évolution dans les nouveaux habitats. Antérieurement, dans leur pays d'origine, ils étaient considérés comme indifférents, à tel point que, pour certains d'entre eux, il fallut des recherches minutieuses pour localiser ces pays d'origine ; de véritables expéditions furent nécessaires pour découvrir la patrie de l'*Icerya purchasi* (la cochenille australienne), de *Ceratitits capitata* (la mouche des fruits), etc. ! Le pouvoir destructeur de ces ennemis des cultures ne fut constaté que le jour où ils trouvèrent des éléments favorables à leur multiplication calamiteuse : les cultures de maïs d'Amérique pour la pyrale, les prairies et les vergers du même continent pour le hanneton japonais, la vigne européenne pour le phylloxera, etc...

Il y a encore, de par le monde, un nombre considérable d'insectes qui vivent aux dépens des plantes cultivées et surtout des plantes sauvages, dont on connaît plus ou moins bien la

biologie ou qui, même, sont presque totalement ignorés. Rien ne permet de conclure que certains d'entre eux, une fois importés dans une région nouvelle, n'y trouveront pas des conditions d'hôtes, de sol ou de climat qui les feront apparaître soudain comme des fléaux.

Inversement, on conçoit que des insectes phytophages, très nuisibles dans une région donnée,

peuvent ne pas rencontrer ailleurs un milieu convenable à leur extension et n'y subsister que médiocrement sans jamais inquiéter les agriculteurs.

Combien vaines alors nous apparaissent ces listes précises d'insectes nuisibles qui ont été établies au cours de conférences internationales ou encore ces textes de réglementation sanitaire à l'importation qui visent, nommément, quelques parasites et laissent totalement de côté tous les autres insectes phytophages !

La désinfection des plantes importées est indispensable

Il est indispensable, à l'heure actuelle, de mettre en harmonie les législations et les connaissances acquises en vue d'assurer la protection des cul-

tures, aussi complète que possible, tout en réduisant au minimum les formalités à l'importation afin de ne pas entraver les transactions commerciales.

Dans chaque centre d'importation, il y a lieu de créer une Station d'inspection et de désinfection. A cet établissement devra être attaché un personnel compétent, intègre et responsable de ses décisions. Quotidiennement, toutes les importations de végétaux, de produits végétaux et de denrées agricoles seront signalées au chef de station, et ce, par le dépôt des pièces officielles (connaissance, certificat d'origine, facture, certificat sanitaire, etc...) qui, normalement, accompagnent un envoi.

Les importations pourront, alors, être rapidement groupées en trois catégories :

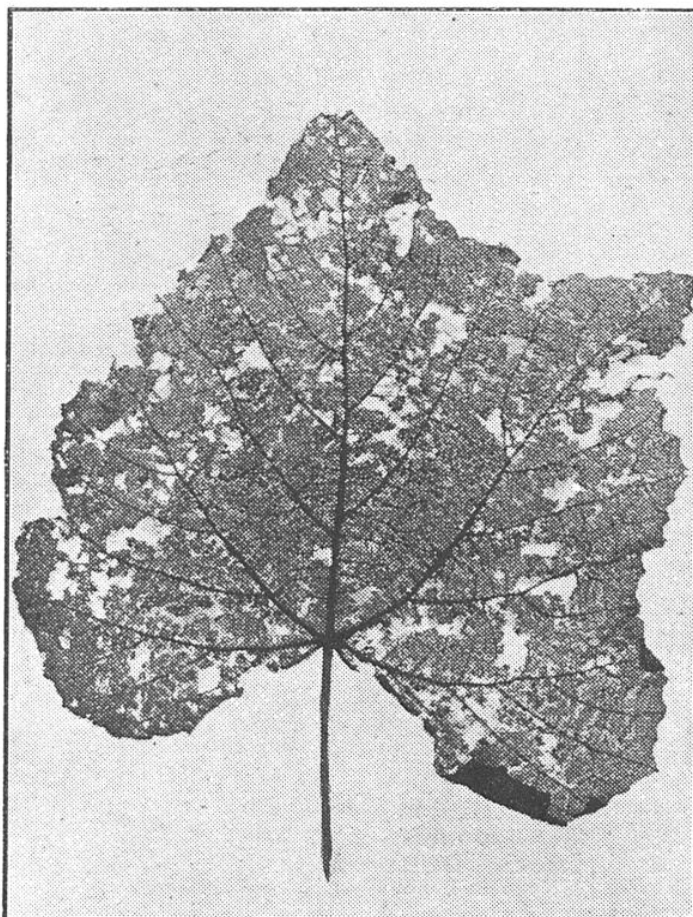


FIG. 3. — FEUILLE DE VIGNE RONGÉE PAR LE PETIT HANNETON JAPONAIS T W 23767

1° Les matières qui ne nécessitent ni inspection ni désinfection;

2° Les matières qu'il y a intérêt à inspecter de temps en temps;

3° Les matières qu'il faut toujours inspecter et qui, suivant les cas, seront :

- introduites sans désinfection;
- introduites après désinfection;
- refoulées

hors du territoire ou détruites.

Une organisation fondée sur ces principes a une souplesse plus grande que celle qui existe dans la plupart des pays; en outre, elle protégera plus efficacement les cultures ou les magasins de denrées agricoles.

Une Station d'inspection et de désinfection devra essentiellement comprendre : un bureau pour l'inspecteur, un laboratoire, un hangar à l'arrivée, un appareillage pour la désinfection sous vide partiel par vapeurs insecticides diverses et enfin un appareillage accessoire pour l'utilisation d'autres procédés (vapeur, eau chaude, etc.).

L'inspecteur doit avoir sous la main une documentation aussi complète que possible sur les insectes phytophages (répartition géographique, notes, etc.). Nous signalerons à ce sujet l'organisation des fichiers du Service de la Défense des Végétaux du Maroc qui facilite considérablement le travail des inspecteurs à l'importation.

Les inspections s'effectuent, en général, sur les quais ou dans les entrepôts, mais elles nécessitent souvent des prélèvements d'échantillons dont l'étude se fera au laboratoire. Il faut donc que le personnel du Service de la protection des végétaux ait à sa disposition un laboratoire bien outillé qui lui permette de faire les déterminations de parasites les plus courantes et de poursuivre des recherches en rapport avec le service à assurer. Pour tous les autres examens, une liaison étroite avec les laboratoires spécialisés est indispensable afin d'ob-

tenir l'identification rapide des insectes peu connus.

Quant à la station de désinfection proprement dite, elle sera l'auxiliaire le plus précieux de l'inspection, puisque c'est sur son bon fonctionnement que repose la nouvelle conception de la législation phytosanitaire. Il faut, en particulier, que les opérations de désinfection don-

nent une sécurité absolue. Il ne s'agit plus, comme dans le cas d'un insecte indigène, de réduire le plus possible le nombre des parasites; il faut être certain qu'après la désinfection il n'y a plus de parasites dangereux susceptibles de s'implanter sur le territoire et, de plus, que la méthode utilisée n'altère en rien les produits végétaux (germination, reprise de végétation, etc., etc.). Il faut donc être très circonspect pour chaque cas particulier, dans le choix du procédé de désinfection et dans son application.

La désinfection par vapeurs toxiques sous vide partiel

L'idée d'opérer les traitements insecticides dans le vide a été développée d'abord par Hunter en 1912, puis par Hinds

en 1915, tous deux en vue de faciliter la pénétration du sulfure de carbone dans les balles de coton. On savait, en effet, que les fumigations étaient d'autant moins efficaces, lorsqu'elles étaient opérées à la pression atmosphérique, que les insectes se trouvaient enfermés dans des marchandises plus compactes, formant des masses considérables ou pourvues d'emballages plus ou moins étanches. Il en est de même pour des parasites enfouis dans des cavités ou galeries forcées dans les tissus végétaux, pour lesquels les échanges gazeux avec l'extérieur ne se font que lentement. Enfin, les stades d'évolution des insectes qui présentent un métabolisme ralenti (œufs, larves en diapause) peuvent résister très longtemps à l'action des vapeurs insecticides à la pression atmosphérique.

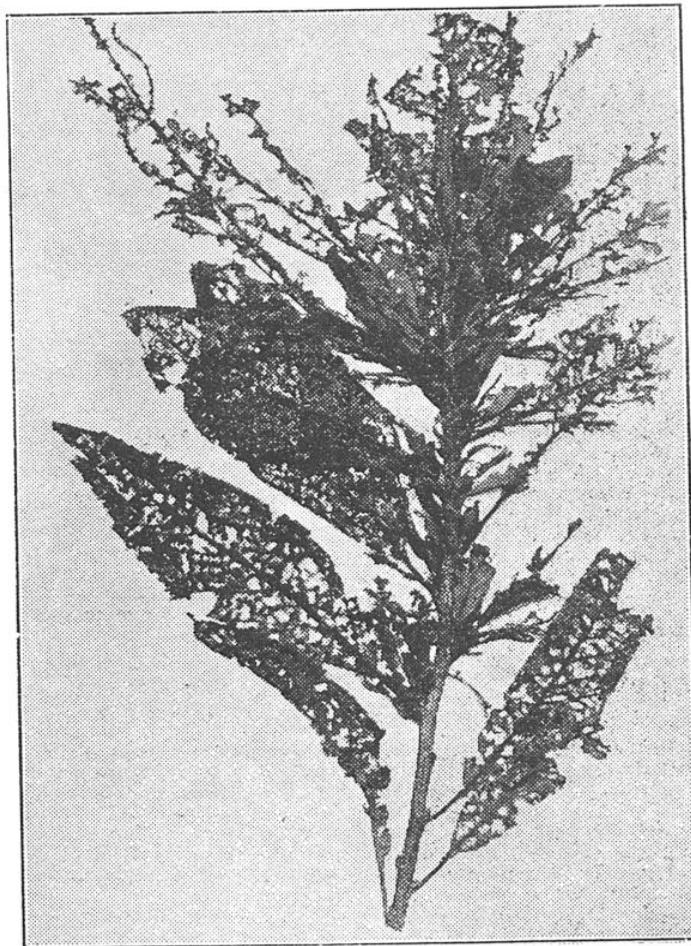


FIG. 4. — UN RAMEAU DE PÊCHER ATTAQUÉ PAR LE PETIT HANNETON JAPONAIS

T W 23768

L'utilisation du vide pare à ces difficultés en assurant la pénétration des gaz à l'intérieur des marchandises les plus compactes et les mieux emballées, à condition toutefois qu'il ne s'agisse pas d'emballages rigoureusement hermétiques. Cette manière de procéder accélère également l'action toxique des vapeurs sur les organismes animaux en pleine activité ou en vie ralentie et permet de réduire considérablement la durée des traitements.

Une technique fut donc établie, puis perfectionnée de jour en jour, pour opérer, sous vide partiel, le traitement insecticide des produits végétaux (fruits frais et secs, graines, arbres et arbustes pendant le repos de la végétation, etc.) et des denrées agricoles et industrielles (farines, pâtes alimentaires, tabacs ouverts, chocolats, etc.).

Elle fut appliquée tout d'abord dans les diverses organisations de police sanitaire des végétaux aux Etats-Unis, puis elle se répandit dans le monde. Les services officiels de l'Algérie, du Maroc et même de la Métropole ont apporté d'importantes améliorations à la technique primitive.

Mais le vide seul n'a-t-il pas une action tant sur les produits qui le subissent que sur les insectes parasitant ces derniers? Disons tout de suite que l'abaissement de pression, tel qu'il est obtenu dans les autoclaves de désinfection, c'est-à-dire pouvant atteindre jusqu'à 700 mm, n'a absolument aucune action sur la vitalité des insectes qui, s'ils marquent un ralentissement très net de leurs mouvements pendant la durée du traitement, reprennent immédiatement leur activité dès qu'il cesse. Quant aux produits végétaux et aux denrées agricoles pour lesquels on a envisagé l'action des insecticides sous vide partiel, ils ne sont pas altérés par l'abaissement de la pression. Des essais effectués tant aux Etats-Unis dès 1923, qu'en France ces dernières années, permettent d'être très affirmatif sur ce point; les pommes, poires, oranges, citrons, raisins, etc..., supportent sans aucun dommage une exposition de une à deux heures à un vide de 650 mm, c'est-à-dire supérieur à celui qui est en général prévu.

En France, les traitements insecticides opérés dans le vide sont prévus avec les vapeurs de l'acide cyanhydrique, du sulfure de carbone, de l'oxyde d'éthylène, du bromure de méthyle. Ce sont les quatre produits chimiques dont l'emploi est considéré suivant le produit végétal ou la denrée agricole à traiter et suivant l'insecte à détruire. Mais les installations de

désinfection ont été conçues pour permettre l'utilisation de la plupart des vapeurs toxiques. Aucune modification n'est nécessaire si l'on juge intéressant de remplacer, par exemple, le sulfure de carbone par le tétrachlorure de carbone ou même par la chloropicrine qui, certainement, dans beaucoup de cas, peut rendre de grands services.

L'acide cyanhydrique

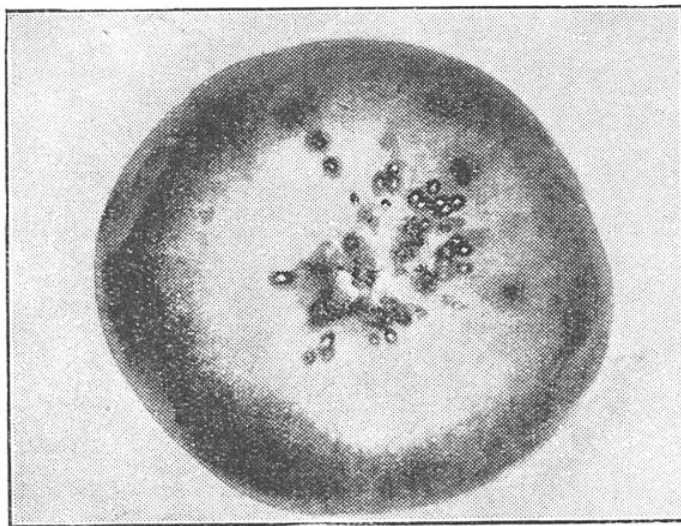
En France, ce produit est obtenu par l'action de l'acide sulfurique étendu sur un cyanure

alcalin, le cyanure de sodium en général. Toutefois, rien n'empêche que, ultérieurement, certaines de nos stations puissent être pourvues d'un dispositif permettant l'emploi de l'acide cyanhydrique stabilisé à l'état liquide à la température ordinaire; mais on se heurte à une difficulté provenant de l'instabilité de ce produit qui tend à se décomposer dans ses récipients. Il est recommandé de l'utiliser dans les quinze jours qui suivent sa fabrication,

mais cette nécessité complique sérieusement son usage. Aussi, certaines usines françaises qui s'étaient engagées résolument, il y a quelques années, dans la production industrielle de l'acide cyanhydrique liquide l'ont complètement abandonnée aujourd'hui pour concentrer leur activité sur la production du cyanure de sodium et du cyanure de potassium. Il en était du moins ainsi avant cette guerre.

Il n'y a pas lieu d'insister sur l'action insecticide des vapeurs de l'acide cyanhydrique; de nombreux travaux en toutes langues recommandent ce produit. Toutefois, dans son emploi, il ne faut pas oublier que, en raison de sa très grande solubilité dans l'eau, il est difficile, même avec l'aide du vide, d'assurer la pénétration des vapeurs jusqu'au centre des balles, sacs ou caisses de marchandises relativement compactes, dès que ces marchandises ou produits présentent une teneur appréciable en humidité dans laquelle le gaz peut se dissoudre facilement. Dans le cas de plantes vertes ou fruits frais, la dissolution du gaz cyanhydrique dans les liquides organiques est très atténuée par la présence des revêtements intacts de cutine qui ralentissent les échanges gazeux.

Comme corollaire de cette dissolution de l'acide cyanhydrique dans les milieux aqueux, il faut retenir la difficulté d'élimination complète du toxique après traitement, l'action du



T W 23766

FIG. 5. — COUPE D'UNE POMME PARASITÉE PAR LE POU DE SAN JOSÉ
L'insecte a provoqué la formation d'une auréole rougeâtre autour du « bouclier » qui le protège.

vide étant moins efficace sur un gaz dissous que sur un gaz simplement diffusé dans l'atmosphère sèche imprégnant les marchandises. C'est pourquoi, dans tous les cas où l'emploi du gaz cyanhydrique est recommandé, une technique est prévue afin que les denrées, les fruits par exemple, ne soient introduits dans l'autoclave que s'ils sont parfaitement ressuyés.

Au sujet de l'efficacité insecticide de l'acide cyanhydrique, un entomologiste italien, Bellio, après de nombreux essais, recommande l'emploi de ce gaz pour la destruction des Cochenilles⁽¹⁾ qui parasitent les Citrus destinés à l'exportation en Argentine où le Service phytosanitaire n'accepte, à l'entrée, que des fruits ne portant aucun de ces insectes.

Malgré cela, l'utilisation de ce produit toxique a préoccupé, ces dernières années, certains milieux d'hygiénistes français et l'acide cyanhydrique fut frappé d'interdit par le Conseil supérieur d'hygiène, sans que la question de son emploi et des produits susceptibles de le remplacer ait été abordée en s'environnant de toute la documentation désirable.

Cependant, nous pouvons signaler aujourd'hui que, à l'insu de nos services d'inspection et de désinfection, des fruits soumis par ces derniers au traitement par les vapeurs cyanhydriques sous vide partiel furent prélevés et une analyse minutieuse en a été faite, en choisissant des lots de fruits ne présentant aucune tare, d'autres présentant une légère tare entamant l'épiderme, enfin d'autres encore dont les altérations atteignaient la pulpe. Dans les trois cas, les réactions « au bleu de Prusse » furent négati-

ves, c'est-à-dire que tous les fruits, quels qu'ils soient, ne présentaient aucun danger pour la consommation.

Le sulfure de carbone

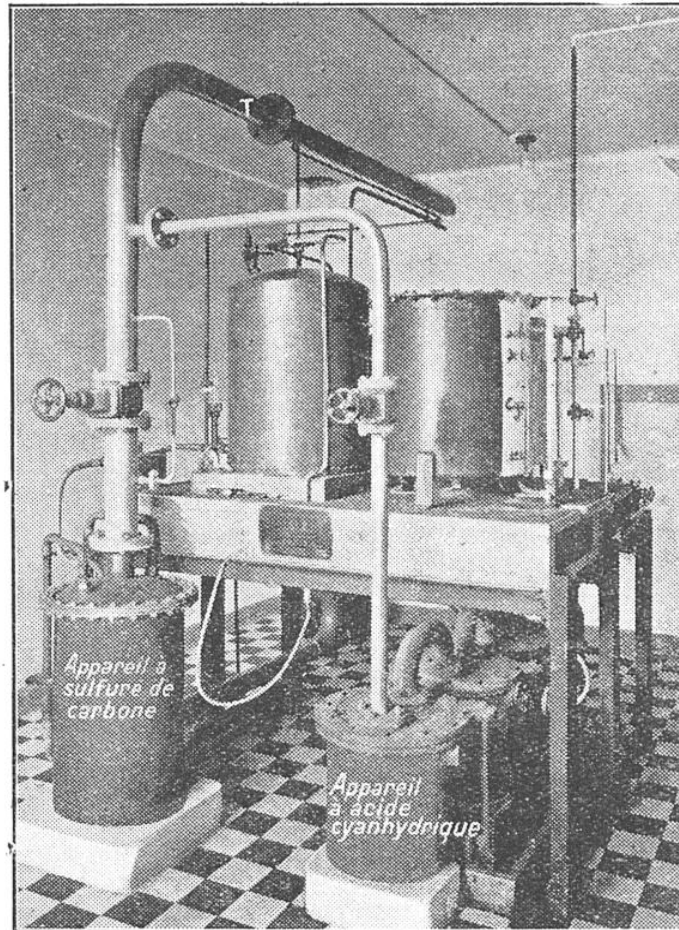
Le pouvoir insecticide de ce produit est utilisé depuis longtemps, en particulier en vue de la destruction des insectes des grains.

Son extrême inflammabilité et son pouvoir explosif par mélange avec l'air ont préoccupé d'une façon spéciale les protagonistes des stations de désinfection qui se sont efforcés de réduire les risques d'une façon à peu près complète. Aux États-Unis, on utilise le sulfure de carbone ou le sulfure d'azote. Une grande firme française avait émis, ces dernières années, un mélange stable de sulfure et de tétrachlorure de carbone, ce qui facilitait considérablement les manipulations. Mais ce produit ne paraît pas avoir été retenu.

Enfin, il est indispensable de souligner, surtout quand il s'agit de désinsectiser des produits destinés à l'alimentation, la nécessité d'utiliser du sulfure de carbone chimiquement pur et de fabrication récente. En effet, celui-ci a la fâcheuse propriété de se poly-

mériser spontanément au bout d'un certain temps, avec production de polysulfures à odeur nauséabonde, relativement peu volatils et par suite assez tenaces.

En passant, signalons que le sulfure de carbone, à la dose de 300 cm³ pendant deux heures, a donné des résultats très satisfaisants dans le traitement des œillets : aucune altération des fleurs et mort des chenilles⁽¹⁾ renfermées dans certaines d'entre elles.



