

SCIENCE
VIE
et

NUMÉRO HORS-SÉRIE

L'ÉLECTRICITÉ

200 Fr.



LA COMPAGNIE GÉNÉRALE

CSF

DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

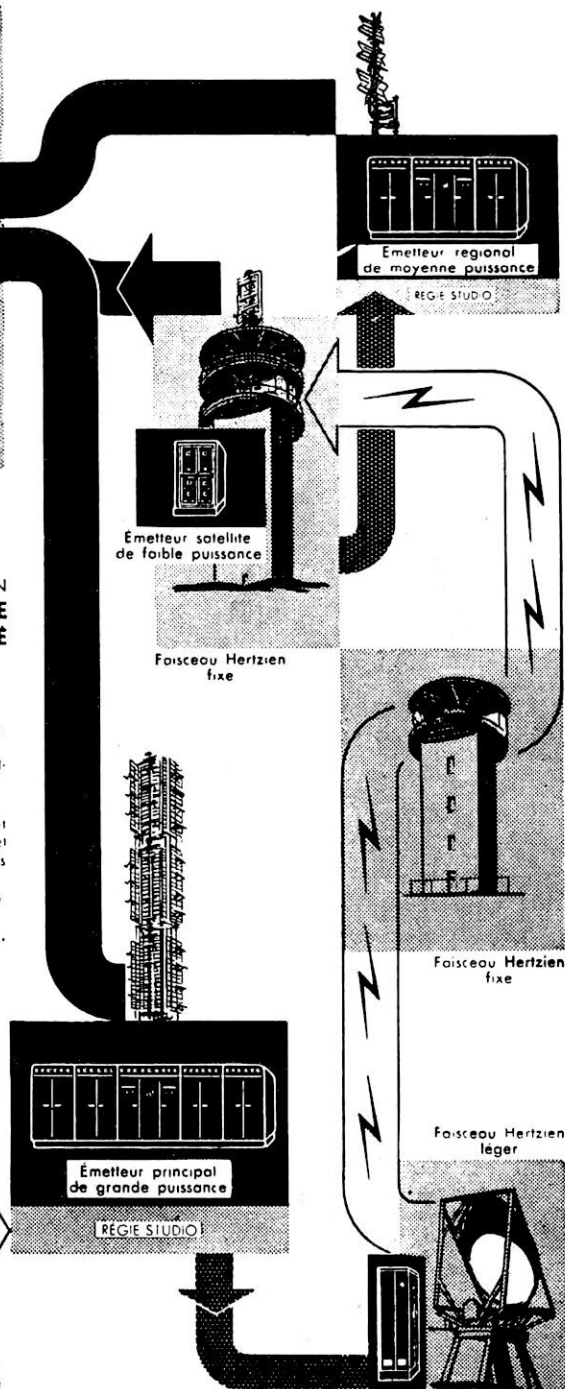
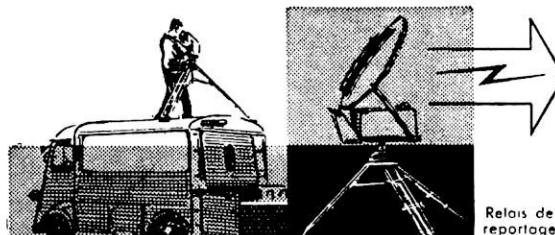
Transmet le son et l'image de
la caméra à votre téléviseur

A TOUS LES MAILLONS DE LA CHAÎNE DE TRANSMISSION
... DES ÉQUIPEMENTS DE LA **COMPAGNIE
GÉNÉRALE DE TSF** OU DE LA **SOCIÉTÉ
FRANÇAISE RADIOÉLECTRIQUE**

- **Émetteurs de grande puissance** : (Paris Lille - Lyon - Marseille - Bourges - Caen ...)
- **Émetteurs de moyenne puissance** : (Strasbourg - Rabat - Casablanca - Luxembourg...)
- **Émetteurs de faible puissance** : (stations satellites)
- **Faisceaux hertziens à grande capacité** (réseau de 2000 km) et **faisceaux hertziens légers** : (transmission de la télévision et d'un grand nombre de communications téléphoniques simultanées)
- **Relais hertziens légers** : (reportages en direct, échanges européens de télévision ...)
- **Appareillages de contrôle vidéo, récepteurs de contrôle...**



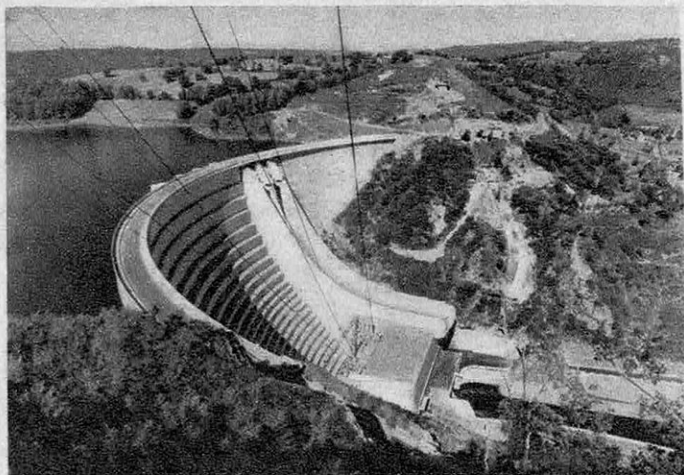
Direction commerciale et division internationale
COMPAGNIE GÉNÉRALE DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL
SOCIÉTÉ FRANÇAISE RADIOÉLECTRIQUE
79, Bd HAUSSMANN, PARIS-8^e - ANJOU 84-60



ENTREPRISES MÉTROPOLITAINES ET COLONIALES

Anciens Établissements Léon DUBOIS
Société Anonyme au capital de 1.530.000.000 de Francs
31-37, Bd de Montmorency - PARIS-XVI^e
Tél. AUT. 97-70 Télec. LONBOIS PARIS

Le Barrage de Bort-les-Orgues



**TRAVAUX PUBLICS
CONSTRUCTIONS
MÉTALLIQUES
ET MÉCANIQUES**

USINES

ROUEN - 11, quai de France
NANTES - 8, rue de Guichen

1928 LE RADIOCONTROLEUR
1931 LE CONTROLEUR UNIVERSEL
1942 LE SUPER CONTROLEUR

1954 LE NÉO SUPER

DERNIER NÉ
DE LA SÉRIE DES
CONTROLEURS

CONSTRUITS PAR
**CHAUVIN
ARNOUX**

*Le constructeur français
d'appareils mondiaux*



29
CALIBRES
VOLTÈTRE
OHMMÈTRE
AMPÈREMÈTRE
MILLIAMPÈREMÈTRE
TOUS COURANTS

En vous recommandant de cette revue demandez la NOTICE R 4
CHAUVIN ARNOUX 190, Rue Championnet - PARIS-XVIII^e - Tél. : MAR. 41-40 et 52-40, 12 lignes

L'Assistant



**VÉRITABLE ROBOT
POUR
TOUTES PRÉPARATIONS
CULINAIRES**

C'EST UNE FABRICATION

ELECTROLUX

26, Boulevard Malesherbes, PARIS-VIII^e

R. C. SEINE 28.494

TÉLÉPHONE : ANJOU 61-70

USINES : COURBEVOIE (Seine) et CARRIÈRES-SUR-SEINE (S. & O.)

SUCCURSALES DANS TOUTE LA FRANCE ET L'AFRIQUE DU NORD

Demandez nos notices ou la visite d'un de nos représentants

ÉDITIONS GARNIER FRÈRES

6, rue des Saints-Pères - PARIS-7^e

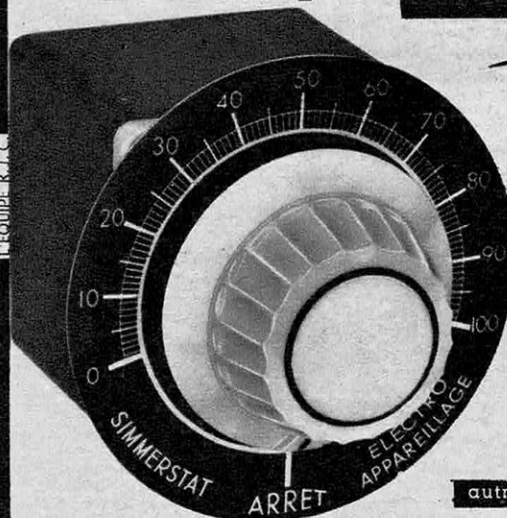
Collection d'ouvrages publiés et remis à jour
à chaque édition par ALFRED SOULIER
Ingénieur-Electricien E.P.C.I.

TRAITÉ PRATIQUE D'ÉLECTRICITÉ.

Sonneries, Téléphone, Eclairage, etc.....	288 fr.
MACHINES DYNAMOS-ÉLECTRIQUES..	288 fr.
MOTEURS ÉLECTRIQUES	
Montage, bobinage, réparations, etc.....	379 fr.
GALVANOPLASTIE	288 fr.
LES COURANTS ALTERNATIFS	288 fr.
LE COURANT CONTINU.....	288 fr.
LES ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES	288 fr.
INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES à basse et haute tension. Outillage, appareillage...	624 fr.
RECUEIL DE PLANS DE POSE ET SCHÉ- MAS D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE.	640 fr.
L'ÉLECTRICITÉ SANS ALGÈBRE. Cours complet et pratique, accessible à tout le monde	480 fr.
MANIPULATIONS D'ÉLECTRICITÉ.....	307 fr.
FORMULAIRE D'ÉLECTRICITÉ.....	442 fr.
L'ÉLECTRICITÉ DANS L'INDUSTRIE.	374 fr.
L'ÉLECTRICITÉ DANS L'AUTOMOBILE.	470 fr.

Régulation
automatique :

Le SIMMERSTAT



VÉRITABLE ROBINET ÉLECTRIQUE

BUT : Le Simmerstat est un "robinet électrique", régulateur d'énergie permettant d'obtenir 0 à 100 % de la quantité de chaleur pouvant être fournie par un appareil.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT : La régulation d'énergie est obtenue par des interruptions et rétablissements périodiques de courant à cycle constant et rapide. Chaque graduation de l'appareil permet d'obtenir une température constante et facilement contrôlable.

POUVOIR DE COUPURE : Convient à toute installation.

UTILISATION : Résout économiquement tous les problèmes de thermo-régulation électrique. Sert d'interrupteur.

autres fabrications : thermostats - interrupteurs horaires

ELECTRO-APPAREILLAGE

28, Rue Debucourt - PARIS 17^e (Porte Champerret) - ETO. 63-80

L'ÉLECTRONIQUE PEUT tout!

L'Électronique est une science dont les applications ne se comptent plus. Son développement industriel est tel que la formation d'électroniciens est devenue impérative dans tous les pays. Indépendamment des firmes spécialisées dans cette branche, toutes les Industries modernes sont obligées, à un titre quelconque, d'avoir recours à l'Électronique. (Commande des machines - Contrôles automatiques - Asservissement - Comptage - Mesures, etc.)

Les professionnels qualifiés sont donc assurés de trouver dans les nombreuses branches de l'Industrie que l'Électronique a conquises des situations largement rétribuées et d'un avenir certain, en raison même de l'essor grandissant de cette activité.

L'Électronique n'est pas une science difficile; elle ouvre un monde nouveau et captivant d'applications hier encore inconnues. L'Électronique ne fait pas appel à des abstractions; elle repose sur des notions très simples et très concrètes. Notre cours d'Électronique et Applications est conçu pour mettre en lumière ces notions fondamentales. En s'appuyant toujours sur celles-ci, il permet à l'Élève d'acquérir la connaissance de techniques réputées complexes sans être jamais dépaycé. Chaque question importante est illustrée d'exemples complètement traités qui entraînent l'Élève à penser en électronique. Chaque leçon est suivie de nombreux exercices qui sont de véritables applications choisies dans les problèmes que pose la pratique du métier. Par exemple : Signalisation par cellules photo-électriques - Reproduction électronique sur les machines-outils - Contrôle des moteurs électriques - Pesage électronique - Jaugeage électronique - Calcul du gain et de la puissance des amplificateurs - Calcul de la fréquence des oscillateurs, etc.

Nous nous sommes donc efforcés de donner à nos élèves une formation à la fois technique et pratique qui leur permettra de comprendre et de solutionner rapidement et correctement tous les problèmes relevant de l'Électronique.

Programme détaillé sur demande sans engagement contre 2 timbres à l'INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL, ÉCOLE DES CADRES DE L'INDUSTRIE, 69, rue de Chabrol, Bât. A, PARIS (X^e), Section ELNO 2.

Pour la Belgique : I.T.P. Centre Admin, 87, rue de l'École à ERPENT-NAMUR.

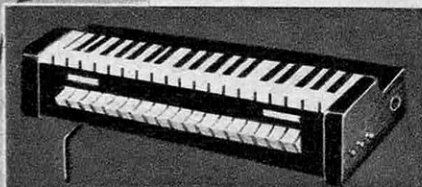


Tous les
instruments
dans
votre piano
avec
"Clavioline"

LICENCE CONSTANT MARTIN
EXCLUSIVITÉ Selmer

Merveille de la musique électronique, le CLAVIOLINE permet sans technique spéciale de reproduire avec une étonnante fidélité de timbre, TOUS les instruments de musique, et en particulier Violon, Violoncelle, Saxophone, Trompette, Hautbois, Guitare, Flûte, Cor, Basson, Vielle, etc...

Il est également le complément idéal des Orgues et Harmoniums.



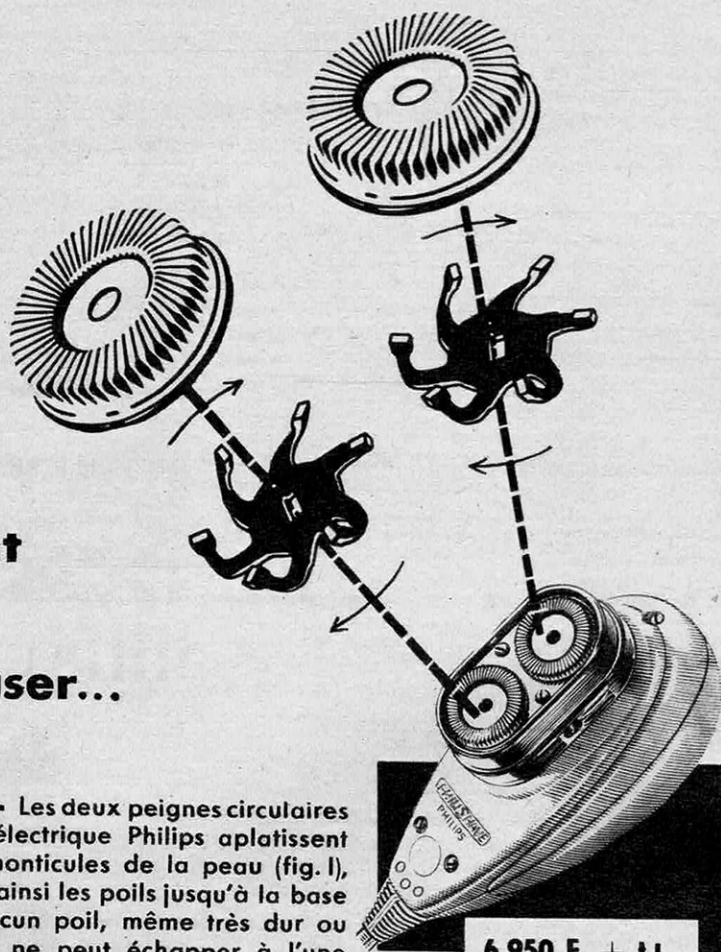
DOCUMENTATION
GRATUITE

DÉMONSTRATION
PERMANENTE

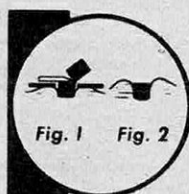
Selmer

4, PLACE DANCOURT
PARIS (18^e) ORN. 27-40

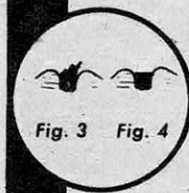
SEUL
le mouvement
ROTATIF
permet de raser...



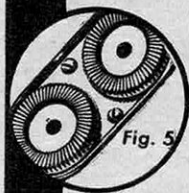
6.950 F. + t.i.



Plus net - Les deux peignes circulaires du rasoir électrique Philips aplatissent les petits monticules de la peau (fig. 1), dégageant ainsi les poils jusqu'à la base (fig. 2). Aucun poil, même très dur ou mal planté, ne peut échapper à l'une ou l'autre des 120 fentes rayonnantes.



Plus doux - Les poils ne sont plus sciés (fig. 3) mais fautés d'un seul coup net et précis (fig. 4). Aucun tiraillement, aucune irritation mais un doux massage qui détend les muscles et tonifie l'épiderme.



Plus vite - Les deux têtes circulaires, s'appliquant bien à plat sur la peau, rasent d'un seul coup une large surface (fig. 5). Bien suivre les conseils du mode d'emploi.

Le rasoir électrique Philips rase plus confortable. Mouvement rotatif... donc aucune vibration, aucun bruit désagréable. Bien profilé, léger, maniable, le rasoir électrique Philips permet de raser toutes les parties du visage avec une égale facilité.

...et il est tellement plus robuste !

Le mouvement rotatif est le mouvement le plus simple, donc le plus sûr : aucune trépidation aucun frottement anormal des pièces, aucune usure prématurée. Et pas de panne. Mieux encore, le rasoir électrique Philips s'affûte automatiquement. Il est pratiquement inusable.

RASOIR ÉLECTRIQUE **ROTATIF**

PHILIPS

LE PLUS UTILISÉ DANS LE MONDE ENTIER

L'ÉLECTRICITÉ

SOMMAIRE

★ ÉDITORIAL	7
★ PETITE HISTOIRE DE L'ÉLECTRICITÉ	8
★ ÉLECTRICITÉ ET CIVILISATION MODERNE	20
★ COMMENT S'ADAPTENT A CHAQUE INSTANT PRODUCTION ET CONSOMMATION	30
★ LES CHANTIERS DE GRANDS ÉQUIPEMENTS.....	38
★ LE RÉSEAU NATIONAL DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ.	64
★ L'AVENIR DES SOURCES D'ÉNERGIE	72
★ L'ÉLECTRICITÉ DANS L'INDUSTRIE	84
★ UNE RÉVOLUTION EN TRACTION ÉLECTRIQUE	98
★ LES PROGRÈS DE L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.....	104
★ L'ÉLECTRICITÉ DANS LES TRAVAUX MÉNAGERS.....	112
★ L'ÉLECTRIFICATION DES CAMPAGNES	128
★ LE PRODIGIEUX ESSOR DE L'ÉLECTRONIQUE.....	138

Couverture : Photo A. Gamet. Laboratoire de Delle.

ABONNEMENTS

	France et Union Fr ^o	Étranger	Benelux et Congo belge
un an.	1 000 fr.	1 400 fr.	200 fr. belges
avec envoi en recommandé. .	1 400 fr.	1 900 fr.	
Abonnement comprenant en plus 4 numéros hors série. . .	1 650 fr.	2 200 fr.	375 fr. belges
— recommandés.	2 200 fr.	2 900 fr.	

Changement d'adresse, poster la dernière bande et 30 fr. en timbres-poste.

Administration, Rédaction : 5, rue de la Baume, Paris-8^e. Tél. : Balzac 57-61. Chèque postal 91-07 PARIS
 Adresse télégraphique : SIENVIE Paris. — Publicité : 2, rue de La Baume, Paris-8^e. Tél. Elysées 87-46.
 Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Copyright by SCIENCE ET VIE. Mars 1956.

A l'usine - Au bureau - Au foyer

L'ÉLECTRICITÉ

résout tous les problèmes
de travail et de confort

Elle apporte toujours la solution économique

car en vérité

l'électricité n'est pas chère

Il existe des **TARIFS SPÉCIAUX** pour les abonnés appelés à utiliser largement l'électricité. Lorsque la consommation augmente, le prix du kilowattheure diminue rapidement.

SODEL - PARIS

ÉDITORIAL

LE XIX^e siècle a pu être appelé le siècle de la vapeur. Le XX^e siècle est celui de l'électricité qui, à son tour, a révolutionné notre industrie, nos transports, nos moyens d'information et de communication, notre vie domestique, c'est-à-dire la quasi-totalité de nos formes d'activité.

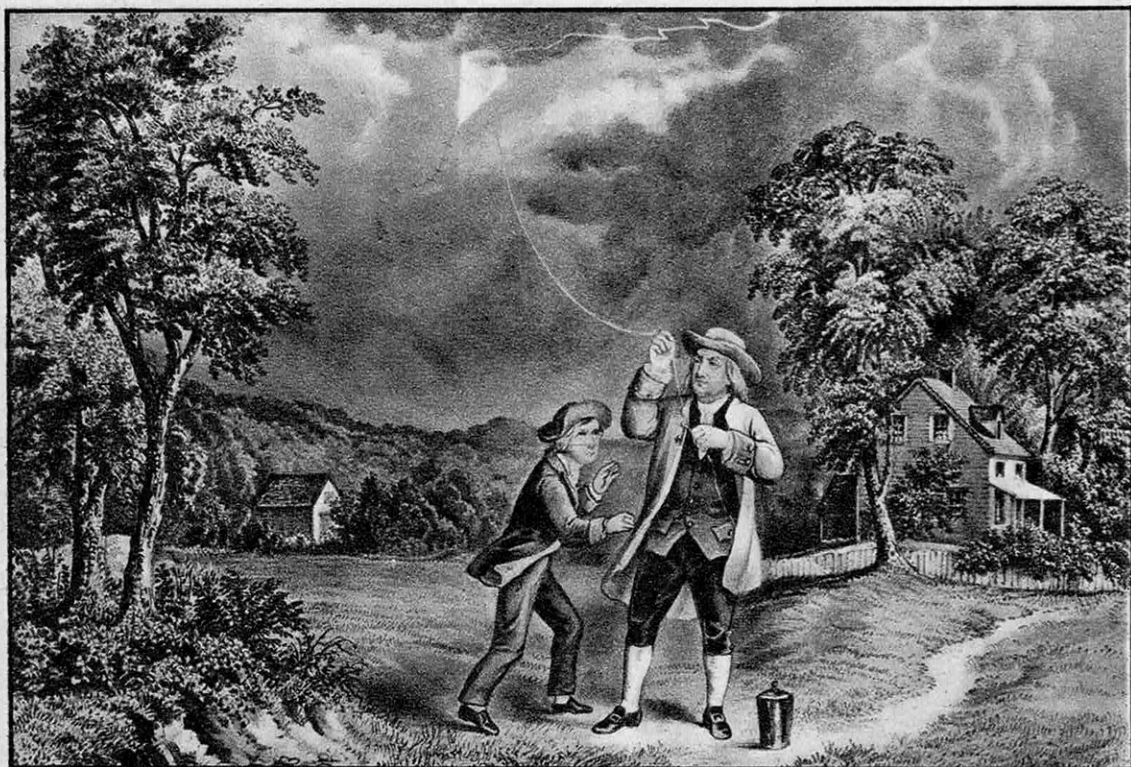
L'électricité, comme une fée à qui on la compare souvent, possède les vertus magiques d'apparition subite et de métamorphose. Elle nous apporte à notre gré l'énergie des combustibles, des chutes d'eau, bientôt des réactions nucléaires. Elle se fait lumière dans les lampes, chaleur dans les radiateurs et les fours, force motrice dans les moteurs, énergie chimique dans les bacs d'électrolyse, énergie rayonnante sur les ondes de la radio. Ses apparences multiples, sous forme continue ou alternative de toutes fréquences, régissent tantôt des centaines de milliers, tantôt des millions de volts et d'ampères, l'associant à toutes les manifestations de la vie moderne.

Ses applications aux industries de base, aux industries de transformation, aux transports, à l'éclairage, à la vie urbaine et rurale, aux télécommunications, sont si nombreuses et variées qu'il est impossible de les passer toutes en revue. Nous nous sommes tenus à celles qui s'imposent plus particulièrement aujourd'hui par leur aspect caractéristique et la rapidité de leur évolution.

Grâce à l'électricité, notre puissance matérielle s'accroît sans cesse. Mais déjà nous voyons l'électronique et l'automation surclasser l'esprit humain pour l'accomplissement de tâches intellectuelles mineures. Ces développements tout récents n'annoncent pas seulement une révolution prochaine dans les méthodes d'organisation, de recherche et de production industrielle, mais peut-être également l'apparition de formes nouvelles de civilisation.

Les cent cinquante années qui se sont écoulées depuis la pile de Volta et l'expérience d'Ersted jusqu'à la télévision et aux centrales nucléaires ont transformé l'existence humaine plus profondément que les milliers d'années antérieures. C'est assurément le plus grand sujet de réflexion, voire d'enthousiasme, que nous propose l'électricité parmi les réalités d'aujourd'hui et les promesses de demain.

PETITE HISTOIRE



Benjamin Franklin démontre pour la première fois, en 1752, l'identité de la foudre et de l'électricité. Le fil d'un cerf-volant, mouillé par une pluie d'orage, conduit jusqu'au sol l'électricité atmosphérique.

SUR les bords de la mer bleue de l'Hellade, l'Électricité naquit, voici quelque vingt-cinq siècles, sous des formes mineures. Les Grecs d'Ionie faisaient commerce d'ambre jaune, qu'ils appelaient *elektron*. Des Sages, ou des enfants peut-être, remarquèrent que l'ambre, frotté à sec, acquérait une « sympathie » singulière : il attirait les corps légers, les feuilles, les pailles. De là le nom du nouveau fluide : *elektron*, électricité.... Ces origines primitives de la science sont baignées de poésie. « Ion » ne signifie-t-il pas « violette » dans la langue d'Homère ?

L'Arche des Hébreux ? Une bouteille de Leyde !

Peut-être conviendrait-il de remonter plus loin encore. Un érudit, M. Maurice Denis-Papin, descendant de l'inventeur de la ma-

chine à vapeur, a publié une curieuse étude sur l' « Arche sainte des Hébreux, considérée comme génératrice électrostatique ».

L'Arche, construite par Moïse, accompagnait les Israélites dans leur voyage au désert. Personne, à part Moïse, Aaron et les prêtres, ne pouvait toucher l'Arche : les profanes étaient jetés violemment sur le sol... autant dire foudroyés.

On lit, au chapitre XXV de l'Exode, qu'elle était faite en bois de sétim, doublé d'or intérieurement et extérieurement ; une couronne d'or en faisait le tour ; on la portait au moyen de bâtons recouverts d'or et engagés dans des anneaux d'or. On ne peut qu'être frappé par la disposition du bois, isolant, et des parties métalliques, qui rappelle exactement celle d'un condensateur. Or, le champ électrique naturel, dans ces régions sèches, atteint aisément plu-

DE L'ÉLECTRICITÉ

sieurs centaines de volts par mètre vertical, et on peut se demander si la « couronne » n'avait pas pour objet de provoquer la charge spontanée du condensateur sacré, tandis que les bâtons dorés, par l'intermédiaire du corps des porteurs, assuraient la mise à la terre.

De là ces aigrettes, ces flammes de foudre, ces secousses redoutables qui mettaient en fuite les profanes, tandis que les prêtres, grâce à leurs vêtements tissés de fils d'or et tombant jusqu'à terre, déchargeaient simplement le condensateur sans dommage personnel.

Paratonnerres dans l'Antiquité

La foudre a été maintes fois captée dans l'Antiquité et au Moyen Âge.

Tullus Hostilius, roi de Rome, apprit de Numa à convoquer à son gré le feu de Jupiter. Mais ayant commis quelque erreur de rite ou d'isolement, il périt foudroyé. Porsenna, roi des Volsques, savait également faire tomber la foudre ; il usa de ce moyen expéditif pour débarrasser l'Etrurie d'un monstre qui la ravageait. Par une curieuse rencontre linguistique, ce monstre s'appelait Volt.

Les Anciens ont-ils connu le paratonnerre ? Ctésias, compagnon de Xénophon, possédait deux épées miraculeuses. « Si on les plante en terre la pointe en l'air, précise-t-il, elles écartent les nuées, la grêle, les orages. »

L'historien Josèphe, décrivant le célèbre Temple de Salomon, raconte que le toit de l'édifice avait été hérissé de baguettes pointues, revêtues d'or, afin d'empêcher les oiseaux de le souiller. Or, comme le fait remarquer l'historien allemand Michaelis, durant mille années, le Temple ne fut jamais frappé par la foudre.

Le pape Gerbert (Sylvestre II), au x^e siècle, indique un sûr moyen d'écarter la foudre : il consiste à planter en terre de hautes perches terminées par des fers de lance très aigus... Il n'est point indispensable, on le voit, d'arriver jusqu'à de Romas et Franklin pour assister à une réalisation correcte du paratonnerre.

« Boussole électrique » et machines électrostatiques

William Gilbert, de Cochester, médecin de la reine Elizabeth d'Angleterre, fut le premier à s'attaquer de façon réellement scientifique à

deux problèmes que nous considérons aujourd'hui comme intimement liés : l'électricité et le magnétisme.

La frêle aiguille aimantée de la boussole (d'origine chinoise) venait d'être mise à la disposition des navigateurs de haute mer. Gilbert eut l'idée de préparer une aiguille « de quelque métal que ce soit », donc non aimantée, longue de 2 à 3 pouces (5 à 7 cm), qu'il posa en équilibre sur une pointe verticale. Quand on approchait de cette « boussole électrique » le corps frotté dont on voulait étudier les propriétés, sa « vertu » éventuelle se trouvait mise en évidence par l'action qu'il exerçait sur l'aiguille.

L'adroit expérimentateur constata ainsi que la sympathie attractive n'est pas le monopole de l'ambre et du jayet, mais appartient également à de nombreuses pierres précieuses, telles que le diamant, l'opale, le saphir, l'améthyste ; elle existait aussi dans le soufre fondu, la cire, le verre, la résine, l'arsenic.

Que manquait-il à Gilbert ? Une « machine électrostatique ». Ce fut l'œuvre d'un savant célèbre, Otto de Guericke, bourgmestre de Magdebourg, dont les travaux sur la pression atmosphérique avaient fait grand bruit. Dans ses *Experimenta nova magdeburgica*, Guericke décrit une machine sphérique fonctionnant au moyen d'un globe de soufre « gros comme une tête d'enfant ». Elle lui permit de découvrir, à côté de l'attraction déjà connue, la répulsion électrostatique.

L'Anglais Hawksbee remplaça le globe de soufre par un cylindre de verre équipé d'une manivelle ; puis vinrent les machines à plateau de verre et frotteurs de cuir, telles que celle de Ramsden, ornement des « cabinets de physique ».

Ici se place, en 1729, la découverte capitale des « isolants » et des « conducteurs », également due à deux Anglais, Gray et Wheeler. Détail curieux et qui montre bien les hasards de la découverte : Gray constata d'abord la conductibilité toute relative du bois de sapin, des roseaux, de la corde de chanvre, et ce fut Wheeler, auteur d'un involontaire « court-circuit », qui s'aperçut de l'excellente conductibilité des fils métalliques. Ils déclarèrent que l'électricité se transmettait correctement jusqu'à 240 m, ce qui témoigne d'une louable prudence

intellectuelle. Mais Hertz, 160 ans plus tard, n'affirmait-il pas que ses « ondes » portaient tout bonnement à quelques centaines de mètres ?

La grande peur de Musschenbroek

Au mois d'avril 1747, il arriva à un savant de Leyde, nommé Musschenbroek, une aventure dont il fit part en latin à toute l'Europe.

Il avait suspendu au plafond, par deux fils de soie, un canon de fusil qui recevait l'électricité engendrée par un globe de verre tournant, sur lequel on appliquait les mains. A l'autre extrémité du canon pendait un fil de laiton plongeant dans un vase de verre à demi rempli d'eau.

Le savant, tenant ce récipient, approchait la main du canon de fer, quand cette main fut frappée avec une telle violence qu'il en eut le corps ébranlé comme d'un coup de foudre. « Je crus, avoue-t-il ingénument, que c'en était fait de moi ! »

L'ingénieur abbé Nollet, père de l'« électricité mondaine », fut le premier à répéter à Paris l'expérience de la « bouteille de Leyde ». A Versailles, devant le Roi et la Cour, une « chaîne » de 240 garde-française, excitée par une forte bouteille, sauta en l'air fort convenablement, donnant un spectacle agréable. On fabriqua des « cannes condensateurs », qu'il suffisait de frotter avec une peau de lièvre pour procurer à ses voisins de fortes émotions scientifiques...

Galvani et Volta

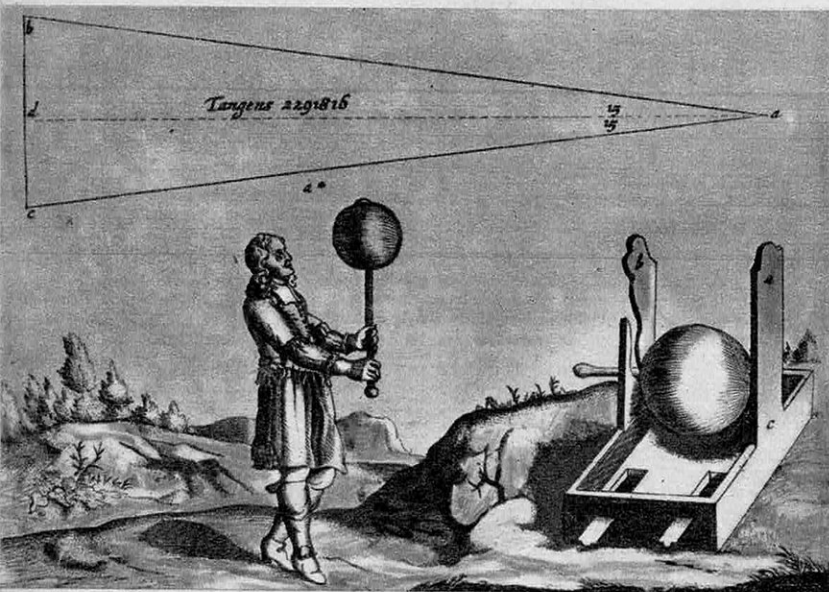
Le professeur Aloysius Galvani, de Bologne, pratiquait, un soir de l'année 1780, la dissection des grenouilles, tandis qu'un de ses amis, dans le même laboratoire, faisait fonctionner



**Otto von Guericke,
1602-1686**

Son nom est surtout demeuré célèbre pour ses expériences sur le vide (hémisphères de Magdebourg). Il prit aussi une part active aux premières recherches scientifiquement conduites sur les manifestations de l'électricité (attractions et répulsions).

une machine électrostatique. Les pattes se contractaient ce jour-là de façon inexplicable... jusqu'au moment où la femme du professeur remarqua que chaque contraction se produisait au moment précis où l'on tirait une étincelle de la machine. Galvani partit malencontreusement sur une fausse piste intellectuelle : celle de l'« influx vital ».



→ **Cette machine électrostatique** à cylindre de verre (à droite), a été construite en 1774, par Nairne, fabricant d'instruments de physique. A gauche, pantin articulé en moelle de sureau ; ses membres s'écartent quand on le charge.

← **La répulsion électrostatique** a été découverte en 1672, par Otto de Guericke. Cette gravure le montre expérimentant avec des sphères de soufre, qu'il chargeait en les frottant avec la paume de la main pendant leur rotation.



Stephen Gray,
1670 (?) - 1736

On sait peu de chose de la vie de Gray à qui on doit la distinction entre isolants et conducteurs. Il a été le premier à signaler que la conductibilité ne dépend pas de la couleur, comme certains l'affirmaient, et que le corps humain est conducteur.

Six ans plus tard, le destin le favorisa d'une nouvelle manifestation. Galvani avait préparé un arrière-train de grenouille et l'avait mis à sécher, accroché à une balustrade, sur la terrasse du Palais Zamboni : le crochet qui traversait la moelle épinière était en cuivre, la balustrade était en fer. Dès qu'ils entraient en contact avec le fer, les membres se contractaient en une hal-

lucicante danse macabre ! Galvani, cette fois encore passa à côté de la découverte.

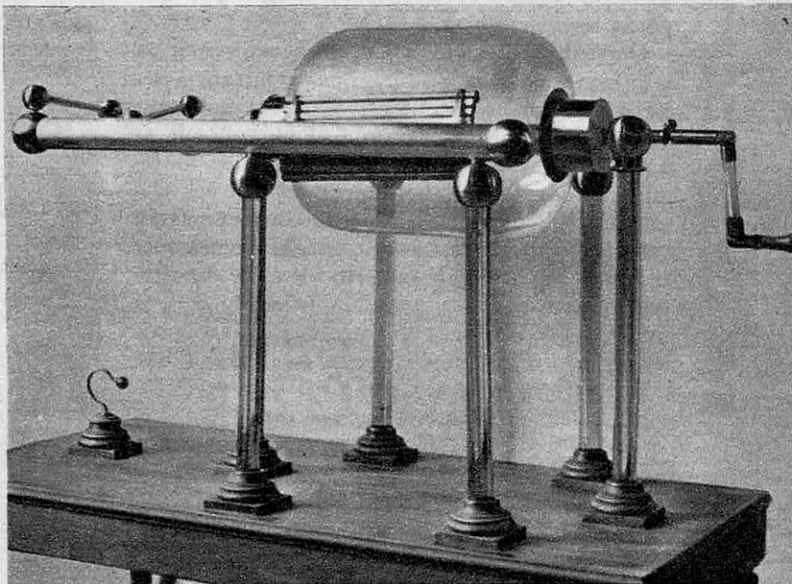
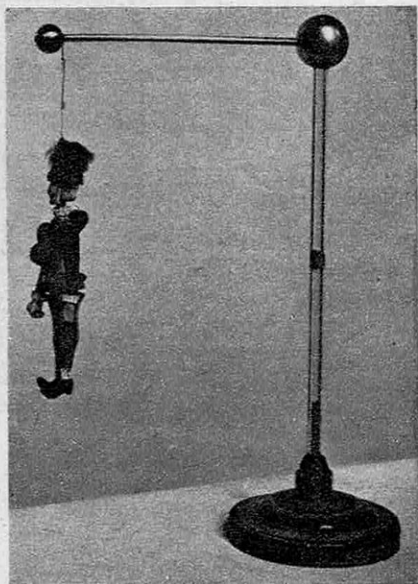
Ce fut le célèbre professeur Alexandre Volta, retiré à Côme, qui soupçonna la vérité. L'« influx nerveux » de Galvani ne jouait dans ces expériences qu'un rôle secondaire. Les effets électriques étaient dûs essentiellement au contact de deux métaux différents. C'est ainsi que Volta inventa sa « pile électrique », formée de rondelles de cuivre et de zinc, avec interposition de rondelles de drap imbibées d'eau acidulée.

Transformée par les Anglais, qui lui donnèrent la forme d'auges contiguës, puis de bocalux séparés, la pile conquiert bientôt l'Europe. A l'Ecole Polytechnique, on installa, sur l'ordre de l'Empereur, une pile gigantesque, comportant 600 « couples » cuivre-zinc et débitant plus de 10 ampères sous 500 volts. Humphrey Davy reçut de ses compatriotes, par souscription, une pile de 2 000 éléments. Davy ayant réuni, puis séparé les deux conducteurs de la pile, vit se former une flamme électrique permanente, que le courant d'air chaud incurvait vers le haut. Il lui donna le nom d'« arc » électrique.

Ampère, poète romantique

Pendant l'électricité « dynamique », ou électricité en mouvement, ne semblait pas destinée à un vaste avenir. Quelques usages médicaux, l'éclairage à l'arc et surtout les dépôts électrochimiques (galvanoplastie), telles semblaient les applications du nouveau fluide, étroitement limitées, au surplus, par le coût élevé du zinc consommé dans les piles. Tout allait changer avec la découverte de l'électromagnétisme.

Dès 1802, un Italien, le conseiller Romagnosi, de Trente, avait constaté l'action des courants sur les aimants. Il ne faisait même que repren-





**L'abbé Jean-Antoine Nollet
1700-1770**

Passionné de physique, il fit de grands voyages d'information et des travaux personnels estimés. Professeur brillant, il mit à la mode, à la cour et à la ville, les expérimentations sur l'électricité, et notamment sur la bouteille de Leyde.

dre les idées d'un érudit aujourd'hui bien oublié, le Père Beccaria de Mondovi, qui publia en 1772, dans son *Dell'Electrismo artificiale* une théorie des circuits électriques capables d'engendrer le magnétisme des aimants ! Que manquait-il à ces précurseurs pour bouleverser le monde ? La clairvoyance d'Oersted et le génie d'Ampère.

Oersted, professeur à Copenhague, venait de terminer son cours de physique, montrant à ses élèves l'incandescence d'un fil de platine sous l'action du courant électrique. Une boussole se trouvait dans les environs — toujours le fécond désordre des laboratoires ! — et les élèves remarquèrent que lorsque le courant passait dans le fil, l'aiguille déviait, cessant de marquer le Nord. Rarement découverte fut faite simultanément par un aussi grand nombre de spectateurs. Oersted rédigea un mémoire en latin sur les effets du circuit électrique et l'envoya aux physiciens européens. C'est ainsi que ce document parvint à Paris, entre les mains d'Ampère.

Quelle figure extraordinaire que celle d'André-Marie Ampère, physicien et mathématicien de génie, mais aussi littérateur et poète ! On possède de lui en particulier une pièce romanti-

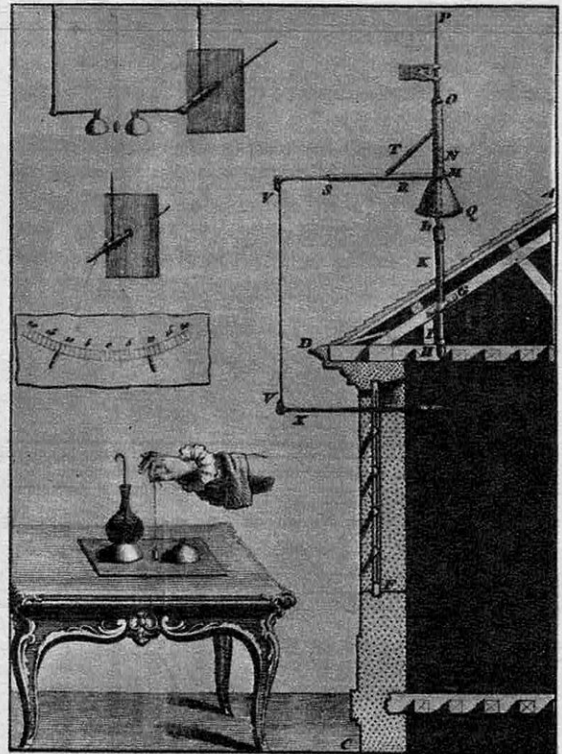
que sur le regret et l'absence, qui préfigure étrangement « Le Lac » de Lamartine.

L'expérience du savant danois surprit grandement notre Académie des Sciences ; il fallut l'autorité d'Arago, qui l'avait répétée dans son laboratoire, pour la faire accepter. Ce fut le grand Ampère qui en donna une théorie complète et qui reconnut que le phénomène était lié, non au conducteur matériel, mais au courant lui-même ; il jetait ainsi les bases de l'électromagnétisme.

Le succès d'Ampère éveilla des jalousies. Des collègues sceptiques prétendirent que l'action réciproque des courants (expérience du cadre mobile) pouvait être prévue, puisque chacun des circuits pris séparément agissait sur une aiguille aimantée. Le savant répondit par un argument imagé, demeuré célèbre :

— Voici, dit-il, deux clefs en fer doux. Toutes deux attirent cet aimant. Si vous ne pouvez me prouver que ces deux clefs, mises en présence, se repoussent ou s'attirent, le point de départ de vos objections est entièrement faux !

Arago, de son côté, trouva le moyen de multiplier l'action électromagnétique en enroulant le fil autour d'un noyau en fer doux : quand le courant passe, le fer s'aimante pour se désaimanter dès que le courant est interrompu. C'est



Expériences de l'abbé Nollet. A gauche : carillon, électromètre et fils de coton, étude des attractions ; à droite : dispositif de captation de l'électricité atmosphérique à l'aide d'une pointe.

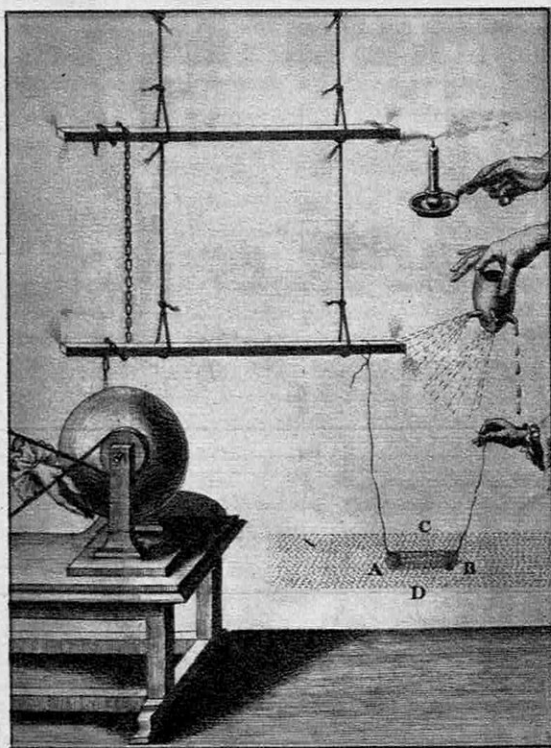
l'électroaimant, qui devait donner naissance, quelques années plus tard, au télégraphe Morse, puis au téléphone, aux relais et à une multitude d'applications.

Découverte de l' « induction »

Un pas gigantesque restait à franchir. Après avoir obtenu une action mécanique à partir du courant électrique, n'était-il pas possible de produire un courant en dépensant de l'énergie mécanique ? L'entreprise était conforme au principe de la conservation de l'énergie. Elle tenta plusieurs chercheurs.

Ici se place la mésaventure d'un physicien suisse qu'une idée fautive empêcha de s'adjuger cette découverte. Puisqu'un morceau de fer doux, placé dans une bobine parcourue par un courant, s'aimante, n'était-il pas naturel de loger un aimant dans une bobine... pour recueillir aux bornes de l'enroulement un courant électrique ? C'était là une hérésie scientifique ; supposer que le courant, engendré dans le fil conducteur par la présence de l'aimant, pût durer indéfiniment, conduisait tout droit au mouvement perpétuel.

Le physicien, pour mettre le courant en évidence, avait réuni les extrémités du bobinage à un galvanomètre très sensible ; mais pour évi-



Pouvoir des pointes : des effluves agissent sur la fumée d'une chandelle récemment éteinte, et sur des gouttes d'eau qui se pulvérisent ; on observe des attractions et des répulsions.

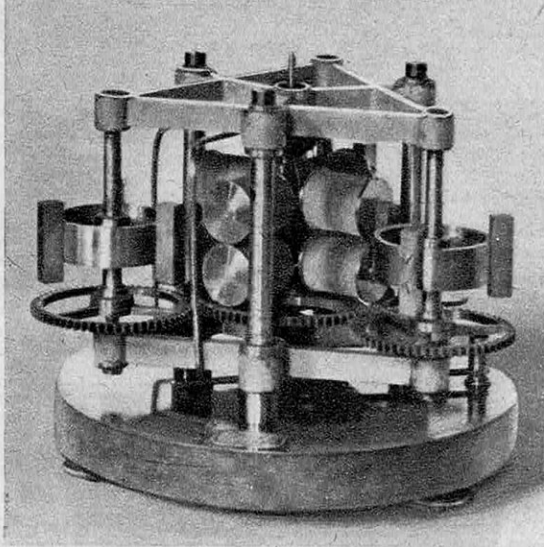


**Pieter van Musschenbroek,
1692-1761**

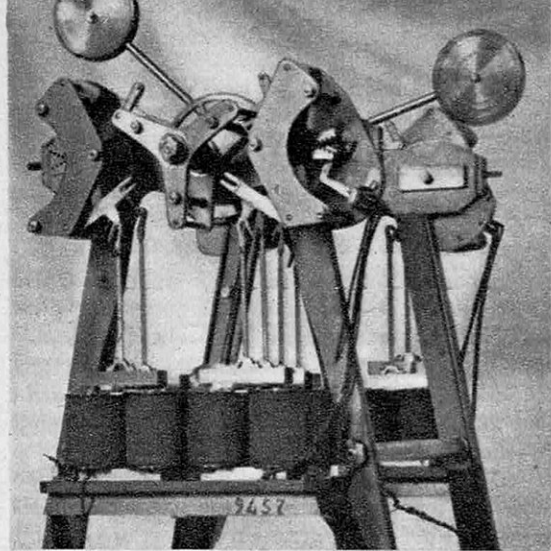
Ce physicien et naturaliste, fort estimé de son temps et qui eut l'honneur de rencontrer le grand Newton, serait bien oublié aujourd'hui s'il n'avait eu la bonne fortune de découvrir, par hasard, la « bouteille de Leyde », ancêtre des condensateurs.

ter l'influence perturbatrice de l'aimant, le galvanomètre était relégué dans une pièce voisine. Dès qu'il eut plongé son aimant dans la bobine, il s'en alla consulter le galvanomètre, qui avait bien dévié mais était revenu au zéro. L'expérience fut renouvelée maintes fois, toujours avec le même insuccès, personne ne se trouvant auprès de l'appareil à l'instant précis où l'aiguille déviait fugitivement.