T W 23772

FIG. 6. — LA SALLE DES PRODUITS CHIMIQUES DE LA STATION DE DÉSINFECTION DU HAVRE

On aperçoit, à gauche, l'appareil de production de sulfure de carbone, qui est entouré d'une circulation d'eau réchauffant le gaz liquéfié au fur et à mesure de son aspiration. À droite, l'appareil de production de l'acide cyanhydrique, par décomposition d'une solution de cyanure. Ces deux appareils peuvent être branchés sur le tube T amenant le gaz à l'autoclave.

(1) *Aspidiotus hederae*, *Chrysomphalus dictyospermi*, *Pseudococcus divers*,

(1) *Tortrix prunivana*.

L'oxyde d'éthylène

L'idée de l'utilisation de ce produit, qui entre en ébullition à 10°, paraît due aux auteurs américains Cotton et Roark qui, en 1928, publièrent leurs premiers essais. Puis de nombreuses notes montrèrent tout l'intérêt de l'oxyde d'éthylène comme insecticide.

Les vapeurs sont 1,7 fois plus lourdes que l'air et ont un pouvoir de pénétration très grand : celui-ci est considérablement accru encore en atmosphère contenant un pourcentage appréciable de gaz carbonique (7 parties de gaz carbonique pour une partie d'oxyde d'éthylène). Elles sont, en outre, très solubles dans l'eau, mais, en raison d'une tension beaucoup plus forte que celle de l'acide cyanhydrique, on n'observe pas d'atténuation importante de l'action insecticide sur les denrées humides, même à des températures assez basses.

Le mélange oxyde d'éthylène + gaz carbonique, dans des proportions convenables, présente sur tous les autres produits préconisés ou utilisés à l'heure actuelle pour le traitement des denrées alimentaires, un avantage très intéressant : c'est qu'il n'est pas stable en présence de l'humidité et qu'il se détruit lentement en formant, par addition, du glycol, sans aucune toxicité pour la consommation. La dose minimum d'oxyde d'éthylène qui a donné le meilleur résultat, en présence ou non de gaz carbonique, est de 100 g par mètre cube.

Quant à l'action insecticide, elle est certainement bien différente de celle qu'on observe avec l'acide cyanhydrique ou le sulfure de carbone. Elle ne semble pas cependant avoir encore fait l'objet de recherches physiologiques malgré son grand intérêt. En effet, si des insectes sont soumis à l'action des vapeurs de l'acide cyanhydrique ou du sulfure de carbone, on constate à la fin du traitement, si celui-ci a été effectué dans les conditions pratiques de durée d'une opération normale, que les parasites sont tués. Avec cette réserve, toutefois, qu'il est prudent pour certains d'entre eux, tels que les charançons des grains, de les mettre en observation afin de s'assurer s'ils ne sont pas seulement en état de mort apparente. Avec l'oxyde d'éthylène, l'action est tout autre : dans les conditions pratiques, quand on libère les insectes de l'influence du gaz, ils ne paraissent pas avoir été intoxiqués et semblent conserver toute leur vitalité ; mais, au cours des quarante-huit heures qui suivent, ils meurent tous sans aucune exception. L'effet sur le métabolisme de l'insecte semble être consécutif à une action chimique sur les liquides de l'organisme. Peut-être y a-t-il fixation de l'oxyde d'éthylène avec formation de glycol dont la présence entraîne la mort.

Quoi qu'il en soit, l'oxyde d'éthylène était employé avant la guerre sur une grande échelle non seulement au Havre, mais également en Algérie où il est utilisé surtout pour la désinsectisation des dattes, des figues sèches, du tabac. La technique adoptée en Afrique du Nord a été mise au point par M. Lepigre, inspecteur du Service de la Défense des Cultures.

Le bromure de méthyle

La première publication précisant le pouvoir insecticide de ce liquide qui bout à 1° est due à M. Le Goupils à qui on est redevable, d'autre part, d'un grand nombre de recherches expé-

mentales en vue d'améliorer les stations de désinfection.

A des doses comprises entre 10 et 50 g/m³, le bromure de méthyle donne une mortalité de 100 %, quel que soit le stade d'évolution des insectes à détruire. C'est ainsi que Francolini obtint une mortalité totale du charançon du riz (1) par une exposition de vingt-quatre heures dans une atmosphère ayant une concentration de 10 grammes de bromure de méthyle par mètre cube. Cet insecticide n'agirait, d'autre part, que faiblement sur le pouvoir germinatif et sur la valeur boulangère du blé. Il est également très efficace contre les bruches des légumes secs et il doit être particulièrement retenu par les ménagères pour la désinsectisation et la protection des provisions domestiques.

L'emploi du bromure de méthyle est indiqué pour la désinfection sous vide partiel de la plupart des fruits courants, sauf les bananes et les poires, bien que, dans certains cas, des résultats satisfaisants aient été obtenus avec ces dernières. Les tomates supportent le traitement sans altération ; mais il n'en est pas de même pour les pommes de terre qui subissent un léger ramollissement et un brunissement (Francolini). Sur une trentaine de plantes en pots soumises aux vapeurs du bromure de méthyle, seules *Fusch speciosa*, *Irenisa Herbstii* et *Zantedeschia Elliottiana* se montrèrent sensibles au traitement par la flétrissure et la chute de leurs feuilles. Par contre, en Belgique, le bromure de méthyle a donné des résultats remarquables sur des azalées en pleine végétation.

Quant à la formation d'acide bromhydrique en atmosphère humide, elle est très faible et atteint au maximum 2 p. 1 000 si la fumigation est d'une durée normale ; elle est donc absolument sans danger pour l'homme.

L'équipement d'une station moderne de désinfection

Il existe maintenant sur chaque continent des installations nombreuses qui donnent toute satisfaction pour la désinfection sous vide partiel et qui ne diffèrent que par le détail de construction ; d'ailleurs des améliorations y sont apportées constamment.

Il suffira de dire que, en France, les premières stations ont été créées dans les trois grands ports : Bordeaux, Le Havre et Marseille et qu'elles ont sensiblement les mêmes caractéristiques.

La station du Havre a été installée sur les terrains du Port autonome, où elle occupe une superficie d'un hectare environ. A proximité de la construction, qui est desservie par le réseau ferré du port et par camionnage, il a été prévu un emplacement susceptible de recevoir, si le besoin s'en fait sentir, le matériel pour la désinfection des wagons de marchandises. Toute l'installation est de plain-pied. Elle comprend un immense hall de 56 mètres sur 14 dans lequel sont les autoclaves destinés à recevoir les matières à désinfecter et qui est divisé en deux parties par une cloison qui isole d'une façon complète le côté entrée des autoclaves du côté sortie.

Il y a au Havre deux autoclaves cylindriques horizontaux respectivement de 2,5 m de diamètre et de 14,68 m de longueur (capacité environ 73 m³) et de 2,5 m de diamètre et

(1) *Calandra oryzae*.

5,63 m de longueur (capacité 29 m³). Ils sont fermés à chaque extrémité par une porte en tôle emboutie, articulée autour d'une charnière horizontale à la partie supérieure de l'autoclave et munie d'un contrepoids d'équilibrage. L'étanchéité est obtenue par un boudin en caoutchouc entoilé, gonflé au moyen d'eau sous pression.

L'appareillage de l'autoclave est complété par une voie de 1 mètre et par les tuyauteries d'arrivée et de départ de gaz et d'air. Un dispositif spécial empêche d'ouvrir simultanément les portes d'entrée et de sortie d'un autoclave qui

L'oxyde d'éthylène et le bromure de méthyle sont livrés dans des bouteilles métalliques. Ces produits sortent à l'état gazeux et vont se détendre dans un gazomètre; puis ils passent dans un mélangeur où les vapeurs se rencontrent en proportions déterminées avec l'air et le gaz carbonique, suivant le cas. Des diaphragmes convenablement étudiés permettent de doser l'oxyde d'éthylène, le bromure de méthyle, l'air et le gaz carbonique qui provient aussi d'une bouteille où il est à l'état liquide et qui se détend dans un gazomètre particulier.

Un enregistreur spécial correspond à cha-

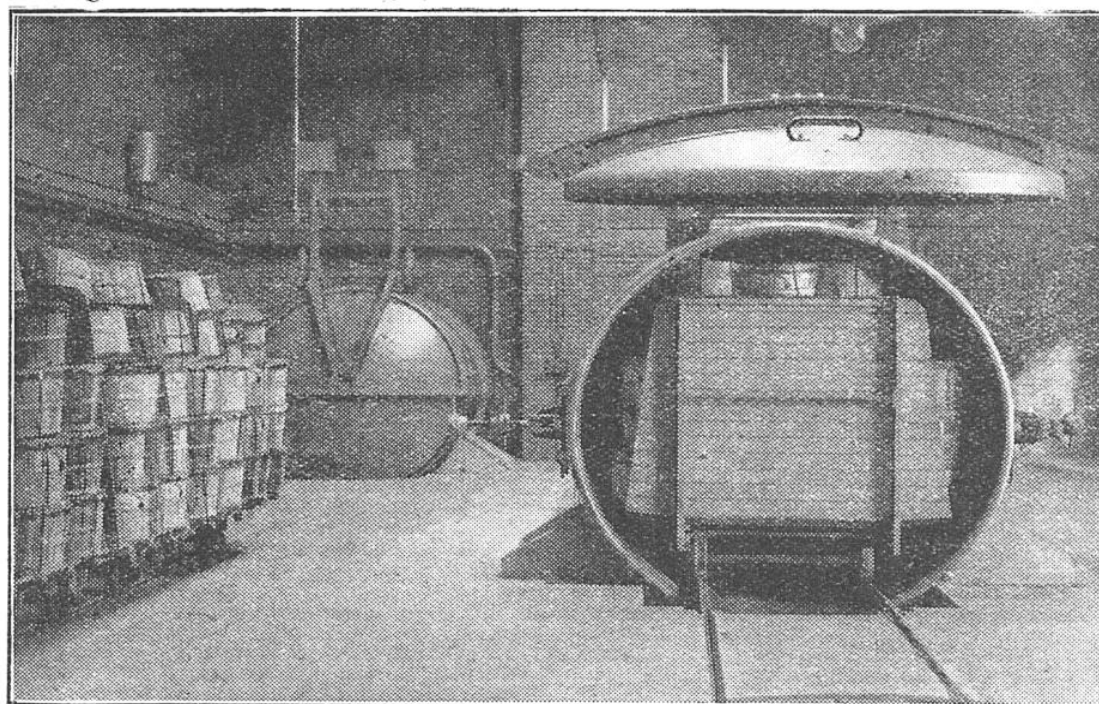


FIG. 7. — LA SALLE DES AUTOCLAVES DE LA STATION DE DÉSINFECTION DU HAVRE

T W 237

Les autoclaves sont ici vus du côté sortie. A gauche et au fond, un autoclave de 29 m³ (fermé) et devant lui un lot de cageots de fruits exotiques désinfecté. A droite, un autoclave de 73 m³ (ouvert), laissant voir un wagonnet chargé. La porte étanche à rebord embouti s'ouvre vers le haut.

ne peut ainsi servir de passage pour le personnel désirant se rendre d'une extrémité à l'autre du bâtiment.

Deux pompes rotatives, à vide sec, d'une puissance de 17,5 ch environ chacune, peuvent marcher jumelées ou séparées et produire ainsi un vide de 635 mm dans le grand autoclave, respectivement en 10 ou 15 minutes.

Entre l'autoclave et le fût ou la bonbonne contenant le liquide, on trouve un ensemble permettant de doser et de vaporiser l'insecticide dans les meilleures conditions possibles.

Pour la production d'acide cyanhydrique, en dehors des réservoirs à acide sulfurique, à eau et à solution de cyanure de sodium et des appareils doseurs de ces trois liquides, il y a un bac pour la réaction, un autre pour la neutralisation des vapeurs et, enfin, un troisième rempli de laine de verre pour arrêter les gouttelettes de liquide qui auraient pu être entraînées.

que autoclave et chaque opération de désinfection s'inscrit par trois courbes : celle des variations de température au cours du traitement, celle des variations de pression et, enfin, une dernière indique les quantités d'insecticide ou de réactif liquide utilisées au cours de l'opération effectuée. Un artifice de construction permet de se rendre compte rapidement, par exemple, si les réactifs produisant l'acide cyanhydrique sont en proportions convenables.

Comment on pratique une désinfection

Un autoclave étant rempli de produits végétaux ou de denrées à désinfecter, les portes sont fermées avec toutes les précautions nécessaires. On pratique les manœuvres suivantes :

— raréfaction de l'air à l'intérieur jusqu'à

ce que le manomètre de vide donne un abaissement de pression de 635 mm de mercure ;

— introduction dans l'autoclave du mélange toxique en 10 minutes environ ;

— introduction d'air jusqu'à ce que la dépression à l'intérieur de l'autoclave ne soit plus que de 50 mm ;

— à partir de cet instant, le contact, dans l'autoclave, entre les produits à désinfecter et les vapeurs toxiques, dure une heure et demie, tous robinets fermés ;

— rentrée d'air jusqu'à rétablissement de la pression atmosphérique dans l'autoclave ;

— abaissement de la pression intérieure au moins égal à celui du début de l'opération, soit 635 mm ;

— établissement, à nouveau, de la pression atmosphérique par entrée d'air ;

— établissement d'un vide de 500 mm ;

— nouvelle et dernière rentrée d'air pour rétablissement de la pression atmosphérique ;

— ouverture de la porte de sortie, la pompe et le ventilateur étant en fonctionnement.

Ainsi, par deux opérations de vide après le traitement, on chasse de façon absolue les vapeurs toxiques qui avaient pu pénétrer, lors de leur introduction grâce à l'atmosphère raréfiée, au plus profond des marchandises les plus compactes ou les mieux emballées.

C'est en suivant ces directives que des milliers de tonnes de produits et particulièrement de fruits parasités par le pou de San José ont pu être désinfectés au port du Havre avant leur introduction sur notre territoire. On a pu de cette manière éviter aux importateurs les ennuis du refoulement de leurs marchandises.

Les méthodes spéciales de désinfection

Dans chaque station d'inspection et de désinfection, il est nécessaire de prévoir l'adjonction d'appareils spéciaux en rapport avec la destruction de certains parasites vivant aux dépens de certains végétaux ou produits végétaux. Ainsi, pour la désinfection des bulbes floraux et la destruction des nématodes qu'ils peuvent héberger, on préconise l'emploi de l'eau chaude suivant une technique spéciale (Van Slogteren). On utilise en Hollande et sur certains points de la Côte d'Azur des chaudières pouvant contenir 150 à 300 litres ; le chauffage est obtenu au moyen d'un fourneau à gaz et un régulateur permet d'avoir une température constante. Tous les bulbes provenant de cultures suspectes sont traités à une température de 43,5° C pendant une durée qui varie de deux heures et demie à quatre heures, suivant la taille des bulbes. Ce traitement permet de détruire les nématodes des jacinthes ou narcisses et les larves des mouches des narcisses, sans endommager les bulbes. De grands appareils permettent de traiter 10 hectolitres de bulbes.

Aux Etats-Unis et en Italie on utilise également l'eau chaude pour le traitement des châtaignes parasitées par la pyrale.

Des appareils à circulation d'air chaud ou de vapeur sèche peuvent être utiles dans certains cas : désinfection des graines, des plantes en motte, fruits (*Citrus* divers) parasités par des *Trupetidae*. Pour ces derniers produits, on peut préférer l'installation d'une chambre froide qui est maintenue sensiblement à 0° C. A tous les stades de leur évolution les mouches des fruits sont tuées en moins de quinze jours, et ceux-ci conservent toutes leurs qualités.

Aucune des stations françaises ne possède une installation permettant la destruction de produits jugés trop infestés pour pouvoir entrer sur le territoire, même après désinfection. Le refoulement de ces produits est, seul, envisagé jusqu'à ce jour. Et pourtant, il y aurait avantage à posséder un incinérateur tel que celui qui fonctionne à Honolulu : c'est un four à huile lourde, à grille tournante, avec lequel on peut atteindre une température de 1 000° C ; il permet d'anéantir en 15 à 20 minutes des stocks de fruits tels que des oranges mûres.

Conclusion

Les installations prévues pour la désinfection des produits végétaux ou des denrées agricoles dans le cadre de la réglementation phytosanitaire rendent, également, de grands services en dehors de cette dernière, à l'agriculture, au commerce et à l'industrie. C'est ainsi que nos stations françaises, tant celles de la Métropole que celles d'Afrique du Nord, avaient, avant les hostilités, un trafic important indépendamment des opérations de désinfection effectuées sur l'ordre des Services de la Défense des végétaux. Tel commissionnaire ou importateur qui recevait des blés ou maïs exotiques envahis par des charançons, faisait passer ces denrées dans les autoclaves de la station de désinfection avant de les faire pénétrer dans les entrepôts ; les manufactures de tabac étaient invitées par les administrations à faire désinfecter les produits atteints par le lasioderme. Tous les fabricants de chocolat et de nougat devaient être persuadés que l'intérêt de leur industrie est de ne laisser entrer dans leurs établissements que des fèves de cacao ou des amandes indemnes d'insectes vivants et, en particulier, de la mite *Ephestia elutella* qui cause des pertes si importantes chaque année. Il suffirait d'exiger que les transitaires fassent désinfecter les balles de cacao et les amandes à l'arrivée dans le port. La valeur marchande du cacao et de l'amande ne doit pas seule intervenir dans le calcul de l'opération, celle du produit manufacturé a aussi son importance en établissant la moyenne des pertes qui sont subies par le fait des insectes quand on ne pratique pas la désinfection. De même les fabricants de pâtes alimentaires auraient un réel avantage de prévoir la désinsectisation de leurs produits manufacturés.

Il ne faut pas croire qu'en pratique une telle opération est difficilement réalisable. Elle a fait ses preuves en Afrique du Nord, à la satisfaction de tous, pour des produits tels que les dattes et les figues sèches : l'Office Algérien d'Action Economique et Touristique (O. F. A. L. A. C.) a créé la marque « Algérie » pour ces fruits et celle-ci ne peut être apposée sur un colis que si la désinsectisation sous vide partiel a été pratiquée par les soins des services officiels qui garantissent ainsi que toutes les figues et toutes les dattes sont, au départ, exemptes de parasites. Toutes discussions sont évitées de ce fait et c'est là également une assurance de qualité.

On pourrait multiplier les exemples destinés à justifier la création des stations de désinfection. Leur utilité fut démontrée, d'ailleurs, par le trafic sans cesse accru des stations existantes et par l'obligation où l'on se trouvait d'envisager leur agrandissement.

P. VAYSSIÈRE.

A LA RECHERCHE DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES DU SAHARA

par Pierre CUGNAUX

Entre l'Afrique du Nord et la boucle du Niger, qui sont appelées à devenir deux des régions les plus riches de l'Empire français, s'étend un des déserts les plus arides du globe : le Sahara. Le Sahara constituait encore il y a une trentaine d'années un obstacle quasi infranchissable. Le chemin de fer transsaharien (1) doit au contraire, en l'aire un trait d'union entre l'Algérie et l'A.O.F. Mais l'entretien du personnel occupé à sa construction, puis à son exploitation, exigera d'importantes quantités d'eau que l'on a cherché à trouver sur place. Après une prospection géologique qui a coûté la vie de plusieurs chercheurs, le problème peut être dès maintenant considéré comme résolu, et un puits a pu être aménagé au point le plus central du Sahara : Bidon V, révélant l'existence, dans le sous-sol du « Pays de la Soif », d'une nappe aquifère abondante.

L'ARIDITÉ du territoire saharien résulte essentiellement du manque d'eau à la surface. Ce sol asséché, que les géologues appellent le « reg », est devenu désertique parce qu'une insolation et une évaporation intenses l'ont déshydraté. Dès qu'on lui fournit de l'eau, le reg saharien cesse d'être stérile : les oasis le prouvent. Ce processus de déshydratation par évaporation est encore observable de nos jours dans le sud algérien et le sud tunisien où il donne naissance aux chotts et aux sebkas.

« Chotts » et « sebkas »

Les chotts ou les sebkas constituent des exemples typiques d'eau qui se perd par évaporation. L'action solaire ne se limite pas à la surface ; elle pénètre à une certaine profondeur dans le sol poreux pour atteindre les réserves d'eaux souterraines peu profondes. Selon le Capitaine Mouliais (2) les chotts salés constituent un indice sûr de la présence d'eau à faible ou à moyenne profondeur, cette eau remontant par capillarité à travers le sol poreux jusqu'à la surface où les sels se déposent après évaporation. Aussi les puits forés au voisinage des chotts et des sebkas donnent-ils des eaux salines, généralement très magnésiennes, et de ce fait, difficilement utilisables, et dont la distillation est en général obligatoire.