Ce fut un ancien ouvrier relieur anglais, Faraday, qui devait découvrir l'induction électromagnétique ; il utilisa un gros anneau en fer doux, sur lequel étaient enroulés deux bobinages reliés, l'un à une pile, l'autre à un galvanomètre. Il constata que la fermeture et l'ouverture du premier circuit engendraient dans le second des courants de sens opposés. Presque aussitôt — ceci se passait en 1830 — une multitude de machines génératrices à induction virent le jour. Mentionnons seulement la célèbre « machine de l'Alliance » dont il existe un exemplaire au Conservatoire des Arts et Métiers, et qui comporte huit rangées d'aimants inducteurs. Elle sert pour assurer l'alimentation des lampes de certains phares, notamment celle du phare de la Hève, près du Havre.



Le moteur triangulaire de Froment (1848) : les palettes de fer doux portées par les tambours latéraux viennent se présenter successivement devant des électroaimants convenablement excités.



Le moteur à balanciers de Perret utilisait aussi des jeux d'électroaimants actionnant deux à deux des palettes dont les mouvements verticaux étaient transmis à l'arbre par des fourchettes.

On s'avisait bientôt qu'il existait un tout autre moyen de produire, à l'intérieur d'une bobine, un magnétisme variable. Il consiste à juxtaposer étroitement, à l'enroulement « induit », un enroulement « inducteur » remplaçant l'aimant, et dans lequel on fera passer un courant excitateur variable. Masson et Bréguet construisirent dès 1836 des appareils de ce type ; mais il faut

arriver jusqu'à l'Exposition de 1855 pour voir paraître la fameuse bobine de Ruhmkorff, qui suscita un véritable enthousiasme.

Ruhmkorff, Allemand d'origine, était un simple ouvrier en instruments de précision, travaillant en chambre. Il eut l'idée de multiplier considérablement le nombre des spires du fil induit, sur le « transformateur » de Masson et Bréguet, en utilisant un fil très fin, d'une longueur de plusieurs kilomètres. Le fil inducteur, relativement gros et court, est parcouru par le courant basse tension d'une pile, qu'un « vibreur » coupe un grand nombre de fois par seconde. Les variations du flux magnétique engendrent dans les spires de fil une tension très élevée, qui se manifeste par de grandes étincelles.

Fizeau montra qu'on augmentait fortement la tension induite en plaçant, aux bornes du vibreur, un condensateur qui rend la décharge oscillante ; ce principe est encore appliqué pour l'allumage des moteurs d'automobile.

En 1864, Ruhmkorff reçut le grand prix de 50 000 fr (20 millions de notre monnaie), fondé par Napoléon III. Personne ne se doutait, à l'époque, que son invention allait nous apporter les rayons X, la radio, les tubes luminescents et toute l'électronique, telle que nous la connaissons aujourd'hui.

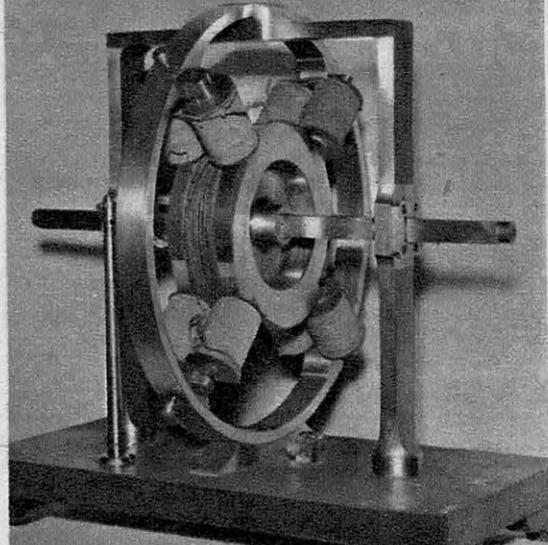
« Cette chimère : le moteur électrique »

Dans les dernières années de l'Empire, les physiciens considéraient le moteur électrique comme une chimère.

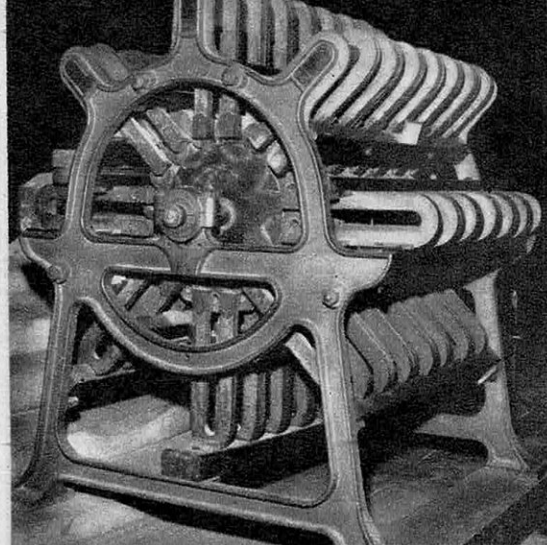
« L'électricité est-elle en état de remplacer la vapeur comme force motrice ? On s'est quelque temps flatté de cet espoir, mais l'expérience et



Pour les démonstrations de salon, les accessoires d'expérimentation se conformaient au goût du temps. On voit ici une bouteille de Leyde avec un conducteur en forme de figurine.



Autre modèle de machine électromotrice utilisant encore des électroaimants. Ceux-ci agissent, non plus sur des palettes ou des noyaux plongeurs, mais sur des rampes tournantes en fer doux.



La machine de l'Alliance date de 1850. Des générateurs « magnéto-électriques » semblables furent employés, en 1863, pour l'alimentation du phare de la Hève et, plus tard, pour le cap Gris-Nez.

la théorie sont venues le renverser. Ecarter les inventeurs d'une entreprise chimérique, c'est souvent leur rendre un signalé service... »

Ainsi s'exprimait l'excellent vulgarisateur Louis Figuier dans le tome III de ses « Merveilles de la Science ». Il ne faisait que refléter l'opinion des savants et des constructeurs.

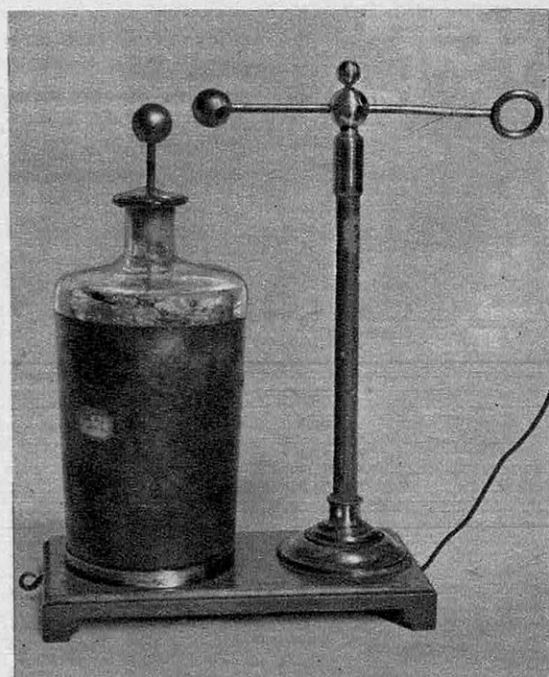
Comment fonctionnaient, en effet, les « moteurs » de l'époque ? Au moyen de bobines creuses aspirant un noyau plongeur, ou encore de roues, armées de palettes de fer doux, qui venaient se présenter rapidement devant un électroaimant excité au passage de chaque palette. Ces engins simplistes avaient un défaut commun, celui d'être fondés sur l'attraction du fer par les électroaimants. Or cette attraction diminue très vite avec la distance ; les petits modèles fonctionnaient fort bien, mais, lorsqu'on passait à des modèles de dimensions industrielles, le rendement tombait presque à zéro.

Jacobi, néanmoins, put remonter le courant de la Néva sur un bateau électrique à aubes, alimenté par piles Bunsen. Froment, pour ses ateliers de précision, construisit un moteur à palettes disposées en hélice, qui mesurait 2 m de hauteur et développait 1 cheval. L'avenir de ces machines était évidemment nul.

Zénobe Gramme était un ouvrier « rampiste » belge, habitué aux volutes et aux torsades. Cet autodidacte passionné, qui suivait les cours du soir et faisait des expériences avec des bouts de fer et de cuivre, en vint ainsi à la bizarre conception de son célèbre « anneau » entièrement recouvert de spires jointives de fil de cuivre isolé. Il faut avouer que c'était là une idée de « rampiste » ! Des lames de cuivre disposées en cylindre, et formant « collecteur », permettaient d'établir la liaison avec l'extérieur

par des « balais » de contact. Placé entre les mâchoires d'un puissant aimant permanent, et mis en rotation au moyen d'une manivelle et d'engrenages, l'anneau fournit du courant continu, identique à celui d'une pile. Ceci se passait en 1870.

Trois ans plus tard, à l'Exposition de Vienne, l'ingénieur français Hippolyte Fontaine exposait



L'électromètre à boules permet d'apprécier l'importance de la charge d'une bouteille de Leyde d'après la distance d'éclatement de l'étincelle ; les formes arrondies évitent la production d'effluves.



**Alessandro Volta,
1745-1827**

Né à Côme, ce physicien italien professa pendant 25 ans à l'Université de Pavie. Sa découverte de la pile électrique a immortalisé son nom, attribué à une unité électrique des plus courantes, le volt. Il fut fait comte et sénateur par Napoléon I^{er}.

versal des conducteurs de l'induit devant les pôles inducteurs, et par suite la possibilité d'adopter des entrefers réduits, même dans les grosses machines ; ainsi tombait la condamnation de Figuiér. La force motrice électrique allait conquérir le monde.

Gramme n'eut pas la chance dévolue à Volta, Ohm, Ampère, de léguer son nom à une unité électrique... attendu que l'unité de masse se nommait déjà « gramme », en France, depuis la Convention.

Edison

Einstein a dit d'Edison : « C'est le plus grand inventeur de tous les temps ! »

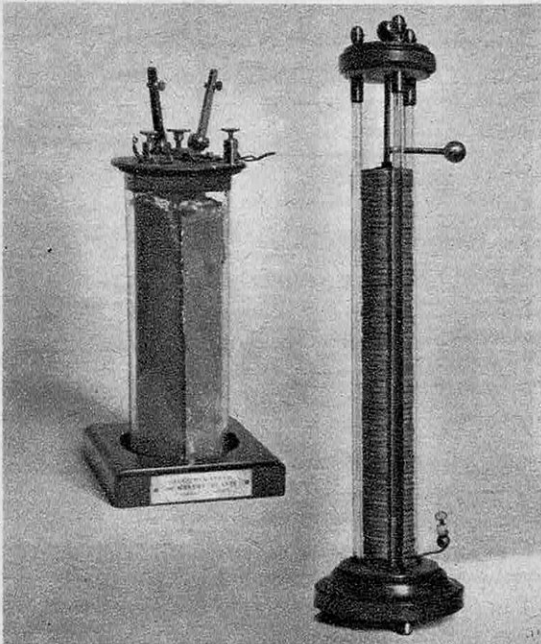
L'illustre physicien était assurément dans un de ses jours d'indulgence. Edison, « manuel » incomparable, entièrement tourné vers la pratique, n'a rien de commun avec les grands esprits, Ampère, Maxwell, Lord Kelvin, qui firent avancer la science : c'était un bricoleur de génie.

Mais si sympathique ! Tout enfant, il brûle ses culottes avec des acides ; à neuf ans, il monte un commerce de bonbons ; à quinze ans, il installe une presse à imprimer dans le train de Port-Huron et vend son journal aux voyageurs. Ses premières notions techniques lui viennent d'un chef monteur de la ligne télégraphique de Montréal. Conduit par sa chance, Edison arrive à point pour dépanner le « tikker » (transmetteur des cours de Bourse) de la Gold Exchange Indicator, à New York ; le voilà inspecteur technique, bientôt installé dans son fameux laboratoire de Menlo Park. Ce sont les belles années, une pluie de découvertes toutes « utiles », c'est-à-dire payantes.

Charles Gros, en France, Graham Bell, aux Etats-Unis avaient inventé le « téléphone magnétique » : on parle devant une membrane en acier, placée au voisinage d'un électroaimant, dont le noyau est un aimant permanent. Les vibrations de la membrane déterminent des variations du flux, donc un courant induit, le

deux machines de Gramme, dont l'une était placée en réserve en cas d'incident. Par l'erreur d'un ouvrier, les deux machines étaient restées interconnectées : au moment où la première fut mise en marche par une machine à vapeur, Fontaine vit avec stupéfaction la seconde se mettre à tourner. La « réversibilité » de la dynamo était découverte.

Qu'y avait-il de révolutionnaire dans cet anneau Gramme qui allait bouleverser la technique et amorcer l'immense développement de l'électricité ? Peu de chose : un déplacement trans-



← **Volta obtint, en 1800, du courant en formant une pile de rondelles de cuivre et de zinc séparées par du drap imprégné d'eau acidulée ; Planté, en 1859, inventa l'accumulateur au plomb (à g.), stable en tension et qui peut être rechargé.**

**André-Marie Ampère,
1775-1836**

Physicien, mathématicien, naturaliste et poète romantique à ses heures, Ampère a laissé son nom à l'unité d'intensité de courant électrique. Il est regardé comme le créateur de l'électrodynamique pour ses travaux sur l'action réciproque des courants.

récepteur est identique. Cet appareil était remarquablement anémique. Edison le revigora par l'invention du microphone, qui n'est autre qu'un contact variable imparfait (les contacts imparfaits portaient bonheur aux inventeurs, à cette époque ; nous en retrouvons un exemple avec le « cohéreur » de Branly) constitué par de la grenaille de charbon ; la membrane, vibrant sous l'action de la voix, comprime plus ou moins ce contact, déterminant des variations dans le courant d'une pile. Les brevets Edison furent vendus en Angleterre par... Bernard Shaw, qui devait faire une carrière assez élogieuse de l'électrotechnique !

Bien des inventeurs s'étaient vainement attaqués au problème de la lampe à incandescence, essayant des filaments gros et courts qui cassaient tous. Edison employa un fil long et fin,



**Michael Faraday,
1791-1867**

Fils d'un forgeron et apprenti relieur, il consacrait ses loisirs à des expériences scientifiques et devint membre de la Royal Society. On lui doit de nombreuses découvertes en chimie et en physique, dont la plus importante est celle de l'induction.

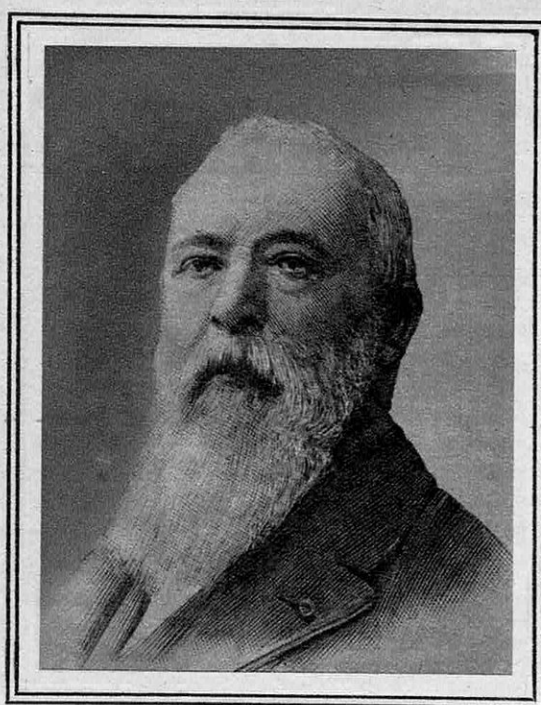


essayant toutes les matières possibles, papier carbonisé, fibres de coton, pour finir par la fibre d'un certain bambou envoyé du Japon. La lampe brilla quarante heures, tandis qu'Edison demeurait assis au bord de sa « couchette d'insomnie », dans son laboratoire, sans la quitter des yeux. Quand elle s'éteignit, il dit : « Si elle a duré quarante heures, je la ferai durer quatre cents ! »

C'était le 26 octobre 1879. Il y avait, en 1879, beaucoup de choses simples à découvrir, et c'est là l'origine véritable de l'immense réussite d'Edison. Quand des idées générales sont nécessaires, il échoue. On le vit bien quand Nikola Tesla, inventeur des « champs tournants », apporta ses courants polyphasés en Amérique. Edison ne comprit rien à la composition des vecteurs, il n'aperçut pas les fabuleuses possibilités de transformation du courant alternatif ; il demeura fidèle au courant continu et perdit la partie contre la formule venue d'Europe.

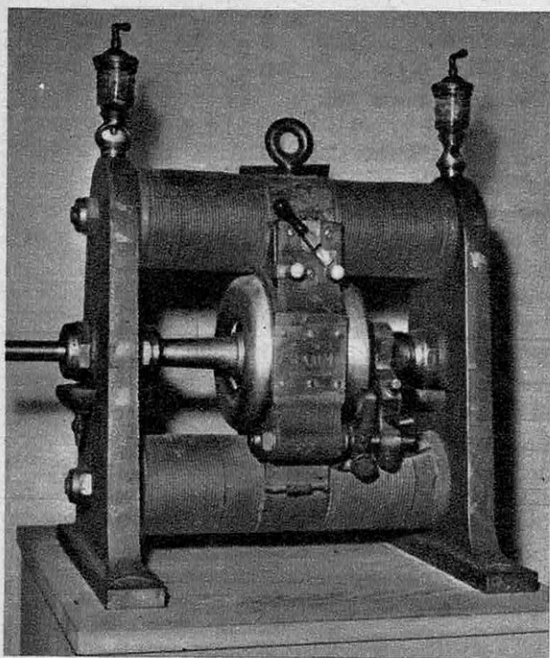
Quand le mathématicien Maxwell, en 1873, démontra, dans un mémoire célèbre, la possibilité théorique des ondes électromagnétiques, toute l'Europe savante s'empressa de tenter l'aventure sur le plan expérimental. Fitz-Gerald, en 1881, produisit des décharges oscillantes dans des conducteurs ; le grand Hertz, six ans plus tard, libéra les ondes de leur support matériel en les lançant dans l'espace. Edison, lui, breveta un émetteur avec commutateur tournant, étincelle... et plaques planes juchées au sommet d'un pylône. C'était presque la solution... mais ce « presque » enleva à Edison la gloire de découvrir la T.S.F.

Plus tard, Edison est dépassé par ses propres laboratoires ; l'ère des grandes découvertes per-



**Zenobe Gramme,
1826-1901**

Simple ouvrier dans un atelier de ferronnerie, mais passionné pour la mécanique et l'électricité, Gramme eut l'idée géniale de bobiner un induit sur un tore de fer doux et de lui adjoindre un collecteur, franchissant ainsi l'étape décisive vers la construction des dynamos et des moteurs industriels.



Une des premières dynamos, probablement réalisée sous la direction de Gramme, pour équiper un atelier artisanal. On retrouve pratiquement ici tous les organes des dynamos modernes.

sonnelles s'achève, pour faire place à l' « âge de l'équipe ». Edison découvre encore l' « effet » qui porte son nom : l'émission d'un courant dans le vide, par les métaux chauffés, mais il n'en tire aucune application pratique. Ce seront Fleming, puis Lee de Forest qui créeront la valve, la triode et ses multiples variétés, ouvrant la carrière de l'électronique moderne.

Le vent de l'avenir

Nous arrivons à l'époque contemporaine, où l'Histoire de l'Electricité n'est plus qu'un brillant chapitre d'une épopée plus vaste. Désormais, la recherche passe aux mains de foules immenses de chercheurs, spécialisés et parfaitement outillés, dominés par la haute stature des grands théoriciens, incompris mais révéérés par la foule comme des dieux.

L'électron sortit, si l'on peut dire, de la bobine de Ruhmkorff avec l'expérience célèbre du tube à décharge sous vide de Crookes. Des rayons... ou des corpuscules s'élançaient de la cathode, allant frapper l'anode ou le verre de l'ampoule. Pierre Curie, tout jeune encore, prouva qu'il s'agissait bien de projectiles électrisés : ce fut la découverte des électrons. En 1895, l'Allemand Roentgen s'aperçut que la surface frappée par les électrons émettait à son tour un rayonnement mystérieux : les « rayons X ».

Ici, le magnifique élan de la science bifurque. D'un côté la découverte de la désintégration de l'uranium, par Becquerel (1896), prend la suite de la découverte de Roentgen; elle sera suivie par celle du radium et toute l'épopée atomique.

L'autre branche de la bifurcation est celle de l'électronique. Désormais, nous savons lancer des électrons dans le vide des ampoules, les contrôler au moyen de grilles, les focaliser dans les téléviseurs, les microscopes et les télescopes électroniques. Les cerveaux électroniques débordent largement les possibilités humaines; l'équilibre social des pays industriels est bouleversé par les perspectives de l' « automation ».

Les techniques électriques « classiques » progressent de leur côté à pas de géant. Electricité de France vient de mettre en eau des groupes de 135 000 kW ; on parle de groupes de 250 000 kW aux Etats-Unis. La traction électrique est en pleine évolution. Des mutateurs à vide ou à vapeur de mercure permettent d'envisager le transport, sous forme de courant continu de 1 million de volts, des kilowatts-heures du Congo jusqu'en Europe.

Où sont les naïves expériences de l'abbé Nollet, les effrois de Musschenbroek, l' « électricité mondaine » du XVIII^e siècle ? Comme un puissant moteur qui a terminé sa période de démarrage, l'électrotechnique tourne à pleine puissance, suscitant universellement les vocations et les enthousiasmes.

Pierre DEVAUX.



Le premier type de lampe à incandescence que créa Edison, après de longs et coûteux essais.



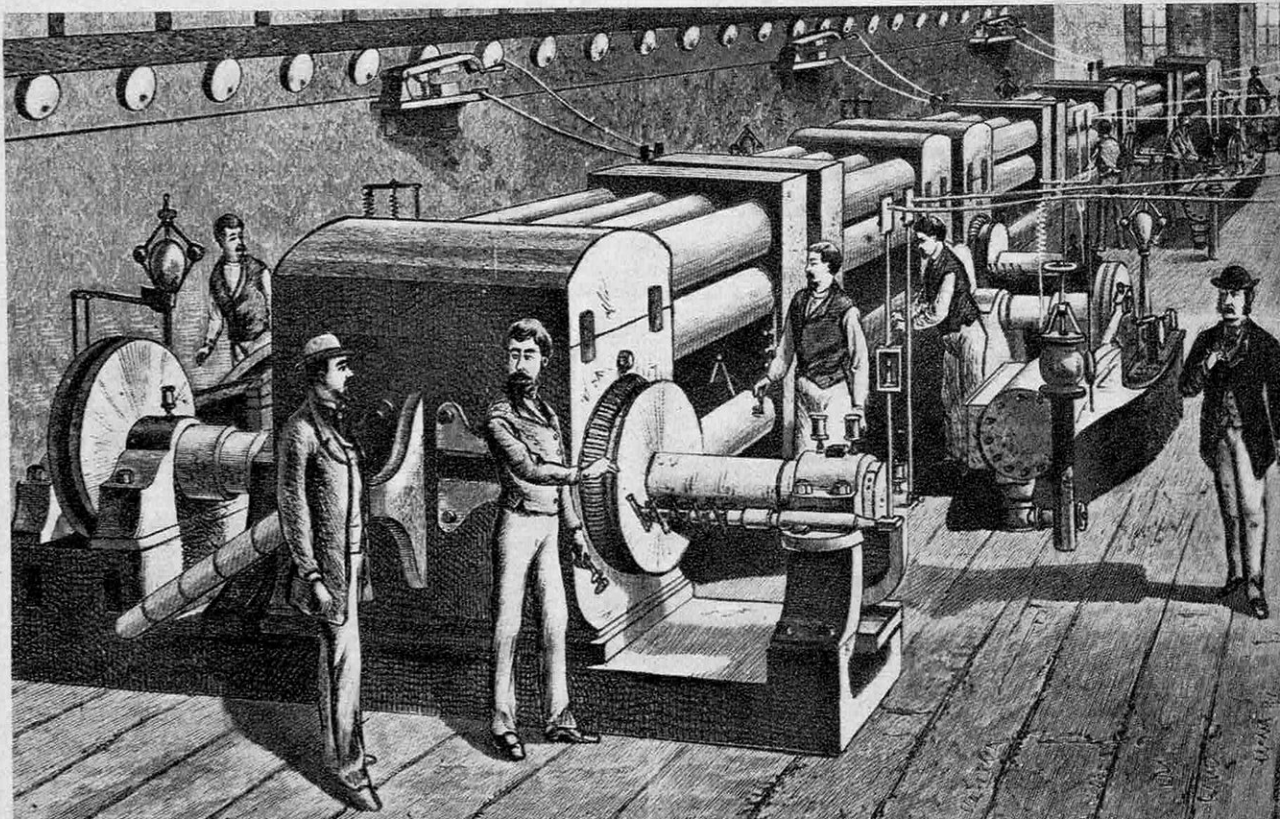
Edison travaillait ponctuellement dans ses laboratoires et « pointait » encore à 74 ans.

Thomas Alva Edison, 1847-1931

Après des débuts très modestes comme vendeur de journaux dans les trains (où, à quinze ans, il entreprit d'imprimer lui-même le « Grand Trunk Herald »), Edison, autodidacte et bricoleur génial, a connu une célébrité mondiale. Résolument tourné

vers les réalisations pratiques et rentables, il ne prit pas moins de 900 brevets, et nous lui devons en particulier le microphone, le phonographe, la lampe à incandescence, l'accumulateur fer-nickel et le premier réseau de distribution à courant continu.

La première « centrale » pour l'éclairage électrique créée par Edison à New York City en 1882.

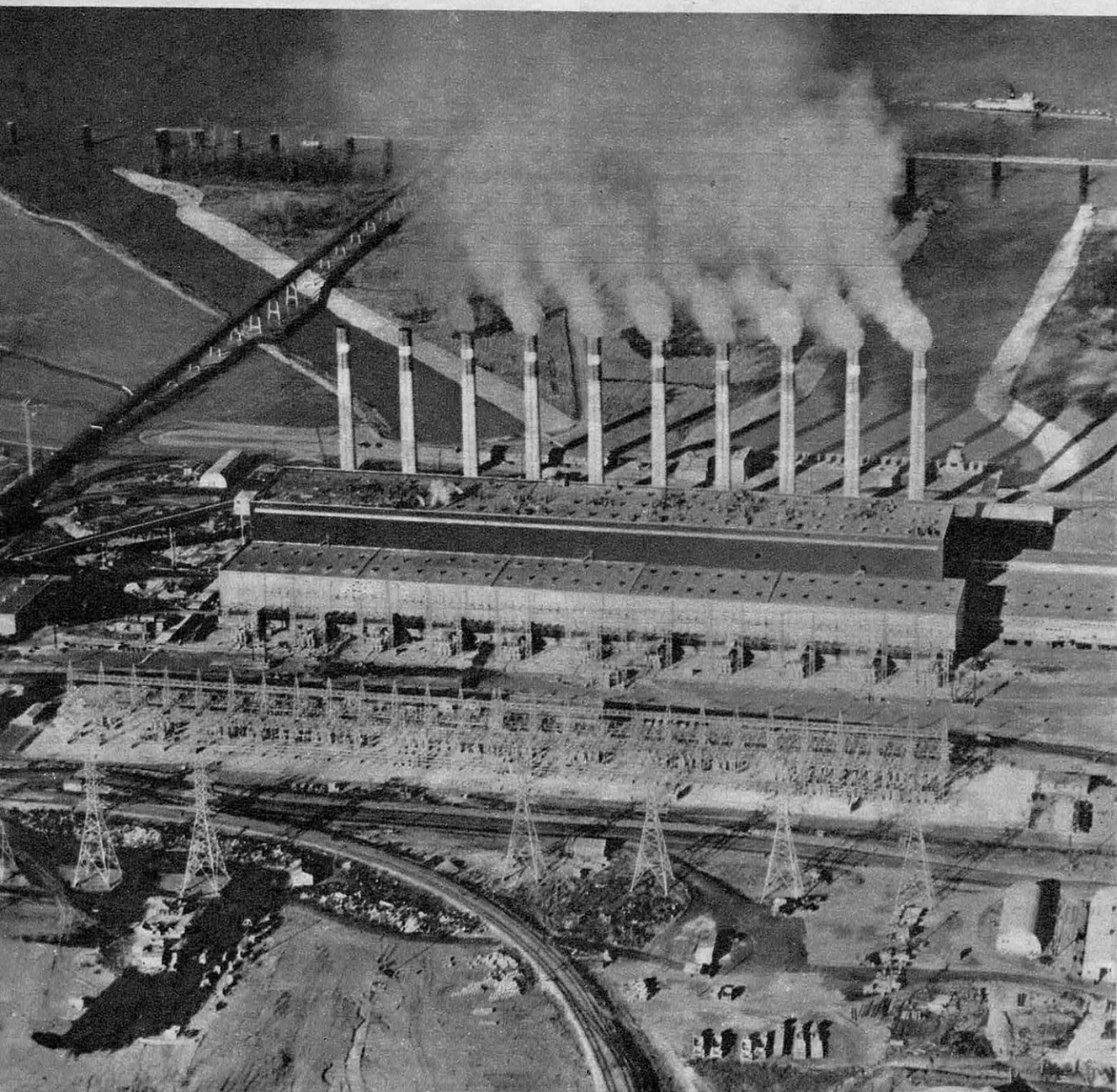


L'ÉLECTRICITÉ ET LA

La consommation d'électricité est un des facteurs décisifs des hauts niveaux de vie, lit-on dans le rapport que l'Organisation de Coopération Economique a fait établir en 1954 par son Comité de l'Electricité. Plus brève, la formule de Lénine : « le communisme, c'est Karl Marx plus l'électricité », marque l'accord des dirigeants politiques de Moscou et des techniciens des dix-sept nations européennes groupées à l'O.E.C.E.

Certes, aucune forme d'énergie ne se prête mieux que l'électricité à cette multiplication des « esclaves mécaniques » qui libéreront une énergie humaine applicable à des tâches plus nobles. Son accroissement naturel suffit à le prouver. Sur la base, depuis plusieurs décades, d'un doublement tous les dix ans, le rythme en dépasse très largement celui de la croissance de la productivité et de la production mondiales.

Mais les spécialistes de l'économétrie sont



CIVILISATION MODERNE

plus exigeants. Ils demandent des preuves avant de reconnaître la corrélation entre la consommation d'électricité et le niveau de vie, en attribuant à l'un de ces facteurs le rôle de cause et à l'autre celui d'effet. Beaucoup de consommations croissent avec le niveau de vie. Le professeur Tagliacarne, embarrassé pour choisir « l'indice de consommation » représentant le plus exactement le niveau de vie des diverses provinces italiennes, y inclut bien l'éclairage

électrique, mais à égalité avec l'automobile, le scooter, le récepteur de radio, le cinéma, le sucre et le tabac. La relation entre consommation d'électricité et niveau de vie demande donc une étude plus approfondie; elle est d'autant plus difficile à préciser qu'en même temps que le niveau de vie bien d'autres facteurs interviennent dans la question.

Energie et niveau de vie

Bien que l'une des plus souples, l'électricité n'est qu'une des formes de l'énergie à notre disposition.

L'époque est passée du quasi-monopole énergétique réservé aux pays les plus abondamment pourvus en charbon d'extraction facile, celle de 1880-1890 où plus des trois quarts de la production mondiale sortaient des puits d'Angleterre, d'Allemagne et des Etats-Unis. Les sources d'énergie primaire, le charbon, le lignite, le pétrole, le gaz naturel, l'électricité hydraulique, comme les sources d'énergie secondaire, le gaz manufacturé et l'électricité thermique, se concurrencent.

La corrélation entre la consommation d'énergie et le niveau de vie ne peut résulter que d'un bilan complet.

Si l'on se tenait à la seule consommation d'électricité, il faudrait donner de loin la première place dans le monde à la Norvège, avec 5 842 kWh par habitant en 1953. Les Etats-Unis, avec 2 407 kWh, ne viendraient que loin derrière, au même rang à peu près que la Suisse et la Suède. C'est que la Norvège dispose d'importantes ressources en énergie hydroélectrique. Les prix en sont très bas; ils ont attiré une importante industrie électrochimique et électrométallurgique travaillant pour l'exportation; il est plus avantageux en outre d'utiliser l'électricité pour le chauffage et la cuisine que de consommer des combustibles qu'il faudrait importer. Mais, que l'on compare le niveau de vie de la Norvège à celui des Etats-Unis ou à celui de nombreux autres pays européens, il faut bien conclure que sa consommation d'électricité n'a qu'un rapport assez éloigné avec son niveau de vie.

← **La plus puissance centrale** thermique du monde, à Shawnee, aux Etats-Unis, développe 1 500 000 kW et brûle 15 000 t de charbon par jour.

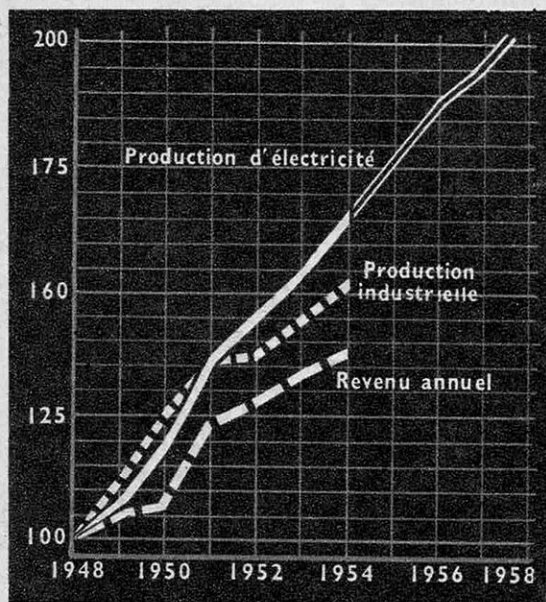


Le cas de la Norvège n'est d'ailleurs pas le seul où s'observe cette disparité. A l'autre bout de l'échelle figure, en Europe Occidentale, le Portugal qui, avec 156 kWh par habitant, consomme deux fois moins que l'Espagne (333 kWh) sans que le rapport de ces chiffres reflète celui des niveaux de vie. La conclusion est la même, au milieu du classement, lorsqu'on découvre que le Danemark, avec 615 kWh par habitant, consomme moins que l'Italie (658 kWh). La position de l'Espagne et de l'Italie s'explique évidemment par leurs ressources hydroélectriques, assez bien utilisées, dans des pays qui doivent surveiller de près leurs importations en combustibles solides ou liquides.

La corrélation entre le niveau de vie et la consommation globale d'énergie, sous toutes ses formes, est beaucoup plus assurée. Le graphique de la page 23 la précise pour la France, la Grande-Bretagne, l'Allemagne et les Etats-Unis sur une période de l'ordre du siècle.

Encore faut-il remarquer que l'énergie prise en considération est l'énergie nette effectivement utilisée par les appareils de consommation, et non l'énergie brute livrée par les sources primaires : charbon, chutes d'eau et pétrole brut.

Si l'on se bornait, par exemple, à totaliser les calories brutes destinées à chaque consommateur britannique, on trouverait qu'elles ont, en général, décliné depuis 1880, alors que le revenu individuel a plus que doublé. Mais le rendement dans l'utilisation a beaucoup augmenté,



Comment ont évolué les indices moyens du revenu national des pays européens, de la production industrielle et de la production d'électricité. 1948, pris pour base, est affecté du chiffre 100.

et la comparaison sur la base de l'énergie nette en tient compte.

La corrélation révélée par le graphique ne s'étend d'ailleurs qu'à des pays aux structures économiques assez voisines, par exemple à la France, à l'Allemagne et aux Etats-Unis, dont l'activité se répartit assez également entre l'agriculture, l'industrie légère et l'industrie lourde. On ne saurait plier à la même loi d'autres pays comme le Danemark, principalement agricole, ou la Suisse, dont certaines industries comme l'horlogerie consomment très peu d'énergie relativement à la valeur de leur production.

L'énergie « productivité » et l'énergie « commodité »

Une distinction essentielle doit être faite suivant les emplois de l'énergie.

Une première partie sert à la production. Elle permet de mécaniser l'agriculture, d'élaborer les métaux et de les travailler, d'assurer les transports... Elle est à la base de l'enrichissement du pays. C'est, selon l'expression de M. Louis Armand, président de la S.N.C.F., une énergie « productivité ».

Une deuxième partie au contraire, employée à l'éclairage, au chauffage domestique, à la cuisine, aux voyages... améliore le confort sous toutes ses formes. Sa consommation, allant même souvent jusqu'au gaspillage, mesure le niveau de vie que la première contribue à créer. C'est une énergie « commodité ».

De même qu'à l'époque de l'énergie musculaire, il fallait distinguer entre le cheval de labour et le cheval de selle, de même on ne peut confondre aujourd'hui le tracteur agricole et l'automobile de tourisme, le creuset électrique pour la fabrication des aciers spéciaux et le réfrigérateur qui évite à la ménagère la corvée d'un marché journalier.

Ajouter indistinctement ces consommations d'énergie pour les comparer à un niveau de vie, ce n'est pas seulement confondre la cause et l'effet, c'est ajouter la cause à l'effet. L'erreur n'est pas toujours évidente. Où finit la promenade et où commence le transport utile? L'essence que l'on détaxe pour que l'agriculteur puisse labourer au tracteur n'ira-t-elle pas remplir les réservoirs de la 2 CV qui le conduit au cinéma, au détriment de la production des vaches laitières qui continueront à tirer la charue? Les tarifs dégressifs qu'Electricité de France destine à généraliser l'emploi de la force motrice ne bénéficieront-ils pas d'abord à la clientèle qui peut s'offrir un éclairage de luxe, pendant que le petit artisan hésitera devant l'électrification de sa scie à bûches ou de sa machine à coudre?

La distinction entre l'énergie « productivité » et l'énergie « commodité » n'est donc pas très facile. Même approchées, les statistiques qu'elle permet d'établir n'en échappent pas moins aux principaux reproches que l'on peut adresser aux comparaisons globales.

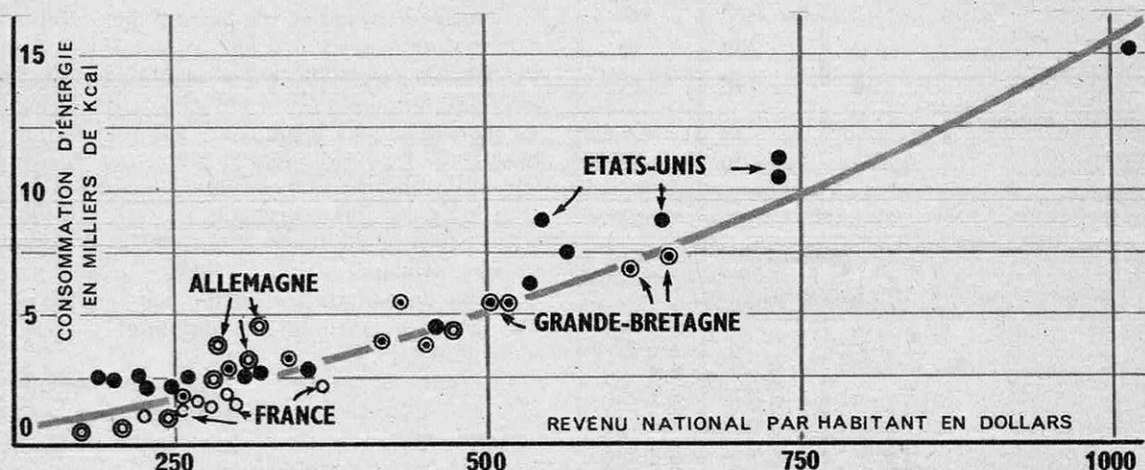
Les tableaux page 24 donnent ces deux consommations pour un certain nombre de pays d'Europe, d'après le rapport du 10 mai 1955 demandé à M. Louis Armand par l'O.E.C.E. Le classement, établi d'après les consommations d'énergie « productivité », correspond assez bien à celui qu'on peut attribuer à l'industrie de ces pays; il montre tout le retard de l'industrie européenne sur l'industrie américaine.

Le classement suivant l'énergie « commodité » met en évidence l'écart considérable entre les consommations, plus accentué même que celui des niveaux de vie. Si l'on ne s'étonne pas de trouver l'Italie, le Portugal et la Turquie aux trois derniers rangs, quelques corrections de-

avant celle de la production. L'ordre suivi habituellement pour l'électricité est l'inverse; il suffit à marquer combien son cas est particulier, et que les crises de surproduction ne la menacent point.

La production d'électricité suit une loi de croissance approchée simple: elle double tous les dix ans, ce qui correspond à un taux annuel d'accroissement d'un peu plus de 7%. Les circonstances entraînent naturellement des fluctuations plus ou moins accusées autour de ce chiffre. Pendant la deuxième guerre mondiale, les travaux d'extension avaient été interrompus presque partout. En Europe, les installations avaient souffert. Le redressement a été rapide et le retard rattrapé. Le doublement n'a demandé que sept ans, avec un taux moyen d'accroissement d'environ 9%, atteignant même 11,6% en 1951. Puis s'est manifestée une tendance au fléchissement: 7% en 1952, 5,7% en 1953.

Dans la période d'euphorie actuelle, la pro-



La consommation d'énergie suit le niveau de vie. Pour la période 1850-1950, la relation

entre la consommation d'énergie nette et le revenu national apparaît clairement sur ce diagramme.

vraient cependant être apportées au classement. La plus sérieuse vise la Grande-Bretagne, qui occupe de très loin la première place devant d'autres pays de niveau de vie assez voisin. Le classement s'explique ici par l'énorme gaspillage de charbon que le consommateur britannique accepte pour son chauffage. Du même point de vue, les conditions climatiques en Italie, au Portugal et en Turquie, permettent une économie importante de chauffage.

La production et la demande d'électricité

Dans les différentes industries, la production est, en général, conditionnée par la demande. On a donc l'habitude, dans une analyse économique, de considérer l'évolution de la demande

de production d'électricité ne peut être qu'en rapide croissance. En France, le taux d'accroissement pour 1954, avec une production de 45,6 milliards de kWh, atteignait 9%, il a été encore dépassé en 1955. Les plans d'expansion, nécessairement établis à longue échéance, doivent aplanir ces oscillations. Sur la base du doublement tous les dix ans, loi qui se vérifie, du moins à long terme, pour les pays les plus divers depuis un demi-siècle, la production française devrait atteindre 70 milliards de kWh en 1961 et 100 milliards en 1966.

Cette production doit satisfaire une consommation d'électricité qui résulte du jeu combiné de deux facteurs, l'un qui est directement sensible aux variations de l'activité économique, l'autre qui représente l'extension progressive de

ÉNERGIE "PRODUCTIVITÉ"

PAYS	ÉNERGIE CONSOMMÉE PAR L'INDUSTRIE (MILLIARDS DE KWH)	NOMBRE D'OUVRIERS INDUSTRIELS (MILLIERS)	ÉNERGIE CONSOMMÉE PAR OUVRIER (MILLIERS DE KWH PAR OUVRIER)
ÉTATS-UNIS	2 910	16 630	175
BELGIQUE-LUXEMBOURG	141	1 455	97
ALLEMAGNE	779	8 860	87
GRANDE-BRETAGNE	800	9 440	85
FRANCE	391	5 830	68
PAYS-BAS	84	1 350	62
NORVÈGE	22	370	60
SUÈDE	51	1 040	49
DANEMARK	26	570	46
IRLANDE	7	200	33
ITALIE	126	3 990	31
ENSEMBLE DES MEMBRES DE L'O.E.C.E.	2 479	44 000	56

ÉNERGIE "COMMODITÉ"

PAYS	CONSOMMATION DO- MESTIQUE ET DIVERS (MILLIARDS DE KWH)	POPULATION (MILLIERS)	ÉNERGIE CONSOMMÉE PAR HABITANT (MILLIERS DE KWH PAR HABITANT)
GRANDE-BRETAGNE	684	50 900	13,5
BELGIQUE-LUXEMBOURG	69	9 000	7,6
ALLEMAGNE	359	49 000	7,3
PAYS-BAS	56	10 500	5,3
SUÈDE	36	7 200	5
FRANCE ET SARRE	191	43 800	4,4
NORVÈGE	12	3 400	3,5
IRLANDE	10	2 900	3,4
DANEMARK	10	4 400	2,3
AUTRICHE	14	7 000	2
ITALIE	32	47 600	0,7
PORTUGAL	3	8 600	0,4
TURQUIE	5	22 500	0,2

l'utilisation de cette forme particulière d'énergie. L'expérience montre, en effet, que dans les périodes de récession légère, comme celle de 1952-1953, succédant à une période d'activité intense, la consommation d'électricité continue à croître à un rythme souvent rapide, alors que les indices de l'activité économique restent stationnaires ou progressent plus lentement.

Il est aisé de préciser cette différence, qui marque l'extension propre du domaine électrique, en faisant le rapport de la consommation d'électricité à la production industrielle. Si l'on affecte la valeur 100 à l'année 1950, on trouve que ce rapport passe, pour la France, à 103 en 1951, à 107 en 1952, à 110 en 1953.

Le prix de l'électricité

Le coût de production de l'électricité, comme son prix de vente, sont des questions beaucoup plus complexes que sa production et sa consommation.

Le prix de vente se rapporte à des produits qui, malgré leur estimation commune en kilowatts-heure, ne sont pas comparables. Quelle commune mesure y a-t-il entre l'énergie fournie au consommateur domestique, garantie 24 heures par jour et 365 jours par an, que la clientèle peut absorber ou refuser à sa discrétion, et celle de certains utilisateurs de l'électrochimie et de l'électrometallurgie à qui elle n'est garantie que pendant quelques heures, ou aux producteurs de carbure de calcium qui ne travaillent guère qu'avec les disponibilités d'avril à septembre ?

Le coût lui-même est infiniment variable. Doit-on se référer à un coût moyen, où se mélangeront les prix de revient de centrales hydroélectriques anciennes installées aux emplacements les plus favorables et depuis longtemps amorties, ou à un coût « marginal », celui des plus chères des installations nouvelles que le développement de la consommation oblige à créer ?

Du prix de vente et du prix de revient, c'est le premier qui, en faisant les distinctions nécessaires, est le plus accessible à l'étude. Il a été jusqu'ici en diminuant dans une mesure assez large. Pour s'en tenir à l'évolution depuis la deuxième guerre mondiale, l'indice du « prix moyen réel » du kilowatt-heure, défini comme le rapport du prix moyen de vente au coût de la vie, et fixé arbitrairement à 100 pour 1938,

← **Le premier tableau** fait ressortir l'ordre de grandeur de l'énergie disponible pour la production par ouvrier (des mines et carrières et de l'industrie, mais pas de la construction), tandis que le deuxième répartit l'énergie consommée pour les usages domestiques et divers entre tous les habitants (année 1953).

est tombé en France à 66 en 1950, à 55 en 1952. La diminution est moindre dans les pays où le prix de vente 1938 était relativement plus bas : l'indice 1952 est 82 pour l'Allemagne, 69 pour la Suède, 68 pour la Grande-Bretagne.

Mais cette baisse de prix de vente ne doit pas masquer les différences considérables qui subsistent encore entre les différents pays. Pour cette évaluation, la référence monétaire n'est pas la plus exacte; il est plus rationnel de les comparer au prix de la main-d'œuvre : le rapport précisera le nombre d' « esclaves mécaniques » que peut s'offrir l'homme.

Le tableau ci-dessous, établi par M. Armand, donne cet équivalent d'une heure de travail en kWh, séparément pour l'usage industriel et l'usage domestique. Les différences d'un pays à l'autre sont très grandes, sans que l'on puisse dire si elles traduisent des différences dans les prix de l'électricité ou dans le taux de rémunération de la main-d'œuvre. D'ailleurs, comme nous l'avons dit ci-dessus, en matière de prix de l'électricité, seules des comparaisons portant sur un « type » précis de fourniture ont un sens. Dire sans préciser davantage que « l'énergie » est plus chère ou moins chère dans un pays que dans un autre n'en a pas, sauf, à la rigueur, dans certains cas extrêmes.

L'évolution du prix de revient

De nombreux facteurs ont contribué dans le passé à réduire le prix de revient : amélioration du rendement des unités hydrauliques et surtout thermiques; concentration des usines, réduisant les frais d'exploitation; accroissement du volume des ventes avec diminution de l'incidence des frais généraux; politique tarifaire qui a favorisé le développement d'applications très diverses, provoqué l'écrasement de la « pointe » de charge et l'augmentation de la consommation en heures creuses, donc relevé le taux d'utilisation de l'équipement.