L'évaporation n'est pourtant pas la seule cause de la disparition de l'eau à la surface du sol saharien. Les pluies qui parfois tombent sur les hauteurs (Atlas saharien, Hoggar) grossissent les oueds qui descendent vers les plaines, mais les eaux de ces torrents sont rapidement bues par le sol perméable et les oueds se perdent autant par infiltration que par évaporation. Pourtant l'eau d'infiltration n'est pas

irréremédiablement perdue et on a effectué récemment des recherches pour localiser dans le sous-sol saharien les nappes aquifères qui, exploitées à l'aide de forages, pourraient donner naissance à un certain nombre de points d'eau et faciliter ainsi la pénétration dans une des régions les plus désolées du globe. Ces recherches ont abouti à la découverte d'un certain nombre de gisements qui ont l'avantage de jalonner le parcours du Transsaharien et faciliteront grandement la tâche des constructeurs de cette grande artère africaine.

Les recherches hydrologiques de Nicolas Menchikoff au « Pays de la Soif »

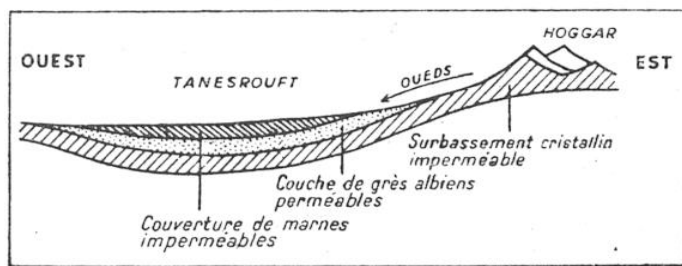
En 1939, un géologue français, Nicolas Menchikoff avait étudié le problème hydrologique dans le Sahara central, dans la région la plus aride du Tanesrouft, le « pays de la soif », et il communiqua ses résultats à l'Académie des Sciences. Menchikoff supposait l'existence en profondeur d'une grande cuvette synclinale, dont le centre se trouverait à peu près à l'aplomb de Bidon V. Géographiquement, cette cuvette comprenait, de bas en haut :

- un soubassement cristallin affleurant largement à l'est dans les montagnes du Hoggar ;
- une couche de grès « albiens » pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres ;
- des marnes lagunaires, pyriteuses ou gypseuses, affleurant en plusieurs points au centre, et des marnes blanches superficielles.

Le soubassement cristallin étant imperméable, les grès intermédiaires étant perméables, et la couverture marneuse imperméable, Nicolas Menchikoff supposa que ce « sandwich » géologique emprisonnait une nappe aquifère, alimentée par les oueds coulant des montagnes situées à l'Est : Mouidir, Ahenet, Hoggar et Adrar des Iforas, oueds qui sont en crue chaque année, à la saison des pluies, et dont les eaux disparaissent rapidement par infiltration.

(1) Voir : *La Science et la Vie*, n° 292 (déc. 1941).

(2) Etude hydrologique des oasis sahariennes (1927).



T W 23564

FIG. 1. — COUPE SCHÉMATIQUE D'EST EN OUEST DE LA CUVETTE SOUTERRAINE DU TANESROUFT

Les pluies tombées sur les montagnes situées à l'est ruissellent d'abord sur les pentes de cristallin affleuré, s'infiltrant dans la couche poreuse des marnes. On pense qu'elles s'accumulent au fond de la cuvette entre 100 et 300 mètres de profondeur. Le centre de la cuvette géologique se trouve à peu près à l'aplomb de Bidon V. Un puits y a été foré, le 15 janvier 1942, qui a donné de l'eau à 124 mètres de profondeur.

Ces infiltrations ne franchissant pas, sur la bordure ouest de la cuvette, l'auréole gréseuse perméable, les eaux doivent s'acheminer souterrainement vers le centre, où elles seraient protégées par la couverture marneuse imperméable. La vérification de l'hypothèse de Nicolas Menchikoff fut effectuée le 15 janvier 1942. Un forage à Bidon V, entrepris par le Génie et poursuivi par les soins du Méditerranée-Niger, donna de l'eau par 124 mètres de profondeur. Il s'agit d'une eau saline, impropre à la boisson, car elle contient jusqu'à 14 grammes de sel par litre, mais utilisable industriellement. Des bouilleurs solaires permettraient d'en faire, sans apport d'énergie, une eau potable précieuse.

La mort héroïque d'André Meyendorff (1941)

À la fin de 1941, le principal collaborateur de Nicolas Menchikoff, un jeune officier de méharistes et géologue, André Meyendorff, entreprit de compléter les recherches du côté ouest, le plus mal connu, et en particulier de repérer la limite ouest du cristallin, pour vérifier si la vaste poche d'eau souterraine était bien close de toutes parts ou si elle allait se perdre du côté de la fosse de Taoudeni. Au début d'avril 1942, André Meyendorff trouva la mort, entre Taoudeni et Adrar, en plein Erg Chech dans les parages de Bir el Hadja, ayant bu l'eau d'une « neba » (mare croupie) fortement saline qui l'épuisa. Il en mourut, et il vit mourir, avant de succomber lui-même, un de ses compagnons qui avait bu à la même mare. Le troisième membre de l'expédition, n'ayant pas goûté cette eau saumâtre que son méhari refusait, s'enveloppa dans sa gandoura, trempée dans la mare pour respirer un peu de vapeur d'eau, et s'attacha sur son chameau avec les précieux cahiers d'observations que lui confia son maître mourant. Le chameau épuisé put arriver à Adrar.

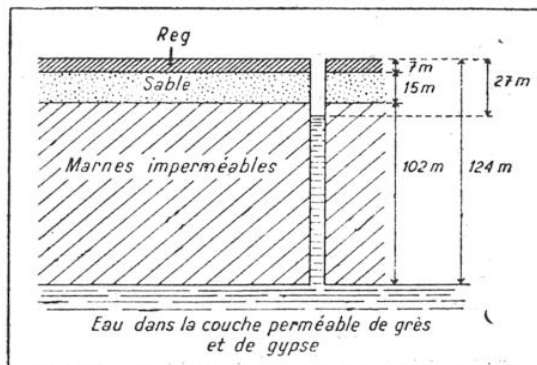
La réserve du Tademaït dans le Sahara septentrional

Du côté nord, la cuvette souterraine du Tanesrouft paraît bien fermée par un anticlinal formant cloison entre le Tanesrouft et la région située en bordure du Tademaït. Une autre réserve aquifère souterraine a été néanmoins re-

connue dans cette zone. Elle se trouverait sous cette grande dorsale calcaire que constitue le plateau de Tademaït, entre le Grand Erg occidental au nord-ouest, l'Erg Chech au sud-ouest, et le Grand Erg oriental au nord-est. Elle serait alimentée par les eaux de l'Atlas, notamment par cet oued Saoura qui passe par Beni-Abbès et qui constitue le type de ces fleuves sahariens à crues subites, mais dont l'eau se perd par infiltrations ou évaporation rapide. Bien que la couche albienne affleure en plusieurs endroits, devienne salée ou asséchée, la nappe souterraine du Tademaït constituerait néanmoins la plus importante réserve d'eau du Sahara septentrional. Le tracé du Transsaharien, de Colomb-Béchar à Adrar, par Beni-Abbès et le sillon de la Sebka el Melah, passe au-dessus de cette nappe souterraine sur une longueur de 250 km environ.

Le Niger, ancien fleuve saharien

Dans le sud du Sahara, le problème hydrologique prend un autre aspect. D'après les géologues, le Niger serait formé par la réunion de deux anciens cours d'eau, l'un empruntant le cours supérieur actuel du fleuve, dénommé Dioliba par les indigènes sur ce parcours de sa source à Ségou, et l'autre, aujourd'hui disparu, provenant des montagnes de l'Adrar des Iforas, et empruntant en partie la vallée du Télémsi, que suivra le Transsaharien entre Bidon V et Tabankort. Les deux cours d'eau se rejoignaient dans la zone lacustre située entre Ségou et Tombouctou. Le seuil de Tosaye fermait cette zone à l'ouest, et les eaux des deux cours d'eau coulaient vers le nord, en direction du Djouft, l'aboutissement final étant peut-être la fosse de Taoudeni, bas-fond qui se trouve à la côte 140 alors que la zone lacustre est approximativement à la côte 280. L'aboutissement était-il une mer intérieure marécageuse située



T W 23565

FIG. 2. — COUPE DU FORAGE EXÉCUTÉ LE 15 JANVIER 1942 A BIDON V.

Le trépan rencontra successivement 7 mètres de « reg », 15 mètres de sables et 102 mètres de marnes imperméables avant de trouver l'eau par 124 mètres de profondeur, dans la couche perméable. L'eau monta dans le puits jusqu'à 27 mètres du sol, d'où on la pompe au débit de 10 à 25 mètres cubes par jour.

proximativement dans la Meraia et que l'accumulation des alluvions, l'infiltration dans les sables et l'évaporation solaire fit peu à peu disparaître? Ou bien, s'ouvrant un passage par érosion au seuil de Tosaye, le Niger se déversa-t-il brusquement vers le sud-est, pour donner le cours inférieur actuel, le Kovarra des indigènes? Le phénomène serait relativement récent, et les récits historiques plus ou moins altérés par la légende mais possédant un fond commun, affirment l'existence, il y a quelque deux mille ans, d'une zone richement cultivée située dans le nord-ouest de Tombouctou et dont la capitale s'appelait Ghana. D'énormes dépôts d'alluvions et de nombreux tumuli en marquent les sites.

Le professeur F.-M. Gauthier a émis le premier l'hypothèse qu'une partie des eaux du Niger continue à couler vers la cuvette saharienne, par un lit souterrain, dans l'ancienne direction et que seules les eaux superficielles du Niger franchissent le seuil de Tosaye. Les recherches géologiques n'ont pu encore confirmer l'hypothèse de Gauthier, et, pour le moment, on s'en tient à l'aménagement de la zone lacustre en région de cultures: riz et coton sur un million d'hectares. L'Office du Niger admet que la zone lacustre peut disposer pour l'irrigation des cultures projetées d'un débit annuel de dix milliards de mètres cubes. Les débits évaporés ou infiltrés dans la seule zone lacustre sont évalués à 30 milliards de mètres cubes. Aussi a-t-on songé pour l'avenir à envisager la récupération des eaux du Niger.

L'irrigation de l'Aklé et de la Maraia est-elle possible?

Le premier projet à envisager se limiterait

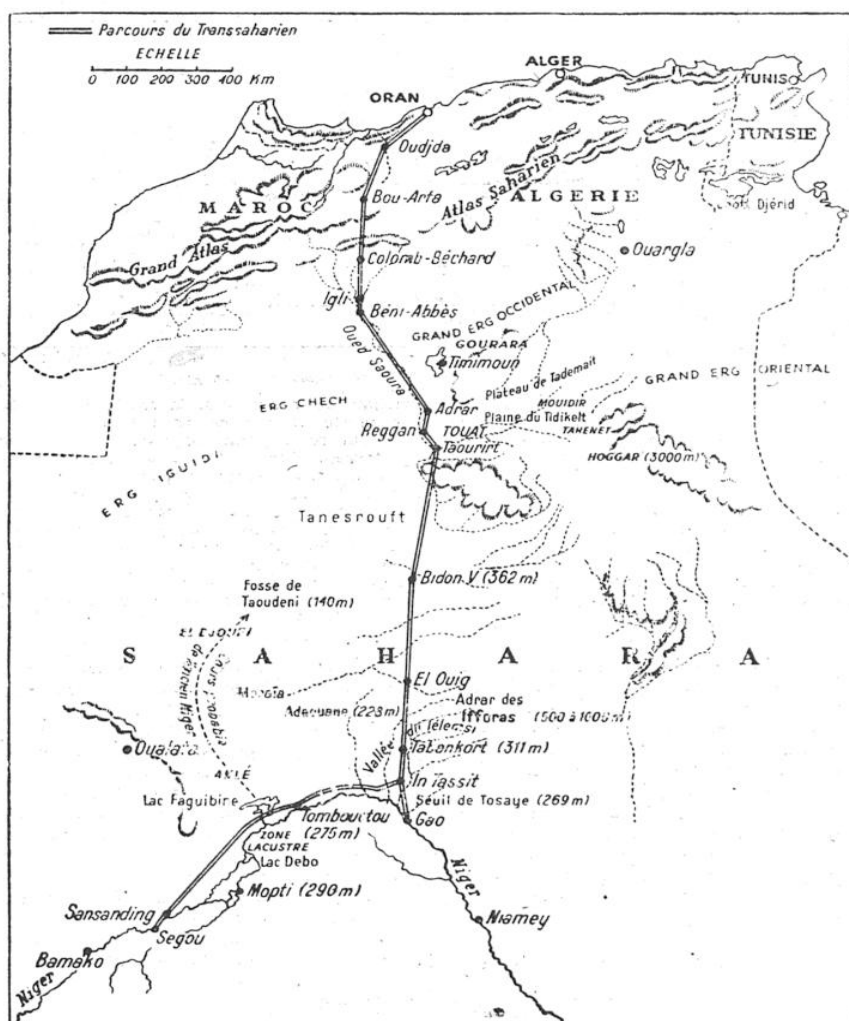


FIG. 3. — LE RELIEF DU SAHARA Y RÉVÈLE L'EXISTENCE DE NAPPES D'EAU SOUTERRAINES

Les cours d'eau torrentiels qui, descendant des hauteurs (Atlas, Hoggar, Ahenet, Mouidir), se perdent dans le désert. Ils ne sont pas entièrement « bus » par l'évaporation. Leurs eaux s'infiltrant dans le sol et y forment des nappes souterraines. Les études géologiques récentes ont permis de déceler une nappe aquifère au nord, entre le Tanesrouft et la bordure du plateau de Tademaït. La région centrale la plus désolée du Sahara, le Tanesrouft, recèle une autre nappe par 125 mètres de profondeur (à Bidon V). Ces deux nappes permettront de jalonner le parcours du Transsaharien d'un certain nombre de points d'eau et de végétation, ce qui faciliterait grandement les travaux de construction de cette artère qui reliera deux des plus riches régions de l'Empire français. Enfin, au sud, on peut espérer retrouver sous la terre une forte proportion des eaux du Niger, ancien fleuve saharien, dont le lit abandonné aboutissait peut-être à la fosse de Taoudeni, en passant par l'Aklé et le Djouft. Il serait même possible d'acheminer en surface une partie des eaux du fleuve vers ces régions, ce qui constituerait une extension des travaux d'irrigation actuellement réalisés par l'Office du Niger.

à la zone de l'Aklé située à l'ouest de Tombouctou jusqu'à Oualata, et que l'on irriguerait à partir du lac mi-asséché de Faguibine. Le capitaine Urvoy qui parcourut la contrée en 1937 a évalué à 60 000 kilomètres carrés la zone à vivifier. L'Aklé étant, d'après Urvoy, en contre-bas de 20 mètres par rapport au lac de Faguibine, il suffirait de faire sauter quelques arêtes sableuses à l'ouest et au nord de ce lac.

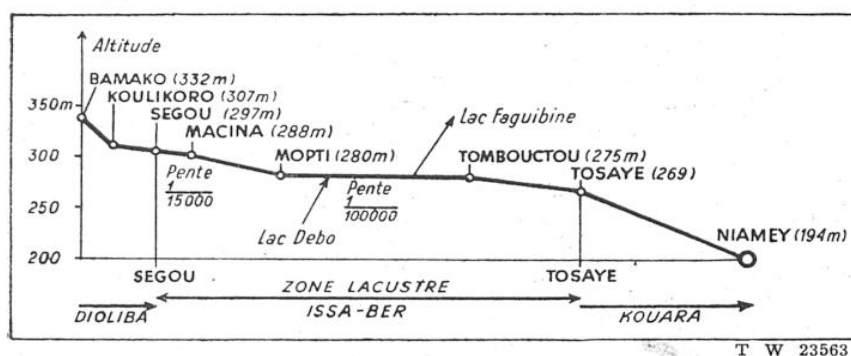


FIG. 4. — PROFIL DU NIGER, DE BAMAKO A NIAMEY

Entre Ségou et le seuil de Tosaye, sur un millier de kilomètres, la chute de niveau du Niger n'est que de 28 mètres, soit une pente de l'ordre de $1/40\,000$, ce qui donne la zone lacustre, dite delta du Niger, qui correspond au nom indigène du Niger, de Issa-Ber. La pente la plus faible, correspondant à la quasi horizontalité, est celle des lacs, entre le lac Debo et Tombouctou (pente moyenne $1/100\,000$). Le projet d'irrigation de l'Office du Niger porte sur la première partie de la zone lacustre, entre Ségou et Mopti. Il est probable qu'une partie des eaux qui séjournent dans les lacs est perdue par infiltration autant que par évaporation. Certains géologues supposent même que seules les eaux superficielles du Niger franchissent le seuil de Tosaye, et que sous l'ancien lit, entre Mopti et Tombouctou, un écoulement d'eaux profondes se poursuit vers le nord dans l'ancienne direction du cours du Niger, c'est-à-dire vers l'Aklé, la Maraïa et la cuvette du Djouft, en plein Sahara.

Au delà de l'Aklé, la chaîne dunaire fossile de l'Araguib barre la route du Djouft. Ce serait le seul obstacle sérieux qu'auraient à franchir les eaux venues du sud, à travers l'Aklé, pour atteindre plus au nord la zone de Maraïa, l'ancienne cuvette centrale du Niger saharien. L'Aklé et la Maraïa, aujourd'hui déserts, pourraient-ils redevenir des terres cultivables? Il est probable que leur résurrection, après quelques millénaires de stérilité, pose d'énormes problèmes techniques et économiques, dont celui de la production de l'énergie n'est pas le moindre.

Hydrologie et chaleur solaire

En résumé, si l'eau a disparu de la surface du Sahara, soit par évaporation, soit par infil-

tration, il doit néanmoins exister des réserves hydrauliques souterraines d'eaux plus ou moins salines, mais qui deviennent plus douces à mesure que la profondeur de la nappe augmente. Les deux principales réserves seraient localisées, d'une part dans le Sahara septentrional, en bordure du plateau de Tademaït, d'autre part, dans le Sahara central et, à plus grande profondeur, sous le Tanesrouft. Enfin, dans le Sahara méridional, la modification relativement récente qu'a subie le cours du Niger, ancien fleuve saharien, permettrait peut-être de détourner à nouveau vers le Djouft une part importante de ses eaux actuellement perdues. Quoi qu'il en soit, tandis que la récupération des eaux du Niger donnerait de l'eau douce immédiatement utilisable, celle des nappes souterraines du Sahara central fournirait une forte proportion d'eaux non potables du fait qu'une lente évaporation les a rendues plus ou moins salines ou magnésiennes, comme celles des chotts et des sebkas. Ces eaux sahariennes devraient donc être distillées ou épurées pour la consommation courante. Il est évident que la chaleur solaire constitue la source d'énergie toute désignée pour procéder à cette épuration. La politique de l'eau et celle de l'utilisation de la chaleur solaire se rejoignent dans le Sahara.

Pierre CUGNAUX.

Le constructeur américain Glenn L. Martin, auquel on doit le gros hydravion quadrimoteur Martin PB 2 M-1 « Mars », vient de faire connaître son intention de mettre en chantier un nouvel appareil géant, de 115 tonnes cette fois. Cet hydravion gros porteur dérivé du « Mars » serait capable d'emporter, sur un trajet tel que New York-Londres, cent deux passagers avec chacun 30 kg de bagages et 11,5 tonnes de fret et de courrier. Ce projet apparaît, dans l'état actuel de la technique, plus réalisable qu'un autre projet plus audacieux du même constructeur qui devait atteindre 225 tonnes. Il importe cependant de noter que l'aviation navale des Etats-Unis a passé aux chantiers navals Kaiser commande d'un fuselage tout acier destiné à un hydravion de 200 tonnes. On voit que la course au tonnage ne se ralentit pas, au moins dans le domaine des transports aériens, auquel le gouvernement américain accorde une attention particulière, car il lui paraît susceptible de soulager les transports maritimes fortement éprouvés par les attaques sous-marines.

QU'EST-CE QU'UN « RHUMBATRON » ET UN « CLYSTRON » ? UNE RÉVOLUTION DANS LE DOMAINE DES ONDES ULTRACOURTES

par F LE LIONNAIS

Les premières émissions pratiques de radiophonie se sont faites sur les longueurs d'onde moyennes et longues, tandis que les ondes courtes étaient réservées aux amateurs. Mais, rapidement, la multiplication des émetteurs et l'encombrement qui en résulta sur l'étroite bande des fréquences permises obligea les stations à utiliser des longueurs d'ondes de plus en plus courtes (de l'ordre de quelques mètres) et même ultracourtes (entre 1 et 50 cm). La production de ces ondes décimétriques et centimétriques a été rendue possible, dans des conditions de puissance et de rendement acceptables, grâce à la mise au point de tubes électroniques d'un principe nouveau (modulation de la vitesse des électrons). Meilleure propagation dans l'air, absence de parasites atmosphériques et de fading, directivité, possibilité de loger un très grand nombre d'émissions dans la nouvelle gamme conquise, tels sont les avantages principaux de l'emploi des ondes ultracourtes dont les applications vont maintenant pouvoir s'étendre aux domaines les plus divers, de l'art militaire avec la détection électromagnétique et la radiophonie entre engins blindés, à la médecine avec la diathermie, et surtout à la télévision.

Qu'est-ce que les ondes ultracourtes ?