Mais les techniciens estiment communément que la période de coût décroissant est passée; on s'achemine vers une période de coût constant ou même légèrement croissant. La consommation spécifique de charbon pourra difficilement être abaissée au-dessous de celle des centrales thermiques les plus récentes; l'aménagement hydraulique exige des constructions de barrages sur des sites moins favorables et devient de plus en plus onéreux.

Ces chiffres, qui n'indiquent qu'un ordre de grandeur, concernent uniquement l'énergie électrique. Ils mettent en évidence le faible coût de l'énergie aux Etats-Unis par comparaison avec l'Europe (sauf la Suède) et que l'énergie « commodité » est plus chère que l'énergie « productivité ».

Peut-on espérer que l'apparition des sources nouvelles d'énergie, atomique ou thermonucléaire, renversera cette tendance au renchérissement? Le combustible n'entre guère que pour le tiers dans le prix de revient du kilowatt-heure aux bornes d'une centrale moderne. Le prix de revient de la vapeur tomberait-il à zéro qu'il resterait encore une forte part de dépenses incompressibles.

Aussi sera-t-il sage, dans la plupart des pays, de n'attendre aucune baisse sérieuse sur le montant de la facture d'électricité du petit consommateur.

La grosse industrie, par contre, pourrait être plus favorisée dans la mesure où elle disposerait, pour des fabrications exigeant beaucoup d'énergie, de gros blocs de puissance à bas prix et à proximité de ses installations.

La consommation industrielle

Malgré le développement de la consommation domestique, l'industrie reste le consommateur principal d'énergie, sous forme électrique ou autre.

Les plus gros consommateurs sont l'électrochimie et l'électrometallurgie. Pour certains, la forme électrique de l'énergie est une nécessité absolue; ce sont tous ceux qui l'absorbent pour des réactions d'électrolyse; on ne voit guère l'industrie de l'aluminium ou de produits déco-

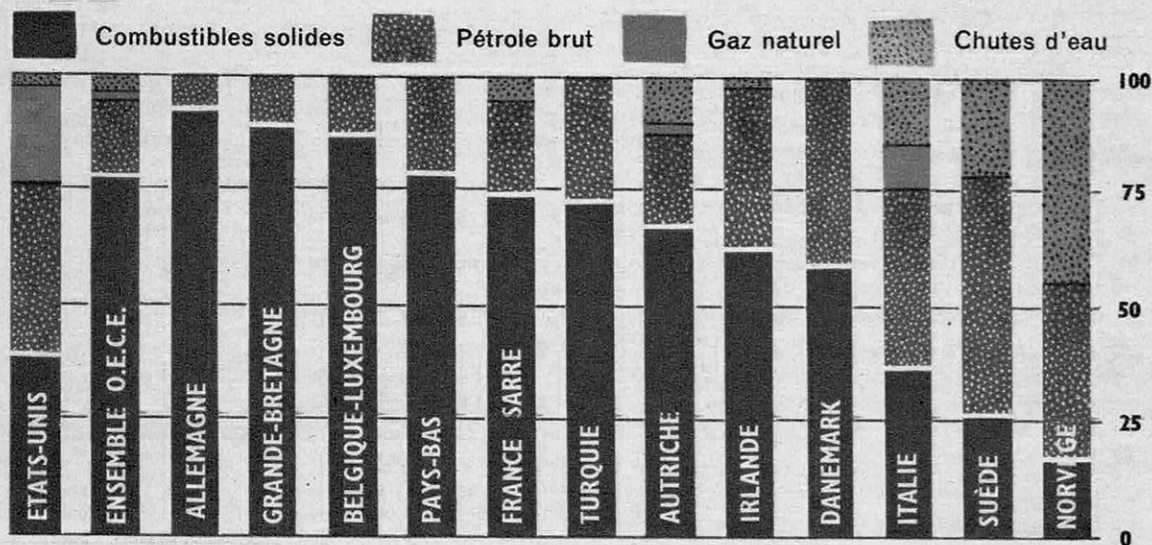
ÉQUIVALENT D'UNE HEURE DE TRAVAIL EN KWH

PAYS	USAGE INDUSTRIEL (PRODUCTIVITÉ)	USAGE DOMESTIQUE (COMMODITÉ)
ETATS-UNIS	100	32
SUÈDE	130	24
SUISSE	43	33
GRANDE-BRETAGNE	32	25
ITALIE	19	4
ALLEMAGNE	16	7
FRANCE	16	5
AUTRICHE	15	14
PAYS-BAS	15	4
BELGIQUE	13	7

lorants à base de chlore fonctionnant sans courant. Pour d'autres, ce n'est qu'une source commode de températures élevées; telle est la fabrication du carbure de calcium, ou l'obtention des aciers fins au four électrique.

L'électrochimie et l'électrometallurgie sont capables d'absorber longtemps encore les excédents à bas prix d'électricité. Ce seront les débouchés normaux des énormes ressources hydroélectriques de l'Afrique équatoriale, dont la France commence à découvrir l'application

qu'elle produit elle-même; elle en revend même parfois, à moins qu'elle ne préfère déverser ses excédents de production gazière dans le réseau général de distribution. L'industrie de la pâte à papier est, relativement, un consommateur beaucoup plus important; le défilage du bois pour la fabrication de la pâte mécanique absorbe une force motrice considérable; la fabrication de la pâte chimique en réclame moins, mais demande par contre davantage d'énergie thermique. Ces productions, les plus importantes



Importance relative des diverses sources primaires d'énergie dans la consommation totale de l'énergie brute pour quelques pays. Ces pourcenta-

ges, établis en traduisant toutes les énergies en kWh, pourraient, calculés d'après les équivalents charbon, différer légèrement pour certains pays.

possible à l'industrie de l'aluminium, cinquante ans après que les ressources semblables de la Norvège ont été employés à de tels usages.

Mais le principe de la combinaison du transport par mer et du traitement local des produits absorbant une quantité d'énergie élevée eu égard à leur poids, ne se limite pas aux usines hydroélectriques; les usines thermiques, notamment à partir du gaz naturel mal utilisé, conviennent tout aussi bien. L'Alcoa produit depuis quelques années de l'aluminium au Texas à partir de groupes électrogènes alimentés au gaz. Tolérera-t-on le gaspillage qu'est la combustion en « torche » des énormes volumes de gaz inutilisés au Moyen-Orient, alors qu'on acceptera de coûteux travaux pour développer en Europe Occidentale la production d'électricité destinée à la fabrication d'engrais azotés ou d'aluminium qu'on enverra aux nations arabes en paiement de leur pétrole?

L'industrie lourde, ou certaines de ses branches du moins, comptent également parmi les gros consommateurs d'électricité. En réalité, la sidérurgie ne consomme guère que l'énergie

de celles qui alimentent le commerce d'exportation de la Suède, expliquent la grosse consommation d'électricité de ce pays.

Les industries de transformation des métaux et de constructions mécaniques ne comptent pas parmi les plus gros consommateurs. La multiplication des machines-outils qui garnissent les ateliers d'usinage ne doit pas faire illusion, car la plupart n'ont qu'une faible puissance. Les consommations les plus élevées, que l'on ait enregistrées le plus récemment, se rapportent à d'autres besoins que ceux de la force motrice pour machines; les fours pour traitements thermiques, le séchage des peintures à l'infrarouge, sont des conquêtes de l'électricité où celle-ci triomphe de la concurrence par sa facilité de mise en œuvre et son réglage précis.

L'industrie légère, où la transmission par courroies d'une force motrice prise sur une ligne d'arbre entraînée par machine à vapeur à disparu depuis près d'un demi-siècle au profit de la commande électrique individuelle, est un consommateur moins important encore. Plus les pièces sur lesquelles on travaille sont petites,

plus est importante la part de la main-d'œuvre, du contrôle, etc. Ce n'est évidemment pas d'une industrie comme celle de l'horlogerie, si complètement électrifiée soit-elle, que les producteurs d'électricité peuvent attendre un gros accroissement des ventes.

La consommation domestique

Il est assez difficile de séparer la consommation domestique de certaines autres, notamment, dans les campagnes, des usages proprement agricoles.

La consommation domestique, surtout si on la rapporte au nombre d'habitants, varie évidemment dans de très larges limites d'un pays à l'autre. Le niveau de vie n'est pas seul en cause et les conditions climatiques expliquent, pour une grande part, que l'Italie, le Portugal et la Turquie consomment cinq ou dix fois moins d'électricité domestique que les pays du nord de l'Europe.

Les études internationales faites par l'O.N.U., par l'O.E.C.E. et par U.N.I.M.A.R.E.L. dans le cadre de l'Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique ont mis en évidence quelques caractères de cette consommation.

Le premier est sa croissance beaucoup plus rapide que celle de la consommation industrielle au cours des dernières années. La pénurie de combustibles au lendemain de la guerre y a été pour beaucoup ; la clientèle, une fois équipée pour l'emploi de l'électricité, l'a souvent continué lorsque la concurrence des combustibles qu'elle remplaçait a repris.

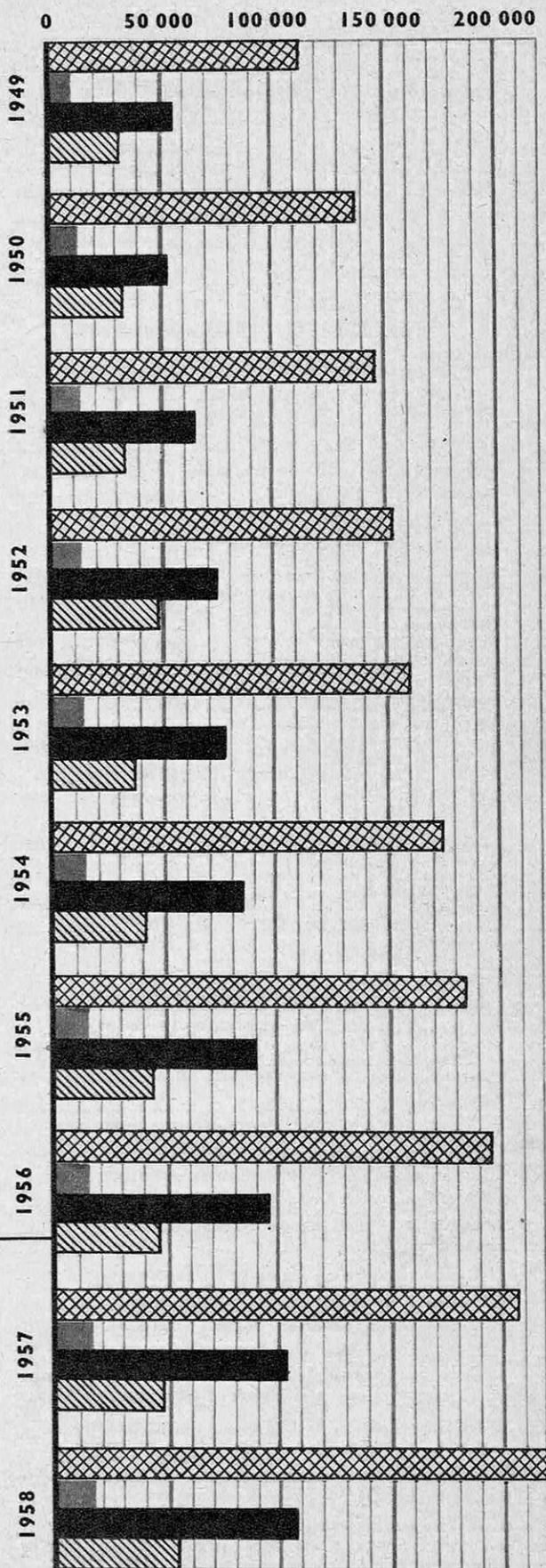
Mais dans beaucoup de pays, et en France notamment, l'usager considère encore l'électricité comme une dépense de luxe qu'il réduit au minimum sans apprécier exactement les diverses consommations.

Eclairage et chauffage

Pour l'éclairage, l'électricité jouit d'un monopole indiscuté. Depuis la lampe à filament jusqu'à l'éclairage par fluorescence, la consomma-

Répartition de la consommation d'énergie entre les grands secteurs d'utilisation pour les pays européens. La progression s'est montrée suffisamment régulière dans tous les domaines depuis 1949 pour que les prévisions poussées jusqu'à 1958 ne comportent qu'une faible marge d'erreur.

Consommation industrielle
 Traction
 Pertes
 Commerce, Éclairage public et privé, Artisanat, Agriculture, Usages domestiques



tion spécifique s'est réduite au moins dans le rapport de quinze à un ; les éclairages privés ou public, largement calculés, ne sont peut-être pas toujours une nécessité, mais ils ne sont du moins guère coûteux.

La manie de circuler dans un appartement en fermant l'éclairage de la pièce d'où l'on sort pour l'allumer dans celle où l'on entre, qui intrigue l'Américain arrivant en Europe, n'a vraiment plus de justification.

Appareillage électrodomestique

La compétition entre l'électricité et les autres formes d'énergie se fait beaucoup plus vive dès qu'il s'agit de chauffage. Le gaz détient une position qu'il est difficile de lui enlever, surtout dans les pays comme les Etats-Unis où le gaz, naturel ou manufacturé, peut concurrencer non seulement l'électricité, mais le charbon et le pétrole. Le chauffage électrique des appartements n'est guère répandu que dans les pays (Norvège, Suède...) où l'électricité est en abondance et à bas prix, alors que le combustible doit être importé. Dans les autres, l'électricité n'étend progressivement ses applications au chauffage que dans la mesure où la commodité l'emporte sur le désir d'économie. Le fer électrique vient en premier ; le réfrigérateur (qui n'est chauffage que pour les petits modèles à absorption) ensuite ; le chauffe-eau et la cuisinière électrique enfin. Au surplus, l'extension à la cuisine poserait de sérieux problèmes de distribution si elle se généralisait et si un nombre important d'abonnés ajoutaient à la pointe de midi l'allumage de deux ou trois feux d'un kilowatt chacun pour la préparation de leur repas.

Aussi Electricité de France dirige son effort de publicité sur les applications telles que le chauffe-eau électrique, beaucoup moins dangereuses pour elle, surtout avec les tarifs spéciaux de nuit.

L'électricité conserve encore sa position privilégiée pour tous les appareils domestiques faisant appel à la force motrice : mixers, moulins à café, machines à laver, à coudre, aspirateurs, postes récepteurs de radiodiffusion et de télévision, etc.

Le marché de l'appareil électro-domestique ouvre aux fabricants un débouché énorme pour de nombreuses années encore, dans la plupart des pays d'Europe et de France notamment. Les efforts de la publicité commencent à enseigner aux Français les avantages du réfrigérateur ; il reste beaucoup à faire pour le chauffe-eau et la cuisine électrique, surtout dans les régions rurales où leur choix se justifie plus facilement en l'absence de distribution gazière. L'exemple de la Grande-Bretagne, où les abonnés des campagnes ont cinq à six fois plus de chauffe-eau et

de cuisinières électriques que dans les régions rurales françaises, montre tout le retard qui reste à combler.

L'intérêt général et le point de vue du consommateur

La concurrence entre l'électricité et les autres formes de l'énergie pose un problème de choix, où les considérations techniques et économiques doivent être pesées à la fois par le client qui se guidera selon son intérêt particulier, et par les autorités qui disposent de nombreux moyens, de l'imposition à la subvention, pour défendre l'intérêt général.

Le rendement énergétique a fréquemment été proposé, par les techniciens notamment, comme critère pour guider les représentants de l'intérêt général. Peut-on admettre qu'on se chauffe à l'électricité, en envoyant au fleuve voisin, avec les eaux tièdes du condenseur, les 3/4 ou les 4/5 de l'énergie calorifique du charbon qui est brûlé dans les chaudières de la centrale ? L'objection perd de sa valeur à mesure que les rendements des centrales thermiques s'élèvent et que les applications demandées au chauffage électrique portent sur une dépense moindre. On peut sacrifier sans remords un gramme de charbon pour chauffer l'eau d'une tasse de thé, si l'on évite d'avoir à se transporter dans une cuisine, à décrocher une casserole, allumer un réchaud à gaz, ébouillanter une théière. L'énergie dépensée n'est donc pas le seul critère ; la commodité d'emploi intervient au même titre. Le jeu des prix, et lui seul d'ailleurs, est par nature même susceptible de tenir compte de tous les facteurs économiques et extra-économiques.

L'intérêt individuel, résultat de la balance entre la commodité et le prix qu'on consent à payer, est parfaitement défendable tant que les prix ne sont pas artificiellement faussés. Mais cette comparaison suppose une éducation de la clientèle, domestique du moins, qui reste presque entièrement à faire. Combien d'abonnés font la distinction entre le kilowatt et le kilowatt-heure, quand ils tolèrent sans protester que la moitié au moins des journalistes qui entendent les mettre au courant du progrès de l'électricité emploient indifféremment ces deux termes ? Combien savent que le disque du compteur, dont chaque tour correspond à une dépense gravée sur l'appareil, leur permet de mesurer en quelques secondes la consommation d'une lampe ou d'un réchaud, et de constater, par exemple, que celle du transformateur pour sonnerie, branché en permanence, est presque toujours un don gracieux d'Electricité de France à ses abonnés ?

Camille ROUGERON

*Par ses grandes enquêtes,
Ses reportages exclusifs,
Ses actualités du monde entier,*

**SCIENCE
VIE**
et

**chaque mois, informe l'homme
et la femme modernes
des découvertes et des progrès de tous
les jours qui bouleverseront demain
leurs conditions d'existence.**

Comment s'adaptent à chaque instant PRODUCTION ET CONSOMMATION

UN grand quotidien précisait récemment que le nombre des voitures qui circulent, ou plutôt qui tentent de circuler à Paris, est passé de 400 000 en 1938 à 900 000 en 1955.

Sait-on que, pendant le même laps de temps, la consommation annuelle d'électricité de la région parisienne est passée de 2 500 millions à environ 6 800 millions de kWh ? Ainsi, sans créer d'engorgements spectaculaires, l'électricité a progressé depuis l'avant-guerre plus vite que l'automobile.

Le rythme de cette progression, sensiblement le même dans des pays aussi divers que la France, les U.S.A. et la Turquie, a déjà été souligné dans le chapitre précédent : abstraction faite des périodes de guerre ou de crise grave, la consommation double tous les dix ans. En 1955, elle a représenté près de 50 milliards de kWh. C'est là un chiffre global : au cours d'une même année, les consommations mensuelles sont différentes. En dehors des périodes de congé, et sauf événements nationaux ou internationaux, l'activité industrielle de la France est en accroissement lent tout au long de l'année, alors que la consommation domestique est essentiellement fonction des heures de lever et de coucher du soleil.

Au cours des 24 heures de la journée, la consommation d'énergie électrique suit l'activité du pays :

- de 2 h à 5 h, l'activité est réduite : seuls fonctionnent la traction électrique, l'éclairage public et les industries à feu continu ; c'est le point bas de la journée ;
- de 5 h à 8 h 30, l'activité croît constamment ; la responsabilité en incombe à l'éclairage des foyers domestiques avant le lever du jour, au démarrage des usines, ateliers, chantiers, ainsi qu'à une accélération du rythme des transports ;
- vers 9 heures, la consommation atteint son

maximum ; c'est ce que l'on appelle la « pointe » du matin, suivie, vers 9 h 30, d'une baisse due au lever du jour ainsi qu'au ralentissement de la traction électrique ; la consommation reste égale jusqu'en fin de matinée ;

- entre 12 h et 14 h, une forte baisse que les spécialistes appellent « creux de midi » correspond à l'arrêt du déjeuner dans les usines, ateliers, bureaux...
- puis la consommation croît jusqu'à 18 h suivant la saison. Ce maximum correspond à la pointe d'éclairage qui se situe au coucher du soleil ;
- enfin, la consommation décroît très progressivement jusqu'à 2 h du matin, le lendemain.

La répartition géographique

D'une extrémité à l'autre du territoire français, la consommation d'énergie électrique n'a pas la même structure. Ceci tient au caractère industriel ou agricole des différentes régions et à la manière de vivre de leurs habitants.

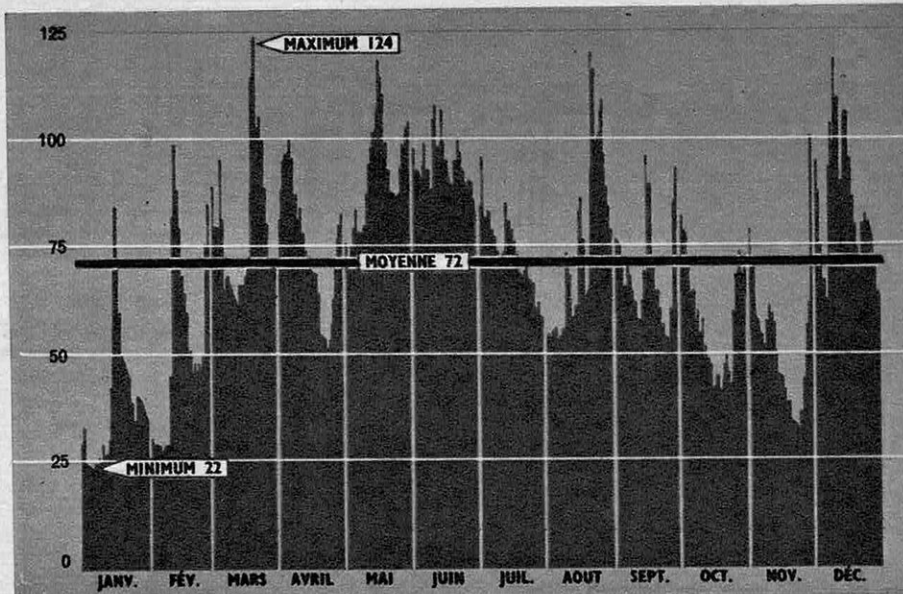
C'est ainsi que la région du Nord est fortement influencée par les industries employant beaucoup de main-d'œuvre, et la consommation varie peu au cours des heures normales de travail ; la pointe du soir est inexistante, car la consommation domestique est faible par rapport à la consommation industrielle. La région parisienne, au contraire, a une consommation très influencée par les usages domestiques et l'éclairage ; la pointe « lumière », le soir, est très importante.

La production

La production est assurée par des usines hydrauliques et des usines thermiques. Avec le développement de l'interconnexion, le vocabulaire

L'énergie hydraulique

disponible au fil de l'eau accuse de fortes variations au cours de l'année, comme le montre le graphique ci-contre de la productibilité hydraulique journalière en millions de kWh pour 1954. Il est donc indispensable de la suivre journellement pour adapter à ses fluctuations l'apport des autres sources d'énergie.



« centrales » tend à disparaître ; il ne se justifie plus comme autrefois où le réseau s'était fragmentairement développé autour d'usines centrales.

Maintenant, il existe un réseau de distribution aux abonnés, auquel se superpose un réseau de transport le desservant, lui-même alimenté par des usines.

Suivant la nature et la qualité du combustible utilisé, les usines thermiques sont classées en usines de base et en usines de régularisation.

Les premières utilisent généralement les déchets de la production charbonnière, appelés communément « bas produits » ; elles sont naturellement installées près du carreau des mines.

Il en existe également utilisant des gaz des hauts fourneaux ; on les trouve en totalité en Lorraine, à l'exception d'une installée en Normandie.

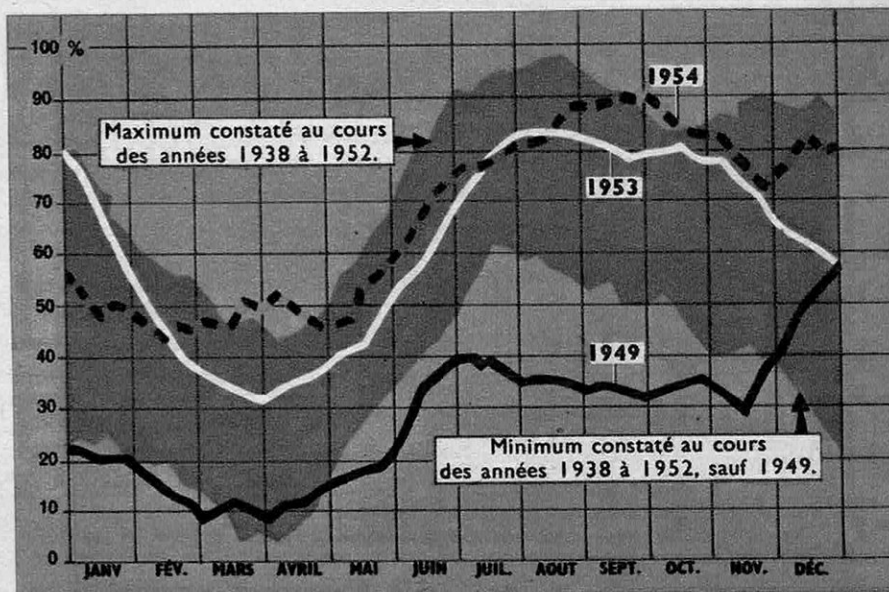
Les usines de régularisation utilisent des combustibles plus nobles, charbons industriels du commerce et huiles lourdes. Elles sont plus généralement installées près des centres importants de consommation ne pouvant être desservis abondamment par de l'énergie hydraulique ; c'est le cas de la moitié Nord de la France.

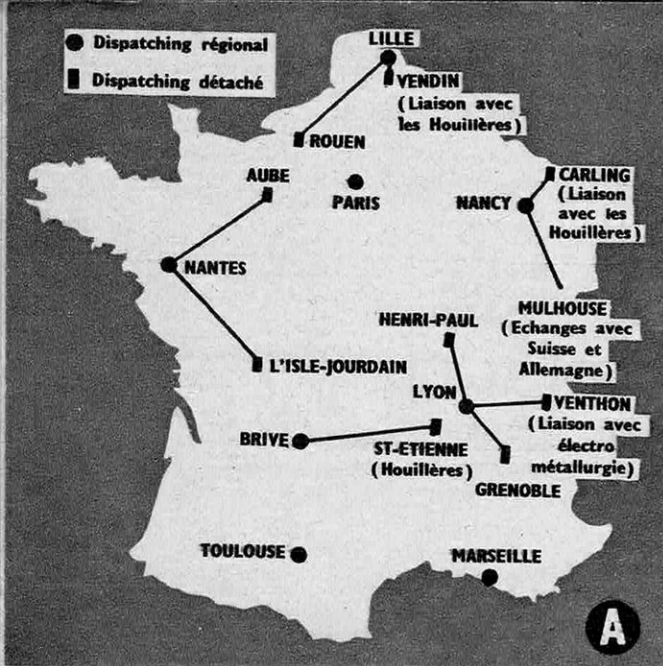
Les usines hydrauliques se classent en trois catégories :

— les usines « au fil de l'eau » qui ne disposent d'aucune réserve d'eau et dont la pro-

Le coefficient de remplissage des réservoirs

saisonniers subit, suivant les années, des variations considérables. On voit ici les courbes des années 1953 et 1954 et les courbes extrêmes pour la période 1938-1952. La courbe de 1949, qui fut une année exceptionnellement sèche, a été indiquée séparément en raison de l'extrême sévérité de ses minima.





duction dépend en totalité du débit instantané du cours d'eau ;

- les usines d' « éclusées », qui disposent d'un réservoir de faible capacité ne permettant d'accumuler que quelques heures du débit de la rivière ; on peut donc, en période de faibles débits, concentrer la production de ces usines aux heures de forte consommation ;
- les usines de lacs qui, placées en aval d'un grand réservoir, apportent un appoint saisonnier à la production, soit en périodes de basses eaux, soit en périodes de forte consommation.

L'emplacement des usines de lacs est tout naturellement en montagne, celui des usines d'éclusées également, mais quelquefois à des altitudes plus faibles. Quant aux usines au fil de l'eau, elles peuvent être indifféremment en montagne ou en plaine.

Cet appareil de production est réparti en France sur trois grandes régions :

- le Massif Central, alimenté par les pluies (régime atlantique) ;
- les Pyrénées, alimentées par les pluies et les neiges (régime atlantique) ;
- les Alpes (y compris le Rhin), alimentées par les neiges et la fonte des glaciers (régime semi-continentale).

Ces différents régimes n'étant pas synchronisés, la France a la chance de posséder une production hydraulique assez bien répartie au cours d'une même année.

Le Service des Mouvements d'Énergie

La coordination de la production et du transport de l'énergie électrique est assurée par le service des Mouvements d'énergie de l'Électricité de France. Il comprend essentiellement un

A Le Service des Mouvements d'Énergie comprend un dispatching central à Paris et huit régionaux. De plus, des dispatchings détachés sont adjoints à certains de ces derniers.

B Un jour de bonne hydraulicité, l'énergie hydraulique, qui doit être produite et consommée en priorité, est excédentaire et les mouvements d'énergie se dirigent du sud au nord.

C Un jour de mauvaise hydraulicité, la production des usines thermiques doit compenser le déficit des disponibilités hydrauliques et les mouvements se dirigent du nord au sud.

dispatching central et huit dispatchings régionaux (avec, éventuellement, un ou plusieurs dispatchings « détachés »).

Il va de soi, en effet, que le dispatching central de Paris ne pourrait contrôler directement avec efficacité les centaines d'usines, ni commander les manœuvres dans les postes répartis dans toute la France. Il joue donc le rôle d'un coordinateur général avec, sous sa responsabilité directe, les usines de régularisation thermiques et de lacs. Sauf exception, il n'est pas en relation directe avec les usines. Ce sont les dispatchings régionaux qui leur donnent des ordres, ainsi qu'aux postes du réseau à haute tension ; ils disposent d'une marge d'initiative suffisante pour faire face aux situations exceptionnelles (réseau de région plus ou moins isolé en cas d'incidents graves).

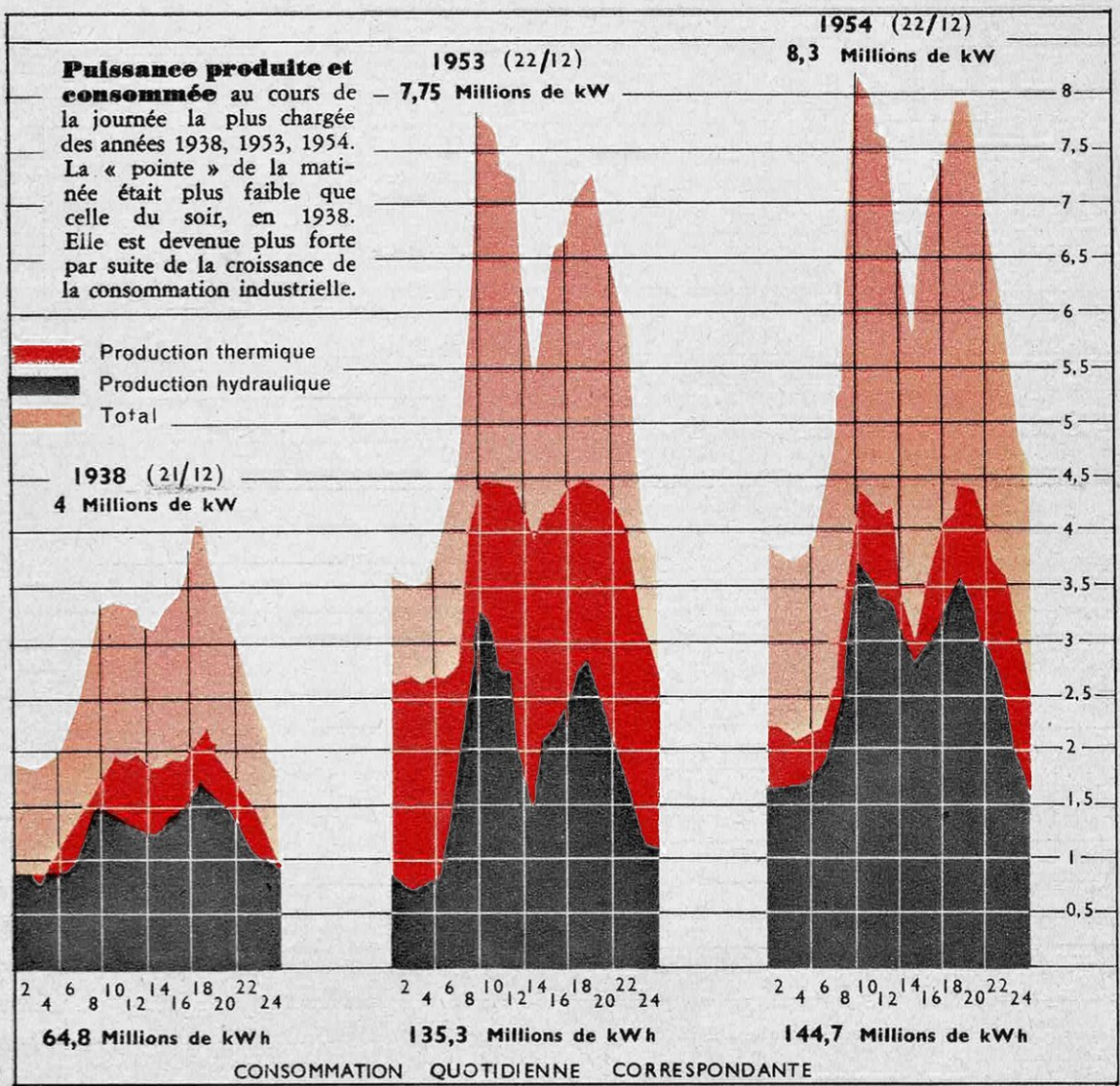
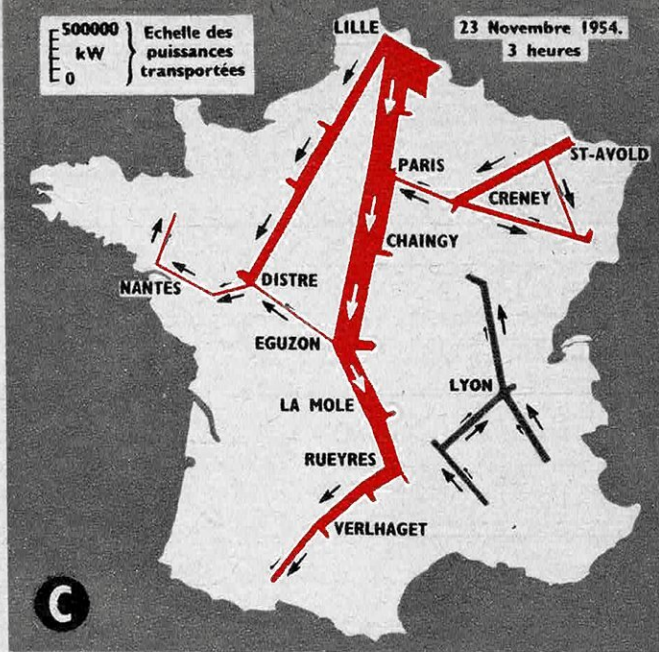
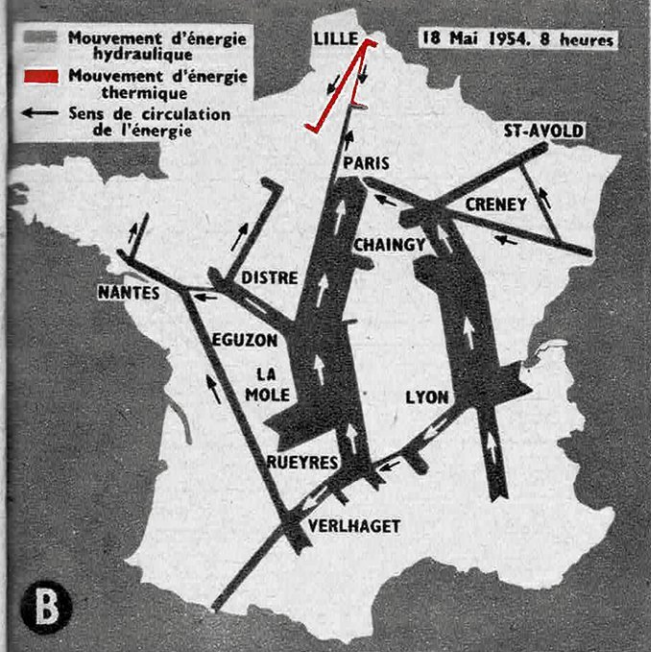
Le service des Mouvements d'Énergie a deux tâches essentielles : l'une de prévision (« Répartition »), l'autre d'exécution et de surveillance (« Dispatching »).

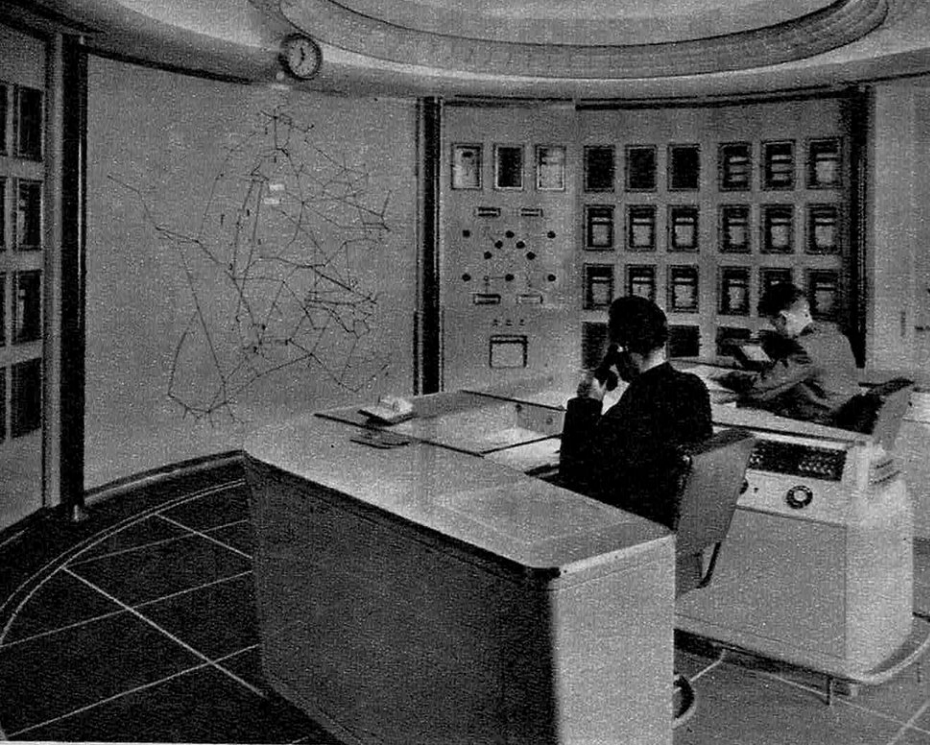
La « consommation France »

La mise en œuvre des moyens de production exige la connaissance préalable de la demande à satisfaire et des possibilités de production de l'équipement hydraulique.

Les huit dispatchings régionaux doivent transmettre chaque jour à la Répartition Centrale la consommation probable de leur région pour la journée du lendemain sous forme de « points puissance 1/2 horaire ». Partant des courbes de consommation réalisées les années précédentes à la même époque, tenant compte, d'une part de l'augmentation réelle observée les jours précédents par rapport aux jours correspondants de l'année précédente, d'autre part des prévisions météorologiques pour le jour étudié, on obtient une courbe de consommation pour chaque région avec des erreurs ne dépassant pas 2 à 3 %.

La Répartition Centrale, au reçu des consommations des huit centres, est donc à même de connaître la courbe « consommation France ».





← La salle du dispatching central à Paris.

Les opérateurs surveillent les charges sur les principales artères du réseau de transport et préviennent les déclenchements par surcharge.

Le dispatching régional « Messine » à Paris. Sur la cloison, face aux dispatchers, sont groupés tous les schémas et voyants lumineux qui les renseignent sur la situation du réseau. →

Cl. Samand

Disponibilités hydrauliques

De manière à connaître de façon précise, au jour le jour, les disponibilités hydrauliques, on détermine chaque matin l'énergie productible correspondant aux apports hydrauliques dans les 24 heures, d'après les renseignements téléphonés des usines aux dispatchings régionaux. Le dispatching central procède au calcul d'ensemble des disponibilités, tenant compte des déversements inévitables dus aux avaries, entretiens, etc., déduisant le stockage dans les réservoirs ou, au contraire, ajoutant la valeur de l'énergie à déstocker pour avoir le chiffre de production hydraulique à attendre pour la journée.

L'exploitation des réservoirs est assez délicate, car les prévisions d'apport demeurent très aléatoires. Les périodes de remplissage varient en fonction des régimes saisonniers des cours d'eau sur lesquels ils sont situés. La majorité se remplit avec les pluies de printemps accompagnant la fonte des neiges, mais les autres, de haute altitude, n'atteignent la fin de leur remplissage qu'en août et même en septembre, avec la fusion glaciaire.

Pour le remplissage, deux solutions se présentent :

- fermer le réservoir dès le commencement du remplissage de façon à avoir le plus de chances de le remplir en cas de faibles débits ; mais on risque, en fin de remplissage, des déversements importants si les débits restent alors élevés ;
- n'effectuer le remplissage que progressive-

ment (en continuant à turbiner une partie des apports), en fonction des débits moyens observés les années précédentes de façon à éviter les déversements. Le risque est d'avoir des débits réels inférieurs aux débits prévus, ce qui ne permettrait pas le remplissage des réservoirs.

De façon à disposer au moment opportun de la puissance et de l'énergie maximum, il est judicieux de chercher à obtenir le remplissage maximum tout en courant un léger risque de déversements.

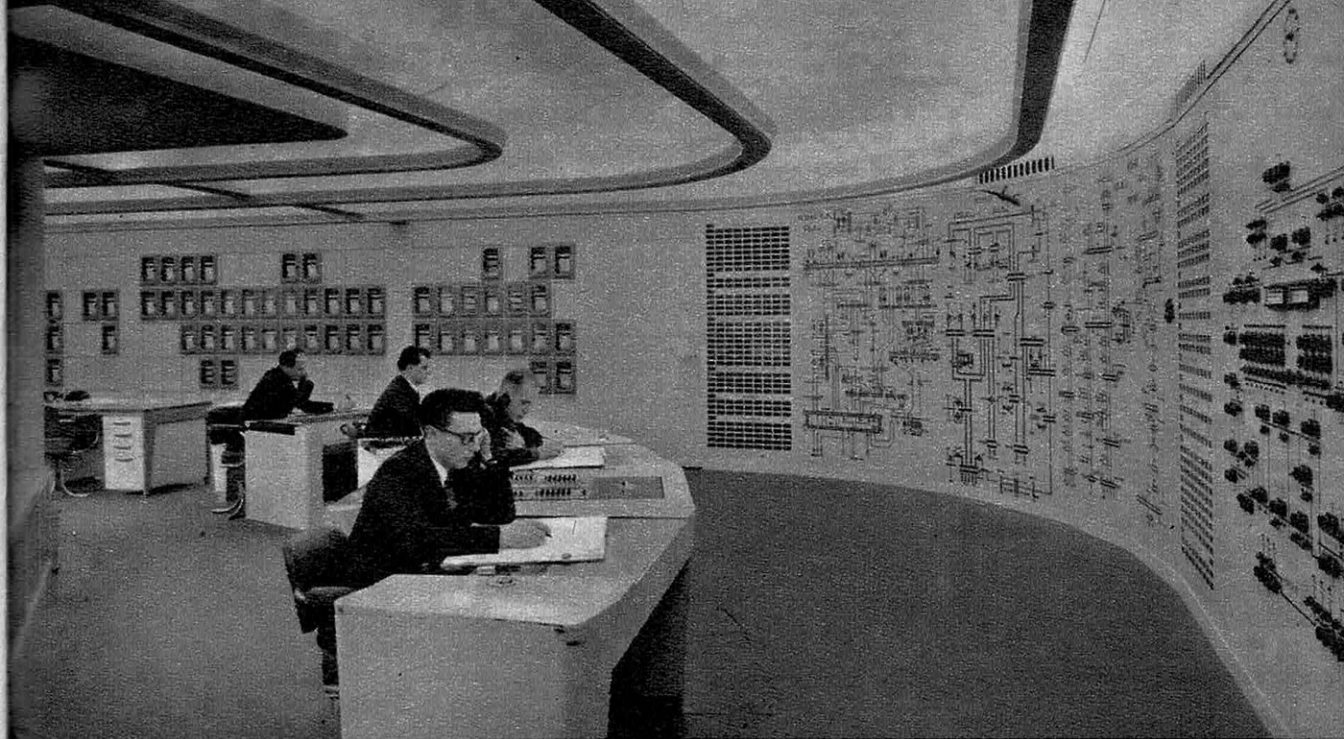
Quant à la vidange, elle peut être également conduite de deux façons différentes :

- soit vidanger en se basant sur les débits moyens des années passées, ce qui risque, en cas de faible hydraulicité, de conduire à une vidange prématurée ;
- soit vidanger en considérant les apports comme devant être minimum, ce qui, dans le cas de débits plus forts, conduirait à des déversements importants.

On cherche dans la pratique à atteindre, pour chaque réservoir, le niveau auquel on veut descendre pour le début de la période de remplissage, en retouchant la marche au fur et à mesure que l'on avance dans l'hiver, en fonction des débits réels observés.

Le programme de production

En possession de la courbe de consommation prévue pour le lendemain, et connaissant les possibilités de production dans toutes les usines, la Répartition Centrale transmet ses directives à



Cl. Samand

chacun des huit Centres Régionaux qui établit une courbe de production qu'il transmet par « point 1/2 horaire » au Dispatching Central.

Chacun des points de la courbe totalisée est comparé à celui de la courbe de consommation; il en résulte pour chaque point 1/2 horaire un écart positif, négatif ou nul.

La Répartition du Service Central effectue l'annulation de l'écart en prenant certaines précautions : les marches de faible durée sont attribuées à des usines de lacs et d'éclusées, pour que les thermiques aient toujours une utilisation journalière assez forte ; des usines sont mises en marche en des points de forte consommation, pour la sécurité de l'exploitation; enfin, une réserve tournante suffisante (de l'ordre de 300 000 kW) reste en service.

Si la courbe de production est plus faible que la courbe de consommation et si une augmentation de la production des usines de lacs n'est pas suffisante, il sera nécessaire de demander aux Centres le démarrage d'usines thermiques supplémentaires.

Enfin, si la courbe de production est nettement plus forte que la courbe de consommation et s'il n'est pas possible de diminuer le niveau thermique ou de réduire la production des usines de lacs, des programmes de déversements sont indiqués aux Centres.

Les usines thermiques sont classées en fonction du prix du combustible et de la consommation de celui-ci par kWh produit. C'est suivant cet ordre d'économie que les usines sont choisies pour leur démarrage.

Dispatching central

Le dispatching central suit l'exécution des programmes en surveillant en particulier l'équilibre production-consommation.

La fréquence du réseau général matérialisant la qualité de cet équilibre, le rôle du Dispatching Central est donc de tenir cette fréquence à 50 périodes par tous les moyens dont il dispose.

Lorsque la fréquence tend à diminuer, c'est-à-dire lorsque la production devient inférieure à la consommation, le Dispatching Central doit agir rapidement pour faire augmenter la production; il ferait le contraire dans le cas où la fréquence tendrait à augmenter.

Pour cela, il dispose, par l'intermédiaire des Dispatchings Régionaux, d'un certain nombre d'usines ou de groupes d'usines aptes à régler la fréquence. De nombreux facteurs interviennent dans leur choix suivant la politique d'exploitation du moment des usines de lac, la charge sur les lignes haute tension, les entretiens de matériels et de lignes et l'économie générale. L'usine de réglage n'a plus, à partir de ce moment, à s'occuper des programmes de production prévus la veille par la répartition, mais s'attache uniquement à faire varier sa production pour tenir l'équilibre général.

Pour correspondre avec les différents Centres Régionaux, le Dispatching dispose de liaisons téléphoniques par haute fréquence et de fils directs. Un abonnement au réseau Téléx assure la liaison avec l'étranger.

En plus de deux fréquencesmètres à échelles différentes, le Dispatching Central possède, par télémesure, l'indication des puissances passant à chaque instant sur les principales artères du réseau. Il surveille ainsi la charge sur les lignes et peut prévenir les déclenchements.

Les services régionaux

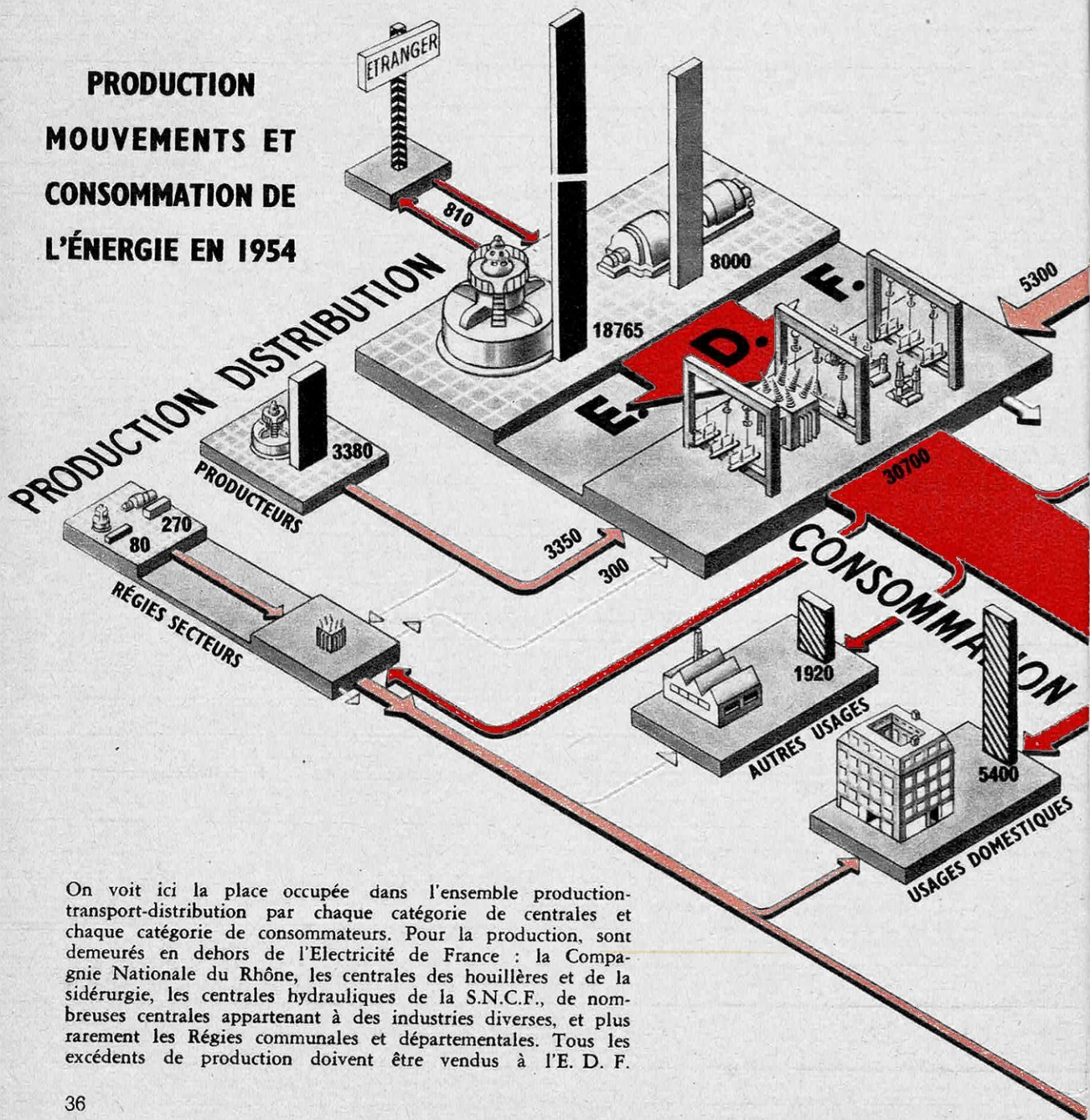
Chaque région établit sa prévision de consommation ainsi qu'il a été dit plus haut, et répartit la puissance totale à produire entre les différents moyens dont elle dispose. Elle le fait sous le signe de l'économie maximum d'après le classement des usines thermiques.

Aux considérations spécifiquement économi-

ques, viennent s'ajouter certaines sujétions, telles que le nombre de machines tournantes indispensables au maintien de la tension; le minimum technique « bouchon », c'est-à-dire la puissance minimum à produire par usine, nécessaire pour éviter la surcharge d'un transformateur ou d'un câble; la réserve tournante indispensable pour assurer la continuité de la fourniture de courant à une clientèle prioritaire.

On admet ainsi qu'un pourcentage important de consommation (70 % environ) peut être exceptionnellement privé de courant pendant quelques minutes pour sauver une situation compromise en cas d'incident grave.

Le service dispatching est continu, c'est-à-dire



On voit ici la place occupée dans l'ensemble production-transport-distribution par chaque catégorie de centrales et chaque catégorie de consommateurs. Pour la production, sont demeurés en dehors de l'Electricité de France : la Compagnie Nationale du Rhône, les centrales des houillères et de la sidérurgie, les centrales hydrauliques de la S.N.C.F., de nombreuses centrales appartenant à des industries diverses, et plus rarement les Régies communales et départementales. Tous les excédents de production doivent être vendus à l'E. D. F.

assuré chaque jour de 0 à 24 heures. La responsabilité primordiale du dispatcher est d'assurer, en toutes circonstances et avec les moyens dont il dispose, la sécurité et la continuité d'alimentation de l'ensemble des clientèles dont il a la charge.

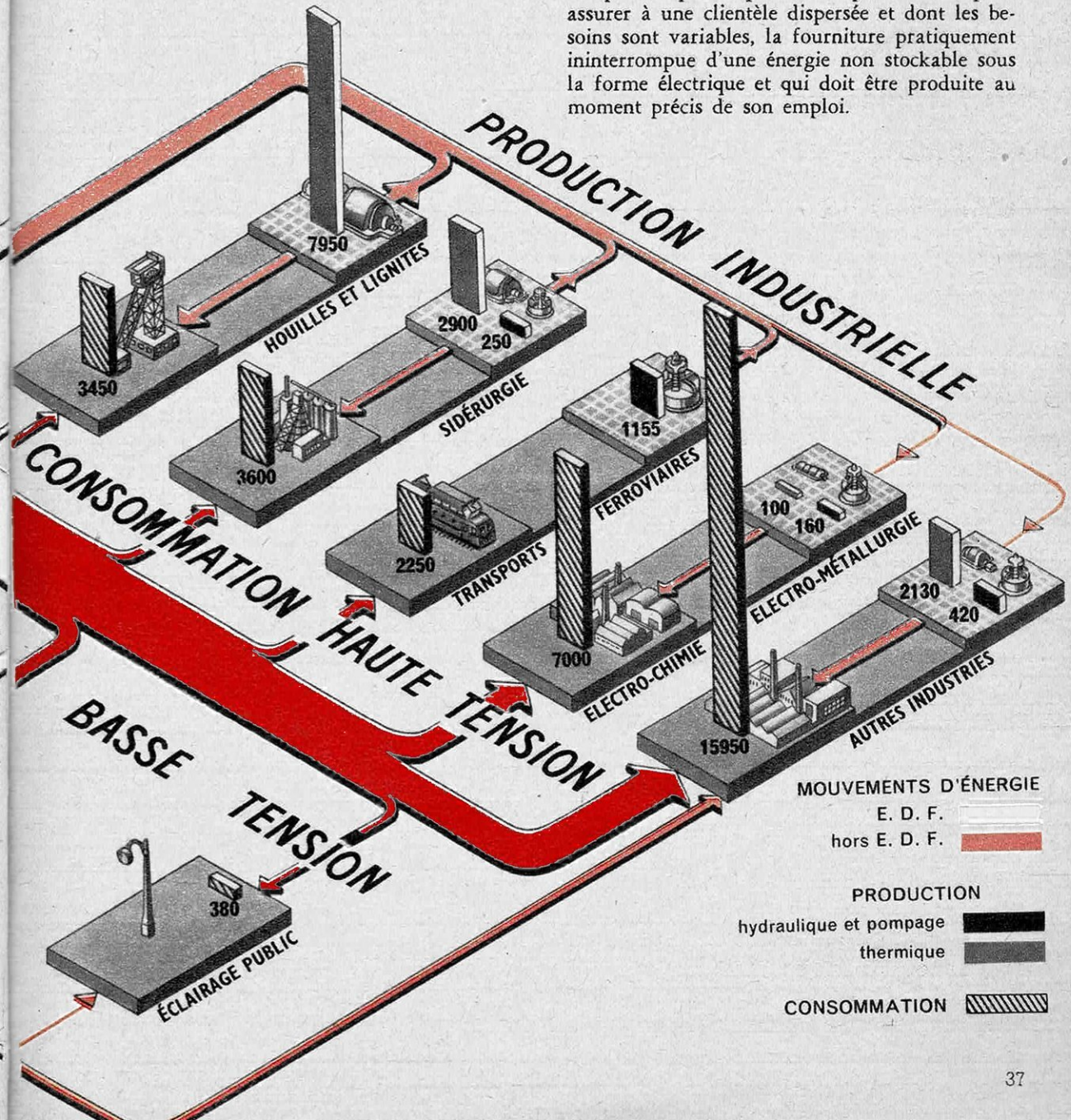
Son intervention est toujours téléphonique; il est donc indispensable qu'il dispose de plusieurs liaisons : lignes privées ou louées à demeure aux P.T.T. pour les centres éloignés; téléphonie haute fréquence sur les lignes de transport à haute tension pour les dispatchings voisins ou les postes éloignés; enfin réseau normal des P.T.T. en cas de défaillance des circuits privés.

Par ailleurs, chaque dispatching dispose

d'appareils de télémessure concernant les puissances, tensions, fréquences, en des points déterminés du réseau.

En cas d'incidents, la technique du dispatching n'est pas uniforme. Dans les régions où les puissances (production et consommation) sont très concentrées, la presque totalité des manœuvres est faite sur ordre exprès du dispatching. Au contraire, dans les régions où le réseau est moins dense, il existe beaucoup de consignes dites « autonomes », ou plutôt de jeux de consignes adaptés aux différentes situations, et les dispatchings notifient régulièrement la ou les consignes, désignées par des numéros, à appliquer tel ou tel jour.

Ainsi se trouvent résolus les problèmes complexes qui se posent en permanence pour assurer à une clientèle dispersée et dont les besoins sont variables, la fourniture pratiquement ininterrompue d'une énergie non stockable sous la forme électrique et qui doit être produite au moment précis de son emploi.



LES CHANTIERS DE Grandes centrales thermiques et

Le doublement de la consommation d'électricité tous les dix ans impose aux travaux d'équipement électrique une cadence vraiment hallucinante.

Lorsque les responsables de cet équipement en France jettent un regard en arrière et considèrent les magnifiques ensembles déjà réalisés : la Truyère avec Brommat et Sarrans, la Dordogne avec Bort et Chastang, le Rhône avec Génissiat et Donzère, le Rhin avec Kembs et Ottmarsheim, l'Isère avec Tignes et Randens, la région parisienne, les grandes centrales du Nord et de l'Est, qu'elles appartiennent à E.D.F., aux Houillères ou à la Sidérurgie, et les centaines d'aménagements de moindre importance, exécutés depuis cinquante ans, ont-ils le droit de se dire : « Nous avons pris quelque avance, nous pouvons ralentir notre effort ? » Bien au contraire, ils pensent : « Nous avons dix ans pour refaire tout cela, ou plus exactement pour refaire l'équivalent de tout notre système actuel de production. »

Ainsi le nouveau programme que proposent en ce moment les services d'équipement d'Electricité de France, superposé au programme en cours et compte tenu des apports de la Compagnie Nationale du Rhône, des Houillères et de la Sidérurgie, fera passer la production de 50 milliards de kWh en 1955 à 100 milliards en 1965.

Caractéristiques de la consommation

Le véritable problème à résoudre n'est pas de fournir au cours d'une année un certain nombre de milliards de kWh, mais bien de faire face à chaque instant, en tous les points du pays, à une demande d'énergie qui varie suivant les heures, les jours et les saisons.

Dans les premières années de l'industrie électrique, on construisait une usine pour alimenter une ville ou une industrie. A l'heure actuelle, un vaste réseau de transport à 150 kV et à 200 kV couvre l'ensemble du pays, et l'énergie produite en un point quelconque du territoire peut être consommée en n'importe quel autre point. Il n'est d'ailleurs pas possible d'individualiser cette énergie une fois lancée sur le ré-

seau; on peut dire que toute la production est mise en commun dans un vaste réservoir où puisent les divers utilisateurs.

Nous insistons sur ce point, car il est capital pour l'économie des programmes.

L'entraide possible entre les diverses sources d'énergie permet, en effet, d'alimenter avec sécurité l'ensemble du réseau avec un appareil de production dont la puissance utilisable n'est pas très supérieure au maximum de la puissance appelée.

Toutefois, tout en assurant un certain équilibre entre la production et la consommation sur l'ensemble du pays, l'interconnexion laisse subsister, dans le temps, des différences de consommation très importantes qui obligent à construire un appareil de production d'une puissance très supérieure à la puissance moyenne absorbée par la consommation.

Pour un jour ouvrable donné, la consommation de pointe est en effet sensiblement le double de la consommation des heures creuses; d'autre part, la consommation de décembre est supérieure d'environ 30 % à la consommation d'août; enfin, divers incidents viennent perturber brutalement la demande : c'est ainsi qu'un nuage sur la région parisienne peut, à certaines heures, en provoquant l'allumage d'un à deux millions de lampes, entraîner en quelques minutes un appel de puissance supplémentaire de plus de 100 000 kW.

En principe, il semble que l'on devrait tenir compte, pour l'établissement des programmes, de toutes les formes possibles des courbes de demandes prévisibles au cours des années à venir.

En fait, l'expérience montre que, si les centrales sont capables d'alimenter le réseau sans coupure pendant les 1 200 heures pleines de décembre, janvier et février, et en particulier pendant les heures de pointe de cette période, dite « période critique d'hiver », elles seront capables de le faire pendant toute l'année et en toutes circonstances.

Remarquons que la proposition ci-dessus n'est pas évidente : on pourrait concevoir, en effet, que l'on puisse satisfaire aux besoins de la pé-

GRANDS ÉQUIPEMENTS

aménagements hydroélectriques

riode critique en vidant les réservoirs, et qu'en-suite l'énergie fasse défaut. En fait, l'importance de l'équipement thermique et de l'équipement au fil de l'eau exclut cette dernière hypothèse.

Caractéristiques des Centrales

La qualité première d'une centrale, dans un programme d'équipement, est sa puissance ga-

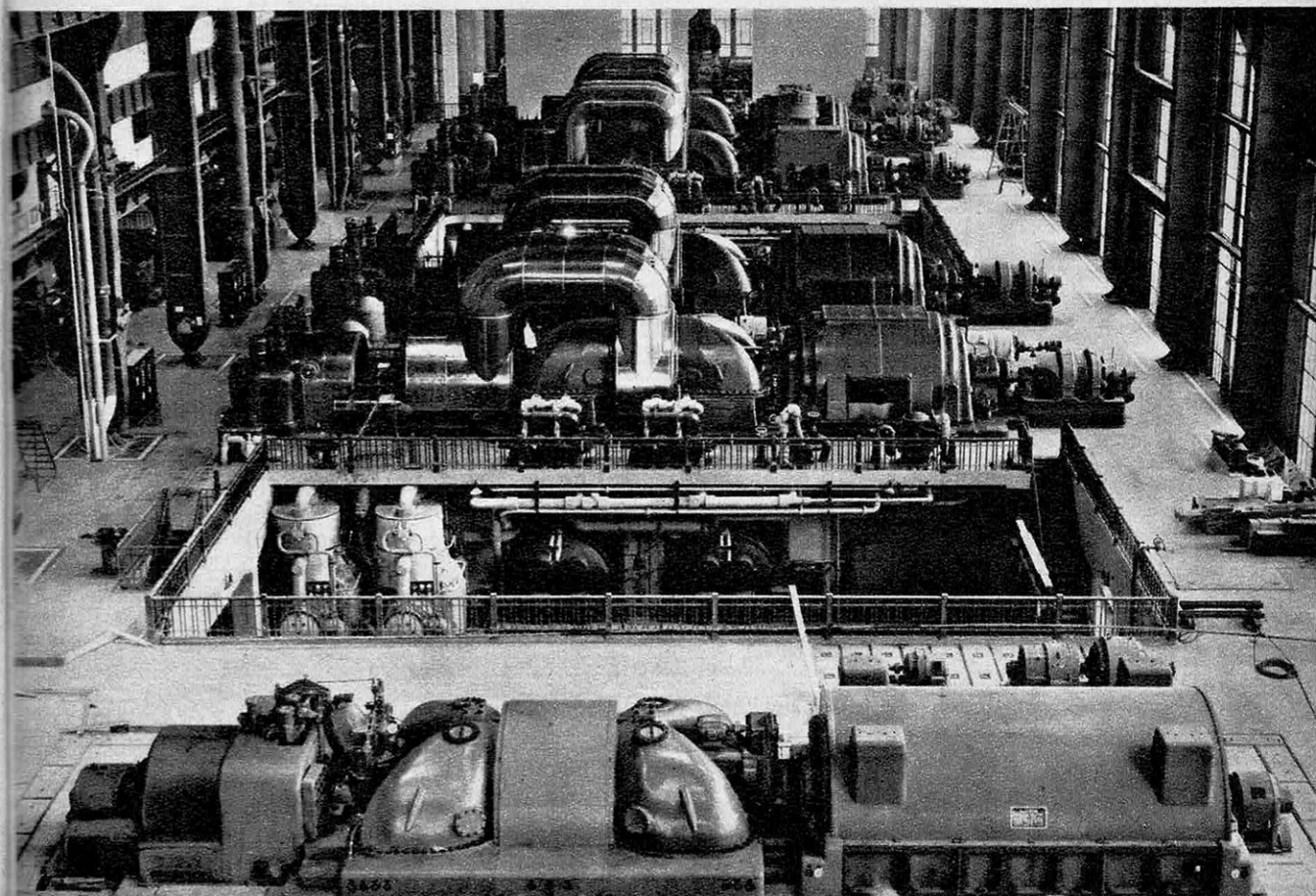
rantie, c'est-à-dire la puissance qu'elle est susceptible de fournir en moyenne, avec une quasi-certitude, pendant les 1 200 heures critiques d'hiver. En second plan interviennent également sa puissance de pointe et sa productivité annuelle (cette dernière caractéristique intervenant principalement sur le plan économique).

Pour une centrale thermique, nous considérons que la puissance garantie correspond à la

La centrale thermique Arrighi

La salle des machines de la Centrale Arrighi, au sud de Paris, entre Vitry et Choisy-le-Roi. On voit, au fond, les quatre groupes turbo-alternateurs anciens d'une puissance unitaire de 55 000 kW.

Au premier plan, le nouveau groupe de 100 000 kW, qui constitue la première tranche du programme d'extension, mise en service en 1953. Ses dimensions sont comparables à celles de l'ancien groupe.



puissance totale diminuée de 15 % pour tenir compte des indisponibilités possibles des chaudières et des groupes.

Pour une centrale hydraulique, la puissance garantie se calcule en prenant en compte le débit d'étiage de la rivière au cours d'un hiver très sec, augmenté, bien entendu, quand l'aménagement comporte un réservoir, du débit supplémentaire provenant de la vidange rationnelle du réservoir.

Les centrales hydrauliques sont réparties en trois groupes, suivant la réserve d'énergie dont elles disposent.

Les centrales au fil de l'eau, comme leur nom l'indique, ne disposent pratiquement d'aucune réserve. En cas de crue, elles donnent leur puissance totale et laissent passer l'eau en surplus; en période de sécheresse, la puissance produite diminue avec le débit, jusqu'à devenir pratiquement nulle à l'étiage pour certaines rivières. Les grands aménagements types réalisés au fil de l'eau sont ceux du Rhône et du Rhin.

Nous pouvons indiquer, à titre d'exemple, que l'usine de Donzère, sur le Rhône, est équipée pour utiliser un débit de 1 500 m³/s, assez voisin du débit moyen. L'étiage normal du Rhône étant de 400 m³/s, la puissance de l'usine varie donc, en année moyenne, sensiblement dans le rapport de 4 à 1.

Sur le Rhin, avec un débit moyen de 1 100 m³/s et un débit d'étiage de 300 m³/s, nous trouvons sensiblement le même rapport.

Les centrales au fil de l'eau se caractérisent d'une façon générale par une faible puissance garantie, avec en contrepartie des frais d'établissement relativement modestes.

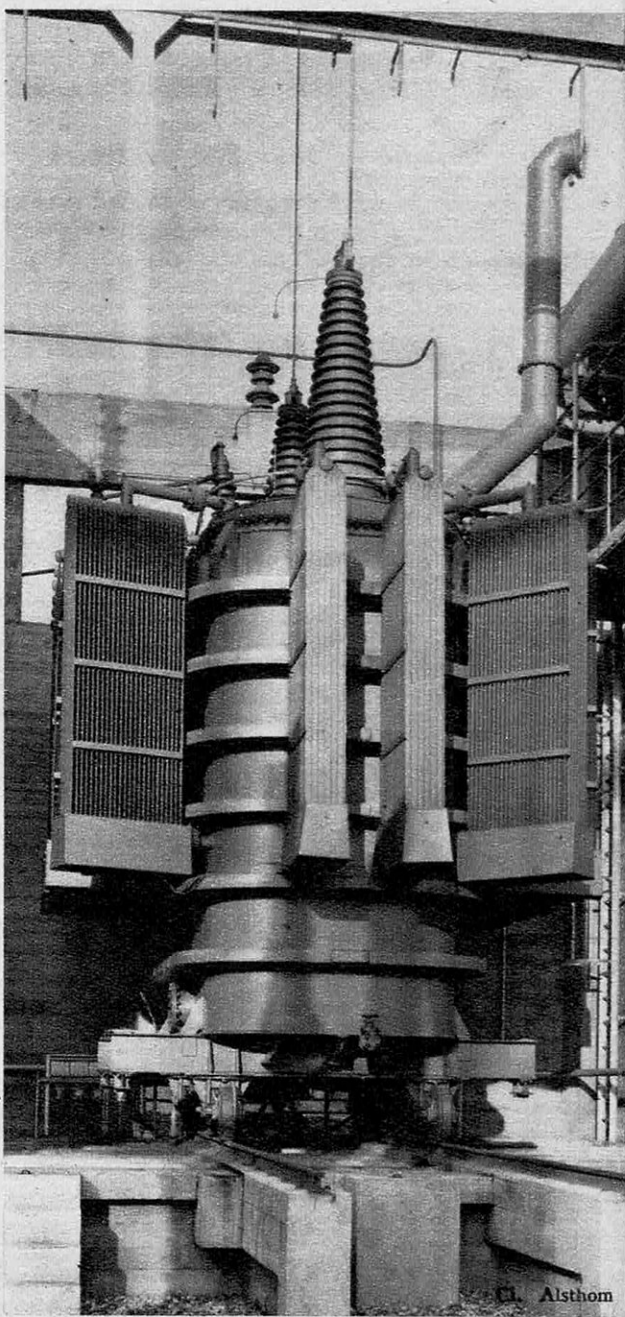
A l'opposé des centrales au fil de l'eau, les centrales de lac sont alimentées par une retenue susceptible de mettre en réserve une certaine part du débit de la rivière. Le plus bel exemple de centrales de lac est l'ensemble Brevières-Malgovert, alimenté par la retenue de Tignes. Les 240 millions de m³, débités de mai à septembre par l'Isère et quelques torrents de moindre importance, peuvent être stockés intégralement et restitués en 1 200 heures environ pendant la période critique d'hiver.

Les sites qui se prêtent à de tels aménagements sont rares, et la plupart des réservoirs des centrales de lac ne mettent en stock qu'une fraction des apports annuels. Tel est le cas de la centrale du Sautet, sur le Drac, qui retient un peu moins de 100 millions de m³ sur des apports totaux annuels d'environ 1 200 millions.

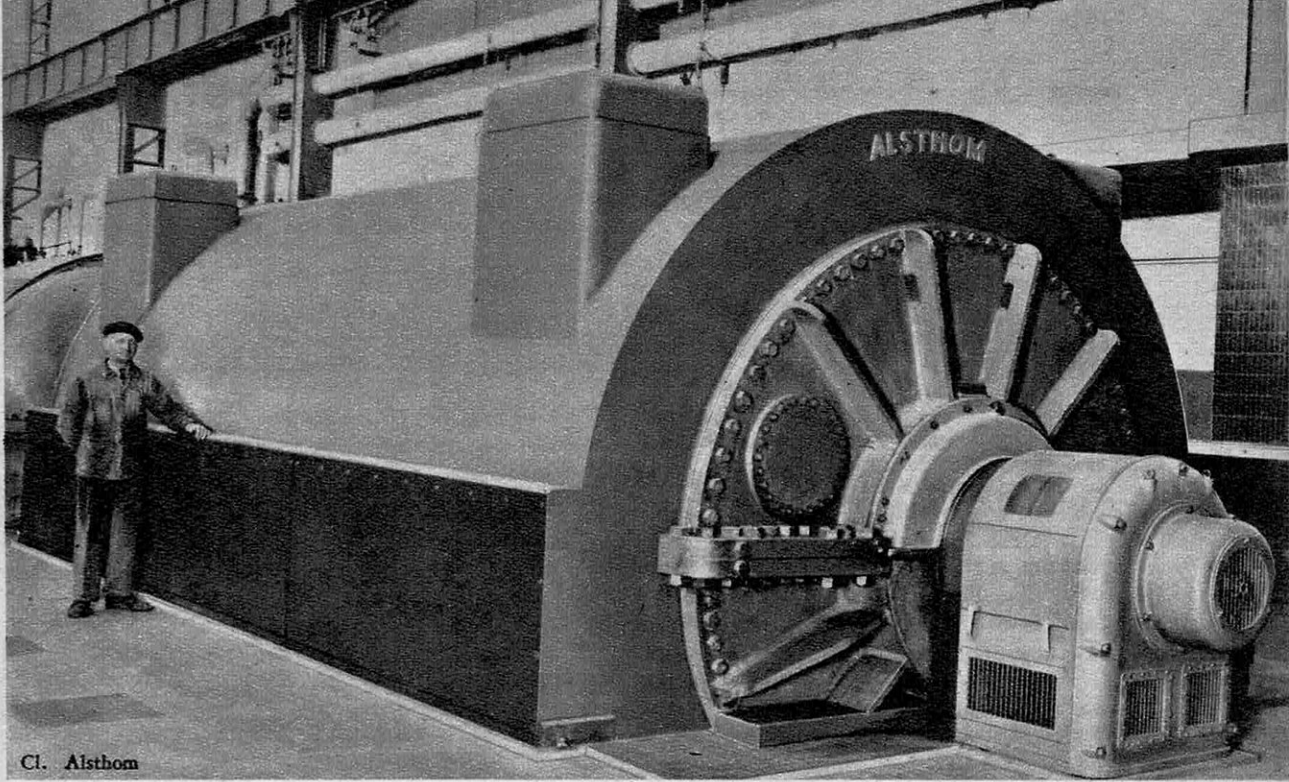
Enfin, les centrales dont la possibilité de stockage est inférieure à 5 % des apports annuels, mais représente au moins quelques heures du débit moyen de la rivière, sont appelées centrales d'écluse. Elles interviennent dans une faible mesure pour les reports saisonniers

Centrale de Gennevilliers

Le programme d'extension de la centrale de Gennevilliers, décidé dès la Libération, comportait deux groupes de 100/110 000 kW, mis en service en 1949 et 1950. Au 1^{er} juillet 1954, la puissance installée atteignait déjà 375 000 kW. En 1955, un nouveau groupe de 110 000 kW est venu s'y ajouter. On voit ci-dessous l'un des transformateurs monophasés de la centrale, dont le refroidissement est assuré par d'importants radiateurs ventilés.



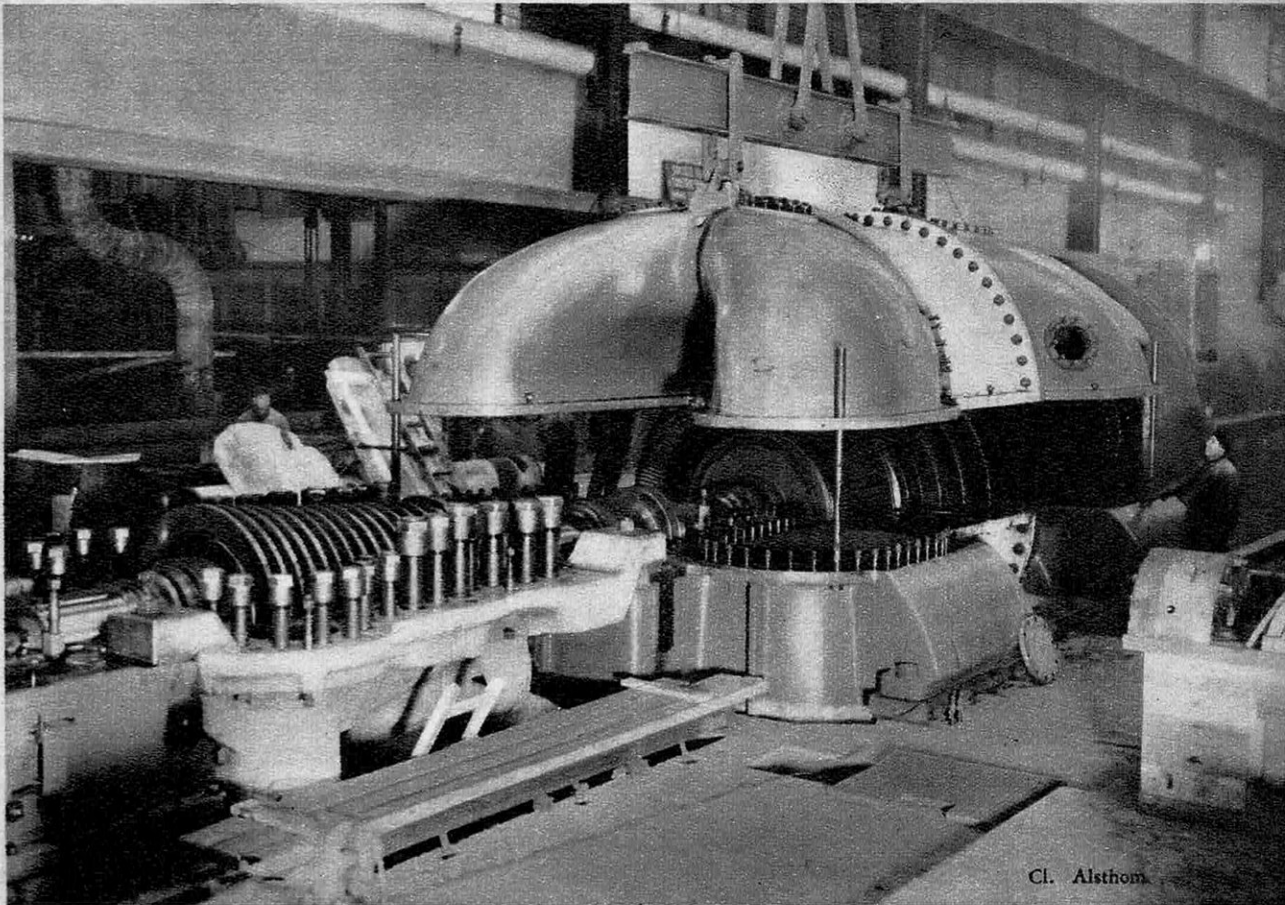
Un gros transformateur monophasé



Cl. Alsthom

Le groupe turbo-alternateur de 110 000 kW

Le groupe au cours du montage



Cl. Alsthom

d'énergie, mais sont précieuses pour permettre le passage des pointes journalières. On conçoit facilement l'intérêt d'un aménagement capable de stocker l'eau entre minuit et 2 heures du matin, par exemple, pour travailler à pleine puissance entre 6 heures et 8 heures du soir.

L'énergie totale susceptible d'être stockée dans l'ensemble des réservoirs, qu'ils appartiennent à des usines de lac ou à des usines d'éclusée, représente un peu plus de 3 milliards de kWh, soit environ 6 % de la consommation annuelle du pays.

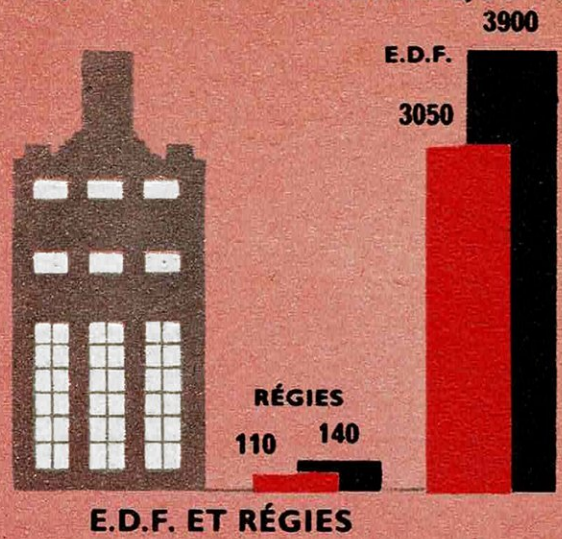
Valeur d'un aménagement hydraulique

Nous avons vu que la demande d'énergie électrique est maximum pendant les mois d'hiver, à l'époque où l'étiage des rivières alpestres réduit à son niveau le plus bas la production de notre système hydraulique. Le niveau élevé de la demande et la raréfaction de l'offre se conjuguent donc pour donner à l'énergie d'hiver une haute valeur.

D'autre part, au cours d'une même journée, l'énergie de nuit a moins de valeur que l'énergie de jour, et l'énergie du dimanche moins de valeur que celle des jours ouvrables.

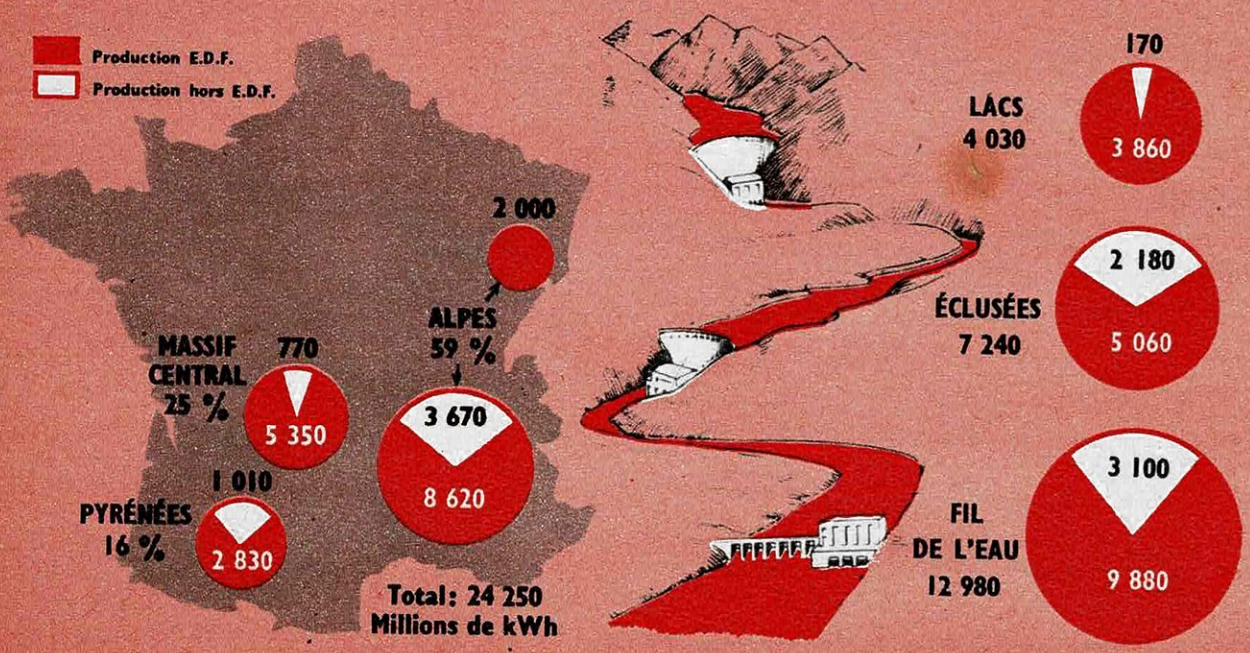
La valeur d'un aménagement hydraulique dépendra non seulement de la quantité d'énergie produite mais aussi de la qualité de cette énergie, c'est-à-dire de sa répartition dans le temps. E.D.F. détermine cette valeur en comparant le prix de revient de l'aménagement à celui d'une centrale thermique capable de rendre un service équivalent. La comparaison est assez

EQUIPEMENT THERMIQUE :

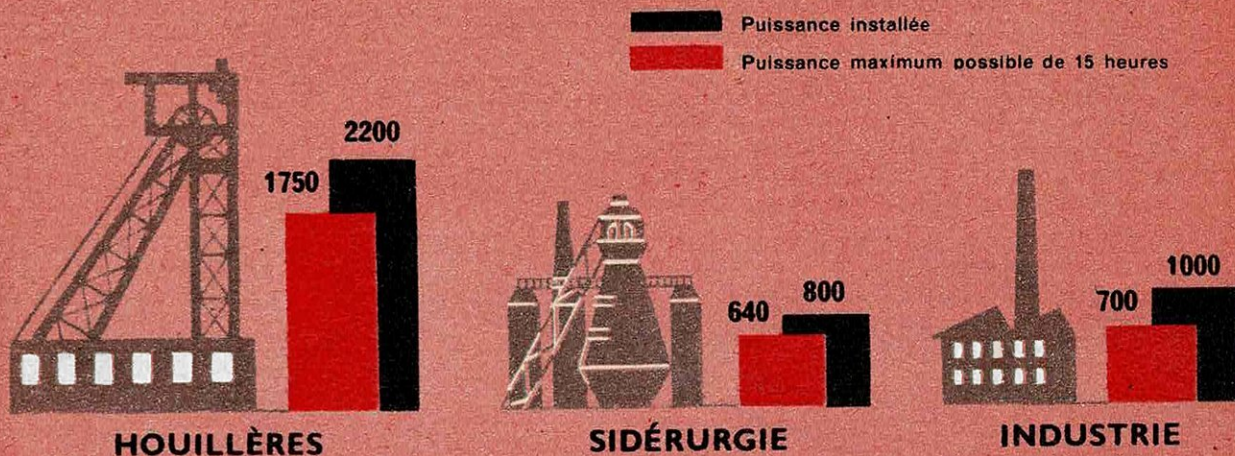


complexe. En fait, les diverses caractéristiques d'une centrale hydraulique : énergie de pointe, énergie des 1 200 heures critiques d'hiver, énergie totale fournie dans l'année, ne sont pas reproduites par une centrale thermique unique, mais par un ensemble de centrales thermiques.

D'autre part, si nous sommes maîtres (dans certaines limites) de l'implantation d'une centrale thermique, le site d'une centrale hydraulique est imposé par la nature, et se trouve parfois fort éloigné des centres d'utilisation. Le prix de revient de l'aménagement se trouve donc grevé des charges de transport correspondantes



répartition par catégories de producteurs (1^{er} janvier 1955)



et, dans presque tous les cas, les dépenses se trouveront supérieures à celles de la centrale thermique.

Par contre, la centrale hydraulique ne consomme pas de charbon, et ses frais de conduite et d'entretien sont beaucoup moins élevés que ceux de la centrale thermique. Les économies étant étalées sur toute sa durée de vie, il y a lieu, pour la comparaison qui nous préoccupe, de les « actualiser », c'est-à-dire de déterminer la somme qui, versée une fois pour toutes, donnerait les mêmes annuités. L'opération hydraulique est considérée comme avantageuse dans la mesure où les économies l'emportent sur la différence des frais d'établissement.

En exposant le mode de comparaison de la valeur des aménagements, nous pensons avoir implicitement montré que la question, tant de fois posée, de savoir quel est le plus avantageux de l'hydraulique ou du thermique n'a pas de sens.

Il apparaît que les centrales hydrauliques fournissent des énergies de qualités très diverses et à des prix de revient extrêmement dispersés. La comparaison avec le thermique doit se faire dans chaque cas particulier et tenir compte, en plus de la productivité, de la puissance de

pointe, de la puissance garantie et de la situation géographique de la centrale.

L'expérience montre qu'il y a de l'hydraulique excellent, de l'hydraulique moyen (voisin du thermique) et du mauvais hydraulique.

Bien entendu, le bon hydraulique est seul utilisé, les chutes étant elles-mêmes aménagées, dans la mesure du possible, par ordre de valeur décroissante.

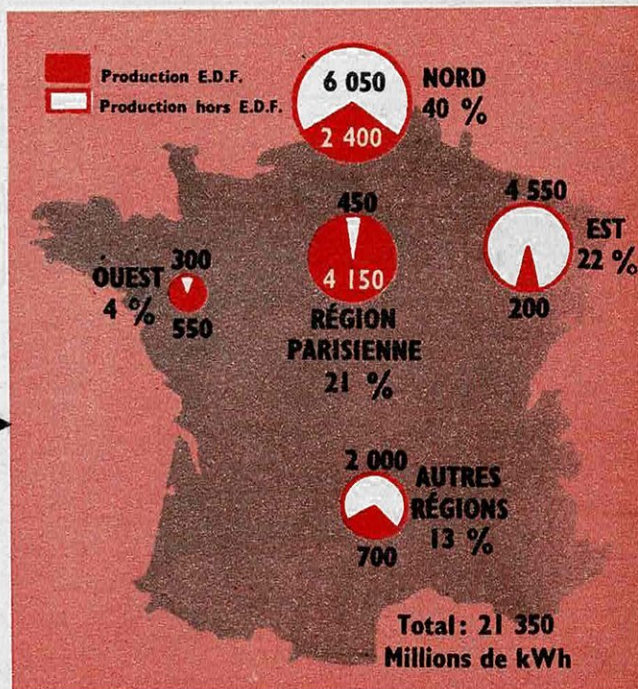
Constitution du programme

L'application de la méthode que nous venons d'exposer sommairement aux diverses chutes en

suite page 48 →

Production thermique par régions → géographiques. Les usines des Houillères et de la Sidérurgie sont concentrées sur les lieux d'exploitation ; celles d'E.D.F. sont, au contraire, implantées en fonction des besoins de la consommation.

← **La production hydroélectrique de 1954** correspond à celle d'une année moyenne. Les réservoirs des centrales d'écluse et de lac se remplissent respectivement en moins et plus de 400 heures. Au fil de l'eau, les réservoirs sont insignifiants.

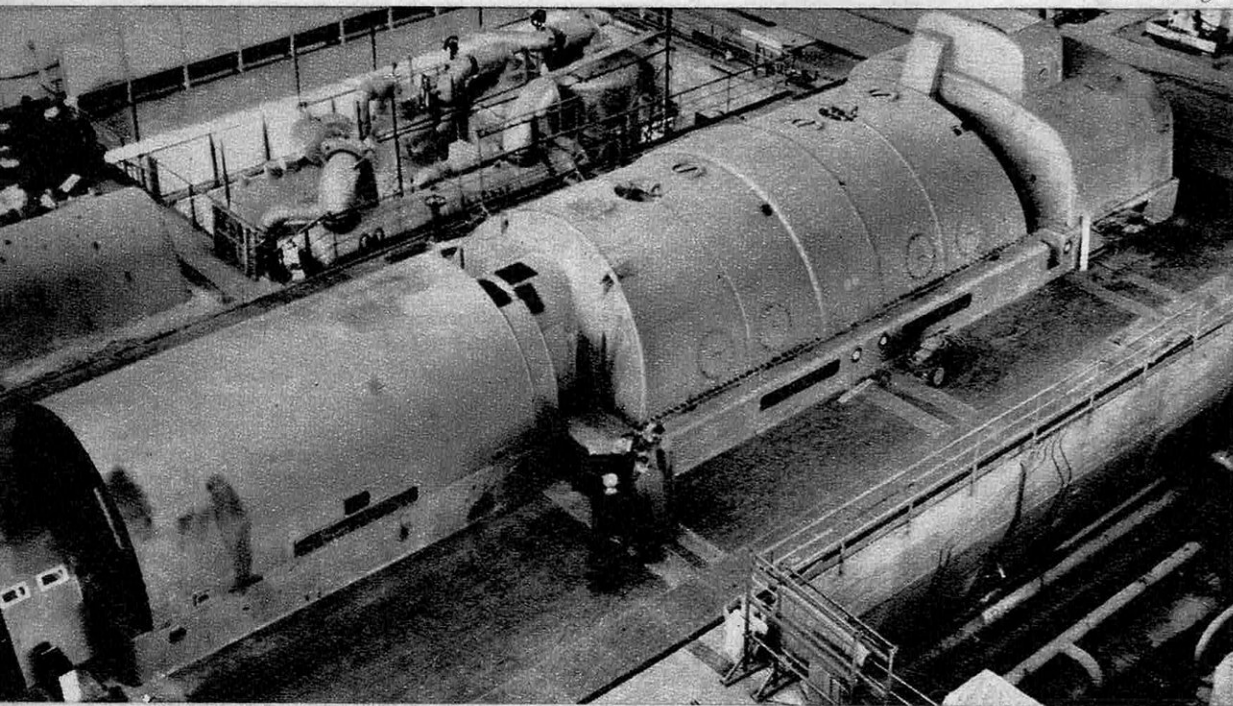


La centrale thermique de Nantes-Cheviré

La centrale de Nantes-Cheviré a été édiflée pour combler l'insuffisance d'équipement électrique de l'Ouest de la France. Elle dessert le réseau local 63 kV et le réseau général 150/225 kV. Les chaudières ont été conçues pour brûler du fuel en provenance des raffineries de Donge et éventuellement du charbon pulvérisé. La puissance totale prévue

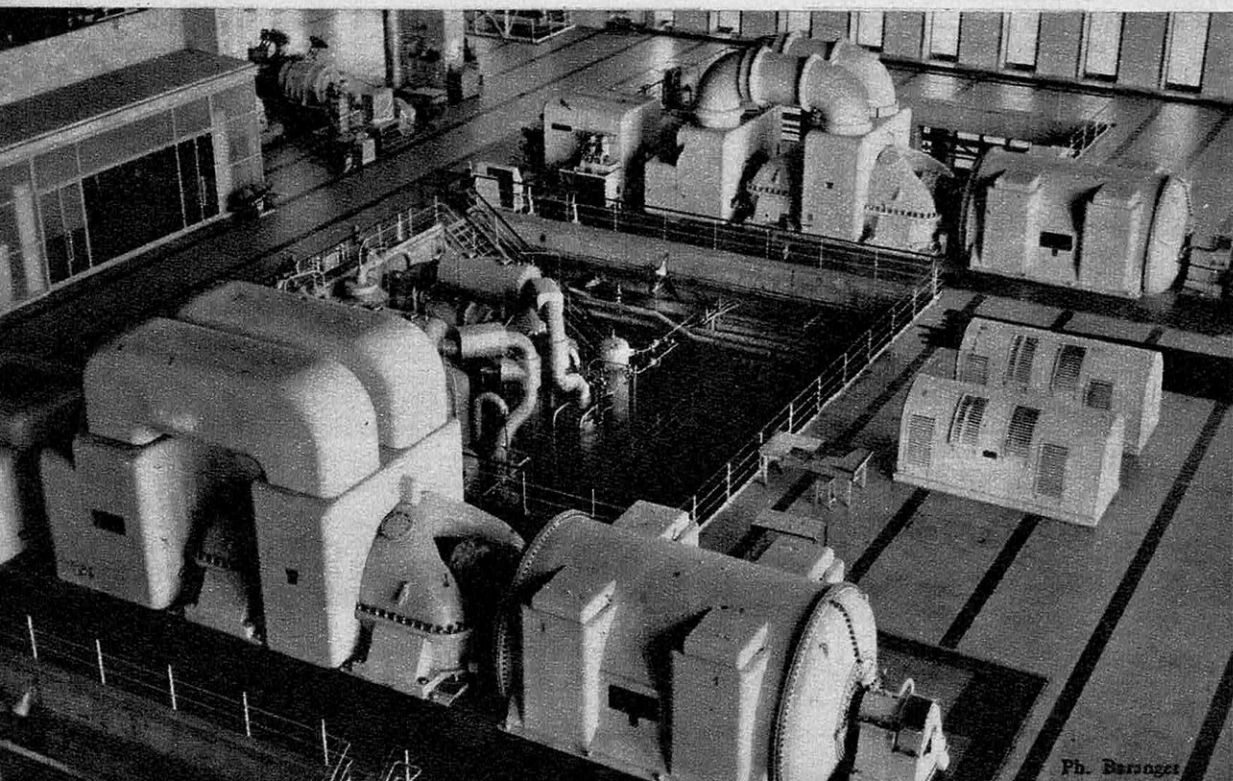
est de 500 000 kW, réalisable par étapes. On voit en bas les deux premiers groupes de 50 000 kW mis en service en 1953 (turbines à 3 étages de pression — 89 kg/cm² à l'admission — alternateurs refroidis par circulation d'hydrogène). Le groupe de 100 000 kW (photo du haut) a été mis en service en 1955, portant la puissance à 200 000 kW.