On sait qu'on appelle rayonnement, ou radiations, ou ondes électromagnétiques, toute une série de phénomènes dont l'unité profonde a été démontrée malgré la diversité de leurs apparences. Il s'agit des ondes hertziennes, de l'infrarouge, de la lumière visible, de l'ultraviolet, des rayons X et des rayons gamma. Tous ces phénomènes ont la même nature : à la fois électrique et magnétique; la même structure : vibratoire; et la même vitesse de propagation dans le vide : en chiffres ronds 300 000 kilomètres par seconde. On peut distinguer les unes des autres ces différentes formes du rayonnement en caractérisant chacune soit par sa longueur d'onde, soit par sa période, soit par sa fréquence. La fréquence est égale au nombre de périodes par unité de temps (1); la période est égale au temps employé par la vibration pour avancer d'une longueur d'onde (2).

(1) 1 cycle = 1 période par seconde; 1 kilocycle = 1 000 cycles.

(2) D'où il résulte que le produit de la longueur d'onde d'une radiation par sa fréquence est cons-

On appelle ondes ultracourtes, ou, ce qui revient au même, rayonnement hyperfréquence, des radiations comprises à peu près entre 1 et 30 cm de longueur d'onde (tableau I).

Cette région du spectre, qui s'étend sur environ 5 octaves, fait partie du royaume des ondes hertziennes; elle en constitue une province qui avoisine le royaume des radiations infrarouges (1). L'emploi des termes « ultracourtes » ou « hyperfréquence » ne s'applique

donc pas aux ondes électromagnétiques en général; il sert à rappeler que c'est aux ondes hertziennes les plus courtes, c'est-à-dire de la fréquence la plus élevée, que nous avons affaire.

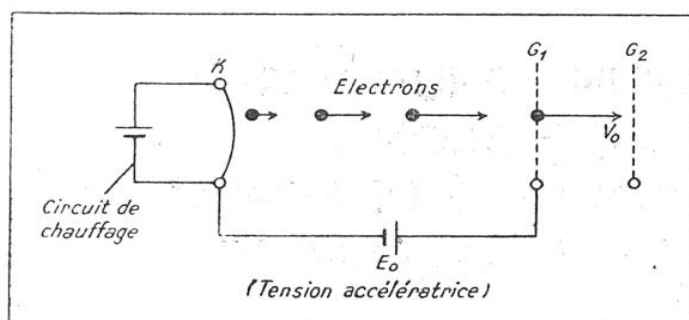
Les premières études relativement anciennes

qui concernent ces radiations sont dues à Lebedew, Bose et Righi. Elles ne sont entrées tant et égal à la vitesse du rayonnement dans le milieu considéré.

(1) Comme c'est le cas pour bien d'autres sortes de frontières, celle qui sépare les ondes hertziennes de l'infrarouge n'a pas été définie avec une précision absolue. On peut admettre, à la suite des travaux de Nichols et Tear, que la région du spectre comprise entre des longueurs d'ondes allant de 1 cm à 1 mm forme la zone de transition entre ces deux royaumes.

Longueurs d'ondes en cen- timètres	Fréquences	
	En kilocycles	En vibrations par secondes
30	1 million	1 milliard
10	3 millions	3 milliards
1	30 millions	30 milliards

TABEAU I. — LONGUEURS D'ONDES ET FRÉQUENCES DES ONDES ULTRACOURTES



T W 23575

FIG. 1. — SCHÉMA D'UN CANON À ÉLECTRONS

Les électrons émis par la cathode K (fil chaud) sont accélérés par la tension E_0 . Ils traversent la grille G_1 à la vitesse constante V_0 .

dans le domaine des applications pratiques que depuis quelques années, en télévision. Plus récemment encore, et notamment depuis le début de cette guerre, elles ont connu une faveur croissante et elles servent en ce moment d'objectif à un véritable foisonnement de recherches aussi bien scientifiques que techniques.

Les difficultés de production des ondes décimétriques et centimétriques

La production de n'importe quelle espèce de longueur d'onde est en elle-même un problème intéressant et qui vaut toujours la peine d'être résolu. En effet, derrière le choix des appareils et des procédés, c'est la question des relations entre matière et rayonnement qui se pose et qui est susceptible de progresser. Et c'est précisément ce qui confère un si grand intérêt au difficile problème de la production des ondes décimétriques et centimétriques.

Chacune des grandes catégories de radiations que nous énumérons plus haut peut être caractérisée, grosso modo, par un mode de production approprié. On engendre les rayons gamma avec des substances radioactives, les rayons X avec des rayons cathodiques, les rayons ultraviolets avec des décharges électriques, la lumière visible soit par incandescence, soit par luminescence, et les rayons infrarouges en chauffant des corps. On obtient les ondes hertziennes en faisant osciller des décharges électriques ou électroniques. Sous cette forme simplifiée le problème de la production de n'importe quelle sorte d'onde hertzienne, y compris celles qui font l'objet de cet article, est résolu. Mais la question devient beaucoup plus ardue, — surtout lorsqu'on opère dans le domaine des hyperfréquences, — si l'on désire également que les oscillations engendrées soient régulièrement entretenues et possèdent une puissance suffisamment élevée pour pouvoir être détectées à la réception.

Des progrès décisifs ont été faits, dans le cas des ondes hertziennes ordinaires, grâce à la découverte de la fonction oscillatrice des électrons dans les tubes émetteurs, ce

qui a permis d'assurer l'entretien régulier des oscillations rayonnées par l'antenne. Malheureusement, ces conquêtes ont été remises en question, et d'autres difficultés, aussi gênantes qu'imprévues, se sont fait jour, au fur et à mesure que l'on s'est proposé de réduire la période des ondes à obtenir.

On produit des ondes électromagnétiques d'une fréquence donnée au moyen d'une décharge électronique oscillante de même fréquence engendrée dans un tube (ou lampe) à l'aide d'un courant alternatif possédant lui aussi la fréquence désirée. Ce courant alternatif est amené au tube par un circuit comportant une bobine de self-induction et un condensateur convenablement choisis de manière

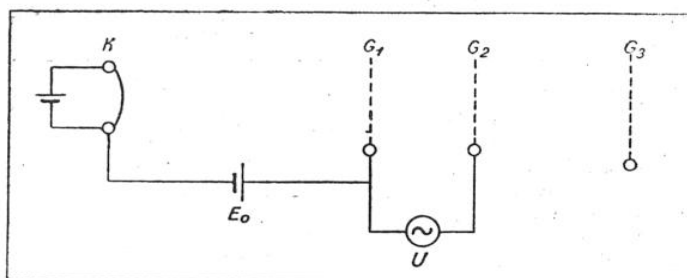
à déterminer la fréquence recherchée (1).

Plus on tendra vers des longueurs d'ondes (ou des périodes) courtes, ou, ce qui revient au même, vers des fréquences élevées, plus il faudra diminuer, soit la self, soit la capacité, soit ces deux facteurs à la fois.

On arrive ainsi, sans grandes difficultés, aux « ondes courtes » de la radiodiffusion, de l'ordre de 30 mètres de longueur d'onde, correspondant à une fréquence de 10 millions de vibrations par seconde. Mais on ne peut pas diminuer indéfiniment les capacités et les selfs mises en jeu.

On peut déjà supprimer le condensateur et n'utiliser que ce que l'on désigne sous le nom de « capacité répartie », laquelle correspond à la capacité interne du tube électronique et à la capacité propre des conducteurs extérieurs. Dans les plus petites lampes récemment construites, on n'a pas pu réduire la capacité grille-anode au-dessous de l'ordre de 1 cm.

(1) Rappelons que si l'on désigne par L la self-inductance de la bobine, par C la capacité du condensateur et par T la période des oscillations, on aura : $T = 2\pi\sqrt{LC}$ ou, ce qui revient au même : la fréquence $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.



T W 23578

FIG. 2. — PRINCIPE DE LA MODULATION DE VITESSE DES ÉLECTRONS

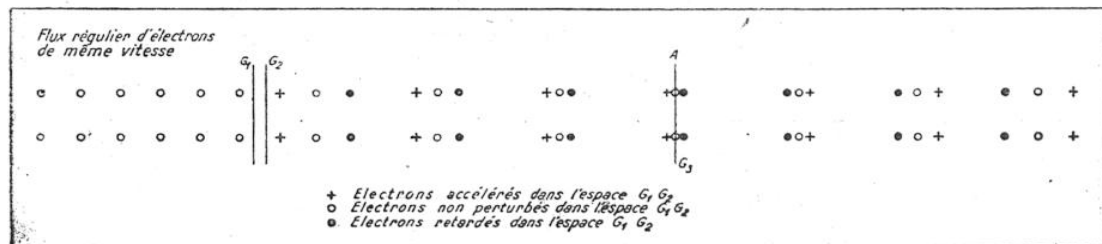
Les électrons, accélérés dans l'espace KG_1 par la tension constante E_0 , arrivent en G_1 avec une vitesse constante V_0 . Pendant la traversée de l'espace G_1G_2 , ils sont soumis, du fait de la tension alternative U , à une accélération alternativement positive et négative. Si le temps mis par les électrons pour traverser G_1G_2 est petit par rapport à la période de U , certains électrons sont retardés, d'autres gardent la même vitesse, enfin d'autres sont accélérés. Les électrons se groupent en paquets, qui se dissocient ensuite (voir fig. 3). Si la grille G_3 est convenablement placée, elle reçoit des « paquets » d'électrons très compacts, séparés par des vides.

D'autre part, on abaissera la self en diminuant le nombre des spires de la bobine; on peut finalement réduire celle-ci à une simple boucle, ce qui permet d'obtenir des selfs de 0,1 microhenry pour une longueur d'onde de 75 cm. Cette diminution de la self amène d'ailleurs un nouvel inconvénient dont il faut tenir compte : elle entraîne corrélativement la diminution du « facteur de surtension » qui contribue à assurer la stabilité des oscillations.

Il arrive un moment où l'on se heurte aux selfs et aux capacités que possèdent les différentes parties des appareils utilisés : connexions des organes du tube, du circuit oscillant, de l'antenne, des organes d'alimentation. Négligeables pour des ondes supérieures à 30 m,

mentation de la fréquence, vient altérer les oscillations des électrons dans le tube au point de les rendre inutilisables. Voici en quoi il consiste :

Tant que l'on reste dans le domaine des ondes de T. S. F. (longues, moyennes, ou courtes) et même jusqu'aux ondes de 1 mètre, on trouve tout naturel, dans les raisonnements et les calculs, de traiter la vitesse des électrons comme si elle était infinie; ou, ce qui revient au même, on semble considérer comme nul le temps employé par chaque électron pour parcourir dans le tube le trajet qui sépare les deux électrodes. Cette manière de voir n'est évidemment pas rigoureusement exacte; elle ne constitue qu'une approximation, certes très



T W 23576

FIG. 3. — LA FORMATION DES « PAQUETS » D'ÉLECTRONS DANS UN TUBE ÉLECTRONIQUE A MODULATION DE VITESSE DES ÉLECTRONS

Un flux régulier d'électrons animés d'une vitesse uniforme pénètre dans l'espace $G_1 G_2$. Suivant l'instant de leur traversée de cet espace, ils y sont accélérés, retardés ou gardent la même vitesse. En raison de la différence des vitesses, les électrons accélérés rattrapent, puis dépassent les électrons retardés; il en résulte en un certain point A, dont l'abscisse peut être calculée, une accumulation d'électrons en « paquets » qui d'ailleurs ne tardent pas à se dissocier quand les électrons accélérés sont passés en tête. C'est en A que l'on place la grille G_3 .

ces selfs et ces capacités se font sentir d'une manière de plus en plus gênante au fur et à mesure que l'on se rapproche du domaine qui nous intéresse. Cependant, et sans faire appel à des procédés nouveaux, on peut descendre jusqu'à des longueurs d'onde inférieures à 1 m, allant même jusqu'à environ 30 cm. Il suffit pour cela de réduire de plus en plus les dimensions des appareils, et notamment des lampes utilisées; ce faisant, on diminue les surfaces des électrodes, et par suite leurs capacités. On atteint ainsi le domaine des ondes ultracourtes; de nouvelles difficultés, d'apparence insurmontables, surgissent alors. En quoi consistent-elles?

Tout d'abord, il devient de plus en plus difficile de fabriquer des lampes de plus en plus petites. Mais ce n'est pas là l'inconvénient le plus grave.

En se heurtant à la plaque chargée de le recevoir, le faisceau électronique chauffe cette plaque. La chaleur ainsi développée doit être dissipée aussi complètement et aussi vite que possible afin de permettre à la puissance du rayonnement d'être aussi intense que possible. Cette dissipation de chaleur s'effectuera d'autant mieux que la plaque sera plus grande. Il y a donc contradiction entre la tendance vers de petites capacités et celle vers de grandes puissances, la première aboutissant à diminuer les dimensions des électrodes pendant que la seconde conduit à les augmenter. En dernier ressort il se produit un conflit entre la fréquence des ondes à engendrer et la puissance nécessaire pour qu'elles restent détectables.

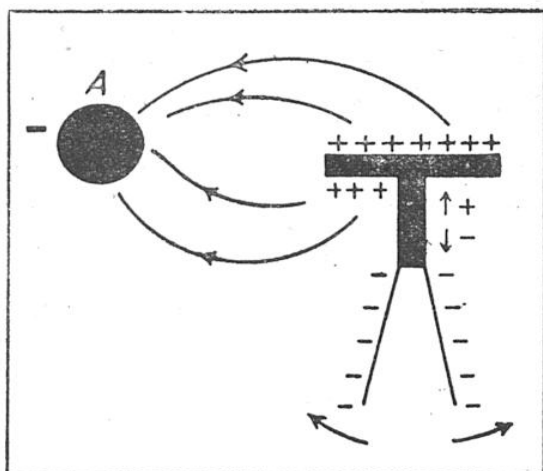
Un autre phénomène, lié lui aussi à l'aug-

suffisante quand on opère avec les ondes hertziennes ordinaires, mais qui cesse d'être valable quand on pénètre dans le domaine des hyperfréquences. L'inertie des électrons, négligeable jusque-là, devient un facteur avec lequel il faut compter, parce qu'il est de l'ordre de grandeur des phénomènes considérés. La période (1) des ondes à engendrer, d'autant plus petite que la fréquence est plus élevée, finit par devenir du même ordre de grandeur que le temps de transit des électrons. Or, que demande-t-on au courant électronique qui évolue entre l'anode et la grille? D'osciller avec régularité, c'est-à-dire de suivre fidèlement les alternances de la tension hyperfréquence qui le commande. Lorsque ces alternances deviennent trop rapides, les électrons commencent à manifester une certaine inaptitude à obéir instantanément. A chaque impulsion nouvelle, le courant électronique acquiert un retard supplémentaire par rapport aux ondes qu'il est chargé d'entretenir, ce que le radioélectricien traduira en disant que le courant de plaque ne varie plus exactement au même rythme que la tension de commande de la grille. La fonction d'entretien des oscillations électroniques finit ainsi par devenir illusoire; il peut même arriver un moment où les ondes se mettent à s'amortir plus vite que si on n'avait pas cherché à les entretenir!

Pour nous résumer, voici les deux difficultés principales que l'on a rencontrées lorsqu'on a cherché à produire des ondes décimétriques et centimétriques entretenues et détectables :

1° Il aurait fallu, en même temps, diminuer

(1) Proportionnelle à la longueur d'onde.



T W 23577

FIG. 4. — LA GÉNÉRATION D'UN COURANT ÉLECTRIQUE DE CONDUCTION PAR L'ACTION SUR UN CONDUCTEUR D'UN CORPS CHARGÉ ÉLECTRIQUEMENT

Le champ du corps A chargé négativement fait apparaître des charges positives sur le plateau de l'électroscope, et des charges négatives sur les feuilles d'or qui s'écartent. Il a déplacé vers le plateau de l'or le même nombre de charges positives et vers les feuilles d'or le même nombre de charges négatives, engendrant ainsi dans la partie conductrice de l'électroscope un courant de conduction.

les dimensions des appareils pour réduire la capacité et atteindre la fréquence voulue; et les agrandir pour rayonner une puissance suffisante.

2° On voulait imposer au courant électronique un rythme d'oscillation qui, — nécessaire pour l'entretien des ondes à produire, — ne pouvait plus être adopté et suivi par les électrons en raison de leur inertie.

Diverses solutions ont été proposées pour tourner ou franchir ces obstacles. Nous laisserons de côté les tubes à grilles positives et les magnétrons (1). Ces deux sortes d'appareils, par ailleurs fort ingénieux, sont d'un fonctionnement compliqué et ont le grave inconvénient d'être totalement dépourvus de la fonction amplificatrice. Nous ne consacrerons la suite de cet article qu'aux tubes électroniques dits « à modulation de vitesses » qui résolvent d'une manière particulièrement élégante et simple les difficultés que nous venons d'énumérer.

Comment on module les vitesses des électrons

Nous serons en état de bien comprendre le mécanisme de la modulation de vitesse des électrons quand nous aurons une idée claire de ce qu'est le régime de vitesse des électrons dans les tubes électroniques ordinaires. A cet effet, nous allons considérer l'appareil simplifié formé par l'association d'un canon à électrons et d'un circuit (figure 1). Ce canon à électrons est lui-même constitué par une cathode K qui bombarde une grille accélératrice G_1 au delà

(1) Rappelons brièvement que le magnétron est formé de l'association d'une anode cylindrique, d'une cathode filament et d'un aimant. On utilise le champ magnétique de l'aimant pour communiquer au faisceau électronique le mouvement vibratoire désiré. (Voir *La Science et la Vie*, n° 255, page 178).

de laquelle est située une seconde grille G_2 parallèle à la grille G_1 .

La différence de potentiel accélératrice E_0 est appliquée entre K et G_1 .

Chaque électron accéléré entre K et G_1 par cette tension E_0 sort de la grille G_1 avec la même vitesse uniforme V_0 (1).

Branchons maintenant (figure 2) entre les bords des grilles G_1 et G_2 une faible force électromotrice alternative U (2) et examinons ce qui se passera au delà de la grille G_2 en supposant très petite la distance de G_1 à G_2 .

Nous conviendrons de désigner par des V majuscules les vitesses communiquées aux électrons par E_0 et par des v minuscules les vitesses communiquées aux électrons par U.

Soit un électron A (figure 2) qui traverse G_1 à l'instant où : $U=0$. Aucune influence due à la force électromotrice alternative ne viendra altérer sa vitesse. Par conséquent, il franchira l'espace $G_1 G_2$ et ira au delà sans subir de variation de vitesse, en conservant la vitesse primitive V_0 acquise entre K et G_1 .

Prenons maintenant l'un des électrons suivants, soit par exemple l'électron B qui traverse G_1 à l'instant où U est devenu un maximum positif. Il sera accéléré et sa vitesse à la sortie de G_2 sera : $V_0 + v \text{ max.}$ (3).

Prenons enfin un électron C qui traverse G_1 au moment où U est devenu un maximum négatif. Il sera retardé et sa vitesse à la sortie de G_2 sera : $V_0 - v \text{ min.}$ (4).

N'importe quel autre électron se comportera

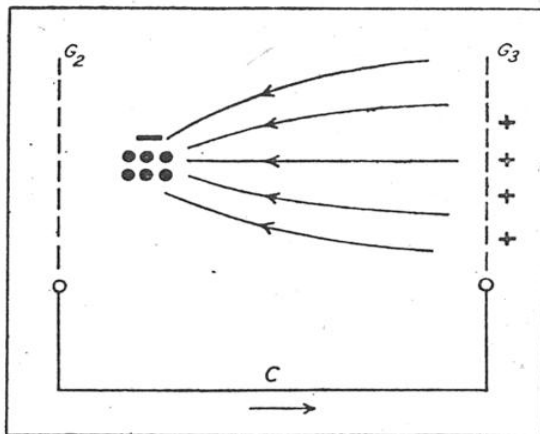
(1) Cette vitesse est donnée par la formule :

$V_0 = \sqrt{\frac{m}{2e}} E_0$ dans laquelle e et m sont la charge et la masse d'un électron.

(2) $U = E_1 \sin \omega t$, E_1 étant beaucoup plus petit que E_0 .

(3) Rappelons que v max. est considérablement plus petit que V_0 .

(4) De même v min. est considérablement plus petit que V_0 .



T W 23579

FIG. 5. — L'INFLUENCE D'UN PAQUET D'ÉLECTRONS SUR LA GRILLE G_2

La charge négative représentée par un groupe d'électrons fait apparaître, quand elle s'approche de la grille G_2 , des charges positives, tandis qu'elle en chasse les charges négatives. La grille G_2 se trouve donc portée à un potentiel positif par rapport au potentiel de repos (pas de charges négatives à proximité).

comme l'un de ces trois électrons ou acquerra une vitesse intermédiaire.

Ajoutons maintenant à l'appareillage précédent une grille G_3 à une distance d de G_2 et parallèle aux deux grilles G_1 et G_2 . Que se passera-t-il entre G_1 et G_2 ?

En l'absence de la force électromotrice U , les électrons se succéderaient à des intervalles égaux dans l'espace $G_1 G_2$. Nous supposons pour simplifier l'analyse de ce phénomène que la cathode émet les électrons deux par deux, c'est-à-dire qu'il en sort simultanément deux files d'électrons.