Ph. Baranger

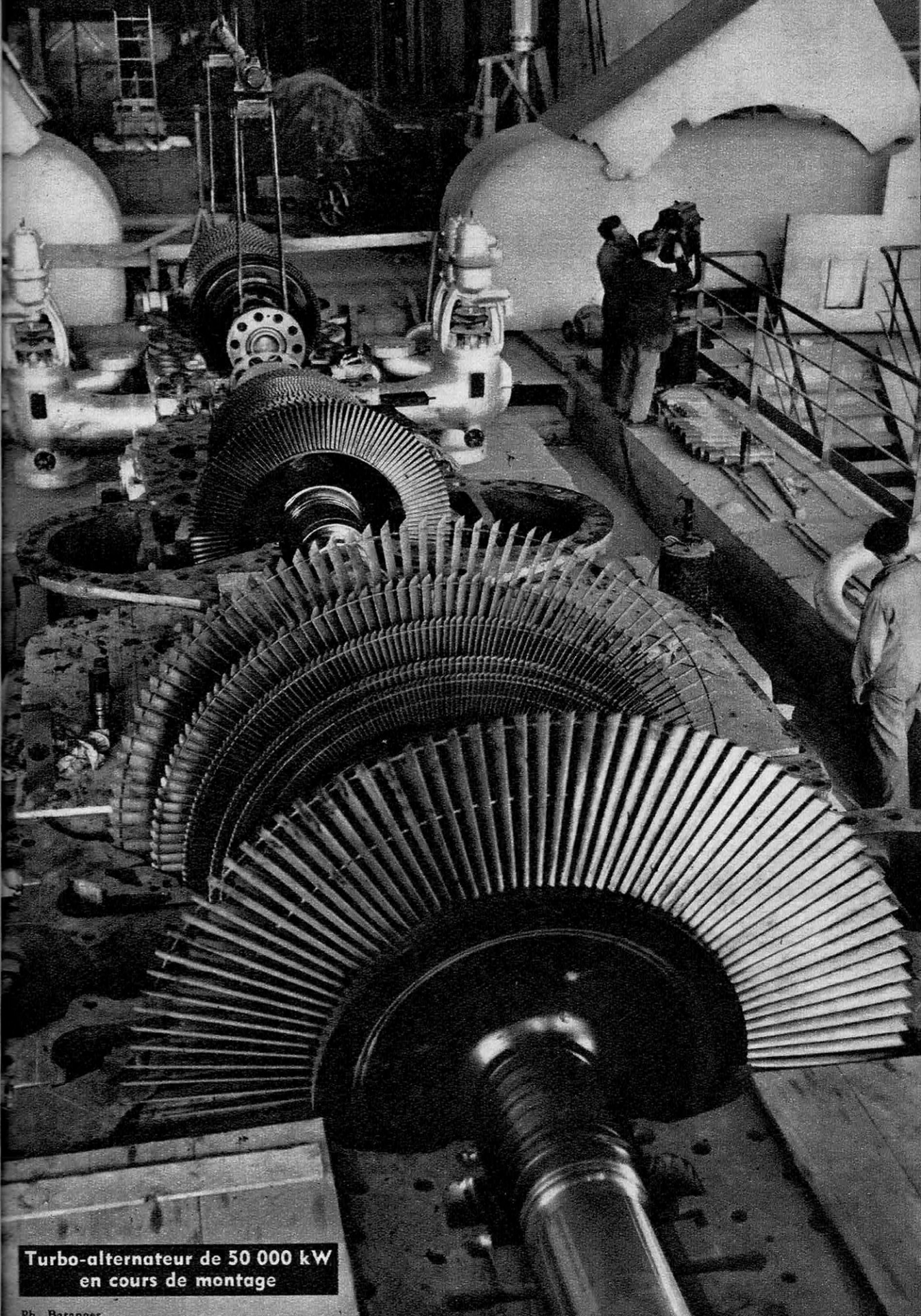


Groupe de 100 000 kW

Salle des machines

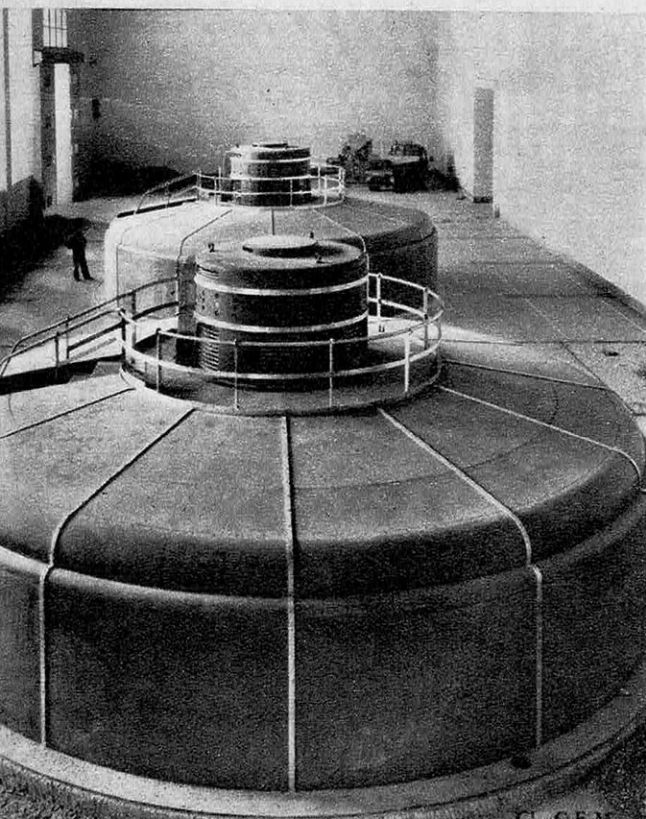
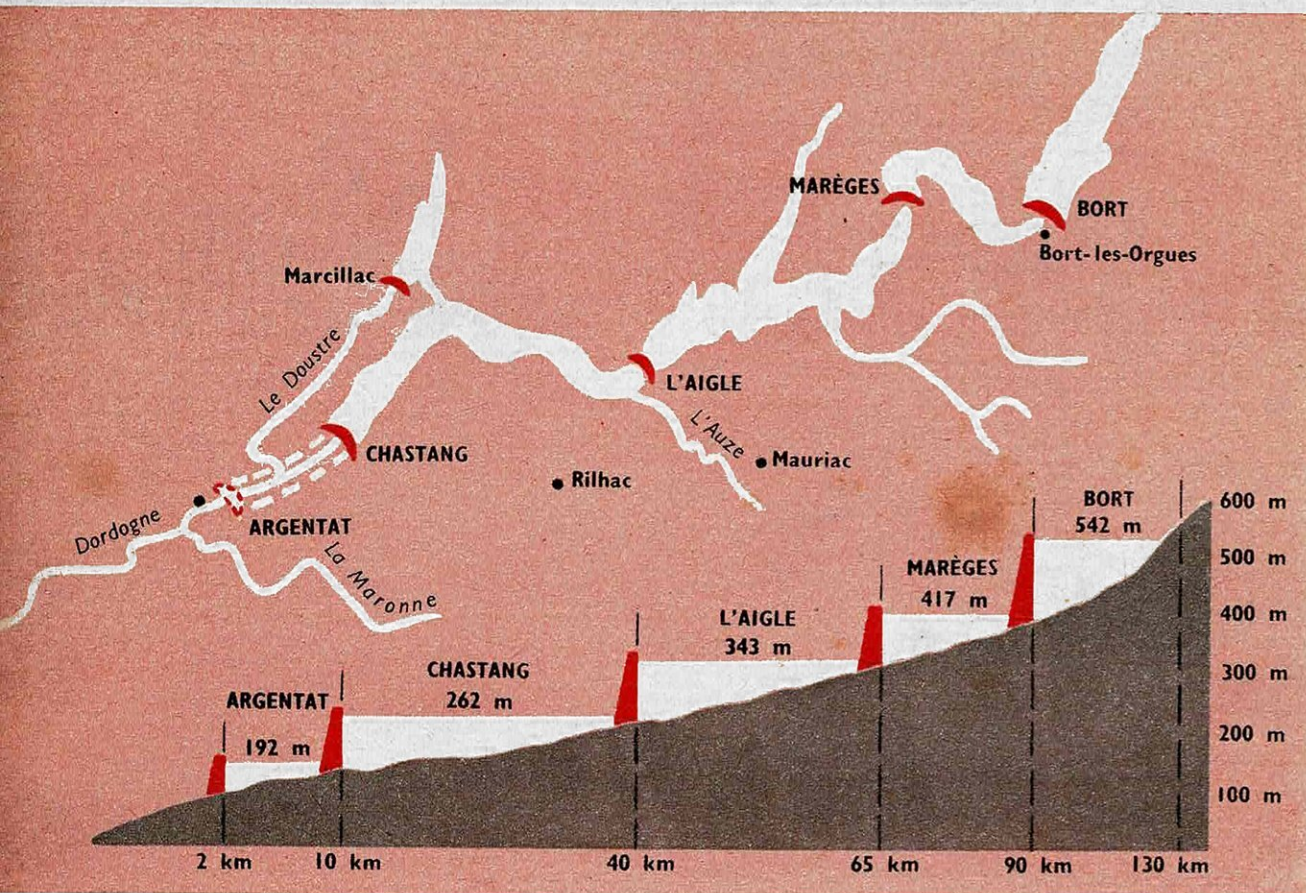


Ph. Baranger



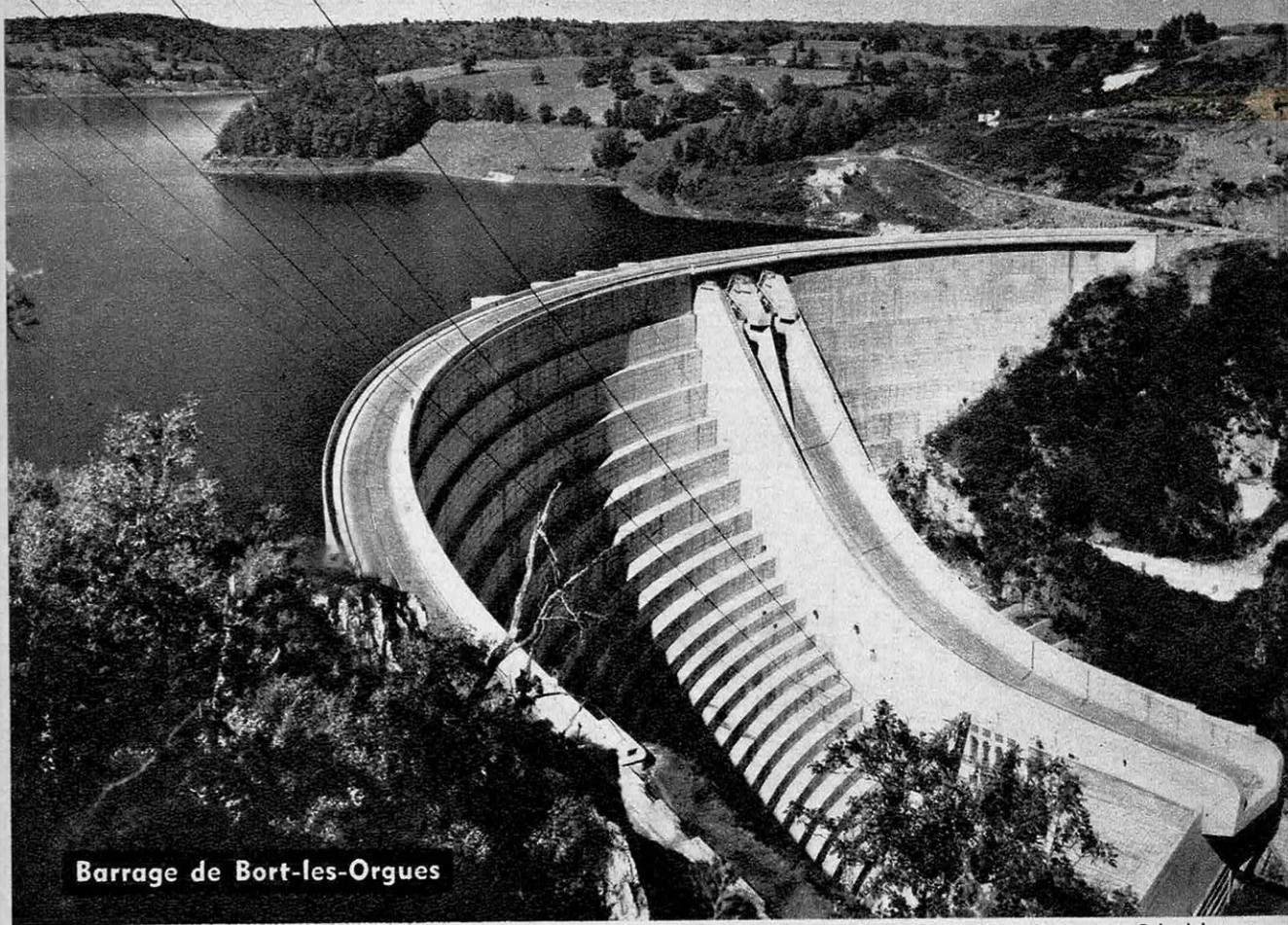
**Turbo-alternateur de 50 000 kW
en cours de montage**

Les grands barrages-usines de l'aménagement de la Dordogne



La Dordogne, le plus important cours d'eau de l'ouest du Massif Central, traverse, dans sa partie supérieure, des gorges granitiques se prêtant remarquablement à l'établissement de grands barrages réservoirs. C'est, dans le Massif Central, la région la plus complètement utilisée pour la production d'énergie électrique, avec une productivité moyenne de 1 650 millions de kWh par an. Les trois grands barrages-usines étagés remontant la Dordogne : Chastang, l'Aigle, Marèges (production 1 300 millions de kWh) sont couronnés par un lac de régularisation de près d'un demi-milliard de mètres cubes donnant une bonne garantie de puissance pour le passage de l'hiver. Il constitue en effet une réserve d'énergie d'environ 300 millions de kWh. Le barrage de Bort qui le ferme a une hauteur de 120 m et représente 700 000 m³ de béton. A son pied, une usine de 200 000 kW est alimentée par des conduites traversant le

← Les deux alternateurs de 100 000 kW de l'installation de Bort-les-Orgues



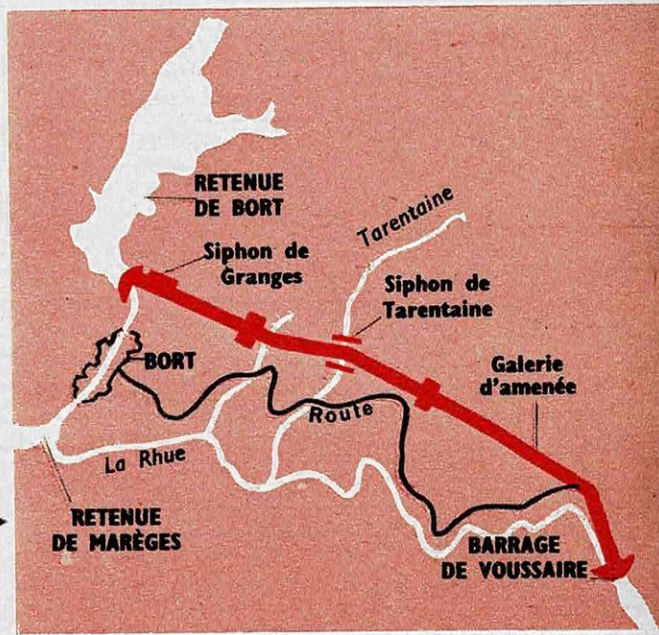
Barrage de Bort-les-Orgues

Entreprises Métropolitaines et Coloniales

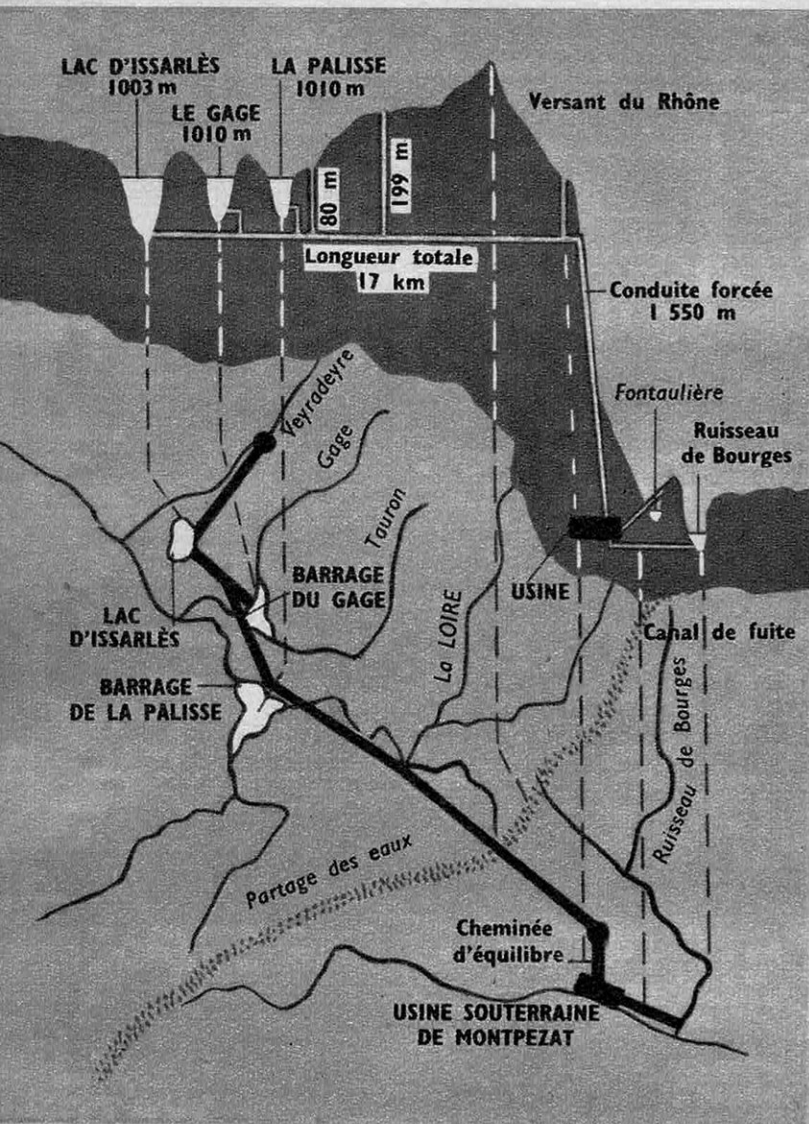
barrage. L'évacuateur de crues sur le parement aval et le toit de l'usine peut débiter 1 200 m³/s. L'aménagement de la chute de Bort, mise en service en 1952, est maintenant complété par la dérivation d'un important affluent de la Dordogne, la Rhue. Par une galerie souterraine de 12 km de long et 4,5 m de diamètre intérieur, suivie d'un siphon en béton précontraint de 890 m de long, les eaux de la Rhue amènent à Bort en année moyenne 550 millions de mètres cubes, soit par déversement direct, soit en entraînant un groupe spécial de l'usine pour exploiter la hauteur de chute entre les cotes de retenue de Bort et celle de la prise d'eau de la dérivation.

Les lacs du Massif Central jouent un rôle important dans la régularisation de la production hydroélectrique à l'échelle nationale, relayant en particulier les Alpes pendant l'hiver.

La dérivation de la Rhue complète l'aménagement de la chute de Bort. Cette rivière, qui avait été aménagée précédemment par la S.N.C.F. (usine de Coindre), va déverser maintenant dans la retenue de Bort 600 millions de m³ d'eau par an. →



L'aménagement du complexe de Montpezat



L'aménagement de Montpezat est le premier exemple en France d'un ensemble chevauchant la limite de deux versants tributaires de mers différentes : l'Atlantique et la Méditerranée. D'un côté, les vastes plateaux vallonnés où coulent la Loire et ses affluents dominent les gorges profondes qui, de l'autre côté, forment le lit des affluents cévenols du Rhône. L'idée maîtresse du projet est de capter les eaux du versant bien arrosé et de les restituer à l'autre versant dans une chute concentrée.

Le plateau Nord-Ouest présente une réserve naturelle, le lac d'Issarlès, ancien cratère de volcan profond de 108 m, utilisé comme réserve principale de l'aménagement. Celui-ci comprend deux barrages principaux : La Palisse, sur la Loire (60 m de hauteur, 30 000 m³ de béton); le Moulin de Peyrou sur le Gage (voûte très mince de 3 m d'épaisseur à la base, 47 m de hauteur, 4 500 m³ de béton). Un troisième barrage complémentaire sur la Veyradeyre complète le remplissage du lac d'Issarlès.

Une galerie souterraine de 17 km de long relie l'ensemble à l'usine de Montpezat, sur l'autre versant. Celle-ci, entièrement souterraine, est équipée de deux groupes principaux de 58 000 kW.

Les apports du bassin capté sont évalués à 220 millions de mètres cubes annuellement, représentant 300 millions de kWh sous une chute brute de 634 m. Les réserves représentent 56 millions de kWh.

projet, nous permet donc d'attribuer à chacune d'elles un « coefficient de valeur » par rapport au thermique. Toute chute dont le coefficient de valeur est supérieur à 1 est plus avantageuse que l'opération thermique équivalente.

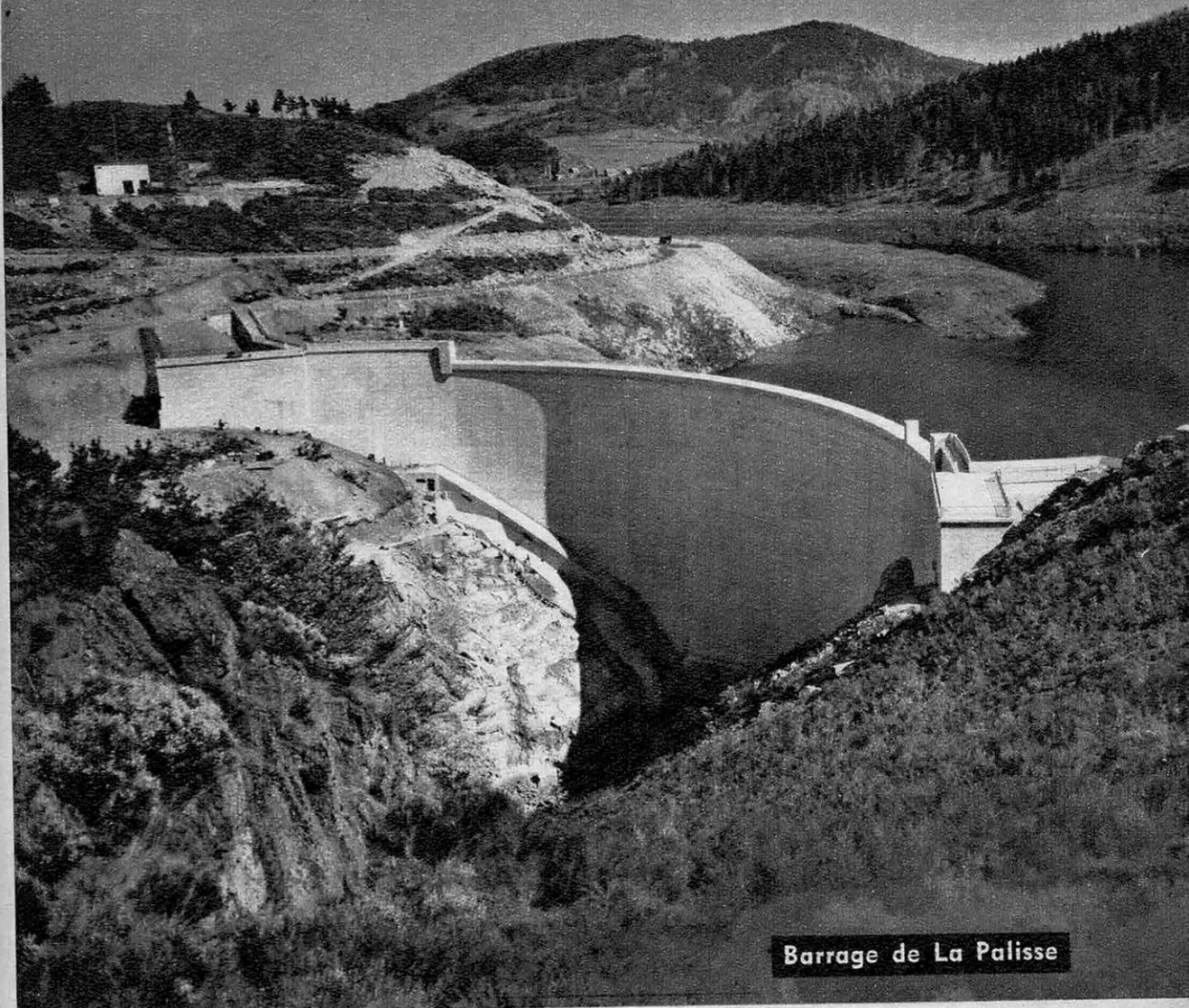
Est-ce dire que nous allons inscrire dans nos programmes, avant toute opération thermique, l'ensemble des chutes dont le coefficient de valeur est favorable, ce qui reviendrait à établir, au moins pendant quelques années, des programmes entièrement hydrauliques (car il reste à équiper en France plusieurs dizaines de milliards de kWh de bon hydraulique)? Il est certain que de tels programmes seraient en définitive, par les économies de combustibles qu'ils

procurent, les plus avantageux pour le pays.

Cependant, la rentabilité des investissements hydrauliques est à longue échéance. Dans l'immédiat, pour obtenir une puissance garantie donnée, avec des aménagements hydrauliques, il faut dépenser trois ou quatre fois plus d'argent que pour obtenir l'équivalent avec des centrales thermiques.

Nous sommes donc dans la situation d'un particulier à qui s'offrent d'excellents placements, mais qui doit avant toute chose assurer sa vie quotidienne.

Les plans d'équipement résultent d'un compromis entre le désir d'assurer à long terme au pays un enrichissement aussi grand que possi-



Barrage de La Palisse

Ph. Baranger

ble, et la considération des moyens dont nous disposons pour assurer les besoins prochains de la consommation : c'est ainsi que le plan en cours de réalisation comporte 35 % seulement d'énergie hydraulique et 65 % d'énergie thermique.

Nos lecteurs n'ignorent pas que, dans un proche avenir, l'hydraulique et le thermique ne seront plus seuls en compétition : une nouvelle source d'énergie, la fission nucléaire, fait son apparition dans les programmes.

L'année 1956 verra le lancement d'une grande centrale thermique nucléaire, laconiquement désignée sous le nom d'E.D.F.I.

Il est évident que la nouvelle centrale, où

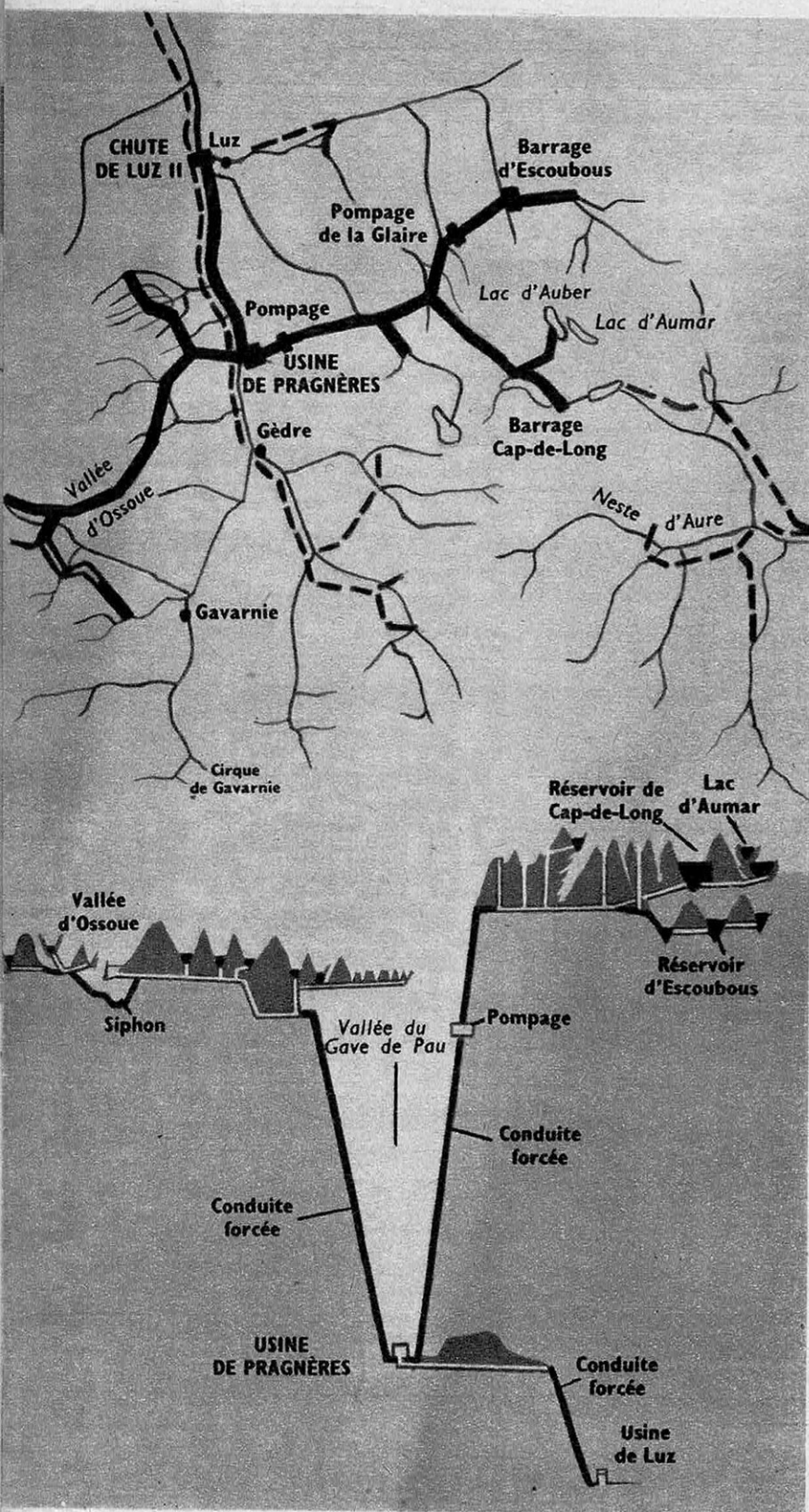
pour la première fois en France une pile atomique fonctionnera dans le but principal de la production de l'énergie électrique, sera plus coûteuse que les centrales classiques.

Aussi bien la rentabilité de l'opération passe-t-elle au second plan : il s'agit avant tout de former des techniciens et de préparer la mise au point d'une industrie nouvelle.

Nous pouvons espérer que dans quelques années la fission nucléaire viendra renforcer les sources actuelles d'énergie qui seraient peut-être capables d'assurer les 100 milliards kWh de 1965, mais non pas les 200 milliards que risque d'exiger 1975.

Nous ne tenterons pas une description, même
(Suite page 54).

L'aménagement du Gave de Pau



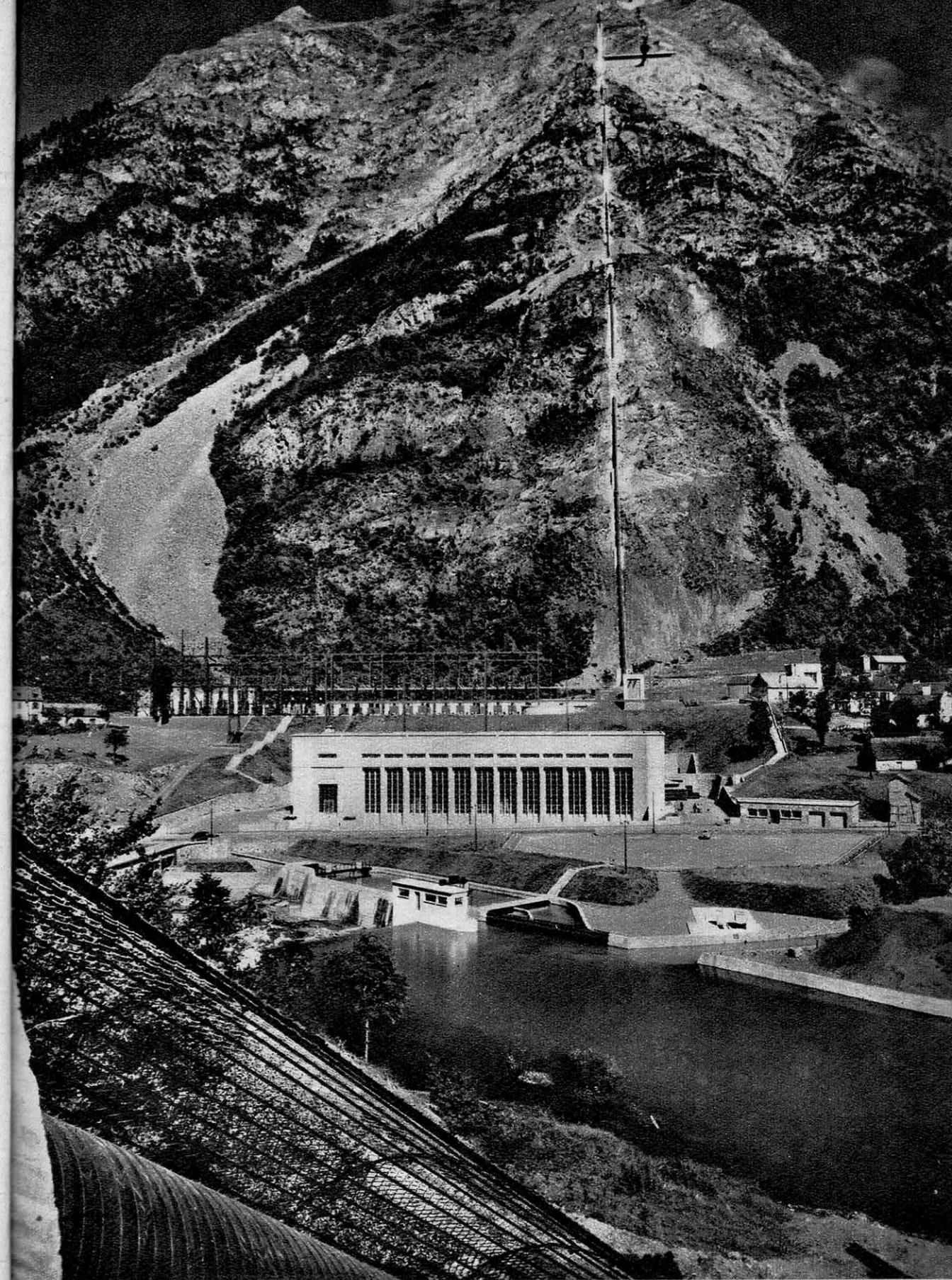
L'aménagement du cours supérieur du Gave de Pau, affluent de l'Adour, tel qu'il avait été entrepris depuis le début du siècle, ne comportait pas de réserve saisonnière importante, en rapport avec la richesse hydraulique de cette vallée pyrénéenne. La vallée du Gave étant pratiquement dépourvue de possibilités d'accumulation, on a songé à utiliser les ressources du bassin voisin, celui de la haute Neste, qui appartient à un réseau fluvial différent, celui de la Garonne.

L'aménagement est complexe et comporte essentiellement une chute élevée (1 250 m, la seconde de France) à Pragnères, sur le versant du Gave, et un réservoir de 67 millions de mètres cubes utiles à Cap-de-Long, sur le versant Neste. Une galerie en charge de 10 km de long traverse le massif de Néauvielle pour relier le réservoir à l'usine de Pragnères.

Le barrage de Cap-de-Long a une hauteur de 100 m au-dessus des fondations ; il comprend la voûte principale (longueur de crête 275 m) barrant le défilé de la Neste d'Aure et une digue latérale de 270 m barrant le seuil d'un lac sur la rive droite. Le réservoir reçoit par gravité les apports de la haute Neste et de certains affluents de la rive droite du gave ; les eaux d'autres affluents de la rive droite, et celles de la rive gauche, lui sont envoyées par deux stations de pompage, en particulier pendant la fonte et les crues d'automne. L'usine de Pragnères constitue la plus grande usine de pointe des Pyrénées.

L'usine de Pragnères, →
au pied de la gigantesque conduite forcée de 1 250 m de haut.

← Le Gave de Pau, alimenté par des glaciers comme Gavarnie et le Vignemale, fournit 1 700 m de chute totale. La production est régularisée par le lac de Cap-de-Long, avec un appoint du bassin de la Garonne.





Ph. Cellard

L'aménagement du

L'aménagement du Rhône, malgré certaines similitudes dans les principes, se présente dans des conditions très différentes de celui du Rhin. Alors que le Rhin coule presque en ligne droite de Bâle à Strasbourg, sans recevoir d'affluents notables, le Rhône au tracé tourmenté reçoit entre Génissiat et Donzère de nombreux apports qui font passer son débit moyen de 500 à 1 500 m³/s. La coupure de la vallée par des affluents sujets à des crues redoutables, ainsi que la présence sur les bords du fleuve de cités importantes, rendent impossible la création d'un canal continu. Il a donc été établi un programme qui prévoit la construction de 13 usines-barrages et de 8 grandes dérivations alimentant

← **L'écluse de Saint-Pierre** à Donzère-Mondragon. Un convoi montant composé du remorqueur *Massilia* et de deux barques (dont une seule est visible) entre dans l'écluse au niveau de l'aval.

L'usine André-Blondel (300 000 kW) à Donzère-Mondragon. On voit le déchargeur qui supprime les ondes nuisibles aux bateaux. A gauche, au premier plan, le garage à bateaux amont.



Rhône fournira 14 milliards de kWh

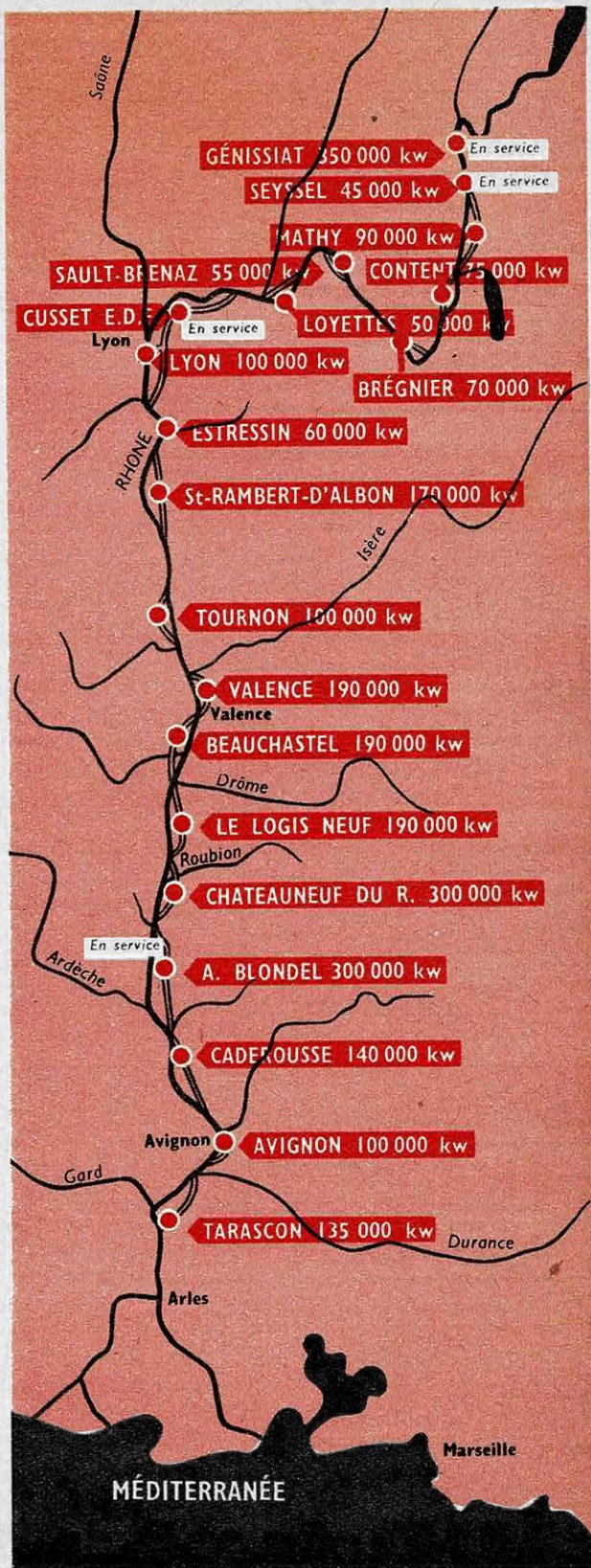
9 centrales. Les hauteurs de chute des usines-barrages sont limitées à 8 ou 10 m avec une puissance moyenne de 100 000 kW. Les dérivations permettent de réaliser des chutes de 15 à 25 m avec des puissances installées de 200 000 à 300 000 kW.

L'ensemble des usines prévues doit assurer une production annuelle de 14 milliards de kWh, supérieure à celle des centrales construites aux Etats-Unis par la Tennessee Valley Authority. Les usines déjà en service assurent en année moyenne plus de 4 milliards de kWh, auxquels la chute de Montélimar apportera en 1959 un appoint supplémentaire de 1 700 millions de kWh.

Les principales usines en service sont Génissiat, dont la situation en haute vallée du Rhône a permis de créer une chute de plus de 60 m permettant de réaliser 400 000 kW, et Donzère-Mondragon, où un canal de dérivation de 28 km alimente 6 groupes de 50 000 kW chacun.

Le régime hydrologique est fortement variable : à Donzère, le débit varie entre 400 et, en crue exceptionnelle, 10 000 m³.

L'œuvre de la Compagnie Nationale du Rhône est gigantesque et infiniment complexe, d'autant plus que ses aménagements doivent concilier la production d'énergie hydraulique avec les besoins de la navigation et de l'irrigation.



sommaire, des grands chantiers d'équipement électrique, en cours ou en projet. Il nous paraît plus fructueux d'essayer de donner une idée des progrès techniques réalisés depuis l'après-guerre.

Evolution des centrales thermiques

Lorsqu'il fut possible, en 1945, de reprendre la construction des centrales thermiques, la France avait pris un retard important sur les techniques des grands pays étrangers.

Les anciennes Sociétés, dont E.D.F. est l'héritière, firent courageusement un premier pas dans la voie des fortes puissances unitaires en commandant deux groupes de 100 000 kW, l'un aux Etats-Unis, l'autre à l'industrie française pour la centrale de Gennevilliers.

Pendant, le démarrage brutal de la consommation ne devait pas permettre à E.D.F. d'adopter, pour son programme thermique initial, les dernières normes étrangères dont la mise en œuvre imposait à notre industrie un gros effort d'adaptation.

Les centrales du Plan Monnet furent donc, en général, très voisines dans leur conception des dernières centrales mises en service avant la guerre.

Les centrales de Sequedin (Nord), Comines (Nord), Lourches (Nord), Valenciennes (Nord), Yainville (S.-M.), Dieppedale (S.-M.), mises en service entre 1948 et 1952, étaient équipées de 2 groupes turbo-alternateurs de 40 à 50 MW (1 MW, ou Mégawatt, égale 1 000 kW) alimentés chacun par deux chaudières; la température de la vapeur était de 500° C et sa pression de 66 kg/cm².

Pendant, les bureaux d'études des fabricants de chaudières et de turbo-alternateurs s'efforçaient d'augmenter les puissances unitaires, les températures et les pressions; les centrales de notre programme complémentaire, engagé en 1951-1952, soit cinq ans en moyenne après les centrales du Plan Monnet, sont équipées de 4 groupes de 115/125 MW alimentés chacun par une chaudière unique; la température de la vapeur après resurchauffe est de 540° C, la pression de 89, puis 127 kg/cm².

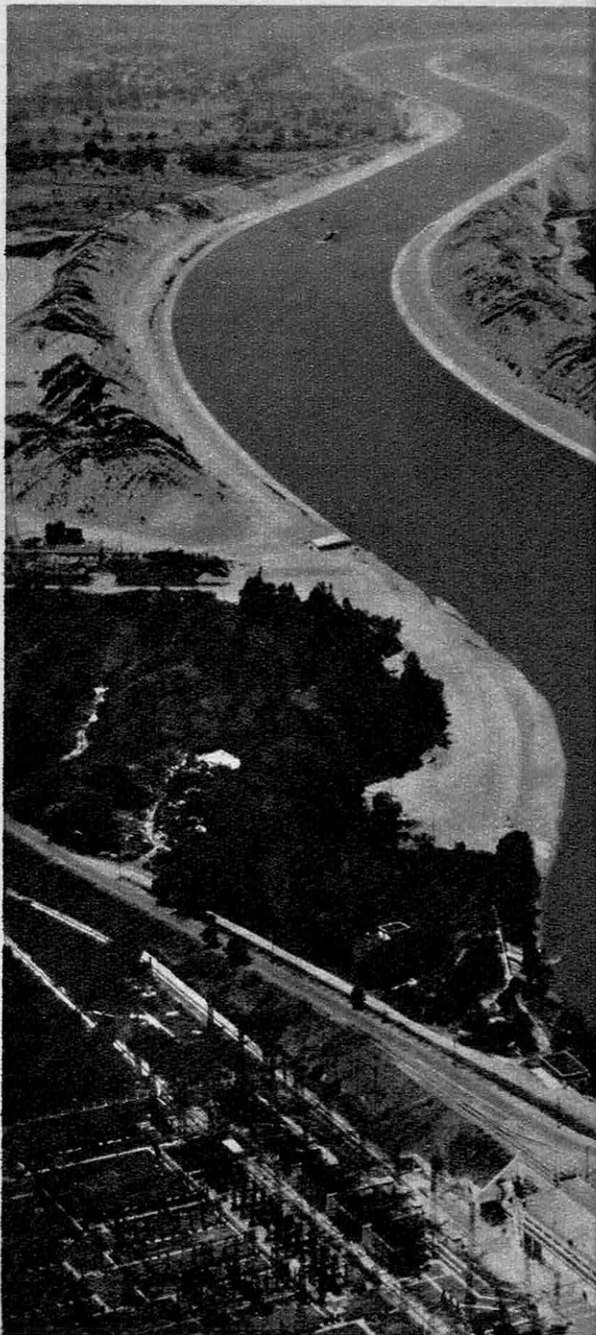
Est-il besoin de signaler l'ampleur des problèmes posés à la métallurgie par la nécessité de tenir des pressions sensiblement deux fois plus fortes qu'avant guerre, à des températures auxquelles les aciers, sauf composition très spéciale, tendent à perdre leur résistance mécanique ?

Il faut se rappeler que la température de 540° est celle du rouge sombre, et que les nouvelles centrales ne manqueraient pas de présenter aux yeux du visiteur un aspect assez impressionnant avec leurs tuyauteries de vapeur portées au rouge, si ces dernières ne disparaissaient sous d'épaisses couches d'isolant thermique.

De leur côté, les constructeurs de matériel

Premières étapes de l'

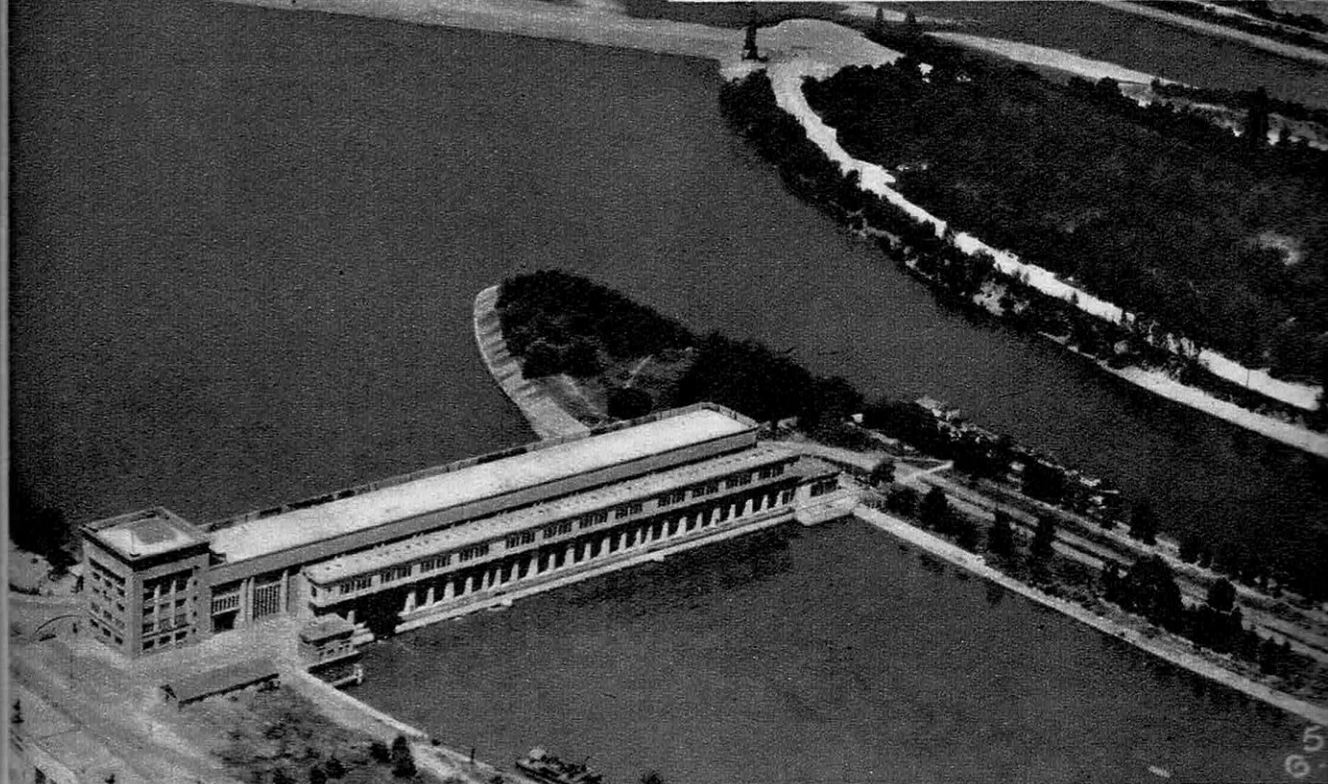
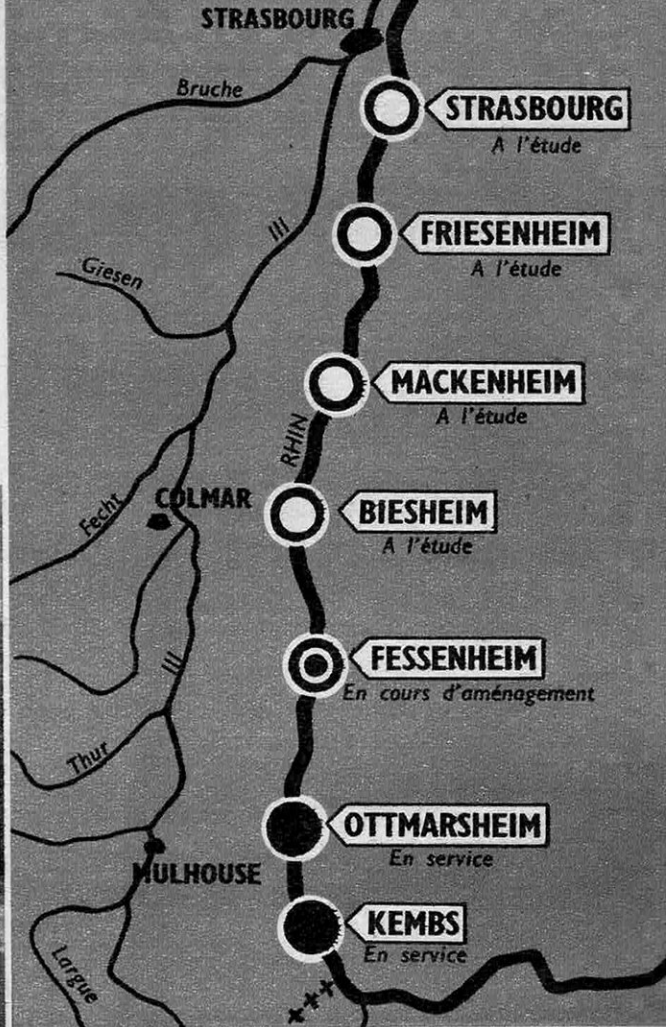
Un canal à ciel ouvert, creusé parallèlement au cours du Rhin, et capable d'écouler un débit de 1 100 m³/s, alimente une chaîne de puissantes usines : Kembs, Ottmarsheim, bientôt Fessenheim (1957), dont la production va de 850 millions de kWh pour Kembs, à 1 050 millions de kWh pour Ottmarsheim. Un barrage unique, le barrage de Kembs, alimente le Grand Canal d'Alsace sur lequel se déroule un trafic intense de péniches.



aménagement du Rhin

Au droit de chaque usine, une écluse, ou plus exactement deux écluses jumelées, assurent la continuité du canal navigable. Chaque groupe d'écluses représente environ 450 000 m³ de déblais et 250 000 m³ de béton.

L'aménagement du Rhin est avant tout, comme celui du Rhône, un immense travail de terrassement : la seule chute de Fessenheim a exigé 18 millions de mètres cubes de déblais.



Centrale de Kembs et Grand Canal d'Alsace

L'aménagement du bassin de la Durance



La Durance, considérée autrefois comme l'un des trois fléaux de la Provence (avec le mistral et le Parlement d'Aix) apportera au cours de la prochaine décennie une contribution nouvelle au développement agricole et industriel de plusieurs départements.

L'aménagement de la rivière comporte trois zones distinctes : la Haute-Durance, où les travaux de Serre-Ponçon viennent de commencer, la Moyenne-Durance, déjà partiellement équipée, où des études délicates sont en cours en vue de superposer un aménagement nouveau, beaucoup plus puissant, aux aménagements existants, et la Basse-Durance où les travaux de la chute de Jouques sont en cours.

La digue de Serre-Ponçon, d'une hauteur de 120 m au-dessus du lit de la Durance et d'une largeur de crête de 600 m, aura un volume de 12 millions de mètres cubes. Une usine souterraine, équipée de 4 groupes de 800 000 kW, produira en année moyenne 700 millions de kWh.

La Durance, une fois complètement équipée, fournira une quantité d'énergie de l'ordre de 6 milliards de kWh, voisine de celle du Rhin (en fait, les possibilités de la rivière seraient de l'ordre de 10 milliards). La retenue de Serre-Ponçon, avec ses 800 millions de mètres cubes utiles, régularisera cette énergie, qui sera par le fait d'une qualité supérieure à celle du Rhône et du Rhin. Elle régularisera également l'irrigation de 75 000 hectares tributaires actuellement des débits capricieux de la rivière et permettra vraisemblablement l'irrigation de 25 000 hectares supplémentaires.

électrique avaient à résoudre des difficultés moins spectaculaires peut-être, mais non moins graves. Le doublement de la puissance des alternateurs posait, en particulier, des problèmes de refroidissement qui ont été résolus au prix d'agencements mécaniques ingénieux et aussi en faisant tourner les machines dans l'hydrogène, ce qui avait également l'avantage de réduire les pertes.

Compte tenu des divers facteurs qui entrent en jeu, on peut estimer que l'ensemble des progrès réalisés dans la conception des usines se traduit par une réduction d'un peu plus de 10 % sur les dépenses d'investissement.

Mais l'économie essentielle procurée par les techniques nouvelles est une économie d'exploitation, réalisée essentiellement sur les dépenses de charbon (ou de fuel) et les dépenses de personnel.

Les centrales du Plan Monnet consommaient, en effet, en moyenne 3 300 calories (environ 500 grammes de charbon) par kWh. Les centrales nouvelles en consomment 2 600 (soit moins de 400 grammes). Pour une grande centrale de base, à 2 groupes, tournant en moyenne 6 000 heures par an, l'économie annuelle est de l'ordre de 120 000 tonnes de charbon.

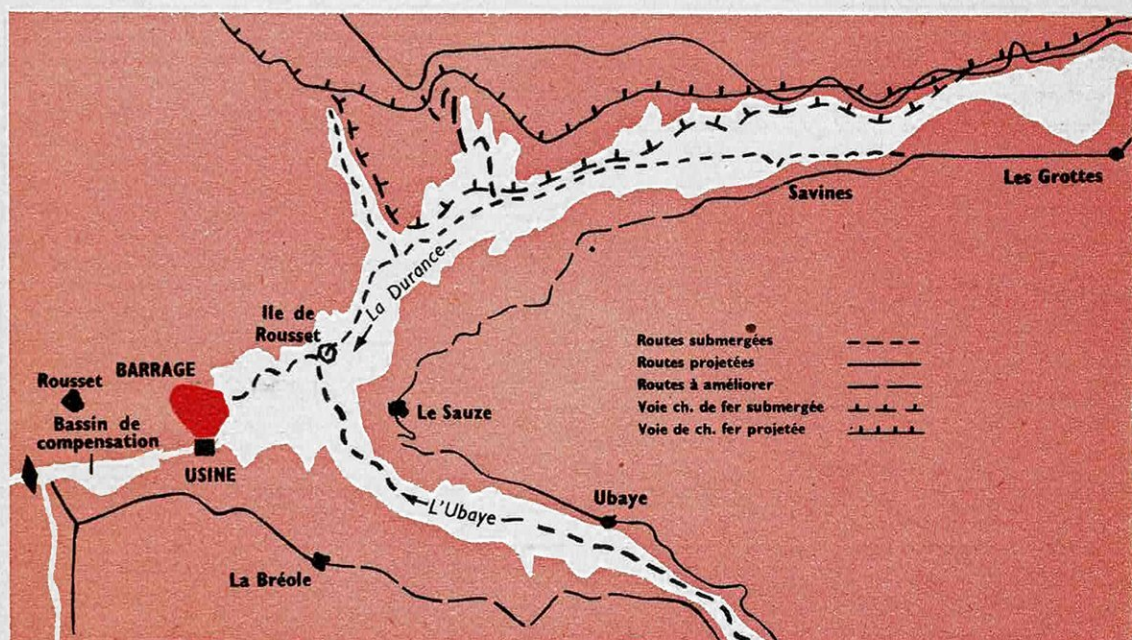
Il est évident qu'un groupe de 100 MW alimenté par une chaudière unique exige, pour sa surveillance et son entretien, moins de personnel que 2 groupes de 50 MW alimentés chacun par 2 chaudières : l'économie réalisée sur les dépenses correspondantes est d'environ 40 %.

Les résultats obtenus marquent-ils la limite des progrès que nous pouvons escompter, ou du moins un palier sur lequel nous sommes appelés à stationner longtemps ? Il ne le semble pas.

Déjà les Etats-Unis ont construit des machi-



Site du futur barrage de Serre-Ponçon



nes dont la puissance dépasse 250 MW, et un nouveau groupe est à l'étude pour une puissance de 275 MW et une température de surchauffe de 650° C; la pression à l'admission de la turbine atteindrait 350 kg/cm².

Il semble qu'entre notre technique actuelle des groupes de 115/125 MW et l'avant-garde de la technique américaine, il y ait place, en France, pour un nouveau progrès. Electricité de France envisage dès maintenant la possibilité de commander un ou deux groupes d'environ

250 MW (565° C — 148 kg/cm²) qui seraient installés dans la région parisienne.

D'après les premières études, les économies qui pourraient être réalisées seraient d'environ 15 % sur le prix actuel du kW installé.

Au-delà d'une puissance unitaire de l'ordre de 250 MW et d'une température de 565° C, limite de tenue des aciers ferritiques, nous entrons dans un domaine presque inexploré : nous n'essayerons pas de pousser plus loin nos prévisions d'avenir.

(Suite page 60).

Reprise de l'aménagement du Drac



Le barrage du Sautet

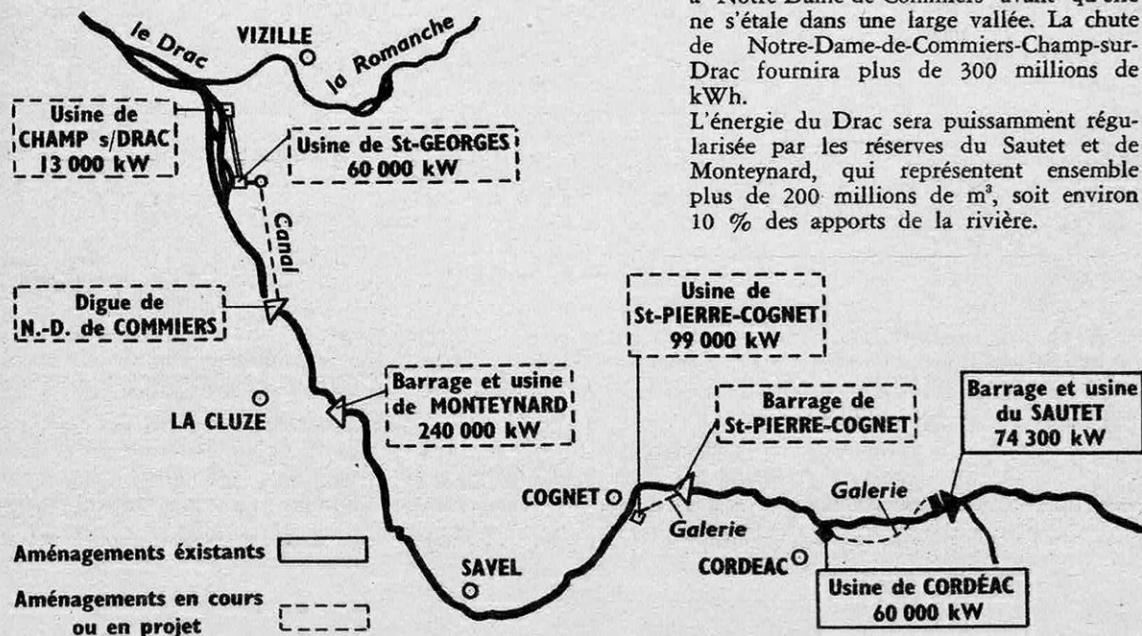
Ph. Baranger

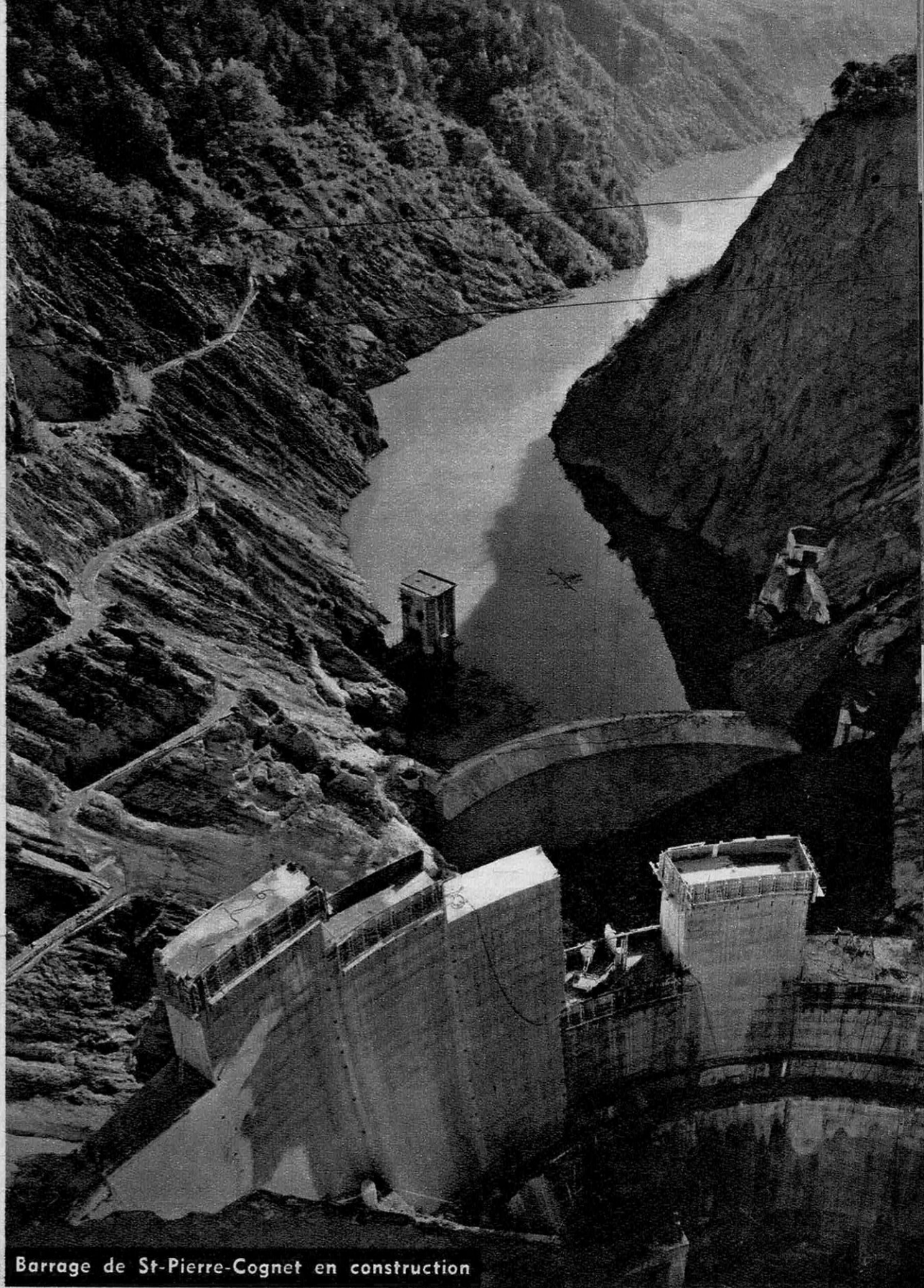
L'aménagement du Drac moyen représente le dernier terme d'un ensemble qui produira 1 500 millions de kWh par an.

Le Drac se présente, en apparence, dans des conditions exceptionnellement favorables, car sur 50 km il traverse une succession de gorges où les emplacements possibles de barrages sont nombreux. Malheureusement, un ancien lit de la rivière, remblayé d'alluvions perméables, serpente au voisinage du lit actuel et le recoupe en divers points. Cette particularité était connue des géologues, mais les hydrauliciens n'en ont pas vu immédiatement l'importance. C'est après la mise en service du barrage du Sautet, en 1935, que l'apparition de fuites croissantes, qui devaient atteindre le chiffre énorme de 2 m³/s, révéla le danger de contournement des barrages à travers les alluvions perméables du lit ancien. La construction des barrages, abandonnée depuis 1936, a pu être reprise à la suite d'expériences pour déterminer les pertes probables des diverses retenues. La chute de Saint-Pierre-de-Cognet, en cours d'exécution, fournira 270 millions de kWh en 1957. A 25 km en aval, des travaux préparatoires sont en cours sur le barrage de Monteynard lequel, dans un site très favorable, n'exigera que 450 000 m³ de béton pour s'élever à 125 m au-dessus du lit de la rivière (sa hauteur réelle est de 145 m, car il est fondé sur le rocher à 20 m au-dessous du lit). La réserve utile sera de 100 millions de m³; une usine installée à l'intérieur même du barrage et équipée de 4 groupes de 80 000 kW produira annuellement 470 millions de kWh.

A quelques kilomètres à l'aval, une digue en terre barrera une dernière fois la rivière à Notre-Dame-de-Commiers avant qu'elle ne s'étale dans une large vallée. La chute de Notre-Dame-de-Commiers-Champ-sur-Drac fournira plus de 300 millions de kWh.

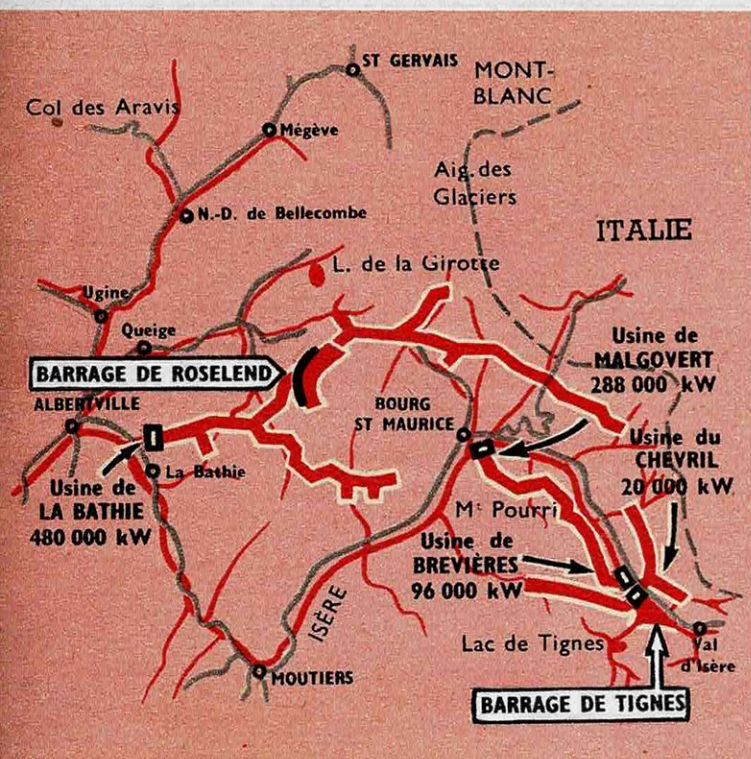
L'énergie du Drac sera puissamment régularisée par les réserves du Sautet et de Monteynard, qui représentent ensemble plus de 200 millions de m³, soit environ 10 % des apports de la rivière.





Barrage de St-Pierre-Cognet en construction

L'aménagement du bassin de l'Isère



Dans les Alpes de Savoie, à 25 km à vol d'oiseau du célèbre barrage de Tignes, Electricité de France va entreprendre le grand barrage de Roselend.

L'opération consiste à dériver les affluents de la rive droite de l'Isère, non captés dans la retenue de Tignes, dans une retenue de 240 millions de mètres cubes utiles et à utiliser les eaux ainsi régulées sous 1 200 m de chute dans une usine souterraine équipée de six groupes de 80 000 kW et située sur la rive droite de l'Isère, en amont d'Albertville.

Le barrage de Roselend, un peu moins haut que celui de Tignes (150 m contre 180), représente un cube de maçonnerie beaucoup plus important (1 200 000 m³ contre 650 000), car le verrou s'élargit nettement vers le haut. L'ensemble des dérivations et la conduite de restitution représenteront, en situation définitive, près de 60 km de galerie. La chute reste extrêmement rentable étant donné la valeur exceptionnelle de son énergie, utilisable pour la plus grande part durant les heures critiques d'hiver.

Evolution des aménagements hydroélectriques

Dans la conception et la réalisation des aménagements hydroélectriques, des progrès notables sont également intervenus par rapport à l'avant-guerre.

Les barrages ont constamment évolué dans le sens de l'allègement, obtenu au prix d'un taux de travail plus élevé du béton. Nous pouvons suivre le résultat de ces progrès dans l'évolution des projets du grand barrage de Roselend, depuis les premières études de 1948 jusqu'au projet définitif dont la réalisation est prochaine : de 1 970 000 m³ en 1948, on est passé successivement à 1 290 000 en 1949, 1 200 000 en 1950, 1 100 000 en 1951, et le dernier projet d'appel d'offres envisage seulement 1 030 000 m³.

La hardiesse des nouveaux projets s'appuie, d'une part sur une meilleure connaissance de la répartition des efforts, obtenue par des essais sur modèle réduit, et par l'auscultation systématique de certains ouvrages en service, d'autre part sur les progrès réalisés dans la fabrication industrielle du béton, qui devient un produit de qualité constante se rapprochant, à cet égard, des produits métallurgiques.

Il semble, à la suite des derniers progrès réalisés, que l'évolution technique des barrages en

béton soit près de son terme. Par contre, une technique nouvelle, rejoignant d'ailleurs une technique très ancienne, se fait jour en France à l'heure actuelle. Il s'agit de barrages en terre qui ont trouvé aux Etats-Unis un immense champ d'application et dont la digue de Serre-Ponçon sera, pour la France, la première grande réalisation.

Nous pensons que les barrages de ce type, dont la construction est rendue possible par le développement prodigieux du matériel de terrassement, sont appelés à jouer un rôle de plus en plus important dans nos aménagements hydroélectriques, à mesure que les cuvettes fermées par un « verrou » rocheux relativement étroit s'épuisent et que nous sommes amenés à barrer de larges vallées à remplissage alluvial.

Les galeries, éléments essentiellement simples, ne sont pas, dans leur conception, susceptibles de progrès au même titre que les barrages. Par contre, l'introduction en France, après la guerre, des techniques américaines de perforation et de revêtement (attaque en grande section, marteaux portés sur jumbo, taillants spéciaux, trains de coffrage sur rail, etc.) a contribué à augmenter fortement les vitesses d'avancement et, tout au moins en bon terrain, à réduire les dépenses.

Parallèlement à ces progrès d'ordre purement



Ph. Baranger



Barrage de Tignes-Usine des Brévières

Site du barrage de Roselend



Ph. Baranger



La première usine marémotrice sera co

L'opération projetée consiste à barrer l'estuaire de la Rance par une digue-tunnel de 730 m de long, y compris une écluse assurant la libre navigation entre la mer et l'estuaire. L'implantation prévue pour le barrage est la ligne joignant la pointe de La Briantais, rive droite, à la pointe de la Brebis, rive gauche, dans le nord de l'estuaire, légèrement en amont des agglomérations de Saint-Malo-Saint-Servan et Dinard. Les études sur modèles réduits ont été conduites au Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique; on voit ci-dessus deux photographies de maquettes dont l'une montre entre les deux pointes que joindra le barrage, un appareillage d'essai per-

mettant de réaliser des échanges d'eau entre l'amont et l'aval. Les dimensions de cet appareillage ne préfigurent en rien celles du futur barrage dont la crête ne dépassera le niveau des plus hautes mers que de 1,5 m; d'ailleurs, sur ces maquettes, l'échelle des hauteurs a été choisie beaucoup plus grande que celle des longueurs.

La digue contiendra 38 groupes de 7 000 kW de puissance unitaire, capables d'utiliser les dénivellations dues à la marée entre la mer et l'estuaire barré par la digue. Les groupes sont étudiés pour fonctionner en turbine dans les deux sens, ce qui leur permettra de fournir une énergie notable,

mécanique, les progrès des études géologiques et de la mécanique des roches permettent, dans de nombreux cas, d'admettre un taux de travail du rocher qui n'avait pas été envisagé précédemment; c'est ainsi que se multiplient les galeries en charge, en remplacement des conduites forcées, et que les blindages prévus en pareil cas s'amincissent, le rocher absorbant une importante fraction des efforts dus à la pression.

Enfin, les centrales elles-mêmes ont suivi dans une mesure plus modeste une évolution parallèle à celle des centrales thermiques, dans le sens de l'accroissement de la puissance unitaire des groupes et de la diminution de l'importance relative des bâtiments.

Les groupes eux-mêmes, à puissance égale, ont été allégés dans des proportions qui atteignent fréquemment 25 %.

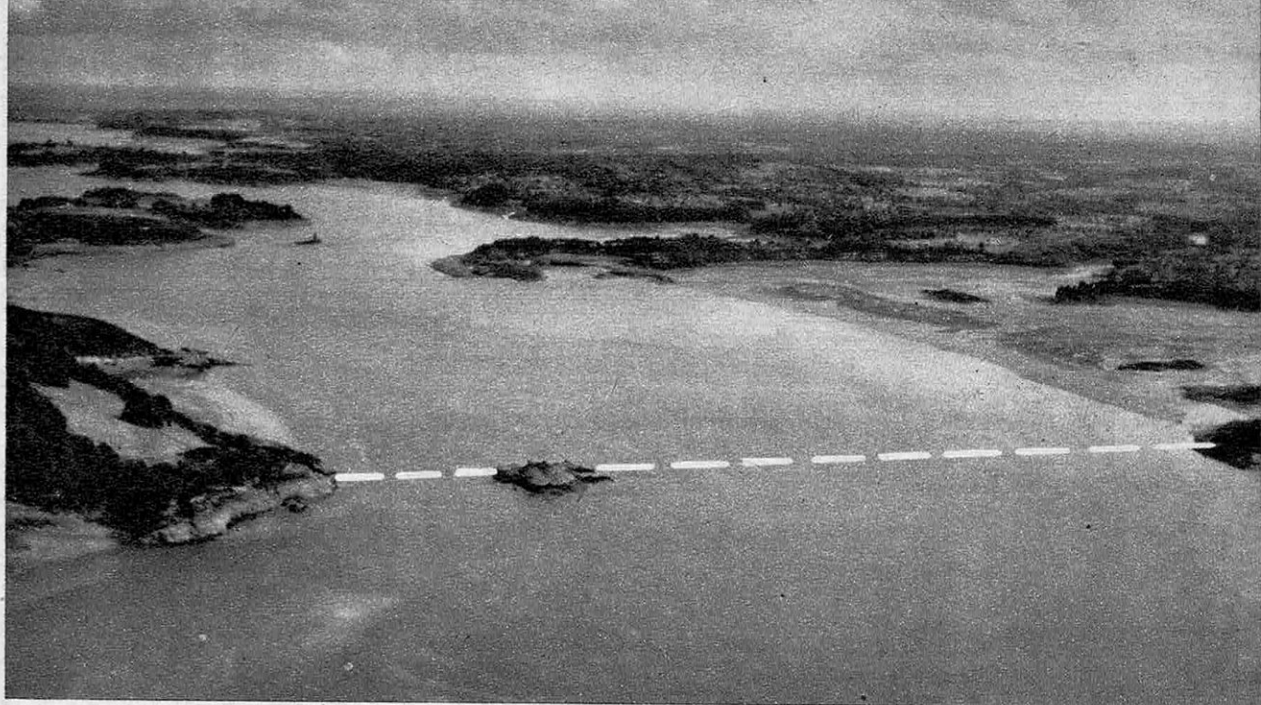
Les progrès réalisés sur les groupes revêtent

une importance particulière pour l'utilisation des basses chutes qui, par suite de l'équipement progressif des grands sites alpestres, représentent désormais une part importante de nos aménagements. Suivant une technique d'origine allemande, nos constructeurs mettent actuellement au point des groupes dans lesquels l'alternateur entoure la turbine, l'ensemble étant immergé dans l'eau. Un tel dispositif permet de réaliser des installations extrêmement concentrées et d'utiliser au maximum les faibles chutes.

Ils trouveront une utilisation de grande envergure dans l'usine marémotrice de la Rance.

Le programme hydroélectrique actuel

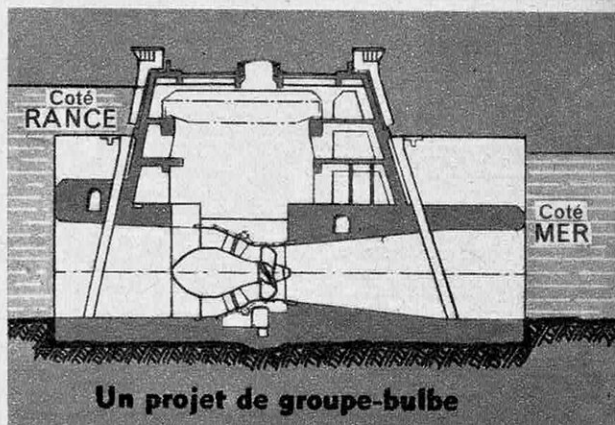
Les principaux objectifs du programme actuel sont la continuation des grands travaux en cours sur le Rhône et le Rhin, l'aménagement de la Durance, celui du Drac Moyen et l'exé-



onstruite sur la Rance

même pendant les périodes de remplissage du réservoir. D'autre part, ils peuvent également fonctionner en pompe et utiliser de l'énergie en heures creuses pour emmagasiner dans l'estuaire une réserve d'eau supplémentaire qui sera restituée en heures pleines.

Cet ensemble de possibilités donne à l'exploitation de l'usine une grande souplesse. La production journalière d'énergie peut être modulée suivant les besoins et dans une large mesure indépendamment de l'horaire des marées. La Rance fournira donc, dans des conditions de parfaite sécurité, une énergie de haute valeur.



cution de deux grandes opérations isolées : la chute de Roselend (Savoie) et l'usine marémotrice de la Rance.

Les cartes et les photographies qui illustrent ce chapitre résument les caractéristiques principales de ces travaux.

L'usine marémotrice de la Rance est l'aménagement le plus original qui ait été tenté et qui sera réalisé dès que les autorisations administratives auront été obtenues.

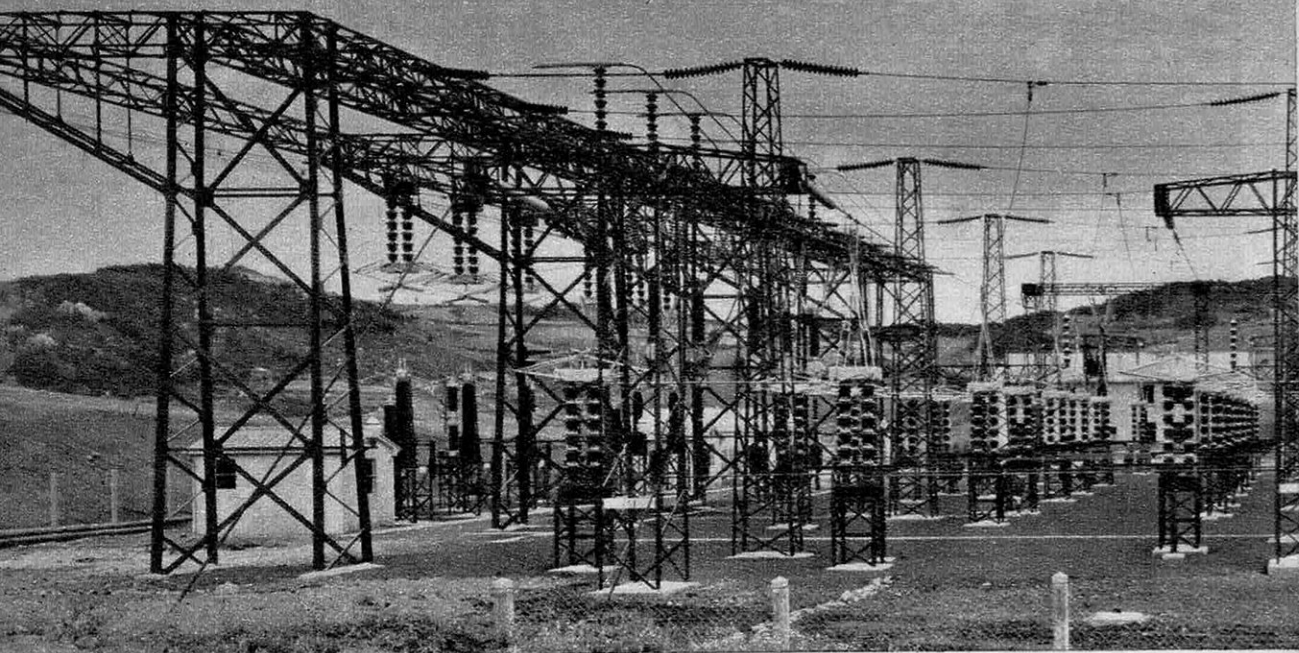
Il s'agit essentiellement de barrer l'estuaire de la Rance par une digue-tunnel de 730 m de long dans laquelle seront logés 38 groupes de 7 000 kW capables de fonctionner dans les deux sens. Ils pourront ainsi fournir de l'énergie non seulement pendant les périodes de vidage, mais aussi pendant les périodes de remplissage du réservoir.

Une autre particularité de ces groupes,

d'après les projets les plus récents, est qu'ils seront capables de fonctionner en pompes. Ainsi, pendant les heures creuses de nuit, ils stockeront dans le vaste bassin limité par la digue un volume d'eau supplémentaire qui constituera une réserve appréciable et de grande valeur pour les heures de pointe suivantes. L'exploitation de l'usine en acquerra une grande souplesse.

M. Gibrat indiquait récemment que l'énergie de l'usine de la Rance serait, en définitive, empruntée à la force vive de rotation de la terre, dont le mouvement diurne se trouverait ralenti d'une fraction de seconde par siècle.

Puissent les savants, qui dans tous les pays se penchent sur la désintégration de la matière, ne pas apporter au régime de notre globe, au cours du siècle qui vient, de plus graves perturbations



LE RÉSEAU NATIONAL DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ

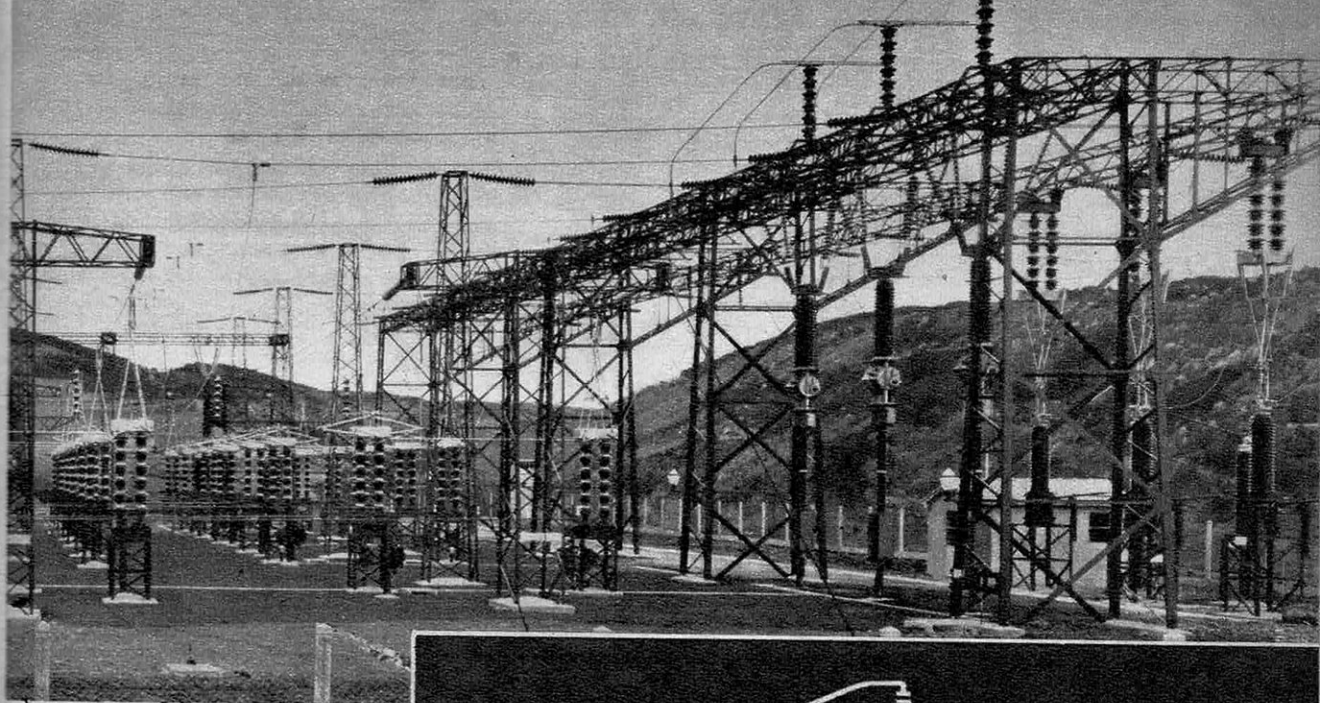
L'ÉNERGIE électrique produite par les centrales thermiques et hydrauliques doit aboutir aux centres de consommation. Nous avons vu que le temps est révolu où, à un centre particulier ou à une région déterminée, étaient affectés telle ou telle centrale ou tel groupe de centrales. L'interconnexion s'est imposée en raison de l'irrégularité de la consommation, de l'intérêt économique que présente la possibilité de faire appel de préférence, suivant les circonstances, à des centrales thermiques ou, parmi les centrales hydrauliques, aux usines de lac, d'éclusée ou au fil de l'eau, et enfin de la nécessité d'assurer la continuité du service en cas d'incidents techniques localisés.

Le réseau national assure à la fois le transport de l'énergie et l'interconnexion grâce à sa structure bouclée. Aux sommets des mailles, des postes d'interconnexion mettent en communication les artères concurrentes. Les tensions usuelles sont de 150 et 225 kV. Dans un proche avenir, des tensions de l'ordre de 400 kV seront mises en service.

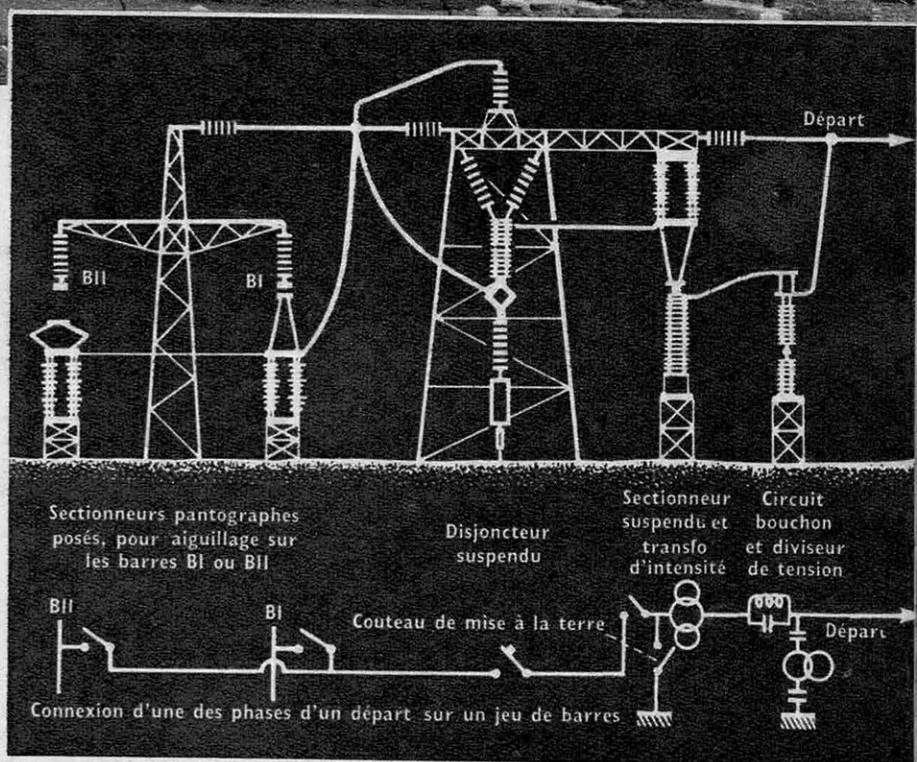
Sauf exceptions, les centres individuels de consommation ne sont pas assez importants pour

être reliés directement à ce réseau de transport proprement dit ; l'énergie est fournie aux utilisateurs par l'intermédiaire de réseaux subordonnés : les réseaux de répartition et de distribution. Le premier utilise les tensions de 45 et 63 kV ; des tensions plus faibles conviennent aux puissances et aux distances limitées. Il s'agit, évidemment, toujours de courant alternatif triphasé 50 périodes/seconde ; mais une même énergie peut être transportée sous haute tension et faible intensité ou sous tension réduite et intensité accrue. Le choix résulte, dans chaque cas, de considérations d'économie et de commodité. L'un des gros avantages du courant alternatif est de subir aisément des modifications de tension à l'aide de transformateurs statiques de rendement élevé. Les hautes tensions s'imposent pour transporter une puissance considérable à des distances importantes ; des tensions réduites conviennent aux puissances limitées et aux distances plus courtes.

L'énergie est, en général, émise par les machines des centrales sous 10 à 15 kV, et le poste élévateur de l'usine la répartit à des tensions qui tiennent compte d'abord des besoins régio-



Vue générale du poste 220 kV de Pratclaux. Des deux côtés, les travées de départ. Au centre, face au plan de figure, les 6 conducteurs des 2 jeux de barres imbriqués. Sous chacun d'eux, une rangée de sectionneurs d'aiguillage. Les travées reçoivent les autres éléments de connexion. L'ancien appareillage aurait exigé une surface 2 fois supérieure



naux, car il ne serait certainement pas économique de transformer sans discrimination toute la production d'une centrale pour l'expédier sur le grand réseau d'interconnexion, puis la transformer inversement à l'usage des réseaux basse tension du voisinage.

Au 1^{er} janvier 1955, le réseau comptait 9 169 km de lignes à 225 kV, 8 787 km à 150 kV, 11 810 km à 90 et 63 kV, avec près de 250 postes d'interconnexion. L'ordre de grandeur des puissances couramment transportées sur ces lignes est de 130 MW (mégawatts ou millions de

watts) sous 225 kV, 70 MW sous 150 kV, 30 MW sous 90 kV, 20 MW sous 63 kV.

Le réseau de transport français est raccordé aux pays voisins et permet des échanges avec la Belgique, l'Allemagne, la Suisse, l'Italie et l'Espagne. Les échanges internationaux sont appelés à connaître un certain développement ; des études sont actuellement poursuivies pour réaliser avec l'Angleterre une liaison par câbles sous-marins, et les artères sous 400 kV seront une première étape nationale vers la constitution d'un super-réseau d'interconnexion européen.

Le réseau de transport est exploité au sein d'E.D.F. par un service spécialisé, comportant à Paris un Service Central et 8 centres régionaux: Nord, Est, Alpes, Sud-Est, Sud-Ouest, Ouest, Paris et Massif Central.

Les lignes de transport d'énergie

Les lignes de transport d'énergie sont devenues un élément familier de nos paysages : des supports en treillis, dont la hauteur peut dépasser 40 mètres et dont l'espacement varie entre 250 et 500 mètres, soutiennent les conducteurs par l'intermédiaire de chaînes d'isolateurs.

Leurs silhouettes sont diverses : la disposition classique des conducteurs est en triangle ou en nappe. Certains supports sont établis pour deux groupes de conducteurs triphasés (deux « ternes »). Les supports français de deux « ternes » 225 kV pourront être adaptés à une « terne » 400 kV.

Les règlements administratifs interdisent que les conducteurs, à leur point le plus bas, se trouvent à moins de 6 mètres du sol (8 mètres pour les traversées de routes). Ces hauteurs minimum conduisent à des fixations bien plus élevées sur les pylônes; entre deux attaches consécutives, les conducteurs prennent une flèche importante, qui dépend de la longueur de la portée, de la tension mécanique de pose et du poids par mètre de conducteur, ce dernier étant la résultante du poids proprement dit et de l'effort dû à la poussée du vent; dans certains cas, il est même tenu compte de la surcharge accidentelle due au givre. La flèche n'est d'ailleurs pas constante; elle s'accroît lorsque le conducteur s'allonge par échauffement (sous l'effet des pertes électriques et de la température ambiante) sans être refroidi par le vent; elle atteint sa plus grande valeur durant les jours calmes d'été.

Conducteurs et isolateurs

Sur les lignes à très haute tension, les conducteurs doivent avoir un diamètre assez grand pour limiter l'« effet couronne »; autour des câbles de section insuffisante, l'air s'ionise, ce qui provoque des crépitements, des phénomènes lumineux et des parasites radio-électriques.

Les câbles conducteurs en aluminium-acier doivent leurs qualités mécaniques à une âme d'acier, et leurs qualités électriques à un entourage d'aluminium. Les sections utilisées varient entre 116 et 592 mm². Aux très hautes tensions, pour limiter l'effet couronne sans augmenter inutilement le poids, on utilise des conducteurs en faisceau placés suivant les arêtes d'un prisme et réunis en parallèle. Cette solution sera probablement retenue pour le futur réseau 400 kV de l'Electricité de France.

Les câbles conducteurs sont attachés aux sup-

ports par des isolateurs suspendus groupés en chaîne; le nombre d'éléments de la chaîne est approprié à la tension de service. Le modèle le plus répandu est l'isolateur « capot et tige »; une cloche soit en céramique, soit en verre trempé, à base élargie et pourvue d'ondulations, porte à sa partie supérieure un capot scellé en acier, tandis qu'une tige d'acier est scellée à la partie inférieure.

L'élément capot et tige utilisé sur le réseau de transport supporte une tension électrique d'environ 70 kV. Le potentiel électrique ne se répartit pas également sur les éléments d'une chaîne; les contraintes sont plus fortes aux deux extrémités, surtout du côté du conducteur. Toutefois, dès que la chaîne est importante, le nombre d'éléments devient sensiblement proportionnel à la tension: une dizaine pour 150 kV, et une quinzaine pour 225 kV.

Dans les zones urbaines, le câble souterrain remplace les conducteurs aériens. L'isolement interne du câble peut être assuré par un gaz (azote) sous pression (jusqu'à 130 kV environ) ou de l'huile sous pression, ce qui permet d'atteindre 400 kV. Dans la région parisienne, la première canalisation souterraine à très haute tension (220 kV) a été posée en 1936, sur une longueur de 18 km; on n'emploie pas un câble unique à 3 conducteurs, mais 3 câbles unipolaires identiques, ce qui réduit les difficultés de manutention et de pose. La distribution d'huile sous pression est assurée par un canal ménagé au centre du conducteur.