L'intervention de la force électromotrice alternative U a pour effet, nous l'avons vu, de communiquer des vitesses inégales à des électrons doués auparavant de vitesses égales. Certains électrons ayant reçu, au moment du passage dans l'espace inter-grille $G_1 G_2$, une impulsion accélératrice, seront plus rapides. D'autres, ayant reçu une impulsion retardatrice, seront plus lents. Enfin certains électrons n'éprouveront aucun changement.

Nous dirons que l'application de la force électromotrice alternative U a eu pour résultat de « moduler » la vitesse des électrons.

Il nous reste à voir maintenant ce qui se passera sur le parcours situé entre G_2 et G_3 .

Les électrons les plus rapides tendront à rattraper les électrons les plus lents en encadrant les électrons à vitesse inchangée. Il se formera donc, entre G_2 et G_3 , des groupements d'électrons. Le schéma de la figure 3 montre comment se constituent ces paquets d'électrons.

On voit quel est le rôle joué par l'espace $G_2 G_3$. Il permet aux électrons rapides de rattraper les électrons lents et de former des paquets d'électrons. Si cet espace était trop petit les électrons arriveraient en G_3 avant d'avoir eu le temps de former des paquets serrés. S'il était trop grand, les électrons rapides, après avoir rejoint les électrons lents, les dépasseraient, c'est-à-dire que les paquets se désagrégeraient. Entre ces deux écarts, pour lequel les électrons arrivent à la grille G_3 en paquets serrés qui se suivent à la cadence de la fréquence de la tension U . C'est pourquoi on appelle « espace de groupement » cet intervalle $G_2 G_3$, convenablement réglé.

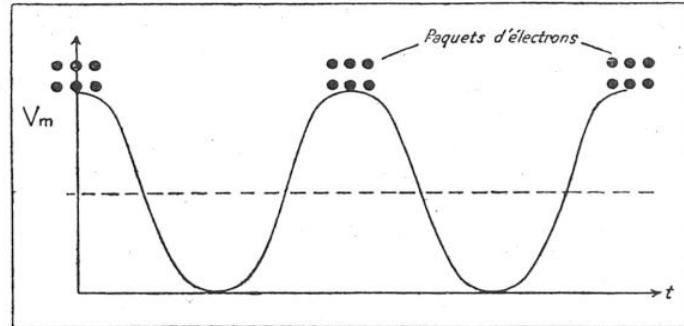
Ce conditionnement du courant électronique sous forme de « charges pulsantes », conséquence de la modulation de vitesse des électrons, va permettre d'imaginer un procédé, aussi simple que remarquable, avec lequel seront éludés les obstacles que nous énumérons au début de cette étude.

Pour comprendre comment fonctionne ce procédé, il est indispensable d'ouvrir une parenthèse dans laquelle nous examinerons le

mécanisme de génération de courants électriques par influence électrostatique.

On sait qu'un électroscope dévie lorsqu'on en approche un corps électrisé A. Nous supposons ce corps électrisé négativement. Les lignes de force issues de A, et aboutissant au plateau de l'électroscope y créent, par influence électrostatique, une charge positive (figure 4). Comme le plateau était initialement neutre, c'est-à-dire qu'il contenait autant de charges positives que de négatives, cette électrisation positive doit se traduire par un départ de l'électricité négative (1). Celle-ci s'écoulera du plateau dans l'intérieur de l'électroscope, jusqu'aux extrémités des deux feuilles d'or, qui chargées l'une et l'autre de la même électricité

négative s'écarteront en vertu de la loi de Coulomb. Il se sera donc produit un courant de transport de charges électriques négatives, allant du plateau aux feuilles d'or de l'électroscope. On sait par ailleurs qu'un mouvement de charges électriques et un courant électrique (2) sont des phénomènes identiques. C'est donc, en définitive, un courant électri-



T W 23571

FIG. 6. — L'APPARITION DE CHARGES PULSANTES DANS UNE GRILLE TRAVERSÉE PAR DES « PAQUETS » D'ÉLECTRONS

Le potentiel de la grille G_2 oscille entre la valeur 0 (pas de charge négative à proximité) et une certaine valeur maximum V_m (passage d'un paquet d'électrons à travers la grille).

que négatif, allant du plateau aux feuilles d'or, qui se produira au fur et à mesure que l'on rapprochera le corps électrisé A du plateau (3). Il serait facile de démontrer directement l'existence de ce courant, et de le mesurer, en insérant dans la tige de l'électroscope un ampèremètre.

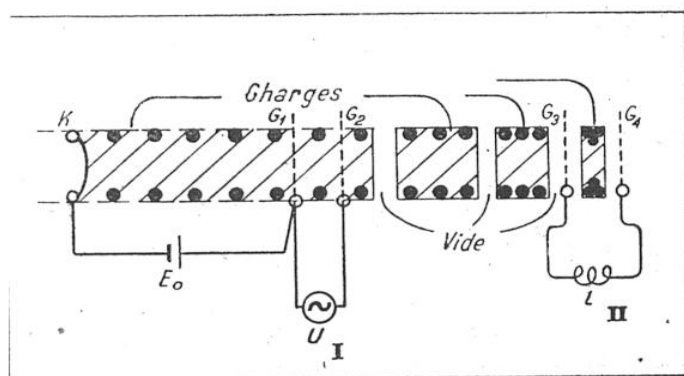
Ce courant continuera à se produire tant que le corps électrisé se rapprochera du plateau, car le nombre de lignes de force issues de A et interceptées par le plateau ira sans cesse en augmentant.

Le phénomène que nous venons de décrire ne change pas si l'on remplace (figure 5) le plateau de l'électroscope par une plaque métallique, la grille G_2 , et le corps électrisé A par un électron, ou mieux, un paquet d'électrons. La venue d'un paquet d'électrons en direction de G_2 développera sur la grille une charge positive, et une charge négative correspondante cherchera à s'écouler (figure 6). Inversement, mais pour les mêmes raisons, en s'éloignant de la grille G_2 , le même paquet d'électrons tendra à y produire un départ d'électricité positive en sens contraire. Si on reliait les grilles G_2 et G_3 par un circuit extérieur C, le simple passage d'un paquet d'électrons allant de G_2 en G_3 suffirait donc pour engendrer,

(1) Car il n'y a pas, évidemment, « création » d'électricité, mais changement dans la distribution des deux électricités.

(2) C'est-à-dire un « courant de convection » et un « courant de conduction ».

(3) Le courant positif est celui qui correspondrait à un mouvement du corps électrisé en sens inverse, c'est-à-dire s'éloignant du plateau.



T W 23573

FIG. 7. — L'ENTRETIEN DES OSCILLATIONS DU CIRCUIT OSCILLANT D.L.G. PAR LE PASSAGE D'ÉLECTRONS DE VITESSE MODULÉE À TRAVERS LES DEUX GRILLES G_1 ET G_2 .

Les deux grilles G_1 et G_2 avec les charges qui y font apparaître les passages de groupes d'électrons jouent le rôle d'un condensateur chargé alternativement dans un sens ou dans l'autre. Ce condensateur se décharge à travers une self L et on obtient ainsi un circuit oscillant qui entre en résonance, si sa période propre est égale à l'intervalle des passages d'électrons et, par conséquent, à la période de la tension alternative U .

dans le circuit C, un courant allant de G_2 en G_3 . C'est ce courant, induit électrostatiquement, que nous allons utiliser pour résoudre les problèmes délicats que pose la production d'ondes décimétriques et centimétriques. Voici comment :

Au lieu de disposer en G_2 une seule grille, comme nous l'avions fait pour rendre plus simple l'explication qui précède, nous placerons (figure 7) deux grilles G_1 et G_2 , formant condensateur et reliées entre elles par une self L (circuit II). Nous nous arrangerons pour que la fréquence propre du circuit oscillant II ainsi constitué soit précisément la même que celle de la tension U . Que va-t-il se passer?

Au fur et à mesure de leur arrivée en G_1 , les gros paquets d'électrons induiront par influence électrostatique, dans l'intérieur du condensateur $G_1 G_2$, des charges électriques. Ces paquets se succédant à la cadence f , le circuit oscillant II se mettra lui aussi à osciller à la même cadence f . Les pertes par effet Joule dans le circuit II seront donc compensées par l'apport d'énergie hyperfréquence des paquets d'électrons incidents.

Il ne nous reste plus maintenant (figure 8) qu'à substituer au générateur de forces électromotrices U , que nous avons utilisé au début de notre montage (fig. 1 et 2) un circuit oscillant I, identique au circuit II reliant les grilles G_1 et G_2 . Disposons entre les circuits I et II, un couplage M . Si, par suite d'une cause quelconque (instabi-

lité de tension, passage d'un ou de plusieurs électrons, etc...), il se produit une tension alternative aux bornes de $G_1 G_2$, cette tension alternative modulera la vitesse du faisceau électronique. Le circuit II (ou « circuit collecteur ») captera l'énergie oscillante des gros paquets d'électrons arrivant sur $G_1 G_2$. Une partie de cette énergie hyperfréquence sera renvoyée, par le truchement du couplage M , au circuit I (ou « circuit modulateur »); elle y servira à entretenir les tensions nécessaires à la modulation. Le reste de cette énergie pourra être utilisé pour exciter, par exemple, une antenne, ou un guide diélectrique. Quant au flux électronique qui sortira de G_4 , avec une vitesse évidemment réduite du fait de la quantité d'énergie cédée au circuit oscillant II, il pourra être recueilli par une électrode collectrice. Etant indépendante du montage qui la précède, cette électrode pourra être aussi grosse qu'il sera nécessaire pour dissiper la chaleur d'impact électronique, sans que l'on tombe

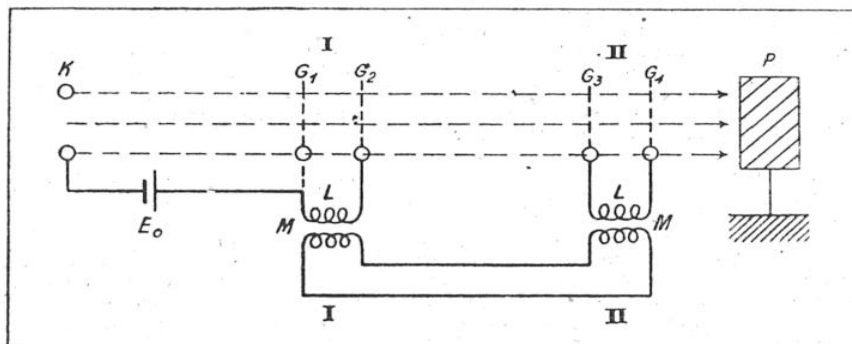
pour cela dans la contradiction signalée plus haut entre la grandeur des électrodes et la nécessité de petites capacités. En effet, la capacité de cette électrode collectrice (anode) n'intervient pas dans la capacité du circuit oscillant et par conséquent pas, non plus, dans la fréquence des oscillations produites, contrairement à ce qui a lieu dans les lampes classiques à trois électrodes.

Ainsi se trouvent résolus, simultanément et d'une manière tout à fait élégante, le problème du temps de transit fini et la question de la dissipation de l'énergie calorifique.

La production des oscillations électriques de très grande fréquence par les « rhumbatrons » (1)

Le principe de la modulation de vitesse des électrons étant acquis, ainsi que la manière,

(1) Ce mot dérive du terme grec « rhumba », qui signifie : danse, rythme.



T W 23572

FIG. 8. — LA PRODUCTION DES OSCILLATIONS ENTRETENUES DANS UN TUBE À MODULATION DE VITESSE

On utilise comme source de la tension alternative U (fig. 7) un circuit oscillant I formé de la capacité ($G_1 G_2$) et d'une self L couplée avec le circuit II (capacité $G_3 G_4$ et self L) de même période. Les trains d'électrons viennent heurter une plaque P de dimensions aussi grandes qu'on le veut, qui en dissipe l'énergie.

que nous venons de décrire, d'en tirer parti, on pourrait croire que toutes les difficultés de production des ondes hyperfréquence ont été vaincues et qu'il ne reste plus qu'à monter le dispositif précédent pour que soit atteint notre but. Il n'en est rien. Tous nos efforts seraient inutiles, car l'emploi d'un circuit oscillant du type classique, c'est-à-dire filiforme, est pratiquement incompatible avec la production d'ondes ultracourtes.

Nous avons déjà signalé que l'obtention d'ondes de plus en plus courtes était liée à l'emploi d'appareils à capacité et à self de plus en plus petites. Il arrive un moment où l'on atteint les limites imposées par la technique. Imaginons un circuit ordinaire dont on utilise la capacité propre, à l'exclusion de toute autre capacité supplémentaire, cette capacité propre étant celle des plus petites lampes à trois électrodes connues. Associons-la à la plus petite self possible, soit, par exemple, une simple boucle de 1 cm de diamètre. Un calcul élémentaire montrera immédiatement que l'onde émise aura une longueur de l'ordre de 1 mètre. C'est beaucoup trop grand !

Par ailleurs, et à supposer que nous ayons réussi à tourner cette difficulté, il serait très désirable de conférer à notre circuit un « facteur de surtension » (1) aussi élevé que possible. En effet, un facteur de surtension garantit trois importantes qualités dans le fonctionnement d'un circuit oscillant :

(1) C'est une grandeur physique définie par la formule : $\frac{L \cdot \omega}{R}$, avec : L = self, $\omega = 2\pi \times$ fréquence, et R = résistance totale du circuit.

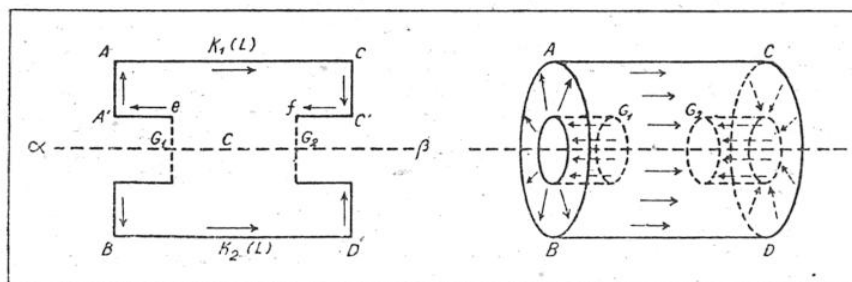


FIG. 9. — COUPE ET PERSPECTIVE SCHÉMATIQUES DU RHUMBATRON DE L'UNIVERSITÉ DE STANFORD (ÉTATS-UNIS)

C'est une cavité dont les parois conductrices sont obtenues en faisant tourner la figure eA'ACC'f autour de l'axe $\alpha\beta$ et qui est fermée par les deux grilles planes G_1 et G_2 . C'est dans ce conducteur à trois dimensions que prennent naissance les oscillations électriques, les deux grilles jouant le rôle d'un condensateur et les parois le rôle d'une self dont les spires seraient dans des plans passant par $\alpha\beta$. On a indiqué la répartition à un instant donné du courant électrique dans le conducteur.

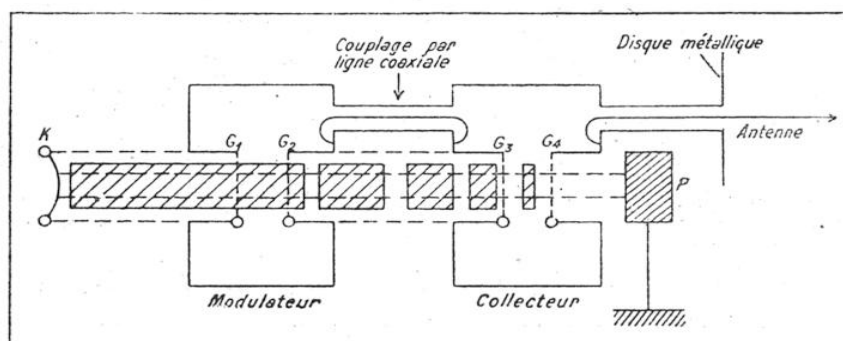


FIG 10. — SCHÉMA D'UN CLYSTRON, TUBE ÉMETTEUR D'ONDES ULTRACOURTES

Les circuits oscillants I et II de la figure 8 sont réalisés à l'aide de deux rhumbatrons, l'un jouant le rôle de modulateur et l'autre le rôle de collecteur. Le couplage de ces rhumbatrons se fait par l'intermédiaire d'une ligne coaxiale. Une partie de l'énergie du rhumbatron collecteur est rayonnée par l'antenne.

1° la réduction des pertes par rayonnement et par effet Joule;

2° l'augmentation de l'impédance interne;

3° une meilleure stabilité de fréquence des oscillations.

Nous laisserons de côté l'examen théorique de ces trois facteurs qui ne constituent en fait que trois aspects différents d'une même chose, et qui ont valu au « facteur de surtension » le nom de « facteur de qualité » (« Quality factor »), que lui ont donné les Anglo-Saxons.

Un simple coup d'œil sur la formule de définition du facteur de surtension montre que, dans le cas qui nous intéresse, on ne peut agir sur la self et sur la fréquence, celles-ci étant ce qu'elles doivent être pour produire les oscillations cherchées. Par contre, il reste possible d'envisager une diminution de la résistance totale du circuit. Cette résistance totale est la somme des résistances due aux pertes par rayonnement et de la résistance due à l'effet Joule qui se localise dans la pellicule superficielle du conducteur (phénomène de Kelvin).

Avant de décrire la structure du dispositif qui répond à toutes les exigences précédentes, il nous semble intéressant de faire appel à des comparaisons acoustiques. Elles rendront plus compréhensible à nos lecteurs la nature de la métamorphose que nous proposons d'opérer.

On peut produire des sons avec une corde vibrante; elle constitue en quelque sorte ce que — pour les besoins de nos explications — nous pourrions nommer un « circuit sonore linéaire ». Mais on peut également les engendrer à l'aide d'un résonateur acoustique de Helmholtz, formé par une sphère creuse percée d'un petit trou; par analogie nous la nommerons une « cavité sonore de volume ».

Les ondes sonores stationnaires que l'on y produira seront adaptées à la forme et aux dimensions de la cavité.

C'est précisément un changement analogue que nous allons décrire, en passant du domaine des ondes sonores à celui des oscillations électromagnétiques. Aux conducteurs électriques filiformes (qui correspondent aux cordes vibrantes) nous allons substituer des cavités électromagnétiques résonnantes (analogues aux sphères percées de Helmholtz). On peut, évidemment, en imaginer de formes diverses, de même que les luthiers peuvent imaginer des instruments de musique de formes diverses,

le rhumbatron peut aider à en comprendre le fonctionnement. Les lignes de force magnétiques sont des cercles concentriques centrés sur l'axe. Les lignes de force électriques sont des droites parallèles à l'axe de symétrie.

Pour de tels appareils, les difficultés auxquelles nous nous heurtons précédemment n'existent pratiquement plus. En effet, la capacité C et la self L ne sont plus localisées dans un condensateur et dans un solénoïde matériels, dont les dimensions ne peuvent être inférieures à quelques millimètres. Cette capacité et cette self résultent d'interactions dynamiques qui se produisent entre des éléments de courants

électriques. La quasi-immatérialité de leur origine permet de les obtenir aussi petites que l'on veut.

Par ailleurs, comme les rhumbatrons sont des cavités fonctionnant comme des circuits fermés, il en résulte deux conséquences immédiates :

1° Ils sont complètement dépourvus de résistance de rayonnement ;

2° La surface qu'ils offrent au courant hyperfréquence est plus grande que celle d'un circuit composé de conducteurs filiformes ; ce qui réduit d'autant la résistance correspondant aux pertes par effet Joule.

Ainsi, en définitive, la résistance totale d'une cavité électromagnétique résonnante est, nécessairement, nettement inférieure à celle d'un

circuit linéaire. Par suite, son facteur de surtension et aussi son impédance interne (1) seront nettement supérieurs. Et les oscillations engendrées seront beaucoup plus stables, c'est-à-dire que leurs fréquences s'écarteront moins souvent et moins fortement de la fréquence de l'oscillation que l'on se propose de produire et d'entretenir.

Une simple comparaison permettra de se rendre compte du progrès réalisé. Avec un bon circuit oscillant linéaire ordinaire, on atteint péniblement un facteur de surtension de 300 à 400. Avec un rhumbatron on arrive facilement à des facteurs de surtension de l'ordre de 30 000 soit cent fois plus !

Les « clystrons » ou oscillateurs à modulation de vitesse électronique associés à des « rhumbatrons »

Nous possédons maintenant tous les éléments qui nous étaient nécessaires pour la production d'ondes ultracourtes (décimétriques ou centimétriques).