Les postes d'interconnexion et de transformation

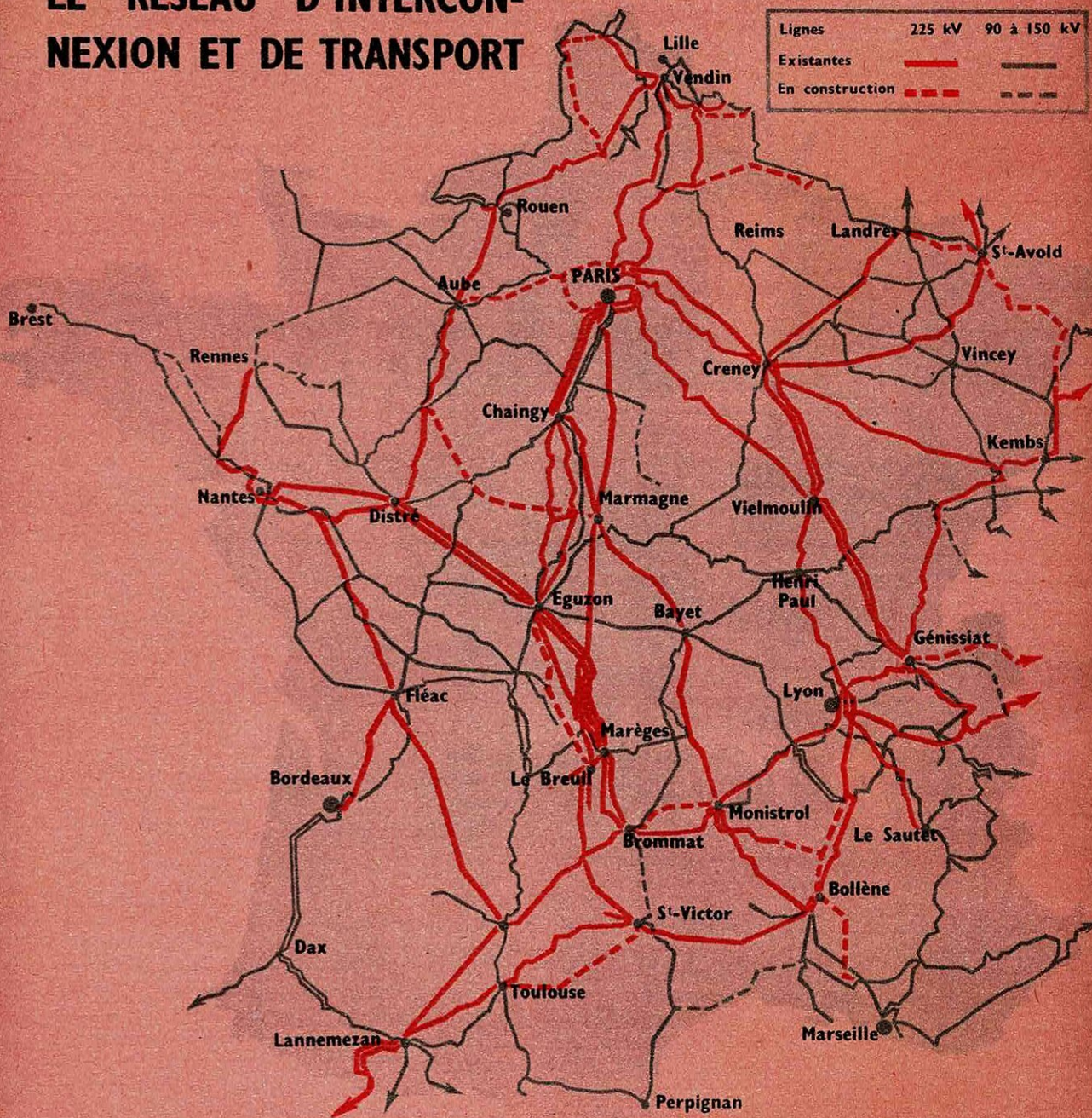
Ces postes, installés aux nœuds du réseau d'interconnexion, assurent la jonction des lignes de transport, la collecte de l'énergie des centrales et l'alimentation des réseaux de répartition et de distribution.

Les liaisons électriques s'opèrent sur un collecteur ou « jeu de barres » où aboutissent les installations terminales des lignes à raccorder. En général, il existe deux jeux de barres, ce qui accroît la souplesse de manœuvre: on peut exploiter le poste en deux tranches séparées ou réunies à volonté.

Chaque circuit est couplé aux barres par une « cellule ». Une cellule de ligne comprend, à partir des barres, des sectionneurs d'aiguillage vers les jeux de barres, un disjoncteur, des sectionneurs de tête de ligne et de mise à la terre, des transformateurs de mesure, et l'appareillage de télécommunication à haute fréquence sur la ligne.

Les postes de conception ancienne, y compris ceux qui ont été construits au lendemain de la guerre, utilisaient une grande surface au sol et une charpente métallique importante

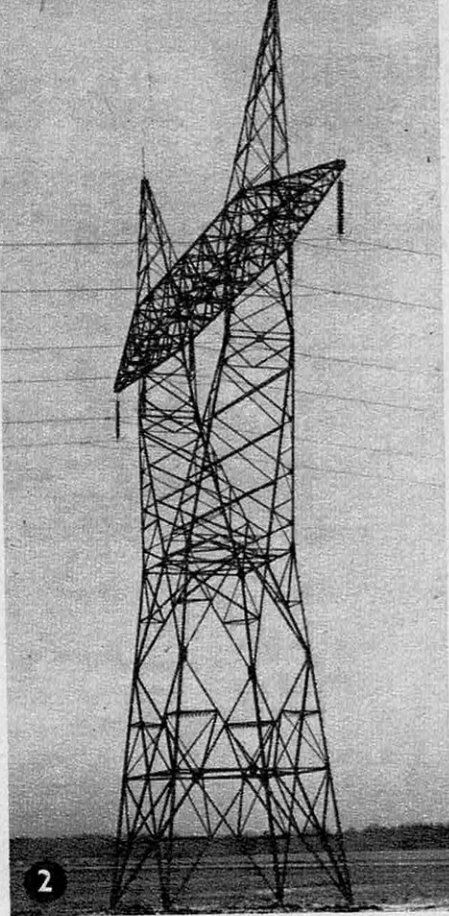
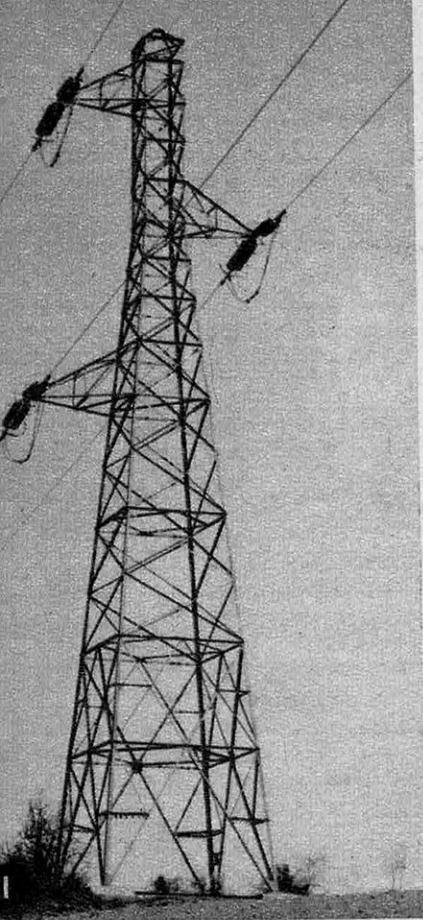
LE RÉSEAU D'INTERCONNECTION ET DE TRANSPORT



avec plusieurs étages de connexions. La charge financière qu'ils entraînaient était considérable ; les 6 620 cellules de coupure, en service au 1^{er} juillet 1954 sur le réseau à haute tension exploité par le service des Transports, entraînaient, avec leur valeur voisine de 150 milliards, plus du tiers des charges financières de l'ensemble du réseau.

Les efforts techniques se sont traduits par une importante compression des dimensions et

Le réseau d'interconnexion et de transport comporte plus de 30 000 km de lignes entre 63 et 225 kV. Il s'est accru de 1 286 km en 1955. Les lignes 225 kV Paris-Le Breuil (Massif Central, avec prolongements vers les Pyrénées et le Rhône) et Paris-Génissiat-Malgovert-Lyon-Châteauneuf-sur-Rhône doivent être portées à 400 kV. De nombreuses lignes 60 kV, non représentées sur la carte, complètent la répartition et le maillage.



Supports de lignes : dispositions en triangle (1) et en nappe (2 et 3). En 2, les deux « ternes » 225 kV sont remplaçables par une « terne » 400 kV. En 3, on observe que les distances des conducteurs à la masse prévoient l'inclinaison sous le vent. Les supports sont surmontés d'une ligne de terre (1) ou de paratonnerres (2 et 3). Des anneaux ou des cornes de garde amorcent les arcs de contournement loin des chaînes d'isolateurs.

du poids des appareils, d'où une réduction de la surface nécessaire, des travaux de génie civil et de charpente, et des moyens de maintenance, accompagnée d'une amélioration de la sécurité. On construit actuellement des disjoncteurs suspendus dont le mécanisme est entièrement sous tension, l'énergie nécessaire au fonctionnement étant fournie par une commande oléopneumatique. A caractéristiques équivalentes, les disjoncteurs ont vu passer leurs poids de 10 à 2,5 tonnes. Des sectionneurs à pantographe à développement vertical remplacent les appareils anciens à mouvement rotatif horizontal.

Pour les transformateurs, un effort analogue est en cours. Ces appareils, qui élèvent ou abaissent la tension et permettent ainsi la jonction des lignes de caractéristiques différentes, deviennent aux fortes puissances des appareils considérables ; d'ailleurs, pour des commodités d'exploitation, on emploie fréquemment 3 transformateurs monophasés au lieu d'un seul transformateur triphasé. Chacun de ces transformateurs pèse plus de 100 tonnes lorsqu'il s'agit d'élever 100 000 kW de 150 à 225 kV. L'utilisation de nouvelles tôles, à cristaux orientés, et des études sur l'allègement et l'économie des appareils, permettent, pour les moyennes tensions, des réductions de poids de l'ordre de 40 %, le doublement de la puissance installée

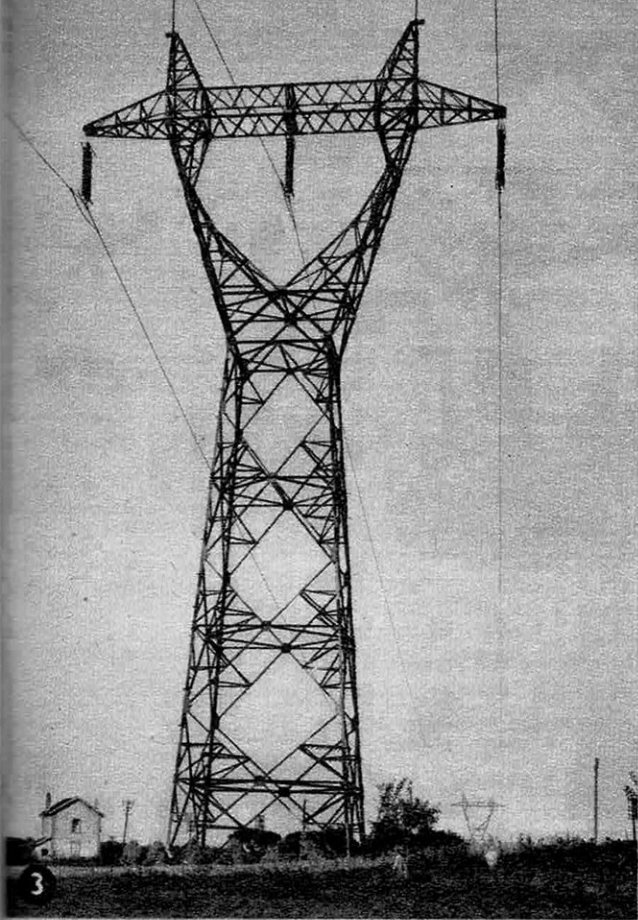
en surface et une simplification de la manutention.

Les appareillages de contrôle et de manœuvre des postes d'interconnexion et de transformation, groupés dans une salle de commande, ont été réduits à des tableaux de faible encombrement, n'exigeant qu'une filerie restreinte ; les dispositifs dont la présence n'est pas indispensable dans le bâtiment de commande, tels que les relais de protection et de comptage, trouvent leur place dans de petits bâtiments logés dans la tranche même de la cellule à laquelle ils se rapportent.

Cet effort de modernisation de l'équipement est accompagné de la simplification des méthodes de surveillance et d'entretien ; la réorgani-

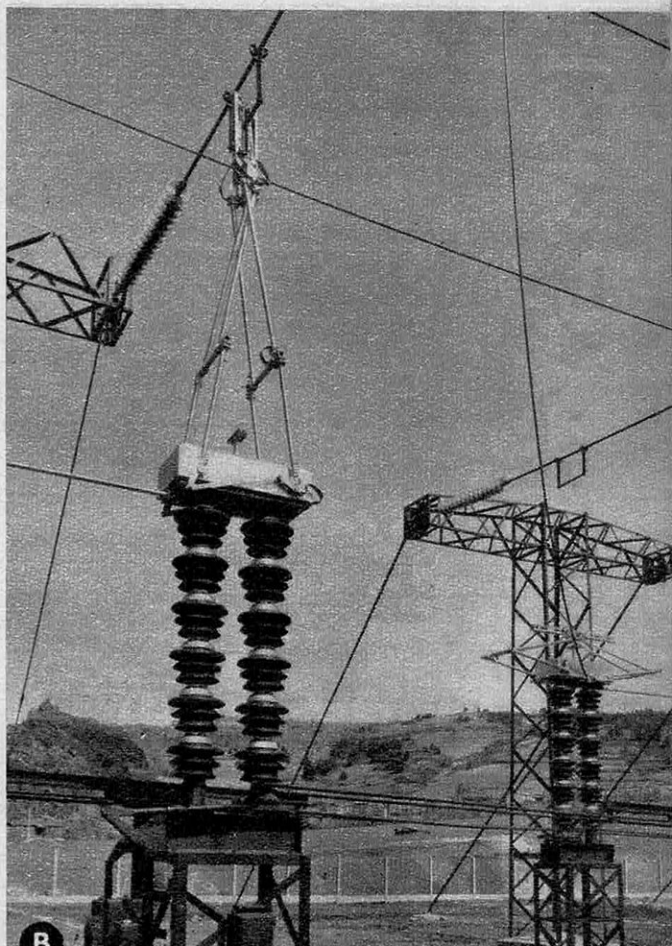
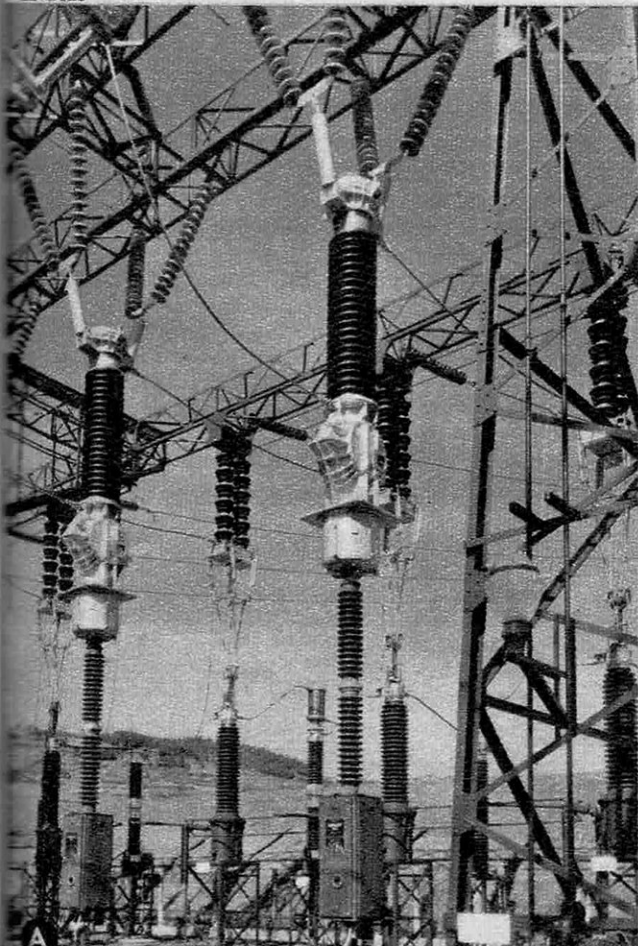
A Poste de Pratclaux : départ 220 kV. A l'avant, disjoncteurs suspendus ; puis sectionneurs à pantographes suspendus manœuvrant sur des transformateurs d'intensité, enfin condensateurs diviseurs de tension (mesures, télécommunications).

B Sectionneur à pantographe posé au sol, 250 kV. La colonne isolante de gauche est fixe ; celle de droite est tournante et transmet le mouvement de manœuvre. La mâchoire du pantographe vient fermer le contact sur une bride.



3. Delle

4. Delle



sation consécutive à la nationalisation d'Electricité de France a permis, au cours des cinq dernières années, un accroissement de productivité voisin de 35 %.

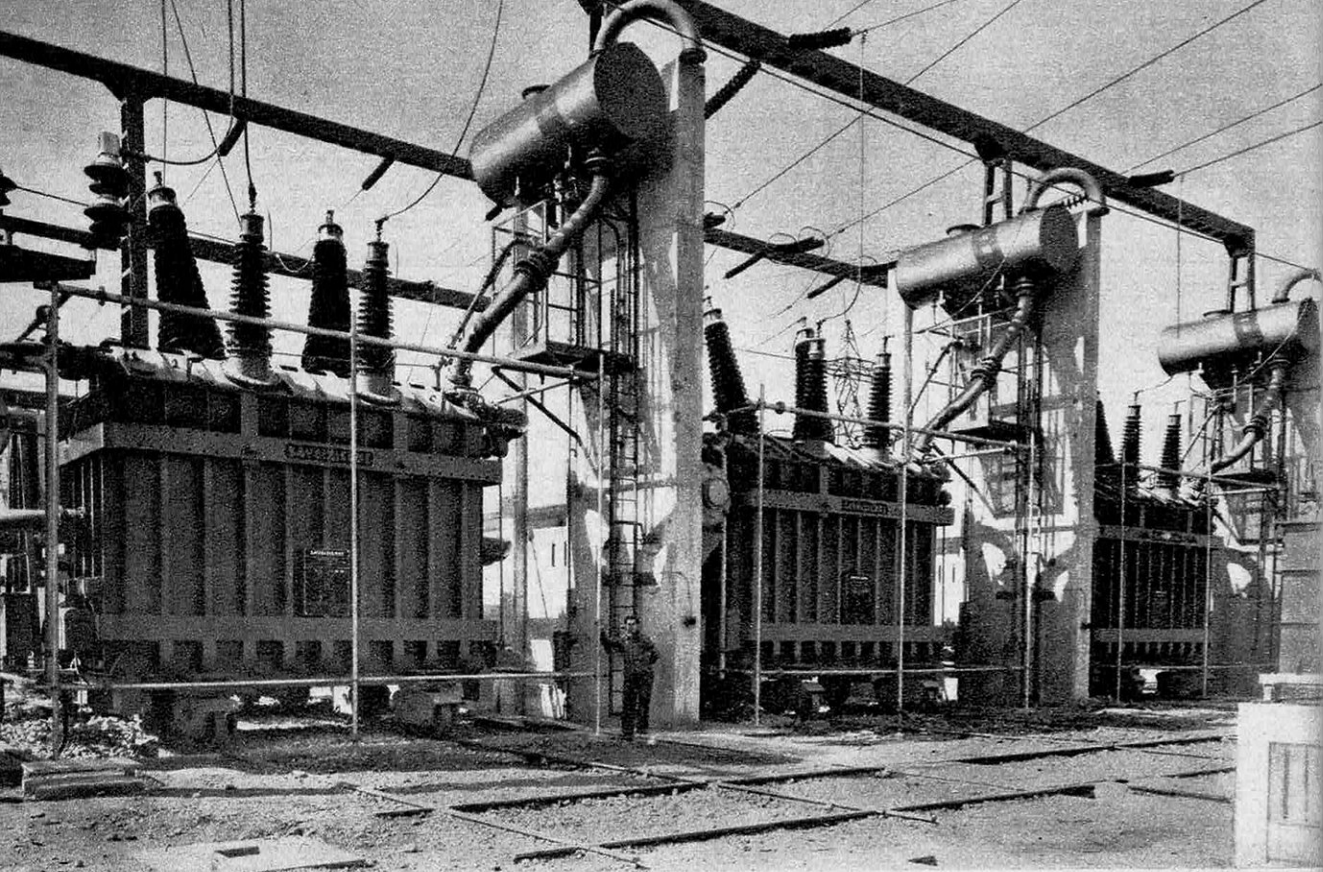
Les protections électriques

De nombreuses causes fortuites peuvent engendrer des perturbations sur le réseau de transport : coups de foudre, baisse d'isolement due à l'humidité, aux sels marins, aux poussières, aux vapeurs chimiques ; incidents mécaniques provoqués par des vents violents, des métaux corrodés, des glissements de terrain, ou encore des situations d'exploitation anormales.

Les protections électriques ont pour rôle la détection et l'élimination sûres et rapides des défauts et des anomalies ; les perturbations électriques sont décelables à distance, et provoquent le fonctionnement de relais qui commandent l'ouverture de disjoncteurs.

Les besoins de l'exploitation exigent que les coupures soient étroitement circonscrites au défaut sans porter d'atteinte superflue à la continuité de la fourniture de l'énergie. On divise donc le réseau en zones de protection, délimitées par des disjoncteurs et pourvues des dispositifs de contrôle nécessaires.

Les protections doivent être rapides afin de



Cl. Savoisienn

limiter les conséquences de la perturbation. Les protections principales de lignes ont des temps de fonctionnement compris entre 0,06 et 0,5 seconde; les protections de secours, susceptibles d'intervenir en cas de non fonctionnement des premières, entre 0,1 et 2 ou 3 secondes.

Elles doivent agir quelles que soient les variations de configuration du réseau, afin de laisser toute liberté de manœuvre à l'exploitation; elles doivent aussi être sensibles, leur action devant se manifester même lorsque les perturbations sont faibles. C'est ainsi que la surintensité provoquée à une heure creuse par un court-circuit peut être moins forte que le courant des heures de pointe. Il est heureusement possible de déceler un défaut en tenant compte de plusieurs des perturbations qu'il engendre. Par exemple, un court-circuit n'entraîne pas seulement une surintensité, mais aussi une chute de tension, un déséquilibre de phase, un fort décalage du courant en arrière de la tension; si les deux extrémités de la ligne sont alimentées, le sens de la circulation de l'énergie s'inversera à l'extrémité réceptrice, qui débitera dans le court-circuit.

Des sécurités particulières assurent la sauvegarde du matériel contre les effets des surcharges. Par exemple, les transformateurs sont protégés des défauts qui se manifestent par des dégagements de gaz dans l'huile, ou par un amor-

çage interne ou externe sur la cuve, ou enfin par l'échauffement anormal des conducteurs.

L'automatisme est en plein développement sur le réseau de transport. On tient notamment compte du caractère monophasé et fugitif des défauts les plus fréquents. Le déclenchement d'une phase, provoqué par les sécurités, est suivi automatiquement d'un réenclenchement: la perturbation a, en général, disparu, sinon un nouveau déclenchement intervient.

Des opérations automatiques permettent également le rebouclage automatique contrôlé d'une ligne dont les trois phases auraient été affectées par le déclenchement.

Signalons également la mise en œuvre des régleurs automatiques de tension.

Les télécommunications

Les spécialistes du dispatching doivent être renseignés à tout instant sur la puissance transportée, la charge des transformateurs, la production des usines, la valeur de la fréquence et des tensions en des points déterminés, et donner en conséquence leurs ordres au réseau de transport et aux centrales.

Le poids et l'encombrement des transformateurs géants sont tels qu'on doit les acheminer par la route en constituant des convois spéciaux. →

← **Les transformateurs triphasés**, aux très grandes puissances, sont scindés en trois transformateurs monophasés convenablement couplés. Cicontre, groupe de transformation 100 000 kW, 220/150/10,5 kV, installé au poste de Mions (Isère).

D'où la nécessité de relations téléphoniques et de télémesures, ainsi que de liaisons de télécommande et de téléprotection.

Les communications téléphoniques sont assurées, tantôt par des circuits spécialisés concédés par les P.T.T., tantôt par des courants de haute fréquence modulée qui sont acheminés sur les lignes de transport, superposés au courant industriel 50 p/sec.; leur émission et leur réception sont assurées par des procédés analogues à ceux de la radiodiffusion. L'énergie à haute fréquence, n'étant pas rayonnée dans tout l'espace par une antenne, mais guidée de bout en bout par les conducteurs de ligne, est employée avec un bon rendement; des puissances réduites autorisent des portées considérables.

Des condensateurs assurent le couplage entre la ligne et les armoires d'émission et de réception; les propagations inutiles, au-delà des points de couplage, sont combattues par des circuits antirésonnants (circuits bouchons).

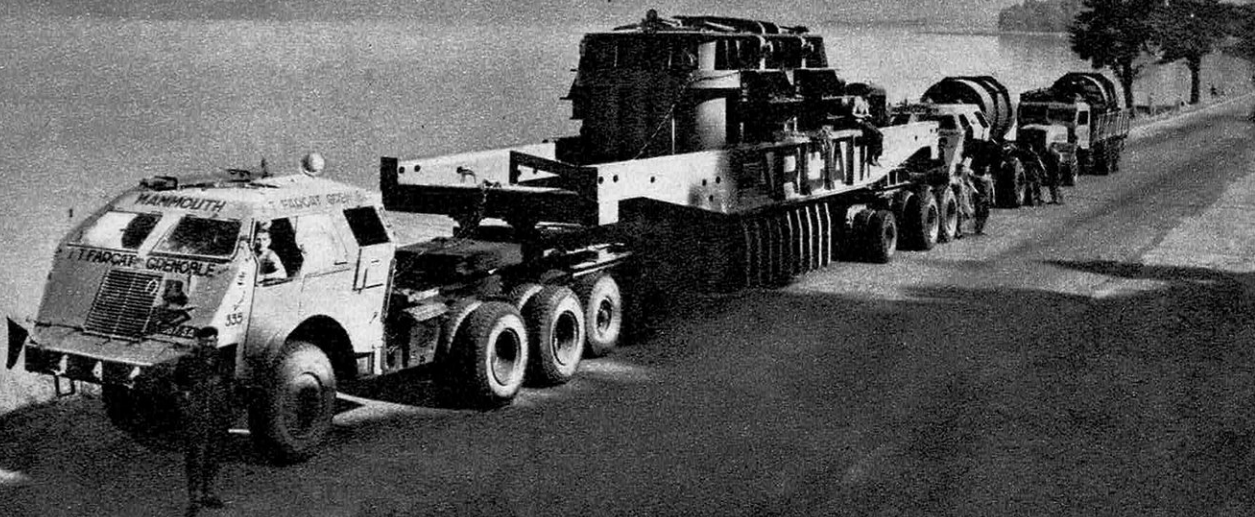
Une fréquence porteuse correspond à chaque sens de communications. Chaque circuit téléphonique, quelle que soit sa nature, est mis à ses extrémités à la disposition de plusieurs correspondants, ou prolongé vers d'autres circuits,

par des meubles de commutation manuelle ou automatique. Chaque « abonné » est obtenu par une numérotation à 3 ou 5 chiffres selon les distances.

Cet important réseau emploie 50 000 km de circuits téléphoniques ordinaires, 25 000 km de circuits haute fréquence sur lignes, 660 armoires d'appareillage haute fréquence et 315 auto-commutateurs.

Pour faire une télémesure, on envoie en ligne un courant continu si la distance est faible, alternatif si elle est importante. L'intensité du courant continu, ou la fréquence du courant alternatif, définiront la valeur de la grandeur contrôlée. Plusieurs courants de fréquence variable dans des intervalles différents peuvent être appliqués à une même ligne et séparés à l'arrivée, ce qui autorise avec simplicité la multiplication des télémesures; plus de 600 sont actuellement pratiquées sur le réseau de transport.

Ainsi le réseau triphasé de transport et d'interconnexion, complété par ses protections et ses communications parlées et automatiques, constitue à la fois un système artériel et un système nerveux. C'est son efficacité et sa souplesse qui permettent le développement continu de la consommation d'énergie par l'industrie, les services publics, les foyers domestiques; autant que les grandes voies de communication, il caractérise les échanges et les distributions indispensables à la vie moderne.



L'AVENIR DES SOURCES D'ÉNERGIE

LE développement de notre civilisation mécanique est lié à la production de force motrice. L'énergie du vent, au temps de la marine à voile et des moulins à vent, celle des chutes d'eau à l'époque moderne, n'ont joué et ne jouent encore qu'un rôle secondaire en face de l'énorme consommation mondiale de combustibles fossiles : charbon, pétrole, gaz naturel, dont l'exploitation se poursuit à un rythme vertigineux. On a évalué en particulier à plus de 300 milliards de tonnes la quantité de charbon brûlée au cours des 250 dernières années.

Il y a 300 millions d'années, les conditions climatiques qui régnaient sur la Terre ont favorisé une luxuriante prolifération végétale et animale ; les restes accumulés ont été enfouis lors des convulsions qui secouèrent par la suite l'écorce terrestre et ont donné, par une lente élaboration, les gisements actuels de charbon, de pétrole et de gaz naturel. Les réserves ainsi stockées à l'intérieur de la Terre, bien que considérables, sont évidemment limitées et ne se renouvellent pas.

On a calculé qu'en Grande-Bretagne, le charbon susceptible d'être extrait sans frais trop considérables représente à peine 200 ans de la production actuelle. Aux États-Unis, la situation se présente plus favorablement, puisque les réserves suffiraient pour quelque 2 000 ans. Ceci ne tient pas compte du fait que les gisements pétroliers actuellement connus, et même les nouveaux que l'on espère découvrir, seront épuisés dans un délai beaucoup plus bref (140 ans, d'après les estimations les plus optimistes) ; le charbon devra donc fournir sur une grande échelle la matière première pour la synthèse des hydrocarbures.

L'énergie hydraulique, elle, se renouvelle sans cesse, puisqu'elle résulte du jeu naturel de l'immense machine thermique que constitue l'atmosphère et qui est mise en action par l'énergie que nous envoie le Soleil. Mais elle est limitée en quantité et, en supposant qu'en l'an 2000 l'équipement hydroélectrique mondial ait été développé au maximum, cela ne représenterait qu'un apport annuel d'énergie équivalant à 1 milliard de tonnes de charbon.

L'avenir apparaîtrait donc très sombre pour

l'humanité en général, et en particulier pour les pays les moins favorisés, si l'on ne pouvait compter que sur les combustibles fossiles, les chutes d'eau, et même les mouvements des mers dont l'exploitation ne fait encore l'objet que de projets ; un seul est assez avancé pour qu'on envisage une réalisation prochaine, l'aménagement de l'estuaire de la Rance en France, dont il a été question dans un chapitre précédent ; le nombre de points favorables à de telles installations est très limité dans le monde et on a évalué à seulement 50 millions de kW le plafond de la puissance totale qu'on pourrait ainsi équiper.

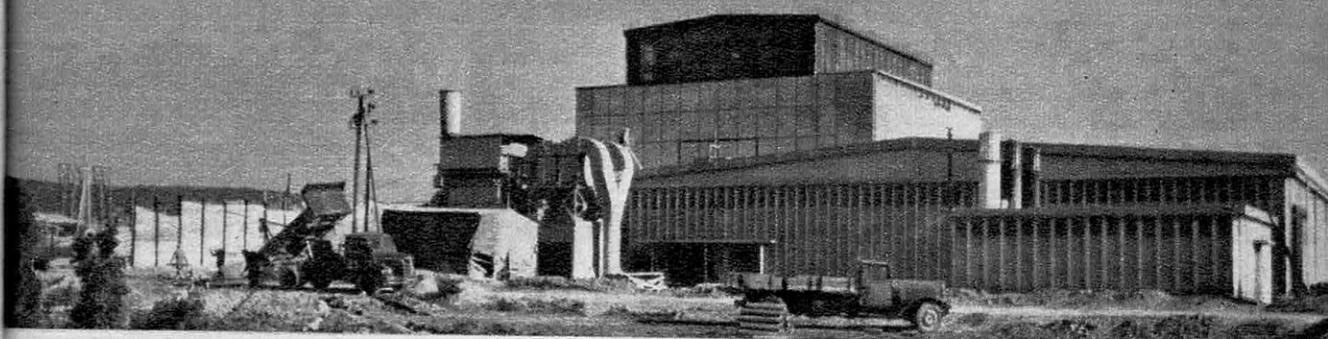
L'inventaire des sources d'énergie exploitables par l'homme ne se limite évidemment pas là ; il faudrait leur ajouter le globe terrestre lui-même (énergie géothermique), les mers tropicales (énergie thermique des mers), le vent (énergie éolienne) et le Soleil (énergie solaire). Nous allons dire quelques mots de leurs perspectives actuelles qui, malheureusement, laissent peu d'espoir dans un avenir immédiat. Nous nous étendrons plus longuement sur la question à l'ordre du jour : l'énergie nucléaire, en laquelle on s'accorde à voir la solution à relativement brève échéance, et valable probablement pour plusieurs millénaires, de la crise de l'énergie.

L'énergie géothermique

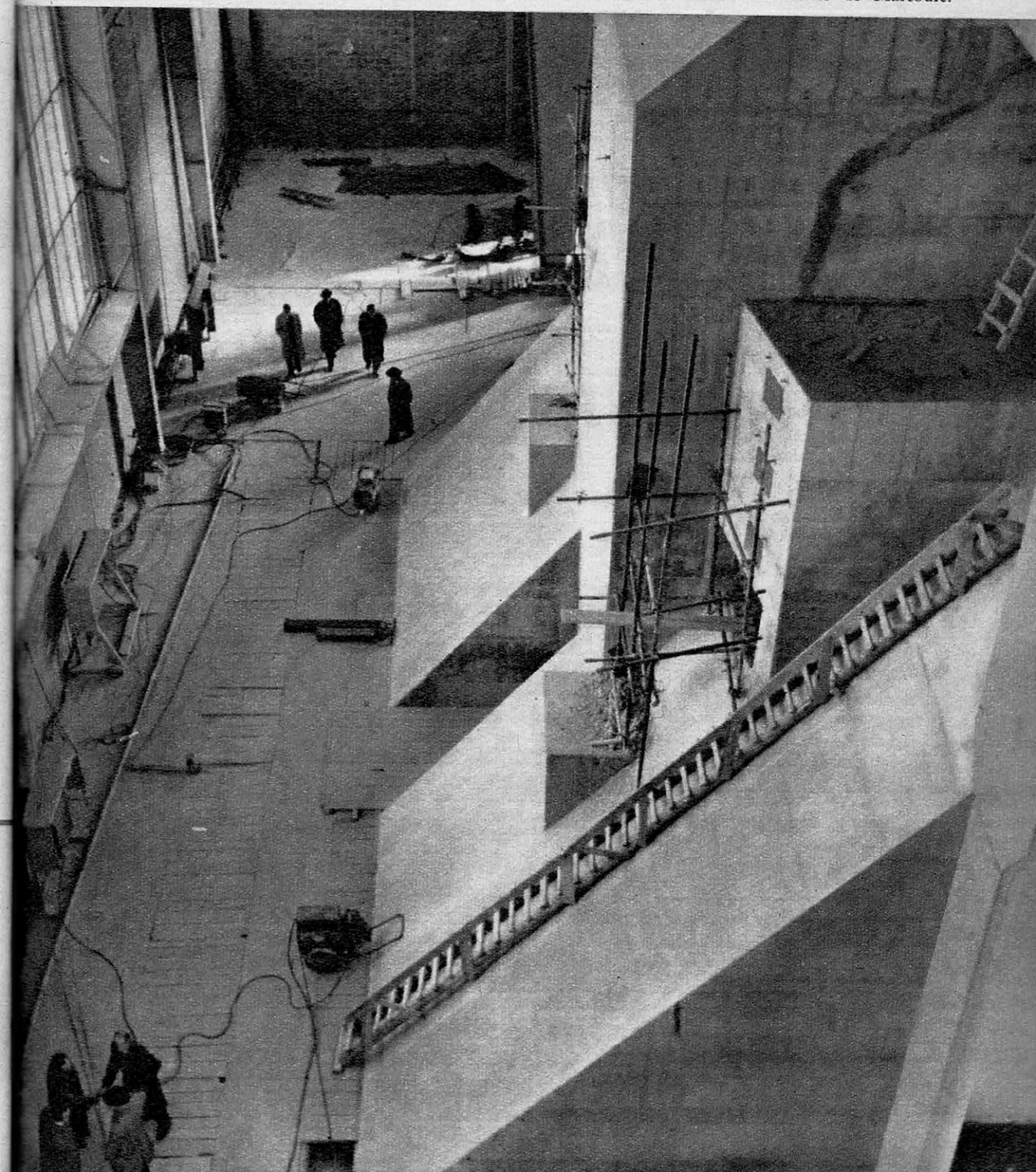
Le noyau du globe terrestre, formé de roches en fusion, constitue une réserve d'énergie que l'on peut considérer comme inépuisable. En fait, elle est peu accessible.

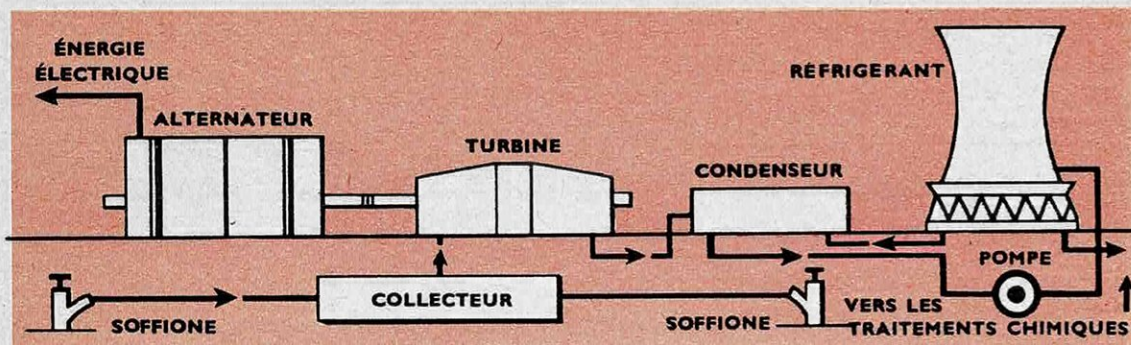
A Marcoule : la pile G1

Cette vue plongeante montre la protection de béton sur la face est du réacteur G 1 de Marcoule. Cette pile a été mise en route le 7 janvier et développera en juillet 40 000 kW chaleur avec une centaine de tonnes d'uranium. La centrale électrique expérimentale qu'elle alimentera fournira 5 000 kW. Des réacteurs G 2 et G 3 sont prévus pour plus de 100 000 kW chaleur et 20 000 kW électriques.



Vue générale du bâtiment de G1, premier réacteur nucléaire du centre industriel de Marcoule.





La centrale géothermique Larderello n° 3

Les installations de Larderello, en Italie, uniques au monde, exploitent la vapeur souterraine captée dans les « soffioni » à une température de l'ordre de 200°. Elles développent plusieurs centaines de milliers de kilowatts. On voit ci-dessus le schéma

de principe de la centrale N° 3 dont les turbines reçoivent directement la vapeur naturelle sans échangeurs intermédiaires de température, et à droite, quatre grands réfrigérants hauts de 70 m. De l'eau condensée, on extrait de l'acide borique.

Ses manifestations les plus spectaculaires sont les éruptions volcaniques, mais celles-ci sont toujours d'une violence telle que toute tentative d'utilisation est vouée à l'échec.

Dans les régions de volcanisme finissant, par contre, on pourrait envisager l'exploitation de la chaleur résiduelle des roches, telle qu'elle se manifeste dans les sources thermales chaudes, dont le débit est malheureusement faible.

Beaucoup plus intéressantes sont les centrales installées à Larderello, en Toscane, qui délivrent plusieurs centaines de milliers de kilowatts en utilisant la vapeur des « soffioni ». C'est là une réalisation unique au monde, et nulle part ailleurs ne se trouvent réunies des conditions aussi favorables.

M. Georges Claude a eu le mérite de montrer que l'on pouvait songer à utiliser la chaleur latente des roches profondes de l'écorce terrestre. Un calcul simple indique qu'en refroidissant 1 km³ de roches de 10° en un an, on pourrait réchauffer de 50° un débit de 3 m³ d'eau par seconde et obtenir ainsi 3 000 kW pendant un an. Une réalisation pratique ne serait pas sans soulever de nombreuses difficultés de tous ordres, et il ne semble pas que l'on doive, avant longtemps, dépasser le stade des discussions théoriques.

L'énergie thermique des mers

C'est encore M. Georges Claude qui a proposé de réaliser un échange thermique entre les eaux tropicales chaudes et les eaux polaires froides en profitant de ce que, dans les océans, les eaux polaires froides arrivent en profondeur sous les eaux tropicales chaudes. Ces deux masses sont en perpétuel renouvellement, et la source d'énergie est donc inépuisable.

La question est beaucoup plus avancée que pour l'énergie géothermique, et il se pourrait que l'on fût à la veille d'une première réalisation à l'échelle industrielle. Les études préparatoires pour l'édification d'une centrale à Abidjan, en Côte d'Ivoire, sont terminées. Elle est prévue en principe pour deux groupes de 3 500 kW. Le choix de son emplacement a été déterminé par le fait que le plateau continental présente là une échancrure sous-marine qui permet d'atteindre, à 4 km du rivage, une profondeur de 500 m.

Des conditions aussi favorables pour l'installation d'usines édifiées sur la côte ne se rencontrent pas fréquemment, au moins dans les pays de l'Union Française. Aussi envisage-t-on maintenant des usines flottantes, non pas à la surface comme l'avait conçu Georges Claude à l'origine, mais entre deux eaux, à une vingtaine de mètres de profondeur, à l'abri de la houle. Peut-être même pourrait-on utiliser avec profit la suggestion faite par M. A. Caquot d'établir les centrales sur des icebergs artificiels. De toute manière, la construction des centrales alimentées par l'énergie thermique des mers exigerait de très gros investissements.

L'énergie éolienne

L'exploitation de l'énergie du vent n'est pas chose nouvelle. Depuis très longtemps, l'homme y a fait appel pour certaines tâches qui s'accommodent de son irrégularité, telles que la mouture du grain ou le pompage de l'eau. On trouve dans plusieurs pays de nombreuses éoliennes qui assurent non seulement l'alimentation en eau, mais aussi parfois la fourniture d'énergie électrique. Au stade artisanal, le problème apparaît techniquement résolu.



Il n'en est pas de même au stade industriel, bien que, depuis quelques années, encouragés par les progrès rapides de l'aérodynamique, des comités se soient constitués dans plusieurs pays pour pousser les études. Les appareils envisagés sont d'allure assez semblable à celle des petites éoliennes à deux pales bien connues, mais de dimensions plus importantes. Les installations apparaissent fort onéreuses quant à l'énergie utile qu'elles sont susceptibles de livrer, étant soumises aux caprices des vents. Rares sont les régions où ils soufflent avec une force et une régularité suffisantes pour justifier les dépenses à engager.

L'énergie solaire

Le rayonnement que la Terre reçoit du Soleil sera peut-être la seule source d'énergie dont disposera l'humanité lorsque toutes les réserves de combustibles, y compris les combustibles nucléaires, auront été épuisées. Pour l'instant, son domaine d'application demeure très restreint.

On peut envisager son exploitation par différents procédés fondés sur les actions photochimiques (photosynthèse, culture d'algues, décomposition de l'eau en hydrogène et oxygène), photoélectriques ou thermiques. Les premiers n'en sont encore qu'au stade du laboratoire.

On peut en dire autant des seconds, bien que les récentes « photopiles » au silicium de la Bell Telephone aient pu alimenter des liaisons téléphoniques.

Le rayonnement thermique, capté sans concentration, ne permet d'obtenir que de faibles températures, mais on a pu l'employer, malgré ses variations diurnes et saisonnières, pour le chauffage des habitations et la distillation de l'eau. Avec des réflecteurs relativement simples, on atteint assez aisément des températures plus élevées, de l'ordre de quelques centaines de degrés, permettant la production de vapeur utilisable dans une turbine de petites dimensions. Les fours solaires proprement dits, avec des miroirs paraboliques de grande ouverture, donnent des températures de plusieurs milliers de degrés. L'installation réalisée par M. Trombe à Montlouis, dans les Pyrénées, donne 3 000° au foyer. C'est un prototype semi-industriel qui développe une puissance maximum de 75 kW et permet la fusion ou le frittage des réfractaires. On a pu envisager l'extrapolation de ses dimensions pour recueillir 1 000 kW, ce qui rendrait possibles des applications industrielles très spéciales.

A l'heure actuelle, en résumé, les seuls développements susceptibles d'une assez grande extension à échéance relativement rapprochée

sont le chauffage des habitations et peut-être la cuisine. C'est un apport modeste à la consommation mondiale d'énergie.

L'énergie nucléaire

Nous ne pouvons entrer ici dans le détail des réactions nucléaires exploitables industriellement et ne rappellerons que l'essentiel.

On sait depuis déjà longtemps, depuis qu'a été établie l'équivalence entre la matière et l'énergie, de quelles quantités énormes d'énergie on disposerait si on savait intégralement désintégrer la matière. Un kilogramme de n'importe quelle substance équivaut à 25 milliards de kWh, c'est-à-dire qu'il suffirait de 2 kg de matière par an pour satisfaire la consommation électrique actuelle de la France. C'est encore pure spéculation car on ne connaît actuellement aucun moyen pratique de provoquer la disparition intégrale des noyaux atomiques.

Par contre, on connaît deux procédés pour transformer en énergie une partie au moins de cette masse : soit scinder un atome lourd (fission) en deux fragments plus légers dont la somme des masses est inférieure à la masse initiale ; soit combiner des atomes légers (fusion) pour obtenir un atome unique de masse

inférieure à la somme des constituants. Cette dernière réaction est celle de la bombe H et, bien qu'on s'y efforce activement, on n'est pas encore parvenu à la maîtriser. C'est de la première uniquement que l'on attend pour l'instant une contribution importante.

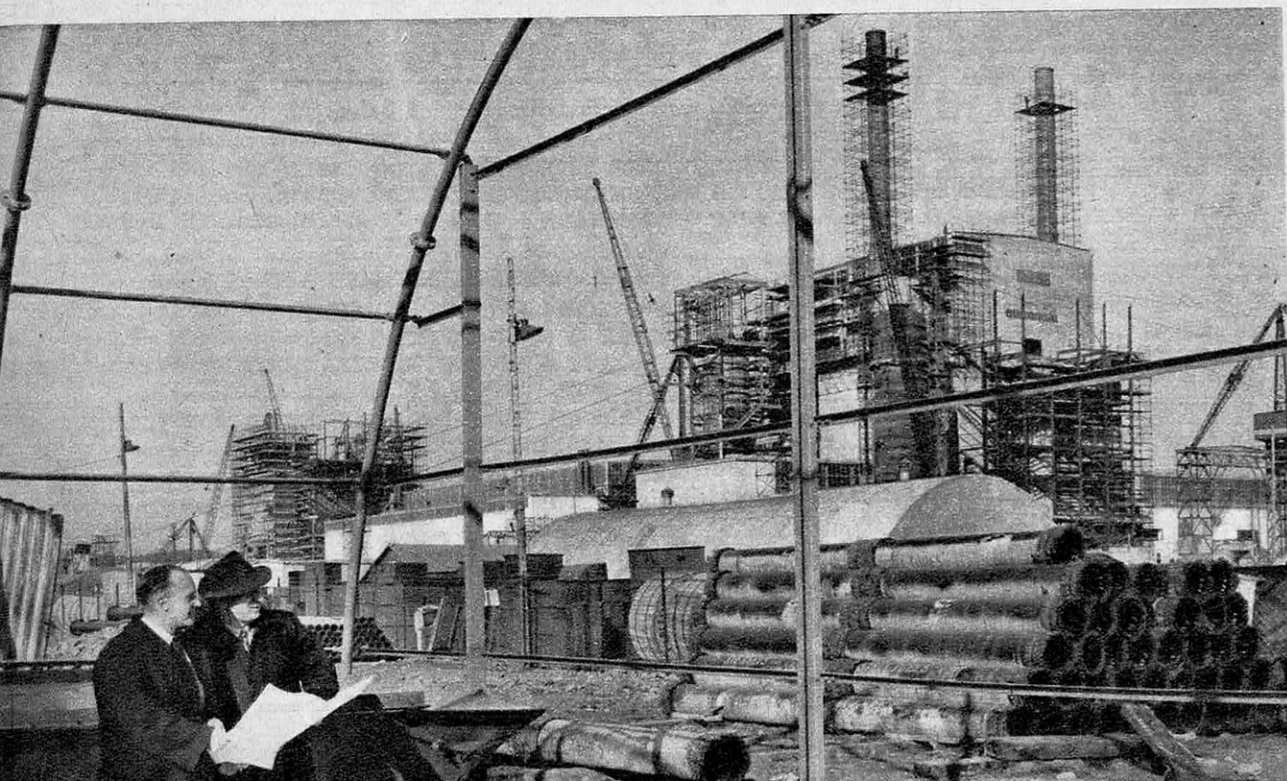
On connaît trois « combustibles » nucléaires, c'est-à-dire trois sortes d'atomes pouvant subir la fission : l'Uranium 235, le Plutonium 239 et l'Uranium 233. Le premier seul existe dans la nature où il constitue une faible fraction de l'uranium naturel, seulement 0,7 %.