Un clystron (figure 10) est constitué par

$$(1) Z = L \cdot \omega \cdot Q = \frac{L^2 \omega^2}{R}$$

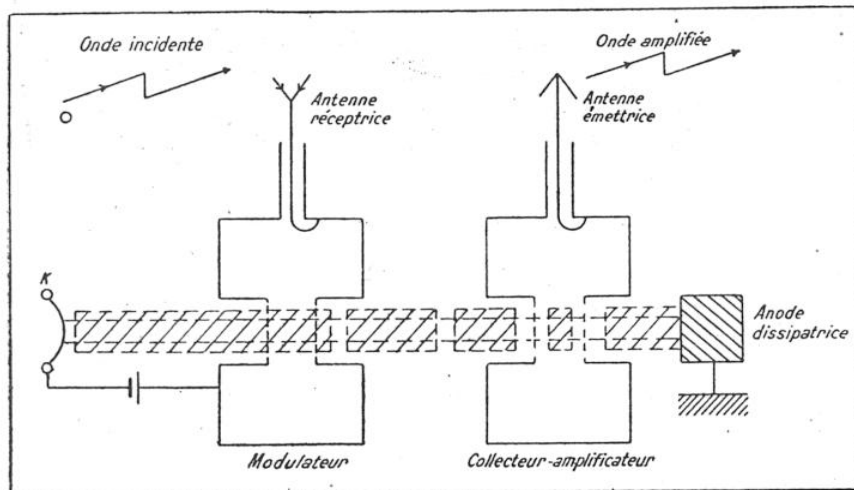


FIG. 11. — L'UTILISATION D'UN CLYSTRON COMME AMPLIFICATEUR D'ONDES ULTRACOURTES

Une antenne réceptrice est couplée au rhumbatron modulateur, dont on a supprimé le couplage par ligne coaxiale avec le rhumbatron collecteur. Si on suppose que les deux rhumbatrons sont accordés sur la fréquence de l'onde incidente, le rhumbatron collecteur recevra et communiquera à l'antenne émettrice une onde de même période que l'onde incidente qui peut être puissamment amplifiée.

ayant des caractéristiques différentes. Nous nous contenterons de décrire succinctement le type de rhumbatron le plus courant, employé initialement depuis 1938 par l'Université de Stanford (Etats-Unis).

Imaginez un tronçon de cylindre conducteur creux contenant, coaxialement, un conducteur cylindrique, de diamètre nettement plus petit, et creux également. Ce tronçon est limité par deux plans parallèles, conducteurs, perpendiculairement à l'axe. Ce conducteur intérieur creux est interrompu et muni en son milieu de deux grilles G_1 et G_2 qui délimitent l'espace modulateur (figure 9).

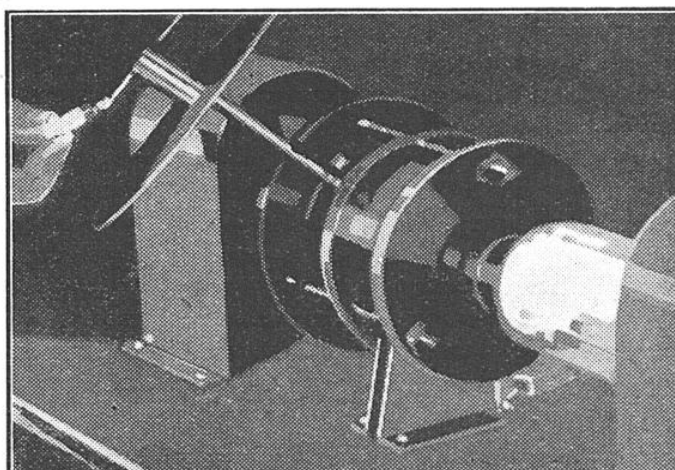
Nous n'entrerons pas dans l'analyse du fonctionnement théorique du rhumbatron, notamment dans l'examen de la distribution dans ses diverses parties, et en fonction du temps, des ondes électromagnétiques qui s'y propagent. Notons que l'on pourrait construire le précédent dispositif en partant d'abord d'un circuit classique composé d'une capacité C (formée de deux grilles G_1 et G_2) et de deux cadres K_1 et K_2 possédant chacun une self L . En faisant tourner ce circuit linéaire (à constantes C et L localisées) autour de l'axe de symétrie $\alpha\beta$, on obtiendrait un rhumbatron (à constantes réparties). Cette manière de définir

l'association d'un canon à électrons et de deux rhumbatrons. Le premier, qui sert de modulateur de vitesse électronique, correspond au circuit I des figures 7 et 8, que nous avons invoqué au début de cette étude. Le second, qui sert de collecteur d'énergie et qui reçoit les charges pulsantes, correspond au circuit II des mêmes figures. Ces deux rhumbatrons sont couplés à l'aide d'une petite ligne coaxiale (1) munie de boucles de couplage à ses deux extrémités, et qui correspond au circuit M qui actionnait synchroniquement le circuit I au moyen d'énergie empruntée au circuit II.

Ce type de tubes générateurs permet d'obtenir des longueurs d'ondes de 5 à 10 centimètres, émises avec des puissances de plusieurs centaines de watts et un rendement théorique de l'ordre de 60%.

On peut également (fig. 11) employer les clystrons comme amplificateurs d'énergie hyperfréquence. Il suffira, pour réaliser cette transformation, de supprimer le couplage coaxial entre les deux rhumbatrons accordés à la même fréquence et de relier le premier rhumbatron (modulateur) à une antenne récep-

(1) Rappelons qu'on appelle « ligne coaxiale » un circuit électrique constitué par un tube cylindrique conducteur contenant un autre conducteur central maintenu coaxialement au moyen de disques isolants. L'espace qui sépare ces deux conducteurs est également isolant. Le tube extérieur correspond au fil d'aller et le conducteur central au fil de retour d'un circuit ordinaire.



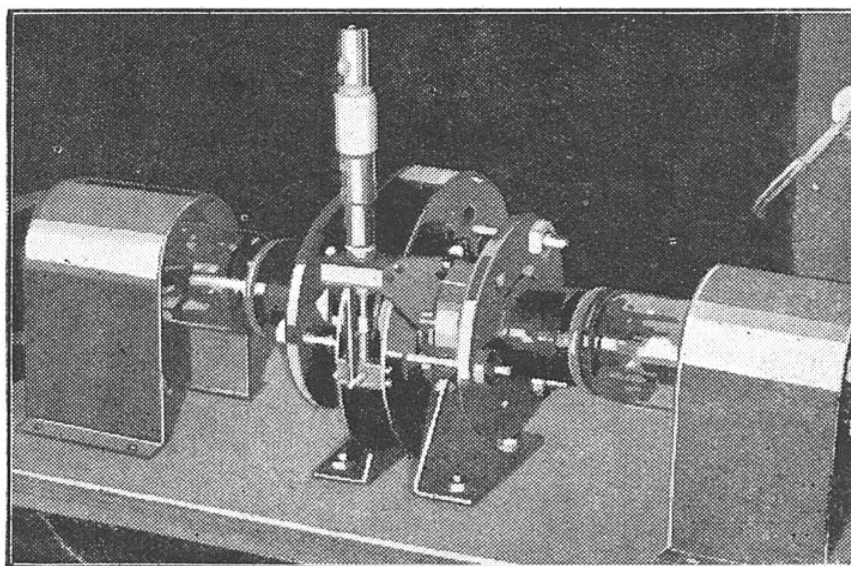
I W 23570

FIG. 13. -- UNE LAMPE AU NÉON AU CONTACT D'UNE ANTENNE ÉMETTRICE D'ONDES ULTRACOURTES

La lampe au néon émet une lueur de nuance caractéristique des ondes décimétriques.

trice de signaux hyperfréquence faibles, et le second rhumbatron (collecteur) à une antenne émettrice de signaux hyperfréquence amplifiés ou à un autre circuit d'utilisation. L'énergie hyperfréquence injectée dans le modulateur par l'antenne réceptrice sera puissamment amplifiée dans le collecteur.

En effet, les signaux de faible amplitude reçus dans le premier rhumbatron vont moduler la vitesse du faisceau électronique. Celui-ci excite le second rhumbatron et le fait fonctionner en amplificateur.



T W 23566

FIG. 12. — UN TUBE ÉLECTRONIQUE DE RÉCEPTION DES ONDES ULTRACOURTES

L'accord du récepteur sur la longueur d'onde à capter est obtenu en modifiant simultanément la période de résonance de deux rhumbatrons associés au tube électronique. Pour cela, on déforme légèrement les parois de ces rhumbatrons par une pression appliquée progressivement à l'aide d'une vis micrométrique. La latitude d'accommodation s'étend environ de 9 à 11 cm.

Les perspectives d'utilisation des ondes ultracourtes

Nous voici donc capables de produire des ondes ultracourtes, c'est-à-dire des ondes d'une longueur allant de quelques centimètres à quelques décimètres. Quelles sont les perspectives d'avenir de ces nouveaux serveurs ?

Elles sont immenses. Il y a, en fait, de nos jours, une tendance irrésistible à transporter la technique des télécommunications sur le terrain des hyperfréquences. De nombreuses raisons militent en ce sens :

1° La dépense nécessaire pour franchir une distance donnée est d'autant

plus petite que la longueur d'onde est plus petite.

2° Les ondes décimétriques et centimétriques commencent à participer à la propriété des rayons infrarouges (et au delà : rayons lumineux, ultraviolets, X et gamma) de pouvoir très facilement être émis sous forme de faisceaux dirigeables. Leur capacité à se diffracter cède le pas à leur capacité à se propager en rayons rectilignes (1). Ce nouvel aspect des ondes hertziennes permet de concevoir une

réduisait les véhicules et leurs occupants à des dimensions très réduites.

4° La région dans laquelle on a opéré jusqu'ici, c'est-à-dire celle des longueurs d'ondes supérieures à un mètre, est infestée de perturbations électromagnétiques atmosphériques et de parasites. De plus, elle est sujette au fading. Ces inconvénients disparaîtraient presque complètement dans le domaine des ondes décimétriques et centimétriques.

5° On tend, depuis quelques années, à employer de plus en plus un nouveau mode de transmission : le « guide (ou câble) diélectrique ». Ce système, riche en avantages, se voyait cependant arrêté dans son essor par un obstacle lié à sa définition même. Un tel câble ne peut propager des oscillations dont la longueur d'onde est, en gros, supérieure à son diamètre. Voilà donc une difficulté qui ne se présente plus avec les ondes centimétriques.

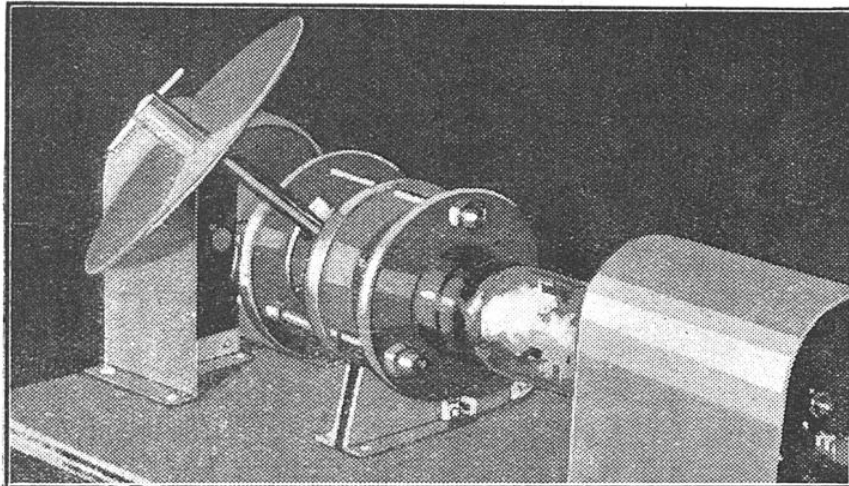
6° Signalons encore une découverte toute récente et qui est appelée à révolutionner la radioélectricité. Il s'agit du remplacement du système actuel de modulation des amplitudes par une méthode de

modulation des fréquences qui vient de faire son apparition aux Etats-Unis (1). A côté d'avantages immenses, ce procédé comporte l'inconvénient — majeur jusqu'ici — d'exiger par fréquence émise une plus large bande de fréquence que par le procédé classique : de 100 000 à 300 000 périodes par seconde. Comme il est impossible d'envisager une réduction du nombre total des postes d'émission, on aurait dû renoncer à l'utilisation de cette méthode, si la découverte, presque simultanée, de moyens de production d'ondes ultracourtes, n'était venue apporter la solution désirée. En effet, la multiplication du nombre de postes d'émission possibles, dans le domaine des hyperfréquences, permet l'emploi des modulations de fréquence.

7° Il est extrêmement désirable, en diathermie médicale, de pouvoir braquer des radiations uniquement sur les parties malades ou fatiguées de l'organisme, à l'exclusion des autres. Les ondes décimétriques et surtout les ondes centimétriques dont la grandeur est du même ordre que celle de la plupart des organes du corps humain qu'il s'agit d'irradier répondent particulièrement bien à cette nécessité. Elles permettent, de plus, de concentrer une plus grande énergie dans une plus petite portion d'espace et par conséquent d'obtenir à prix égal un chauffage plus intense de la partie irradiée.

F. LE LIONNAIS

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 270 (déc. 1939).



T W 23567

FIG. 14. — UNE LAMPE ÉMETTRICE D'ONDES ULTRACOURTES

L'antenne dipole et demi-onde que l'on aperçoit au-dessus du disque métallique circulaire est couplée au rhumbatron collecteur.

foule d'applications. Citons, dans le domaine militaire, la détection des avions la nuit (2), les communications de tank à tank (rendues plus faciles également par les moindres puissances nécessaires), etc...

3° On peut loger un bien plus grand nombre de postes d'émission, chacun ayant une longueur d'onde bien déterminée, sans craindre les chevauchements.

En modulation d'amplitude, chaque onde émise doit être portée par une bande d'environ 20 000 périodes par seconde. Cette condition nécessaire permet de loger :

a) pour des longueurs d'ondes comprises entre 100 mètres et 10 mètres, 1 500 stations environ ;

b) pour des longueurs d'ondes comprises entre 1 mètre et 10 centimètres, 50 000 stations environ.

On voit quel immense avantage les radio-communications — encombrées comme une ville de province par une circulation intense — pourraient tirer de cette décongestion. Tout se passerait, à la vérité, non comme si on reconstruisait une ville avec des routes plus larges et plus nombreuses, mais comme si on

(1) Cette différence de comportement n'est évidemment pas due à un changement intrinsèque dans la nature des ondes, mais aux dimensions des obstacles parmi lesquels elles cheminent. On trouve la même différence entre les ultrasons et les sons (et infrasons).

(2) Comparable, pour cette raison, au procédé de détection des sous-marins par les ultrasons.

LE « SECRET » DE STRADIVARIUS

par Henri FRANÇOIS

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

L'enregistrement des sons et leur transmission à distance ont posé, depuis l'invention des premiers téléphones et des premiers phonographes, le problème de la fidélité des reproductions sonores. Ce problème a amené les physiciens à revoir entièrement leurs connaissances en acoustique et à mettre au point des appareils perfectionnés pour l'analyse et la synthèse des sons. Grâce aux « spectres sonores » des sons musicaux, on a pu préciser la notion purement subjective de timbre d'un instrument de musique. En particulier, le professeur F. A. Saunders de l'Université de Harvard, étudiant la sonorité des violons, a recherché le secret de la supériorité des instruments anciens sur les violons actuels. Ce secret semble résider dans le vieillissement du bois verni. Des procédés de vieillissement artificiel permettront peut-être un jour de fabriquer des instruments comparables aux meilleurs violons de Stradivarius.

L est assez peu de domaines où la technique de notre époque, pour peu qu'elle veuille s'en donner la peine, ne puisse largement dépasser la technique artisanale des siècles passés et produire en grande série, et à bon marché, des objets de qualité supérieure. Pourtant, à l'heure actuelle, la fabrication des violons de haute qualité est encore le privilège de quelques artisans : ses procédés sont en partie secrets et les meilleurs violons, jalousement possédés par les grands artistes et par de riches amateurs, atteignent parfois des prix astronomiques.

La forme actuelle du violon est le résultat d'une évolution de plusieurs siècles au cours de laquelle, conformément à la thèse de Darwin, les formes moins bien adaptées (crouth, rebec, viole) ont peu à peu été éliminées. Le passage de la viole au violon, commencé au début du XVI^e siècle avec les Amati de Crémone, Gaspar da Salo et J. P. Maggini de Brescia, s'est achevé avec Stradivarius (1644-1737) et Guarnerius, tous deux élèves des Amati. A l'heure actuelle, les bons violons sont le plus souvent fabriqués en prenant pour modèle un violon ancien et réputé, et l'on considère généralement que l'apogée de l'art du luthier a été atteinte il y a un peu plus de deux siècles en Italie, et que cet art est plus ou moins en décadence depuis cette époque. Les maîtres luthiers possédaient-ils un secret qui s'est perdu, et devons-nous renoncer à remplacer les violons célèbres quand ceux-ci, soit vétusté, soit accident, viendront à disparaître? Cette question valait d'être étudiée scientifiquement, et le professeur F. A. Saunders, de l'Université de Harvard, a employé, pour l'élucider, les moyens les plus puissants que la science moderne met à notre disposition pour l'analyse des sons musicaux.

La qualité des sons et le spectre des sons musicaux

La comparaison subjective des sons au moyen de l'oreille a permis de leur attribuer les trois caractéristiques suivantes : la *hauteur*, la *force* ou intensité, et le *timbre* ou qualité du son.

Les deux premières caractéristiques sont des grandeurs, et les sons peuvent être classés :

1^o Suivant une échelle des hauteurs allant du grave à l'aigu. En première approximation (1), les sons se disposent sur cette échelle suivant la fréquence de la vibration qui les produit. Les intervalles musicaux classiques (octave, quinte, etc.) correspondent à des rapports simples de fréquence des sons.

2^o Suivant les intensités croissantes (2).

La troisième caractéristique du son, le *timbre*, n'est pas une grandeur, et c'est ce qui fait la difficulté de son étude. Aucun son musical n'est rigoureusement « pur », c'est-à-dire produit par une seule vibration sinusoïdale. Les sons qu'émettent les instruments de musique sont tous produits par une vibration composée, dans laquelle se superposent, à côté de la vibration *fondamentale*, des vibrations *harmoniques* dont les fréquences sont doubles, triples, etc..., de celles du son fondamental. Chacun des harmoniques intervient avec son intensité propre dans la composition du son résultant, et ce sont les intensités des divers constituants qui donnent au son un timbre particulier et permettent, par exemple, de distinguer la flûte (au son presque pur), du violon (au son chargé d'harmoniques). On voit que le timbre est chose beaucoup plus complexe que les deux autres attributs du son, et son étude expérimentale est beaucoup plus délicate. Elle a cependant pu être effectuée depuis

(1) En réalité, la hauteur des sons ayant des fréquences inférieures à 2 500 périodes diminue quand on augmente leur intensité, tandis que, dans les mêmes conditions, la hauteur des sons de fréquence supérieure augmente légèrement.

(2) Si l'on ne tient pas compte de la variation de sensibilité de l'oreille dans les différentes régions de l'échelle des sons audibles, la sensation sonore croît comme le logarithme de la puissance véhiculée par l'unité de surface de l'onde sonore. Par définition, deux intensités sonores diffèrent entre elles d'une unité quand les puissances transportées par les ondes sont entre elles dans le rapport de 1 à 10. L'unité théorique d'intensité sonore est appelée le *bel* (en hommage au savant Graham Bell), et pratiquement on emploie son sous-multiple, le *décibel*. Le zéro de l'échelle des intensités sonores est défini par le seuil de puissance audible.

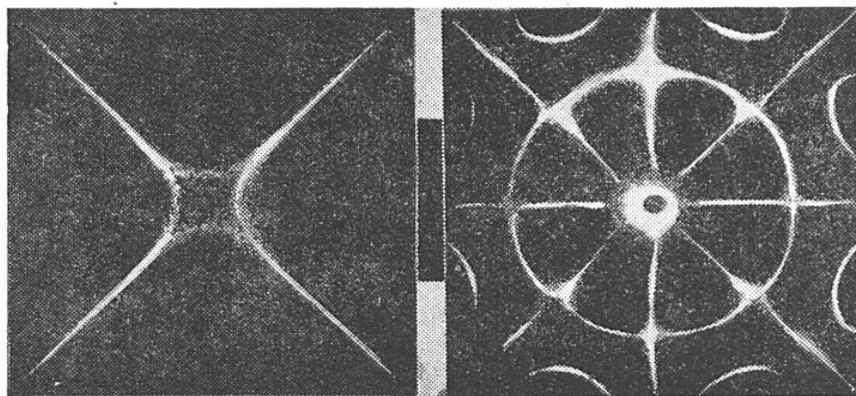


FIG. 1. — DEUX DESSINS OBTENUS AVEC DU SABLE SUR UNE PLAQUE VIBRANTE DE CHLADNI

Sous l'action d'un archet, la plaque est capable de prendre un grand nombre de régimes vibratoires différents. A chacun d'eux correspond une disposition différente des ventres de vibration et des lignes nodales (de vibration nulle) qui les séparent. Le sable se rassemble sur les lignes nodales dont il dessine les contours. Plus la plaque est morcelée par le dessin, et plus le son émis est aigu.

quelques années grâce à la mise au point d'appareils d'enregistrement et de mesure appelés analyseurs harmoniques, qui, recevant le son sur un microphone, le décomposent en un véritable spectre sonore et inscrivent automatiquement l'intensité de tous les constituants en fonction de leur fréquence.

Comment « chante » un violon

Un violon comporte quatre cordes vibrantes et un système de résonance. Pour la production d'un son, la partie de la corde laissée libre entre le chevalet et le doigt du violoniste est attaquée par l'archet qui provoque et entretient ses vibrations. La corde vibrante est capable de produire à la fois une vibration fondamentale, dont la fréquence est réglée par la position du doigt de l'exécutant sur la touche, et les harmoniques de cette vibration. Les vibrations de la corde se traduisent à ses extrémités par des variations de la force de traction qu'elle exerce sur ses attaches. Le chevalet transmet les vibrations de la corde au système de résonance constitué par une boîte de sapin verni qui présente à sa partie supérieure (*table d'harmonie*) deux ouvertures appelées *ff*. Les vibrations transmises à la table d'harmonie sont réparties sur toute sa longueur par la *barre*. Une petite pièce de bois, l'*âme*, qui forme un pont entre le fond et la table d'harmonie, transmet les vibrations au fond de la boîte.

Pour comprendre comment vibre ce système de résonance, il faut se rappeler l'expérience classique des plaques de Chladni. De simples plaques de verre carrées peuvent prendre, quand on les attaque par un archet, un très grand nombre de régimes vibratoires différents, suivant la manière dont agit l'archet et suivant les points où elles sont attaquées. Si on les recouvre d'une poudre fine, celle-ci est chassée des régions où l'amplitude des vibrations est grande (ventres de vibration) et vient se rassembler le long des lignes d'amplitude nulle (lignes nodales). On constate que plus les figures dessinées par les lignes nodales sont compliquées, plus elles morcellent la plaque, et plus le son obtenu est aigu. Les minces parois de sapin

verni du fond et de la table d'harmonie du violon sont capables d'entrer en vibration à la manière des plaques de Chladni, quand les vibrations des cordes leur sont transmises par le chevalet et l'âme, mais ici, au lieu que la surface vibrante ait une forme simple et régulière, la surface résonnante du violon est d'une complication voulue. D'abord elle présente deux parties capables de prendre des régimes vibratoires différents : le fond et la table d'harmonie. Diverses causes viennent rendre encore plus complexes les vibrations de l'instrument. C'est

d'abord la courbure des surfaces, la courbure des lignes qui les limitent et l'existence des deux *ff* sur la table d'harmonie. Puis le fait que les surfaces sont liées entre elles par les éclisses et fixées à certains organes du violon (barre, chevalet, âme). Aussi comprend-on que l'instrument soit capable de « répondre » à un grand nombre de sons. Cette variété de réponse est augmentée par l'amortissement très considérable des vibrations résultant de la viscosité interne du bois ; au lieu de se produire pour une fréquence bien déterminée, la résonance a lieu dans une certaine zone de fréquences entourant un maximum. Le violon entre en résonance pour n'importe quelle vibration de la corde. Cette vibration, nous l'avons dit, est complexe. Le système de résonance répondra au son fondamental et à ses harmoniques, mais c'est lui qui sera le facteur déterminant de l'intensité de chacune de ces réponses partielles et, par conséquent, de la sonorité de l'ensemble.

La définition d'un son standard, indépendant de l'exécutant

Mais le violon n'est pas le seul responsable de la beauté des sons qu'il émet : l'habileté

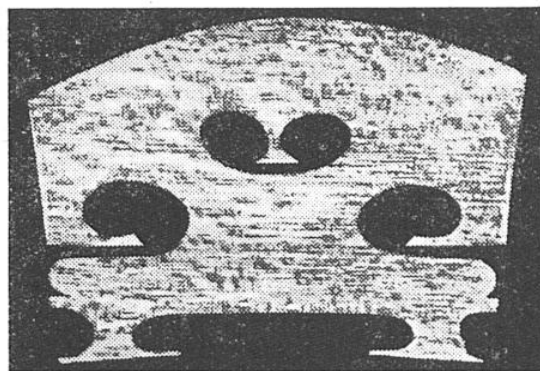


FIG. 2. — LE CHEVALET D'UN VIOLON

de l'exécutant intervient d'une façon au moins aussi importante. S'il était impossible d'éliminer l'influence de l'artiste sur la sonorité de l'instrument, les expériences de l'Université de Harvard auraient dû mêler de façon inextricable l'étude des artistes à celle des instruments. La première partie du travail a donc consisté à définir rigoureusement les sons qu'on soumettrait à l'analyse pour éliminer le second facteur. L'exécutant a dû s'astreindre à produire un son avec une intensité constante et pendant une durée toujours la même de 5 secondes (la durée de la course totale de l'archet), à produire un son uni, sans aucune nuance. Tandis que la pression de l'archet sur la corde ne modifie pas de façon sensible la qualité du son émis, il convient de maintenir constante la distance de l'archet au chevalet. Toutes ces conditions étant réalisées, on a pu obtenir un son « standard » qu'on a soumis à l'analyseur.

L'analyseur harmonique de l'Université de Harvard est capable de mesurer l'intensité des trente premiers harmoniques d'une note, alors que l'oreille humaine la mieux exercée est tout juste capable d'en discerner une dizaine et serait bien en peine d'en évaluer même grossièrement l'intensité. Nous disposons donc d'un moyen d'analyse incomparablement plus puissant que l'oreille la plus fine. Pratiquement même, les informations qu'il permet de recueillir sont trop complètes et se présentent sous une forme qui n'est pas directement utilisable. Une discussion de ces résultats a amené le professeur Saunders à négliger les harmoniques qui ne peuvent être notés exactement sur la portée musicale (seuls les trois premiers répondent à cette condition).

La courbe de réponse du violon

Les expériences de F.A. Saunders ont porté sur un grand nombre d'instruments célèbres qui avaient été prêtés par des collectionneurs ou des artistes. Le même exécutant fit émettre à chaque violon toutes les notes de son registre. Certaines d'entre elles peuvent être jouées sur deux cordes, ce qui oblige en définitive à étudier pour chaque instrument soixante-quatre notes que l'on exécute deux fois pour éliminer les variations accidentelles. Chaque son de la portée musicale intervient dans la production

d'un certain nombre de notes, soit comme son fondamental, soit comme harmonique. La moyenne des intensités de ces « réponses » est ce que l'on appelle la « réponse » du violon pour le son considéré. L'ensemble des réponses du violon peut être noté sur une courbe obtenue en portant en abscisse les intervalles musicaux (de demi-ton en demi-ton) et en ordonnée les intensités. La courbe s'étend sur tout le registre de l'instrument et doit être prolongée vers les notes aiguës pour tenir compte des trois premiers harmoniques des notes les plus élevées. Nous avons ainsi noté la sonorité plus ou moins grande de l'instrument dans les diverses régions du spectre sonore, et nous pouvons pour chaque note émise prévoir approximativement l'intensité de ses trois premiers harmoniques. La courbe de réponse d'un violon, loin d'être sans accidents, présente un certain nombre de « pointes » plus ou moins accentuées qui correspondent à des résonances de l'instrument, et, entre ces pointes, des « creux » où la sonorité est moins grande.

Sinon nous n'avions pas adopté la convention simplificatrice que nous avons exposée, nous aurions

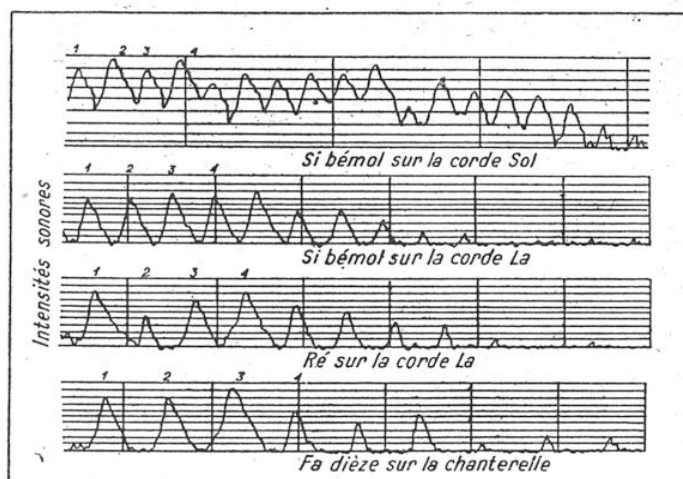
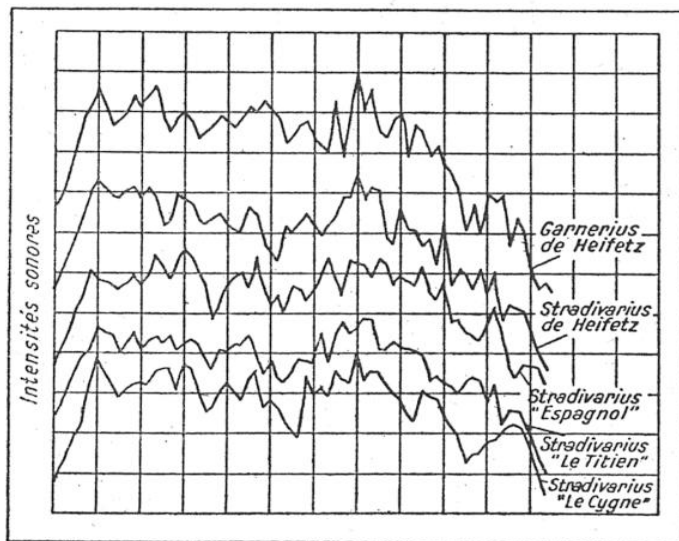


FIG. 3. — LE SPECTRE SONORE DE QUATRE NOTES PRODUITES PAR LE VIOLONISTE HEIFETZ SUR SON « GUARNERIUS »

Les lignes verticales donnent la fréquence en milliers de périodes par seconde. Les lignes horizontales indiquent approximativement l'intensité sonore. Les quatre notes analysées sont, de haut en bas, le si bémol sur la corde sol, le si bémol sur la corde la, le ré sur la corde la et le fa dièse sur la chanterelle. Chaque pointe de la courbe d'intensité correspond à un harmonique. On a marqué par 1, 2, 3, 4 respectivement le son fondamental et les trois premiers harmoniques qui, pour la première note étudiée, correspondent aux intensités suivantes : 39, 44, 40 et 45 décibels.

dû tenir compte des quelque trente harmoniques de chaque note. Pour cela, nous aurions porté en abscisse le logarithme de la fréquence et en ordonnée l'intensité des réponses. Nous aurions eu en gros une courbe passant par tous les points de la courbe simplifiée et ensuite par un grand nombre de points situés dans les intervalles entre les premiers. Mais ce qui nous intéresse, c'est l'allure générale de la courbe, et nous cherchons à répondre à la question suivante : la sonorité des violons anciens correspond-elle à une allure particulière de la courbe de réponse ?

Les courbes simplifiées suffisent à établir le contraire ; il n'y a pas de profil caractéristique des instruments anciens, ni rien qui permette de distinguer un bon violon d'un violon de qualité inférieure. En particulier, certains excellents violons présentent pour certaines notes des creux de la courbe de réponse correspondant à une diminution de volume du son. Il ne semble pas que cela constitue un défaut, et il est possible que la variété des sonorités satisfasse l'oreille. Dans l'ensemble on peut dire qu'un bon violon doit présenter des réponses à peu près uniformes avec un tout petit excès dans la région du *mi* (2 000 à 3 000 périodes par



T W 23561

FIG. 4. — LA COURBE DE RÉPONSE DE CINQ VIOLONS CÉLÈBRES

Cette courbe est obtenue en portant en abscisse une échelle musicale de demi-ton en demi-ton et en ordonnée l'intensité moyenne de toutes les réponses de l'instrument pour chaque son de l'échelle, soit que ce son figure comme fondamental d'une note, soit qu'il figure dans cette note comme harmonique. Pour séparer les courbes, on les a décalées. On voit que leurs profils sont notablement différents. Il n'y a pas de courbe de réponse caractéristique des bons violons. Le maximum observé au voisinage du ré naturel (deuxième corde) est dû à la vibration de l'air contenu dans la boîte du violon. Cette résonance fait profiter l'instrument d'un renforcement de sonorité trois demi-tons au-dessus et au-dessous du maximum.

seconde) et une diminution assez brusque pour les fréquences supérieures à 5 000. Mais cette allure de la courbe de réponse peut être observée aussi bien sur des violons anciens que sur leurs copies modernes. Ils présentent parfois des courbes de réponse presque identiques.

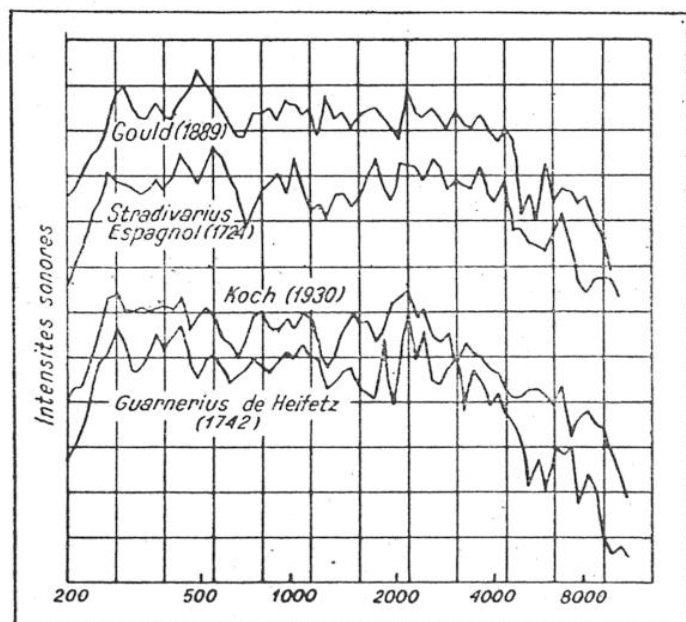
Une autre preuve qu'il n'y a rien de particulier dans la « courbe de réponse » des violons anciens, c'est que, si l'on forme la courbe de dix violons anciens, puis de dix violons modernes jouant simultanément, les différences individuelles s'effacent dans le son global, et qu'on obtient deux courbes, pratiquement identiques. Il serait donc illusoire de doter un « super-orchestre » de violons de grand prix, puisque la sonorité de l'ensemble ne serait pas améliorée.

La courbe de réponse d'un violon peut d'ailleurs être considérablement améliorée par quelques petites modifications faciles à exécuter et que les luthiers connaissent fort bien. En particulier, on peut modifier la hauteur, la forme et le poids du chevalet. En modifiant la hauteur, on change la fraction de la tension des cordes qui sert à appliquer les pieds du chevalet sur la table d'harmonie. Quand on réduit à la lime les

deux espaces pleins qui séparent le vide central et les deux échancrures latérales, le chevalet amortit la sonorité des harmoniques élevés (fréquence supérieure à 5 000 périodes par seconde). De même, une petite rognure de papier, glissée entre la chanterelle et le chevalet, diminue l'intensité des harmoniques les plus élevés (une octave au-dessus du registre de l'instrument).

Pour l'auditeur un violon moderne vaut un violon ancien

Pour contrôler les conclusions auxquelles conduit l'analyse des spectres sonores des instruments, cent soixante-dix personnes parmi les plus qualifiées furent conviées à entendre le même morceau exécuté successivement par le même artiste sur trois violons différents qui leur furent seulement désignés par les lettres A, B et C. Parmi ces trois instruments figurait un Stradivarius : « le Rossignol de 1717 », et deux excellents violons modernes. Supposons qu'au lieu de réunir des auditeurs à l'oreille particulièrement exercée, on eût interrogé cent soixante-dix sourds. Le calcul des probabilités prévoyait alors que le nombre des personnes ayant désigné correctement le Stradivarius eût été égal au tiers de l'assistance. Avec des auditeurs mieux doués, la proportion ne fut



T W 23560

FIG. 5. — LA COURBE DE RÉPONSE DE DEUX VIOLONS ANCIENS ET DE LEURS COPIES MODERNES

Dans chaque cas, l'instrument moderne, qui a une courbe de réponse voisine de celle de son modèle, a une sonorité comparable

pas plus satisfaisante qu'avec nos cent soixante-dix sourds ! Il est juste d'ajouter qu'une portion considérable de l'assistance déclara hésiter dans ses réponses.

C'est pour l'exécutant que le violon ancien a sa valeur

Nous ne savons toujours pas pourquoi certains artistes parcourent le monde à la recherche d'un instrument, et consacrent une fortune à son achat. La raison en est que si la valeur d'un instrument ancien n'est pas perceptible pour l'auditeur, elle n'en est pas moins très réelle pour l'exécutant. Elle réside dans la facilité plus ou moins grande avec laquelle il peut faire « chanter » l'instrument. En effet, quand on attaque la corde, ou bien quand, l'archet arrivé au bout de sa course, on renverse le mouvement, tous les instruments n'exigent pas le même effort pour recommencer à chanter. En remplaçant l'archet par un disque qui attaque les cordes par sa circonférence et dont on peut mesurer à la fois la pression sur les cordes et la vitesse de rotation, le professeur Saunders a pu mesurer l'effort qu'il faut fournir pour faire chanter un violon, et comparer à ce point de vue les instruments anciens et les modernes. Cette fois, la comparaison est à l'avantage des anciens, qui demandent un effort moindre, et par conséquent commencent à chanter une petite fraction de seconde avant les modernes. La plus grande facilité de réponse et le gain de temps que l'on réalise grâce à cette qualité sont très précieux pour l'exécutant, particulièrement dans les passages rapides où les notes ne durent qu'une fraction de seconde. Le moindre retard de la part du violon peut alors provoquer une impression de creux et de manque de son. Pour un violoniste ayant à exécuter un exercice de virtuosité, la facilité de réponse est beaucoup plus importante que la qualité du son, et c'est pour elle que l'artiste dépense parfois une fortune.

D'où provient cette différence entre les violons modernes et les œuvres des anciens luthiers ? Nous avons vu qu'elle ne provient pas de la forme, puisque les instruments actuels sont le plus souvent des copies exactes des anciens. D'autre part, presque tous les instruments anciens ont été modifiés au cours de leur carrière. En particulier, la barre a dû être renforcée pour permettre l'élévation du registre qui s'est produite depuis le XVIII^e siècle. La seule chose qui

soit restée inchangée dans l'instrument, c'est le système de résonance, et c'est la différence de qualité du bois et des vernis qui différencie un Stradivarius d'un instrument ordinaire.

Il est à peu près impossible d'expérimenter de façon satisfaisante sur l'influence des vernis, parce que chaque application modifie le bois de façon irrémédiable. Néanmoins, on a pu établir que les vernis superficiels ont une influence presque négligeable sur la sonorité de l'instrument dont ils ne modifient le poids que de 2 % environ, et, bien qu'agissant sur la viscosité interne du bois, ils modifient peu la courbe de réponse. Les vernis pénétrant en profondeur atténuent les harmoniques élevés et rendent le son moins criard.

Le vieillissement artificiel des violons

Les propriétés du bois verni varient perpétuellement. Il suffit pour cela de quelques degrés de plus ou de moins d'humidité dans l'air. Mais bien plus importantes que ces variations quotidiennes sont les transformations que les siècles lui font subir. La principale cause de ces transformations semble résider dans une lente oxydation du vernis qui en modifierait la viscosité, réaction chimique encore beaucoup moins rapide que l'oxydation qui amène le vieillissement des bons vins. Il ne manquerait donc aux violons modernes que quelques siècles pour acquérir les qualités qui leur manquent, et il semble bien, en définitive, que le véritable « secret » de Stradivarius est d'être mort il y a deux cents ans. Un luthier allemand, le Dr Koch de Dresde, met actuellement au point un procédé d'oxydation et de séchage de ses vernis par irradiation de l'huile au moyen d'ultraviolets. Ce procédé accélérerait considérablement le vieillissement des violons. On s'explique pourquoi Stradivarius faisait sécher ses violons au soleil parfois pendant plusieurs années.

Aidés par la science, nous dépasserons sans doute un jour l'habileté purement empirique des luthiers de Crémone, et nous fabriquerons des instruments meilleurs que leurs œuvres les plus parfaites. Bien plus, il est raisonnable d'espérer que ces instruments de haute qualité pourront être produits, en grande série par des usines où des presses puissantes mouleront en quelques secondes une résine synthétique qui possédera, grâce à ses qualités mécaniques, une sonorité supérieure à celle que les siècles ont donnée au bois verni des Stradivarius.

Henri FRANÇOIS.

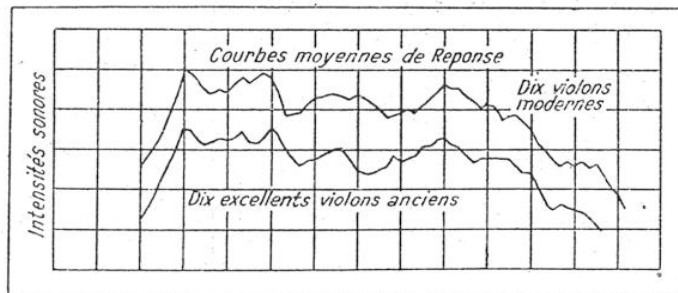


FIG. 6. — LA COMPARAISON DE DIX VIOLONS ANCIENS ET DE DIX VIOLONS MODERNES

Chaque courbe est obtenue en analysant le son de dix violons jouant simultanément. Les différences individuelles tendent à disparaître et on a, dans les deux cas, des courbes très voisines. On ne gagne rien au point de vue sonorité à réunir d'excellents violons dans un orchestre.

LES A COTÉ DE LA SCIENCE

INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

Les chemins de fer allemands et la guerre

LA guerre moderne exige tous les jours de la technique de nouveaux miracles, et les grands chefs d'industrie qui les réalisent ont parfois acquis autant de prestige que les chefs militaires. Tandis qu'en Amérique Kayser a réussi à abaisser de plus de moitié la durée de la construction des cargos, et parle maintenant de con-

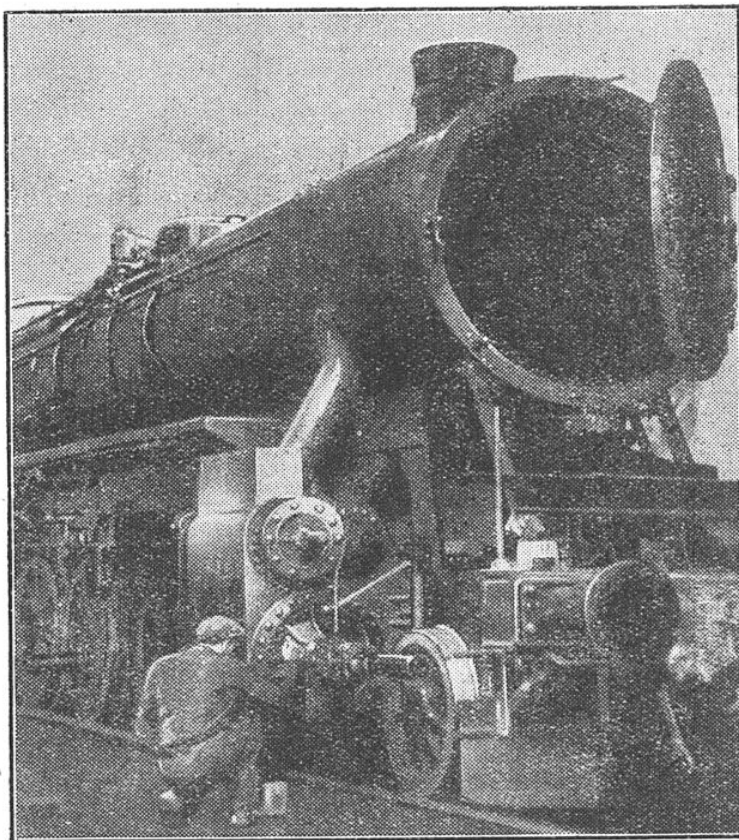
struire une flotte d'hydravions géants, le problème qui s'est posé en 1942 au docteur Speer, successeur du docteur Todt et ministre de l'Armement et des Munitions du Reich, a été d'adapter le plus rapidement possible le matériel ferroviaire de l'Allemagne au trafic énorme que nécessite l'entretien d'une des plus grandes armées du monde à plus de 1 000 kilomètres de ses sources de ravitaillement. Une commission des chemins de fer fut créée, qui rechercha tous les moyens susceptibles d'augmenter la production de matériel rou-

lant. Tout d'abord, la fabrication des locomotives de la série dite 50 bénéficia de certaines simplifications immédiates, par exemple la suppression du polissage des surfaces métalliques chaque fois que celui-ci n'était pas indispensable à la sécurité du fonctionnement. La simplification de la peinture permit à elle seule de gagner 235 heures de travail par locomotive. Du 1^{er} avril au 1^{er} septembre derniers, plus d'un million d'heures de travail furent économisées de cette manière, ce qui a permis de doubler presque les chiffres de production.

En même temps, le nombre des types de locomotives (y compris les locomotives pour l'armée et les lignes privées) a été ramené de 112 à 19 pour les machines à vapeur, de 11 à 2 pour les machines électriques et de 97 à 5 pour les automotrices. La simplification de la construction des wagons de marchandises a conduit, suivant les types, à des économies de poids allant de 25 à 34 %.

Mais ces mesures immédiates n'avaient pas d'autre but que de permettre aux chemins de fer allemands d'attendre la réalisation d'un programme plus ambitieux. Les fabriques allemandes de locomotives construiront bientôt en grande série un nouveau modèle de machine, spécialement adaptée au théâtre d'opérations russe, la locomotive 52 (fig. 1), dont le premier exemplaire a effectué récemment avec succès un circuit de 5 000 km.

Voici quelques détails sur ce nouvel engin de traction. Tandis que les locomotives de la série 50 renferment 6 000 pièces, la série 52 n'en comptera plus que 5 000, dont 3 000 ont été considérablement modifiées par rapport à celles du type précédent. Ces pièces, même si elles sont uniques dans la machine, seront fabriquées



T W 23773

FIG. 1. — LA NOUVELLE LOCOMOTIVE DES CHEMINS DE FER ALLEMANDS

en nombre assez grand pour pouvoir bénéficier de procédés de fabrication nouveaux. Par exemple, les bielles d'accouplement et les bielles motrices seront forgées en trois morceaux : les deux têtes, obtenues par estampage, et le corps, que l'on interpose entre les deux têtes par soudure électrique. Le travail de finissage est ainsi réduit au minimum.

La protection contre le froid a été réalisée en partie en calorifugeant les organes sensibles, ou même en les réchauffant par des conduites de vapeur, et en partie en renonçant à certains organes vulnérables. C'est ainsi qu'on a supprimé le réchauffeur d'eau d'alimentation. Un certain nombre des locomotives de guerre devra satisfaire aux conditions d'une protection encore plus efficace contre la gelée.

Les nouveaux procédés de fabrication ont permis de réaliser des économies considérables de matériaux et de temps : 26 tonnes de métal et 6 000 heures de travail pour la locomotive et le tender. Le poids du tender a pu être ramené de 26 à 18 tonnes, alors que sa capacité était portée de 26 à 34 m³ pour l'eau et de 8 à 10 tonnes pour le charbon. Pour le tender, l'économie de métal est de 31 % et l'économie de temps de 50 %. Enfin, le cuivre était de tous les matériaux celui qu'on devait chercher à économiser au maximum : le poids de métaux non ferreux entrant dans la fabrication de la locomotive 52 a été abaissé de 2 650 kg à 272 kg.

La locomotive 52, dont la charge par essieu est de 15 tonnes, sera remplacée, à partir de 1944, par une machine de la série 42, d'une charge par essieu supérieure et capable de remorquer des trains plus lourds.

Aménagement rapide d'aérodromes

LE prodigieux développement de l'aviation nécessite, même en temps de paix, une infrastructure (balisage des lignes, aérodromes) particulièrement étudiée. La question des terrains d'atterris-

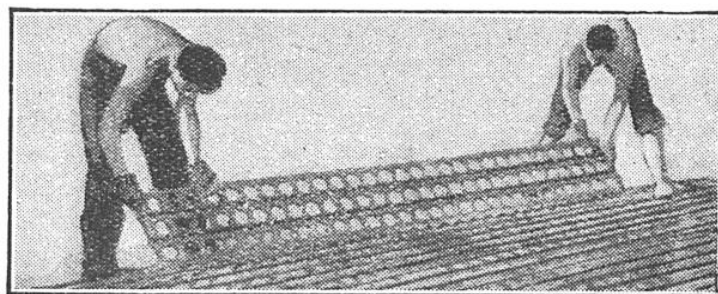


FIG. 2. — MISE EN PLACE DES BANDES MÉTALLIQUES DONT L'ENSEMBLE FORME LA PISTE D'ENVOL ET D'ATTERRISSAGE D'UN AÉRODROME

sage est, notamment pour les lignes de grand parcours, une des plus difficiles à résoudre. En effet, non seulement des bases importantes avec terrain soigneusement préparé, hangars, ateliers de réparation, gares, etc., mais encore de nombreux terrains de secours où les appareils puissent se poser le cas échéant sont indispensables. C'est ainsi qu'avant leur entrée en guerre les Etats-Unis avaient décidé l'aménagement de 400 aérodromes auxiliaires dont la particularité réside précisément

solution ingénieuse une importance accrue en permettant de préparer des terrains auxiliaires à proximité de bases aériennes plus importantes.

Les grilles métalliques utilisées à cet effet sont constituées par des bandes de tôle ajourées et estampées de 3 mm, renforcées par des nervures longitudinales et munies de charnières permettant de les replier aisément. Chaque bande mesure environ 3 m de long sur 40 cm de large et pèse 29 kg. Une fois placées, elles sont agrafées entre elles pour éviter tout mouvement longitudinal. Le revêtement d'une piste de 900 m de long sur 45 m de large exige plus de 30 000 bandes et pèse plus de 1 000 tonnes. Sa résistance équivaut à celle d'un revêtement bétonné de 12 cm d'épaisseur. On estime à 50 000 dollars le prix d'aménagement d'un tel terrain, soit 20 millions de dollars pour les 400 qui sont prévus.

Ces installations sont encore insuffisantes en cas de guerre, car elles ne conviendraient pas à des avions lourds. De nouvelles prescriptions exigent que des appareils chargés à 11 t par roue, atterrissant à des vitesses variant de 120 à 210 km/h et décollant entre 104 et 161 km/h, puissent les utiliser. Les dimensions minimales des terrains sont portées à 2 440 m de long sur 150 m de large, la piste elle-même devant mesurer 1 200 m de long sur 46 m de large. On admet pour la piste des irrégularités de terrain de 1,5 %. Cette longueur doit être augmentée de 150 m quand l'altitude du terrain croît de 300 m et se prolonger aux extrémités d'une zone de secours de



FIG. 3. — DÉTAIL DE L'AGRAFAGE DE DEUX BANDES

dans l'absence de l'infrastructure habituelle (bétonnage long et coûteux des pistes). La pose de grilles portatives spéciales doit suffire en effet à créer des pistes convenables en donnant au sol une résistance suffisante pour l'envol et l'atterrissage. Prévus pour les aviations civile et militaire, ces terrains devaient être situés le long des autostrades. L'entrée en guerre des Etats-Unis a donné à cette

300 m. En outre, les secteurs d'approche doivent permettre un vol d'approche à la vitesse de descente de 2,3 m/s.

Ces aérodromes de secours sont établis en principe pour un rayon de 80 km, en comptant une telle base par escadrille de 12 à 25 appareils.

Leur camouflage est très aisé puisqu'il suffit de semer de l'herbe dans les trous que comportent les bandes métalliques constituant les pistes.

La R.A.F., de son côté, a également procédé à l'aménagement rapide de terrains de secours, mais utilise, au lieu de bandes perforées, des treillis métalliques composés de pièces de 3,05 m de large sur 22,8 m de long, roulés pour le transport. Renforcées dans le sens perpendiculaire à celui du vol et tous les 20 cm par des tiges de fer de 9,5 mm nouées au treillis, ces pièces pesant environ 300 kg, sont liées entre elles par des fers plats. L'ensemble est tendu par des tracteurs et maintenu en place par des piquets de fer.

La fabrication des conserves

LA production des conserves en France est actuellement surtout limitée par la pénurie de fer-blanc. C'est ainsi qu'en 1941, nous n'avons produit que 20 % des conserves de viande, 38 % des conserves de thon et 13 % des conserves de sardines que nous fabriquions en année normale. Par contre, notre situation est bien plus favorable dans le domaine des conserves de fruits et légumes. Pour ces dernières, la production française de 1941 s'est montée à 51 452 tonnes contre 87 335 tonnes en 1938 (soit 59 %), tandis que 51 000 tonnes de tomates fraîches étaient travaillées (soit 5 % de plus qu'en année normale), et que nous fabriquions 17 516 tonnes de pulpes de fruits contre 8 948 en 1938 (soit une augmentation de 95 %). Pour 1942, le plan national de fabrication prévoyait la fabrication de 50 000 tonnes de conserves de légumes, 10 000 tonnes de conserves de tomates, 10 000

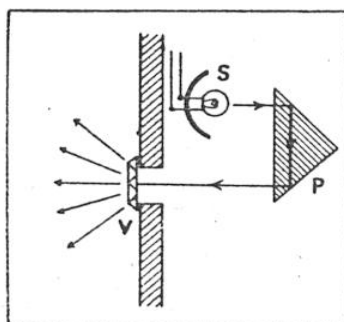
tonnes de conserves de fruits, 30 000 tonnes de conserves de poissons, 6 000 tonnes de conserves de viandes, 3 000 tonnes de conserves de champignons, soit, au total, 109 000 tonnes de conserves en boîtes, correspondant à 16 000 tonnes d'emballages métalliques neufs (3 400 tonnes de fer-blanc et 12 600 tonnes de fer noir). Ce même plan de fabrication prévoyait la déshydratation de 55 000 tonnes de légumes frais (contre 5 000 en 1941).

Nouveau thermomètre industriel

ON a souvent besoin dans l'industrie de chauffer à une température déterminée certains produits qui risqueraient d'être altérés si cette température était dépassée. C'est ainsi qu'après teinture les textiles en bourre passent dans un séchoir où ils subissent souvent des altérations graves, car un chauffage prolongé aux environs de 130° C est suffisant pour

depuis longtemps construit de tels avertisseurs fondés sur le principe du couple thermoélectrique ou du thermomètre à contact, et même des régulateurs « à programme » entièrement automatiques. Malheureusement ces appareils sont toujours délicats et très coûteux, ce qui ne permet pas de les confier dans l'industrie à des mains souvent malhabiles : leur usage ne s'est donc pas répandu et la marche des séchoirs à textiles est le plus souvent réglée à peu près, sans aucun instrument de mesure.

On vient de mettre au point en France un nouveau thermomètre optique qui pourra être utilisé dans ce cas particulier comme dans nombre d'autres séchoirs industriels. On y utilise simplement la fusion de cristaux opaques pour démasquer une lampe dont la lueur apparaît à la température de fusion des cristaux. La figure 4 montre un dispositif fondé sur ce principe. Le prisme creux P est plein de cristaux d'un corps organique de point de fusion convenable, ou d'un mélange de corps dosé de manière à obtenir le point de fusion choisi. Tant que cette température n'est pas atteinte, le corps reste à l'état de cristaux qui diffusent sans la transmettre la lumière issue de S. Par contre, aussitôt que les cristaux sont fondus, le prisme P fonctionne comme prisme à réflexion totale, et la lumière issue de S éclaire le voyant V inséré dans la paroi du séchoir et taillé à facettes de façon à être visible dans toutes les directions. Les avantages de ce thermomètre sont nombreux : simplicité, bon marché, facilité de remplacement des pièces cassées. De plus, il est aisé de prévoir un assortiment de prismes permettant de faire fonctionner l'appareil à toutes les températures voulues. On peut aussi choisir la grosseur du prisme de manière que l'appareil ait, ou n'ait pas une certaine inertie. On peut enfin construire sur le même principe des pyromètres pouvant mesurer des températures de plusieurs centaines de degrés, si l'on prend un prisme en quartz et qu'on le remplit de corps minéraux convenablement choisis.



T W 23774
FIG. 4. — SCHÉMA DU NOUVEAU THERMOMÈTRE INDUSTRIEL

pyrogéniser la laine par exemple. D'autres fibres, principalement certains textiles récupérés, se transforment en produits inflammables vers cette température. Il serait donc du plus haut intérêt de munir les séchoirs à textiles d'appareils avertisseurs déclenchant un signal acoustique ou optique aussitôt que la température limite de sécurité (110° par exemple pour la laine) se trouve atteinte. On a naturellement

Métaux légers et aviation

LES énormes besoins en métaux légers de la construction aéronautique des pays belligérants ont provoqué un essor extrêmement rapide de la production des métaux légers : aluminium et magnésium (1). La production mondiale d'aluminium s'est élevée à 578 000 tonnes en 1938. Au début de 1943, la capacité de production des Etats-Unis seuls dépassera ce chiffre et s'élèvera à 655 000 tonnes par an. Pour développer à ce point la production d'aluminium, il a fallu non seulement construire de nouvelles usines, mais encore s'adresser à d'autres minerais que celui que l'on traitait avant guerre, la bauxite, et mettre au point de nouvelles méthodes de traitement. C'est ainsi que l'Allemagne traite des ka-

(1) Voir : « L'âge de l'aluminium », dans *La Science et la Vie*, n° 303 (novembre 1942).

lins, l'U.R.S.S. le laitier de hauts fourneaux riches en alumine, l'Italie la leucite, roche volcanique des environs du Vésuve et dans laquelle l'alumine est associée à la potasse, la Norvège la labradorite, et la Suède l'andalousite, etc... L'Allemagne ajoute à sa propre production (200 000 tonnes par an) la production italienne, qui doit bientôt atteindre 60 000 tonnes, celle de la Norvège (plus de 30 000 tonnes), et d'autres usines qui sont en construction dans toute l'Europe. L'U.R.S.S. est privée par l'avance allemande d'une partie de sa production; celle-ci doit cependant dépasser 110 000 tonnes par an. La Grande-Bretagne se repose principalement sur le Canada pour son approvisionnement en aluminium. Quant à la capacité de production des Etats-Unis, elle a dû atteindre 520 000 tonnes en août 1942, et un programme qui doit l'accroître de 135 000 tonnes est déjà très avancé. Mais l'aluminium est encore un métal relativement « lourd » : sa densité est de 2,7; le plus léger des métaux usinés est le

magnésium (densité 1,7) qui possède une résistance mécanique remarquable et dont les alliages, avec l'aluminium notamment, sont de plus en plus employés dans la construction aéronautique. Le minerai le plus employé est la magnésite, mais on traite également des solutions salines. En 1938, la production mondiale atteignait 31 000 tonnes par an, les producteurs se classant comme suit : Allemagne, 14 000 tonnes; Angleterre, 4 000 tonnes; Etats-Unis, 2 200 tonnes; France, 1 800 tonnes; Japon, 1 400 tonnes, etc... On ignore dans quelle proportion la production allemande s'est accrue depuis la guerre, mais elle a dû monter de façon vertigineuse pour se maintenir au niveau de ses concurrentes : le Japon produira en effet 19 000 tonnes en 1943, l'Angleterre en a produit 21 000 tonnes en 1942; quant aux Etats-Unis, après avoir atteint le chiffre de 77 000 tonnes pour 1942, pour 1943 ils centupleront et au delà leur production de 1938, puisqu'ils doivent sortir 273 000 tonnes !

V. RUBOR

TARIF DES ABONNEMENTS

FRANCE ET COLONIES

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

ÉTRANGER (Suisse, Espagne, Portugal)

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

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

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

BULLETIN D'ABONNEMENT (307)

Nom (en majuscules) et prénoms :

Adresse :

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

Apprenez à dessiner en 10 mois

par la Nouvelle Méthode MARC SAUREL



“LE DESSIN FACILE”

★ 30 ans de pratique et de succès continuels ont permis à Marc SAUREL, pionnier de l'enseignement du dessin, par correspondance, de perfectionner sa nouvelle méthode qui, dès son apparition, a obtenu le plus éclatant succès. 2 heures par semaine suffisent pour l'étude des leçons. De magnifiques planches photographiques vous sont fournies avec les cours, évitant la recherche de modèles souvent introuvables. Ainsi vous pouvez étudier le dessin chez vous, le soir, sous la lampe, à vos heures de loisir. C'est quelque chose de neuf, d'inédit. L'enseignement du DESSIN FACILE vous spécialise suivant vos désirs dans les carrières lucratives du dessin ; Illustration, Publicité,

Mode, etc... ★ Retournez-nous le Bon ci-contre avec votre nom et votre adresse, pour recevoir gratuitement nos Notices illustrées.

● **COURS pour ADULTES** : Croquis, portrait, paysage, académie, caricature, etc...

● **COURS pour ENFANTS** de 8 à 12 ans.

● **COURS TECHNIQUES SPÉCIAUX** : Dessin de mode, d'illustration, de publicité, de lettres, dessin animé, clichage imprimérie.

● **COURS DE DESSIN IND. STRIEL.**

(Spécifier le cours qui vous intéresse).

“LE DESSIN FACILE”

à BANDOL (Var)

Siège à PARIS, 11, rue Képler — 16*

BON POUR 2 NOTICES
GRATUITES SV. 17



*il est plus facile
et combien plus sûr*

d'acheter un billet de la

**LOTÉRIE
NATIONALE**

SÉRIES de TIMBRES

provenant

d'ŒUVRES et d'ÉCHANGES

FORTE REMISE



ÉCRIRE :

Ab. DENIS

LA COQUILLE (Dordogne)

R. C. Seine 3.541



Impr. Régionale, Toulouse.

T W 8942 - 20 février 1943.

Le Gérant : L. LESTANG.

LA RADIO

manque

DE SPECIALISTES !

JEUNES GENS !...

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

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

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

PRÉPAREZ CES CARRIÈRES
en suivant nos cours spécialisés

PAR CORRESPONDANCE

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

INSCRIPTIONS

à toute époque de l'année

TOUS NOS COURS COMPORTENT DES
EXERCICES PRATIQUES A DOMICILE.

PLACEMENT

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

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



RADIO VOLANT



S.O.S. 1

SOUS-INGENIEUR



CHEF-MONTEUR



MARINE MARCHANDE



INGENIEUR



DEPANNEUR

Demandez nos notices envoyées

gratuitement sur demande

ECOLE PROFESSIONNELLE RADIOTECHNIQUE

RUE DU MARÉCHAL LYAUTEY-VICHY-(ALLIER)

Adresse de repli

NITROLAC

LA GRANDE MARQUE DE PEINTURE



Des millions
de
mètres carrés
de références

IMPR. RÉGIONALE, 59, RUE BAYARD, TOULOUSE