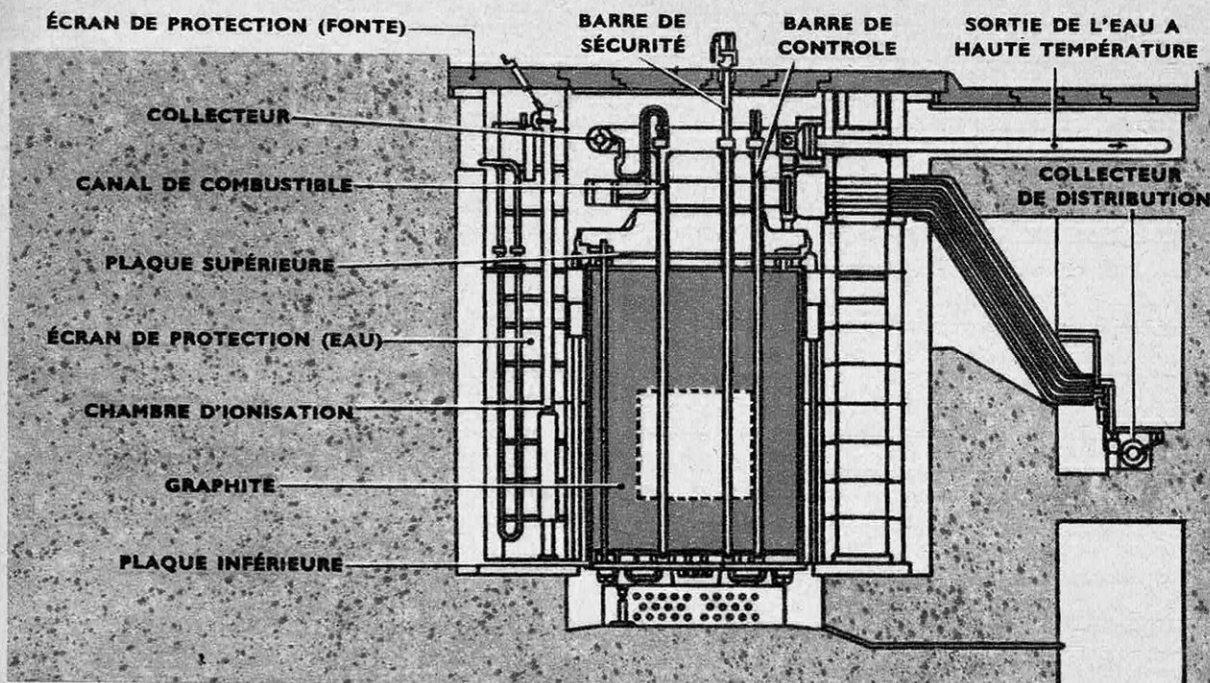
Lorsque le combustible nucléaire est disposé convenablement dans un « réacteur », une réaction en chaîne, contrôlable, s'amorce spontanément et s'établit à un niveau plus ou moins élevé suivant le réglage, correspondant à un certain nombre de fissions par seconde. La chaleur dégagée est importante et il reste à l'utiliser pour produire, par exemple, de la vapeur qui entraînera des groupes turboalternateurs classiques. Peu à peu, le combustible s'épuise, et non seulement s'épuise, mais s'empoisonne lui-même : les déchets de fission absorbent une partie des neutrons qui sont les agents de transmission de la réaction en chaîne. Il faut donc périodiquement purifier à nouveau le combusti-

Le centre de Calder Hall en Grande-Bretagne

Les premiers prototypes de centrales nucléaires britanniques ont été mis en construction à Calder Hall en 1953. La première sera mise en service cette année et développera 60 000 kW. A partir de 1964, les piles du type Calder Hall livreront

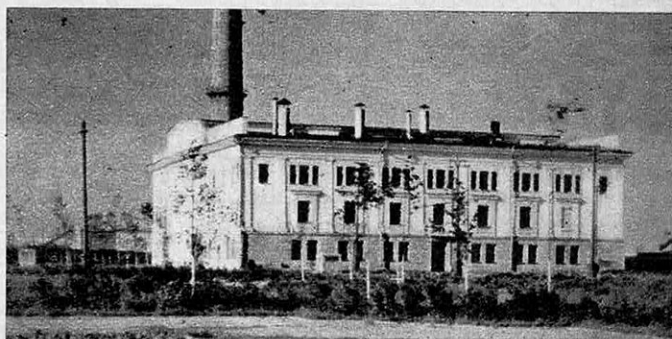
plusieurs centaines de kilogrammes de plutonium par an. La première étape du programme britannique d'exploitation de l'énergie nucléaire prévoit la mise en service d'ici 1965 de douze centrales représentant au total 1,5 à 2 millions de kW.





La centrale nucléaire de Kalouga (U.R.S.S.)

En fonctionnement depuis le 27 juin 1954, cette première centrale russe donne 5 000 kW. Son réacteur, dont on voit le schéma ci-dessus, utilise 550 kg d'uranium enrichi et du graphite comme modérateur. Le refroidissement est à eau sous pression; elle sort à 270° et produit de la vapeur dans un échangeur pour le turboalternateur. Bientôt fonctionnera une centrale de 100 000 kW.



ble et rétablir une teneur suffisante en éléments « fissiles » (susceptibles de subir la fission).

Si l'on ne pouvait compter que sur l'Uranium 235 des minerais naturels, l'exploitation de l'énergie nucléaire, bien qu'encore intéressante, n'offrirait que des perspectives limitées. Mais certains réacteurs peuvent être conçus pour produire des éléments fissiles à partir des matériaux inertes que sont l'Uranium 238 (qui représente 99,3 % de l'uranium naturel) et le Thorium. Captant les neutrons, le premier livre, par une double réaction, du Plutonium 239 et le second de l'Uranium 233 qui sont tous deux des combustibles nucléaires. La quantité produite peut dépasser celle du combustible « brûlé » dans la catégorie de réacteurs appelés « breeders ». On a ainsi la possibilité de tirer parti de la totalité de l'uranium naturel et du thorium.

L'uranium et le thorium sont très répandus

dans la nature. Les teneurs des minerais naturels, au moins en ce qui concerne l'uranium, sont malheureusement faibles, et les traitements d'enrichissement et de purification sont très onéreux. Si l'on s'en tient à des prix de revient raisonnables, on peut estimer que les réserves actuellement connues suffiraient au moins pour 2 000 ou 3 000 ans au taux de consommation actuel de l'énergie.

En l'absence de données que seule peut fournir une exploitation effective de durée suffisante, on s'accorde généralement à considérer que le coût du kilowatt-heure nucléaire sera au début sensiblement plus élevé que celui du kilowatt-heure d'une centrale thermique classique. Mais on s'accorde aussi sur l'espoir qu'il est appelé à baisser rapidement.

Ce sont les considérations économiques qui orienteront les programmes d'équipement des différents pays. La Norvège, par exemple, qui

dispose d'abondantes ressources hydrauliques, n'aura pas grand intérêt à installer de nombreuses centrales nucléaires ; la Grande-Bretagne, au contraire, menacée d'une crise charbonnière grave, se lance résolument dans un programme qui vise à satisfaire dès 1965 le quart, et vers 1970-1975 la totalité de ses besoins nouveaux en énergie électrique par des centrales nucléaires.

Le développement de ces centrales dans le monde paraît devoir apporter à longue échéance de sérieuses modifications à la géographie économique actuelle. Alors que les grands centres d'activité industrielle se sont concentrés jusqu'ici autour des sites naturels qui leur étaient favorables (bassins charbonniers, aménagements hydro-électriques), les centrales nucléaires apporteront la possibilité de produire l'énergie là où le besoin se fera sentir, à un prix indépendant de leur localisation, les frais de transport des « combustibles » fissiles étant négligeables. Elles joueront ainsi un grand rôle pour l'équipement des pays sous-développés.

Les types de réacteurs de puissance

Les réacteurs nucléaires qui ont été expérimentés ou projetés jusqu'à aujourd'hui dans le monde sont d'une extrême diversité. On pourrait en faire la classification de diverses manières, par exemple en distinguant les réacteurs simples, produisant uniquement de la chaleur, et les régénérateurs (breeders) fabriquant au moins autant de combustible qu'ils en consomment, ou bien en se fondant sur la rapidité de la réaction, évaluée d'après la vitesse des neutrons qui assurent la propagation de la réaction en chaîne. On pourrait encore se baser sur la nature du combustible : uranium naturel, uranium plus ou moins enrichi en éléments fissiles, plutonium, uranium 233 ; ou encore sur la nature et la disposition du « modérateur », matériau auxiliaire dont la fonction est de « modérer » les neutrons émis à grande vitesse par les noyaux subissant la fission et qui doivent être ralentis à la vitesse la plus favorable pour provoquer les fissions suivantes. On trouverait ainsi des réacteurs au graphite (Marcoule en France, Calder Hall en Grande-Bretagne, réacteur russe, etc.), d'autres à l'eau lourde ou à l'eau légère ; des réacteurs hétérogènes, où le modérateur solide ou liquide est nettement séparé du combustible dont il entoure les éléments, et des réacteurs homogènes où le modérateur est intimement mélangé au combustible qui s'y trouve en solution ou en suspension.

Le plus commode est sans doute de classer les réacteurs d'après l'agent de refroidissement. En premier lieu viennent les réacteurs refroidis par un gaz tel que l'air atmosphérique (première

pile de Marcoule) ou le gaz carbonique (piles suivantes de Marcoule, Calder Hall en Grande-Bretagne) ; de construction relativement simple, mais volumineux, ils livrent, comme sous-produit, du plutonium que l'on peut stocker afin de constituer par la suite des réacteurs plus évolués.

Le refroidissement par eau sous pression (eau ordinaire légère ou eau lourde) est à l'étude dans presque tous les pays. L'eau ordinaire est utilisée dans le réacteur en fonctionnement en U.R.S.S. Elle est prévue pour le réacteur américain en construction à Pittsburgh.

Reste le refroidissement par un métal fondu, que de nombreux techniciens considèrent comme le procédé de l'avenir. L'emploi du sodium fondu fait l'objet de recherches poussées tant en Grande-Bretagne (Dounreay) qu'aux Etats-Unis (projets de North American et des Atomic Power Development Associates).

Les centrales nucléaires françaises

Le premier plan quinquennal de développement de l'énergie atomique en France, qui date de 1952, prévoyait la construction à Marcoule, dans la vallée du Rhône, près d'Avignon, de deux réacteurs d'une puissance totale de 150 000 à 200 000 kW en chaleur dégagée, dénommés G 1 et G 2. Deux centrales électriques doivent être associées aux piles, l'une expérimentale, actionnée par la chaleur dégagée par la première pile, l'autre plus importante, en liaison avec la deuxième pile et devant produire de l'énergie industrielle. Ces réacteurs ont pour principal objet la production du plutonium en quantité utilisable industriellement. Le commissariat à l'Energie Atomique a en effet choisi le plutonium comme combustible nucléaire concentré destiné aux futurs réacteurs, car les installations nécessaires à sa production industrielle sont, pour le moment, plus facilement réalisables avec les moyens français que celles qu'exige l'enrichissement de l'uranium naturel en élément 235. Une usine d'extraction de plutonium doit être édifiée sur le modèle de l'usine pilote réalisée à Châtillon, près de Paris.

En avril 1955, un nouveau plan, dit « plan Palewski », a prévu de consacrer, en 1955, et pendant les trois années à venir, 100 milliards de francs à l'effort atomique français. Il prévoit l'extension de la production de minerais radioactifs, l'augmentation de la capacité de traitement des usines de fabrication des matières premières de base pour les réacteurs, la mise au point de nouvelles techniques, la réalisation de prototypes de moteurs marins, et enfin la construction de piles supplémentaires au centre de Marcoule pour la production à la fois de plutonium et d'électricité.

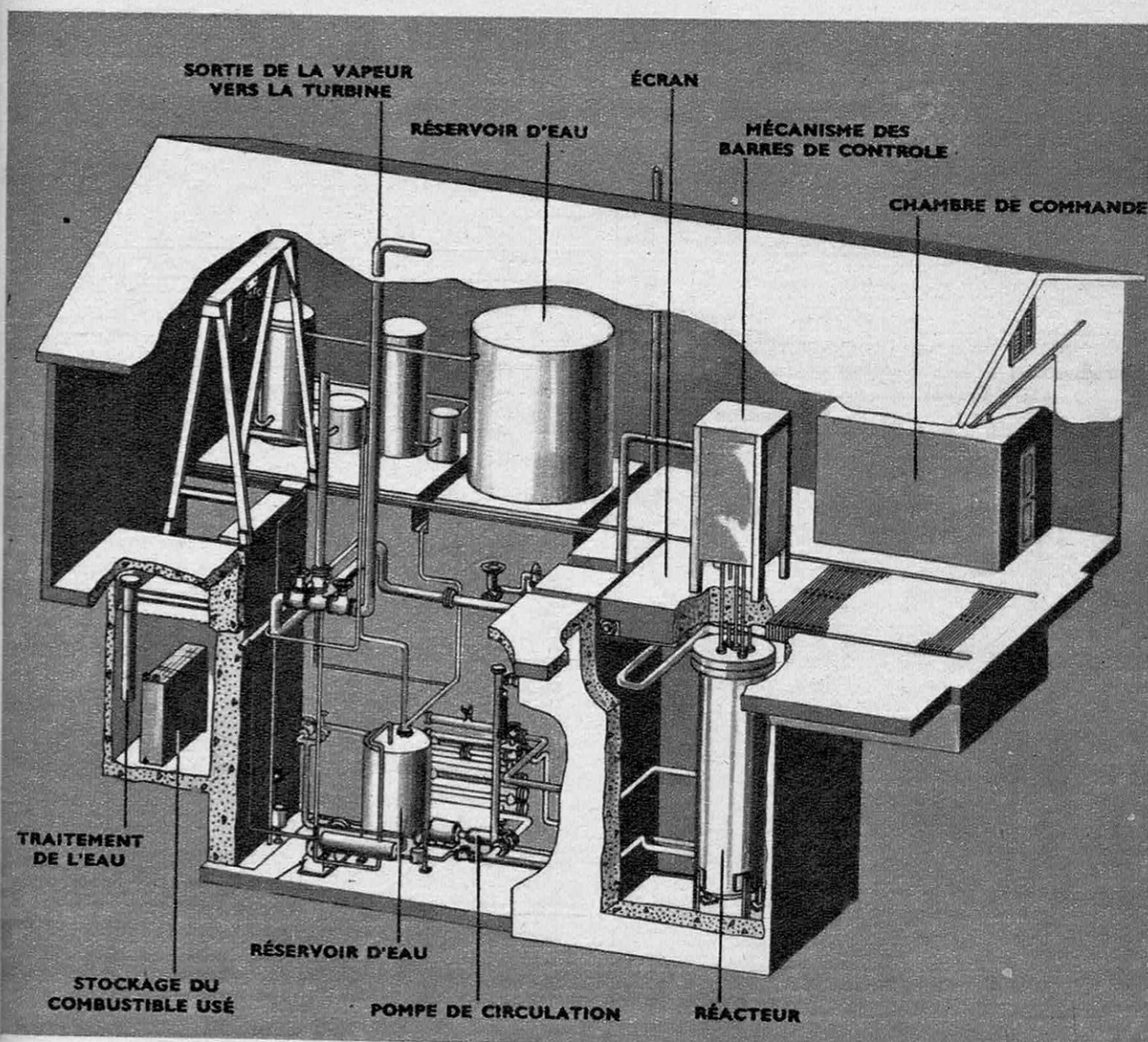
L'édification du centre de Marcoule a com-

L'éclairage « nucléaire » de la petite ville d'Arco, aux Etats-Unis, au mois de juillet dernier.

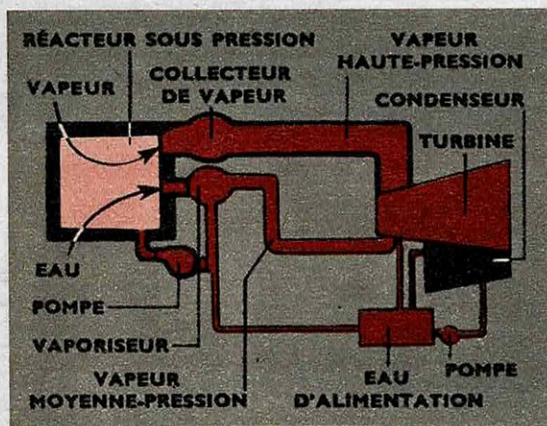
Le "bouilleur" américain Borax-3

Pendant une partie de la nuit, le 17 juillet 1955, la ville d'Arco, à une trentaine de kilomètres de la station nationale d'essai de réacteurs des Etats-Unis, a été éclairée à titre expérimental par de l'électricité fournie exclusivement par un générateur nucléaire de faible puissance. La preuve était ainsi faite que de tels réacteurs de construction très simple, de faible encombrement, à la fois bon

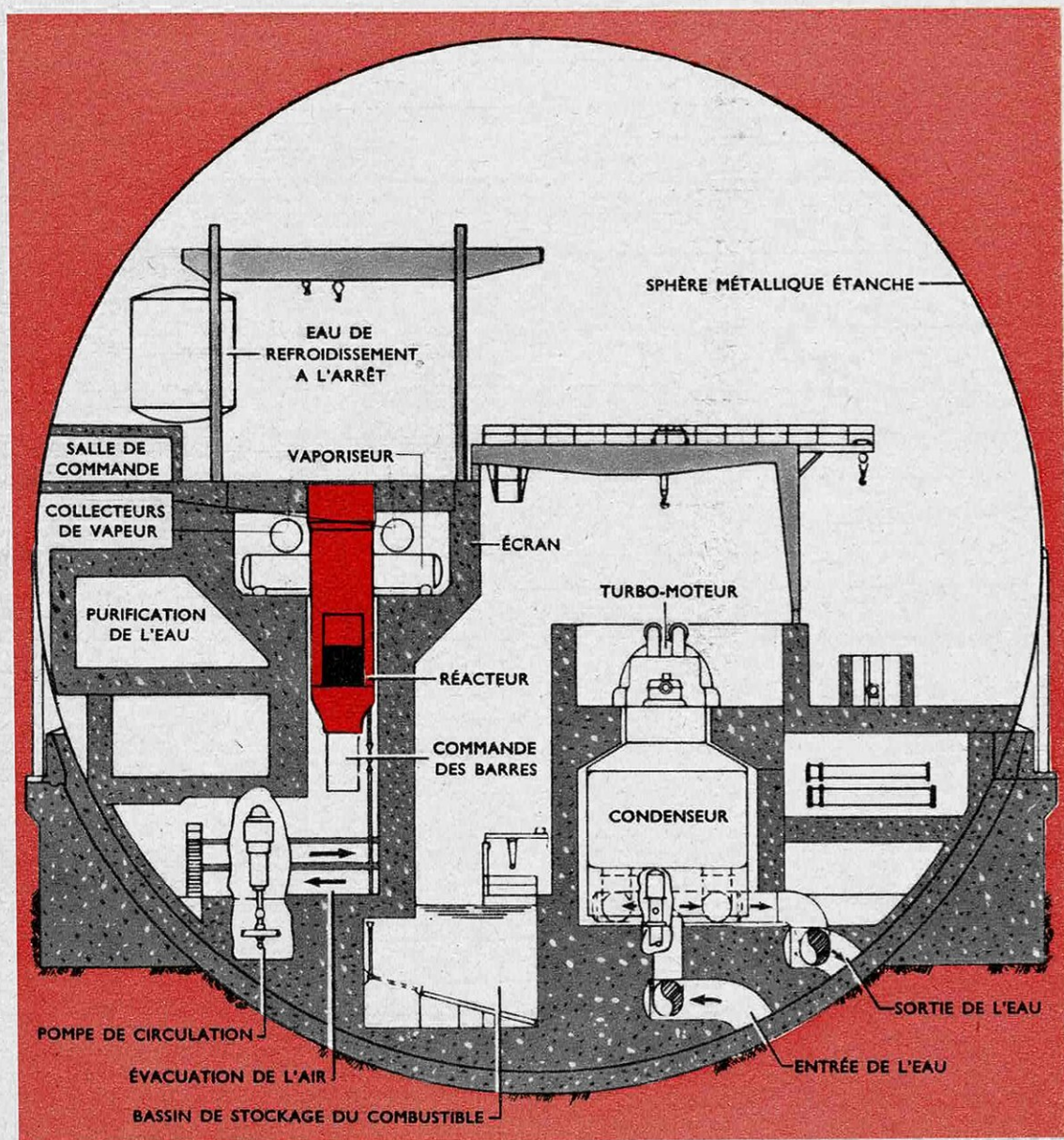
marché et d'un fonctionnement sûr, étaient susceptibles de trouver des applications dans des régions éloignées des réseaux de distribution. Le « Borax-3 » développe 2 000 kW électriques avec 14 kg de combustible, constitué d'un alliage d'aluminium et d'uranium fortement enrichi (90 % d'élément 235) et plongé dans de l'eau servant de modérateur; celle-ci est portée à l'ébullition sous 20 kg/cm².

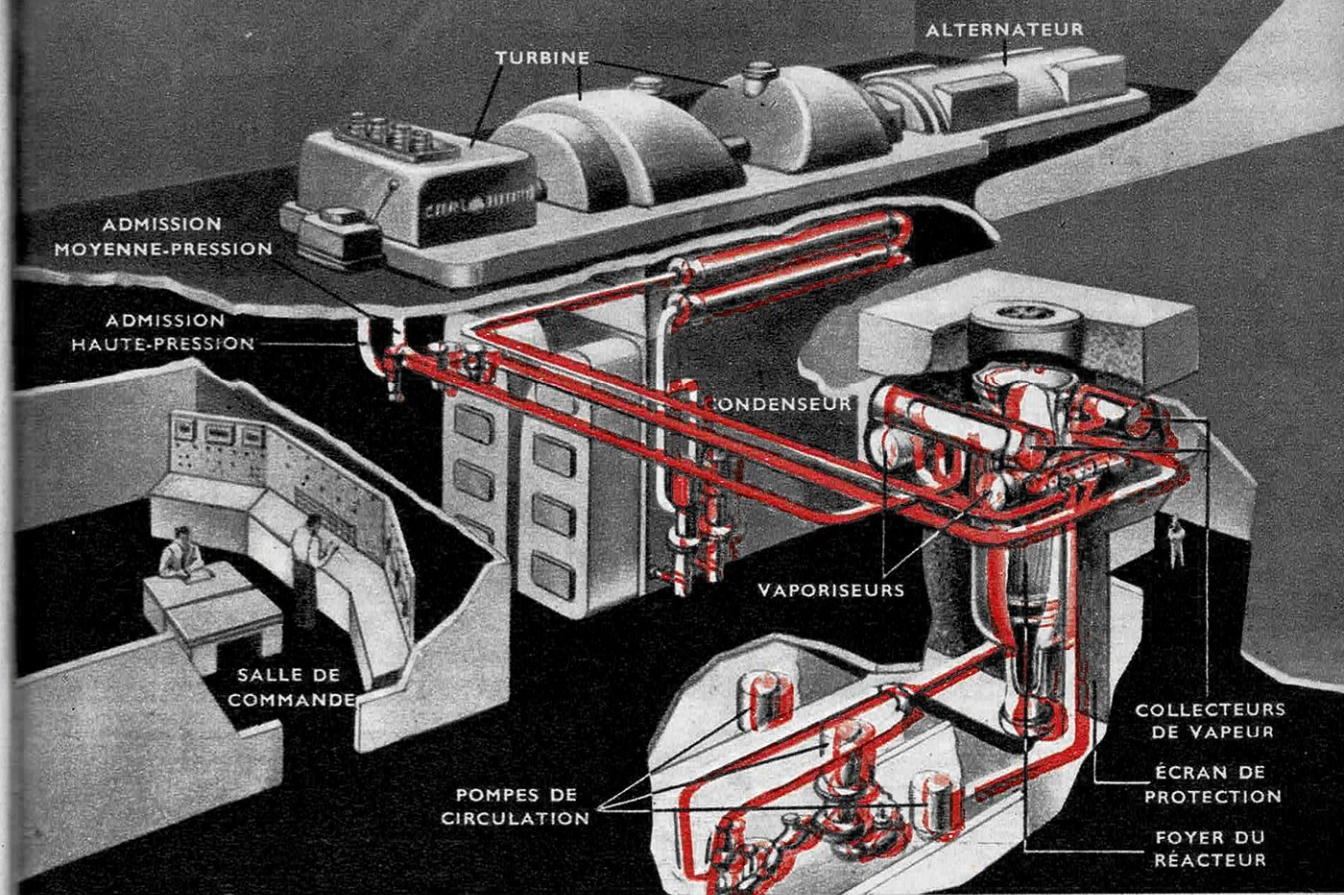


Un "bouilleur" de 180 000 kW pour Chicago



La General Electric doit achever en 1960 la construction, pour le compte de la Commonwealth Edison Co, d'une centrale nucléaire de 180 000 kW. Le réacteur et ses annexes seront logés dans une vaste sphère étanche en acier, de 60 m de diamètre, capable de résister, en cas d'accident, à la pression qu'engendrerait la transformation de toute l'eau du réacteur en vapeur. Le réacteur est, comme le Borax-3 de la page précédente, du type « bouilleur » sous pression (42 kg/cm²), mais la chaleur est utilisée différemment, comme le montre le schéma de principe ci-contre. La moitié sert à la production de vapeur haute pression, envoyée directement aux turbines; l'autre est emportée par l'eau chaude qui est transformée partiellement en vapeur par détente pour alimenter sous 24 kg/cm² les étages à moyenne-pression de la turbine.





mencé à la fin de 1953. Le première pile, G 1, a été mise en route le 7 janvier dernier, mais c'est seulement en juillet prochain, après les ultimes mises au point, qu'elle alimentera la centrale électrique voisine.

Le réacteur G 1 est prévu pour une puissance de 40 000 kW chaleur. La charge en combustible représentera une centaine de tonnes d'uranium naturel, et le ralentisseur de neutrons 1 100 à 1 200 tonnes de briques de graphite extrêmement pur. Le refroidissement s'effectuera à l'air atmosphérique qui, porté à 280°, vaporisera dans un échangeur de température l'eau du circuit destiné à actionner la turbine de la centrale électrique. Celle-ci développera une puissance de 5 000 kW, ne représentant qu'une partie des 8 000 kW qu'exigent les soufflantes de la pile. Le bilan de ce premier réacteur sera donc déficitaire du point de vue énergétique ; mais, outre l'expérience qu'il permettra aux techniciens d'acquérir pour la conduite des grands réacteurs, il livrera à partir de 1957 environ 15 kg de plutonium par an qu'extraira l'usine voisine actuellement en construction. Quand le second réacteur sera entré en fonctionnement, probablement en 1957, la production de plutonium s'élèvera à 50 kg par an.

Ce second réacteur, G 2, doit développer 100 000 à 150 000 kW chaleur. Il sera d'une technique perfectionnée, avec toujours l'uranium naturel comme combustible et le graphite

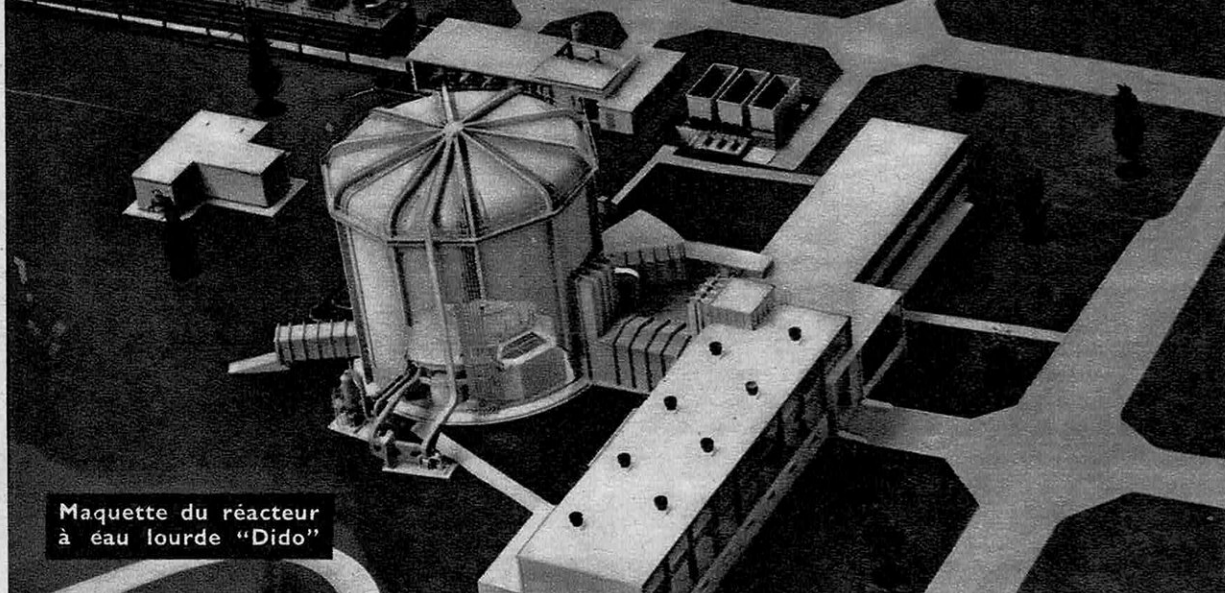
comme modérateur, mais avec du gaz carbonique sous pression comme agent de refroidissement et de transfert de la chaleur à la centrale. Celle-ci fournira 20 000 kW et débitera sur le réseau général de distribution.

Un troisième réacteur, G 3, de même technique que G 2, est prévu pour 1958.

Ces premières réalisations n'ont évidemment qu'une portée limitée en face de l'augmentation prévue pour la consommation d'électricité d'ici 1965, 100 milliards de kWh contre 50 milliards en 1955, et qui exigera la mise en œuvre de ressources nouvelles. Il semble cependant que, dès 1960, l'énergie nucléaire pourra être utilisée en France pour produire de l'électricité à échelle industrielle. Déjà une centrale nucléaire d'Electricité de France est en projet : EDF-1, dont on a indiqué le futur emplacement au confluent de la Vienne et de la Loire, à 15 km de Chinon.

Les centrales nucléaires dans le monde

C'est en Grande-Bretagne que le programme d'équipement nucléaire est le plus important. 300 millions de livres vont être affectés en dix ans à la construction de 12 centrales qui, en 1965, produiront 12 milliards de kWh, représentant l'équivalent de 5 à 6 millions de tonnes de charbon



Maquette du réacteur à eau lourde "Dido"

La pile expérimentale britannique "Dido"

Le développement des réacteurs de puissance pose de nombreux problèmes technologiques entièrement nouveaux. Les données de base pour leur solution ne peuvent être acquises que par l'expérimentation dans des réacteurs spécialement conçus

à cet effet. Tel est le réacteur « Dido » qui sera terminé en 1956 au centre de Harwell. Ce réacteur à uranium enrichi et eau lourde de 10 000 kW engendrera, à sa mise en service, le flux de neutrons le plus élevé de toutes les piles européennes.

Le prototype des premières centrales est actuellement en construction à Calder-Hall et comportera deux réacteurs devant entrer en fonctionnement au début de l'été prochain. A la fin de l'année, la centrale sera reliée au réseau britannique d'interconnexion, le « Grid », et lui fournira 60 000 kW.

Les deux premières centrales (type Calder Hall) de la Central Electricity Authority doivent être édifiées respectivement à Bradwell (Essex) à l'embouchure de la rivière Blackwater, et à Berkeley (Gloucestershire) sur l'estuaire de la Severn.

Aux Etats-Unis, le problème de la production d'énergie électrique par des centrales nucléaires ne se pose pas avec la même urgence qu'en Grande-Bretagne.

Plusieurs petits réacteurs expérimentaux ont cependant déjà livré de l'énergie électrique aux réseaux publics : le EBR - 1 d'Idaho fut, en décembre 1951, le premier du monde à réaliser cette performance, à vrai dire modeste, car sa puissance dépassait de peu une centaine de kW ; le Borax 3 (type bouilleur) d'Idaho et un réacteur du type monté sur le sous-marin Seawolf, à West-Wilton, près de Schenectady, furent raccordés à titre d'essai en 1955 à un réseau de distribution.

Des projets à échelle industrielle sont en cours de réalisation plus ou moins avancée. La première centrale nucléaire, étudiée par Wes-

tinghouse, est en construction à Shippingport, près de Pittsburgh, et livrera 50 000 kW à la fin de 1957. Un projet des Atomic Power Development Associates (« breeder » rapide refroidi au sodium), doit livrer 100 000 kW en 1959. Enfin, en 1960, doivent entrer en fonctionnement deux grandes centrales : celle de la Commonwealth Edison Co, près de Chicago (un « bouilleur » de 180 000 kW) et celle de la Consolidated Edison Co, sur les rives de l'Hudson, à 40 km de New York (250 000 kW, eau sous pression, chauffage d'appoint par fuel pour améliorer le rendement thermique).

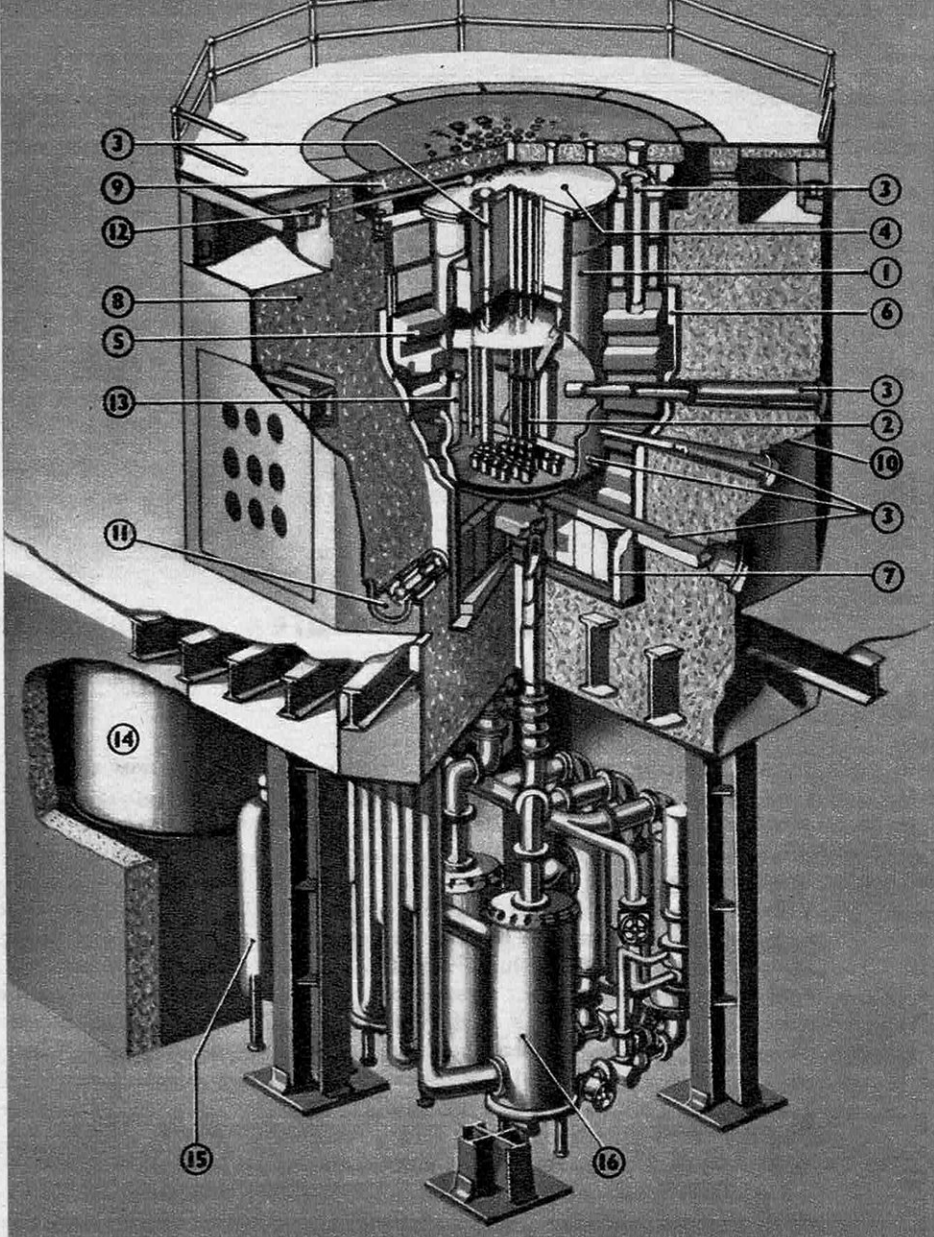
En U.R.S.S., une première centrale, à Kalouga, à 300 km de Moscou, livre de l'énergie électrique depuis juin 1954. Sa puissance est de 50 000 kW électriques. Une deuxième centrale de 100 000 kW est prévue pour la fin de 1956.

Enfin, le Canada et la Norvège (réacteurs à eau lourde), le Brésil, l'Inde, l'Italie et le Japon ont fait connaître leur intention de mettre en exploitation, d'ici 1960, des usines pilotes, amorces de futurs développements.

« Fission » ou « fusion » ?

Ainsi, l'industrie se déclare dès aujourd'hui prête à exploiter les techniques nucléaires. Mais il ne faut pas méconnaître le fait que les données de base évoluent très vite. Dans vingt ans,

- 1.** Cuve en aluminium contenant l'eau lourde qui sert de modérateur de neutrons et de fluide de refroidissement
- 2.** Élément de combustible nucléaire (uranium enrichi).
- 3.** Tubes pour essais divers.
- 4.** Ecran de protection biologique.
- 5.** Briques de graphite servant de modérateur et de réflecteur de neutrons.
- 6.** Ecran thermique en plomb avec refroidissement par eau.
- 7.** Enveloppe d'acier avec revêtement de bore.
- 8.** Ecran de protection biologique en béton
- 9.** Plaque d'acier de 25 cm d'épaisseur.
- 10.** Revêtement externe de tôle d'acier.
- 11.** Chambre d'ionisation.
- 12.** Engrenages commandant les tiges de contrôle fin
- 13.** Tube de sortie de l'eau lourde.
- 14.** Cuve de stockage de l'eau lourde.
- 15.** Cuve de sécurité pour vidange rapide de l'eau lourde.
- 16.** Echangeur de température pour le refroidissement de l'eau lourde.



dix ans peut-être, des découvertes nouvelles peuvent transformer profondément l'aspect du problème de l'énergie.

Nous avons fait allusion plus haut à la possibilité de fondre en un seul noyau atomique les noyaux des deux atomes légers. Ce sont les noyaux d'hydrogène qui, au sein du soleil et des étoiles, libèrent, en se combinant pour former des noyaux d'hélium, les énergies énormes que rayonnent ces astres. C'est une réaction « thermonucléaire » analogue qui est à la base de la bombe à hydrogène, le mot « thermonucléaire » signifiant que la réaction exige des températures extrêmement élevées pour se réaliser, de l'ordre de plusieurs centaines de millions de degré.

De telles températures se rencontrent au centre des étoiles très chaudes, mais, jusqu'à pré-

sent, elles n'ont été obtenues, sur la terre, que lors de l'explosion d'une bombe atomique ordinaire. Il n'est pas exclu que l'on parvienne un jour, car on y travaille activement, à maîtriser de telles températures et à obtenir ainsi, sinon la fusion des noyaux d'hydrogène léger, du moins celle des noyaux d'hydrogène lourd (deutérium) qui s'y prêtent plus aisément. Bien qu'il n'existe dans la nature qu'un noyau de deutérium pour 6 400 noyaux d'hydrogène ordinaire, le deutérium représente, dans l'eau des océans, une réserve qui satisferait les besoins en énergie de l'humanité tout entière, tels que nous pouvons les concevoir, non plus pour des milliers, mais pour des millions d'années. Les difficultés à surmonter sont formidables, et il serait imprudent de spéculer sur leur solution prochaine.

L'ÉLECTRICITÉ DANS L'INDUSTRIE

Ses tâches innombrables dans l'usine moderne

LES premières applications industrielles de l'électricité, sous la forme d'une force motrice dont les ingénieurs ne devaient pas tarder à reconnaître et mettre en œuvre l'incomparable souplesse, datent de la fin du siècle dernier. Aujourd'hui, on ne pourrait concevoir l'industrie moderne sans électricité. Non seulement elle actionne les machines les plus diverses, mais elle règle leur fonctionnement, mesure et contrôle avec minutie la forme et la qualité des produits usinés. Elle a donné naissance à des procédés de fabrication d'une importance capitale, depuis la soudure à l'arc, la soudure par points, l'usinage des corps durs dans les industries mécaniques, jusqu'à l'élaboration de l'aluminium et des aciers spéciaux en électrometallurgie ou la production de matières de base telles que le chlore et la soude en électrochimie, pour ne citer que quelques exemples. C'est l'électricité aussi qui permet à l'industrie moderne de s'orienter vers un automatisme de plus en plus poussé dans la production de masse, grâce aux dispositifs de régulation électronique en plein développement. Elle règne aussi au laboratoire où la spectrographie, les dosages colorimétriques, les mesures d'acidité, etc., font appel à un appareillage électrique et électronique complexe. Enfin, derniers venus, les calculateurs électriques et électroniques sont destinés à jouer un rôle considérable dans le travail de l'ingénieur qui voit en eux l'outil impatientement attendu pour s'attaquer efficacement aux problèmes que leur complexité rendait jusqu'ici inabordable.

L'avantage le plus évident de l'énergie électrique, celui qui a assuré d'emblée la conquête de l'industrie par le moteur électrique, c'est la facilité avec laquelle elle peut être amenée à

le pied d'œuvre. Auparavant, la machine à vapeur régnait seule. Dans une usine de textiles ou de constructions mécaniques, une machine à vapeur unique fournissait la force motrice transmise aux ateliers par des arbres traversant les bâtiments et allant parfois d'un bâtiment à un autre, avec un rendement mécanique déplorable, obligeant à orienter les machines d'après les arbres de transmission. Le moteur électrique assure immédiatement l'indépendance entre la production de l'énergie et son utilisation dans les divers ateliers.

Les commandes individuelles

L'énergie électrique se présentait, au début, sous forme de courant continu, et on utilisait les moteurs pour entraîner la transmission d'un atelier ou d'un groupe de machines. Les transmissions devaient tourner à vitesse constante, et la plus grande qualité que l'on trouvait au moteur shunt à courant continu, c'est qu'il donnait une vitesse pratiquement constante, indépendante de la charge.

Dès que les réseaux électriques ont pris une certaine importance, le courant continu a fait place aux courants polyphasés, en particulier au courant triphasé. Le moteur asynchrone triphasé donne une vitesse pratiquement constante quelle que soit la charge. C'est ce défaut de souplesse qui a fait son succès pour les commandes d'ateliers et même pour la commande individuelle de certaines machines-outils, car toutes les machines comportaient des harnais de transmission permettant de changer la vitesse selon les besoins. Pour le démarrage, le moteur asynchrone à rotor bobiné ne présentait pas plus de diffi-



C.E.M.

culté que le moteur continu. Pour les petites puissances, l'apparition du moteur à cage à démarrage direct a constitué un gros progrès et a permis de simplifier les commandes en supprimant les démarreurs. Mais avant que les commandes individuelles puissent se généraliser, ce type de moteur devait encore se perfectionner. Vers 1900, un moteur de 1 cheval non protégé pesait environ 50 kg. Actuellement, un moteur blindé, entièrement fermé, pèse à peu près 10 kg au cheval. Un autre inconvénient des moteurs à cage est constitué par l'appel de courant au démarrage qui atteint environ dix fois l'inten-

Un four triphasé à arc type Héroult à chargement par benne pour la fusion et l'affinage de l'acier. La capacité est de 18 tonnes. L'ensemble de la cuve et des électrodes bascule pour la coulée.

sité normale. Ceci limitait l'emploi des moteurs à cage à des puissances de l'ordre de 1 à 2 ch. Grâce au moteur à double cage et au moteur à cage à barres profondes, on a pu abaisser l'appel de courant au démarrage, et on construit actuellement des moteurs à cage à démarrage direct pour des puissances allant jusqu'à 20 ch.

Cependant, le succès de la commande individuelle n'aurait pas été assuré sans l'interven-

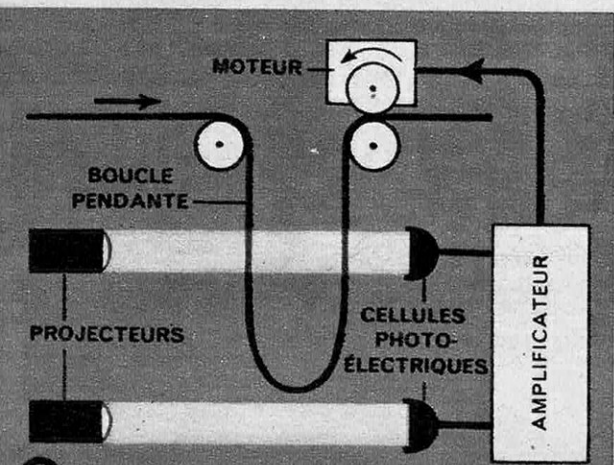
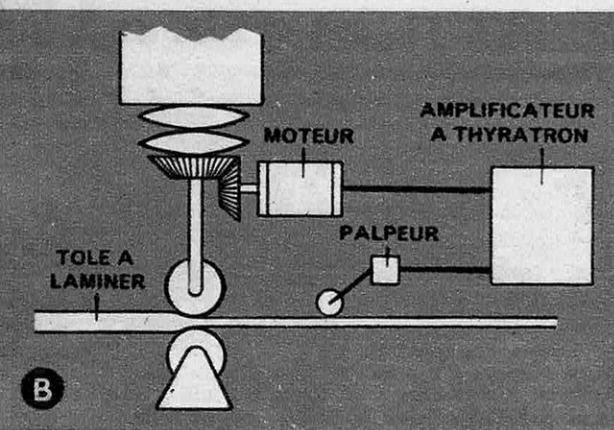
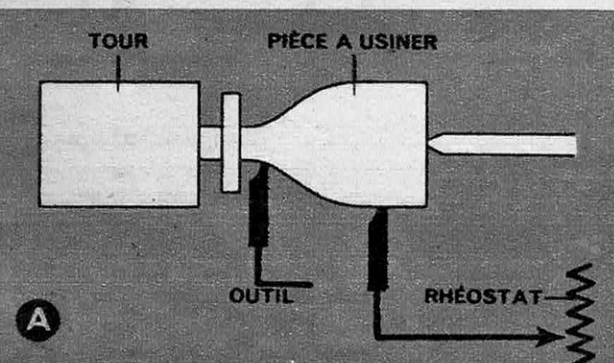
tion du contacteur. En effet, tant que les moteurs devaient être commandés par des interrupteurs ou rhéostats fixés au mur, ce qui obligeait l'ouvrier desservant une machine à se déplacer pour mettre le moteur en route, la commande individuelle des machines ne présentait aucun avantage sur la commande à partir d'une transmission. Il fallait toujours intercaler entre le moteur et la machine un embrayage ou un système à poulie folle pour que le moteur démarre à vide.

Le contacteur est, en fait, un interrupteur commandé par un électroaimant actionné lui-même par boutons-poussoirs. Ceci permet de mettre directement la commande de la machine sous la main de l'ouvrier, à son poste de travail, et on peut supprimer l'embrayage. Différentes combinaisons assurent la marche arrière,

le changement de marche, etc. On peut multiplier les postes de commande d'où on actionne le moteur, ce qui permet de prévoir plusieurs postes de travail pour l'ouvrier. Des « verrouillages » et des « sécurités » évitent la mise en route intempestive de la machine.

Malgré cela, la commande individuelle ne s'est vraiment imposée qu'avec les moteurs incorporés dans les machines. Ils ont permis d'ailleurs d'autres progrès en supprimant progressivement une partie des transmissions mécaniques dans certaines machines, grâce à la commande fractionnaire, où plusieurs mouvements sont rendus indépendants.

Dans certains cas, par exemple dans les appareils de levage, il est indispensable que le système soit freiné dès qu'on arrête la machine. Les commandes électriques apportent une solution très simple à ce problème grâce aux électrofreins; ils sont constitués par un frein à mâchoires serrées par des ressorts qu'un électroaimant, branché en parallèle avec le moteur, desserre dès qu'il est alimenté. Pour certaines machines on utilise actuellement aussi des embrayages électromagnétiques pouvant être également combinés avec un système de frein. Enfin, on a également conçu des moteurs asynchrones triphasés servant directement de frein; leur rotor a une forme conique d'où résulte un déplacement axial du rotor lorsque le moteur est alimenté, déplacement qui desserre ou serre un frein à disques.

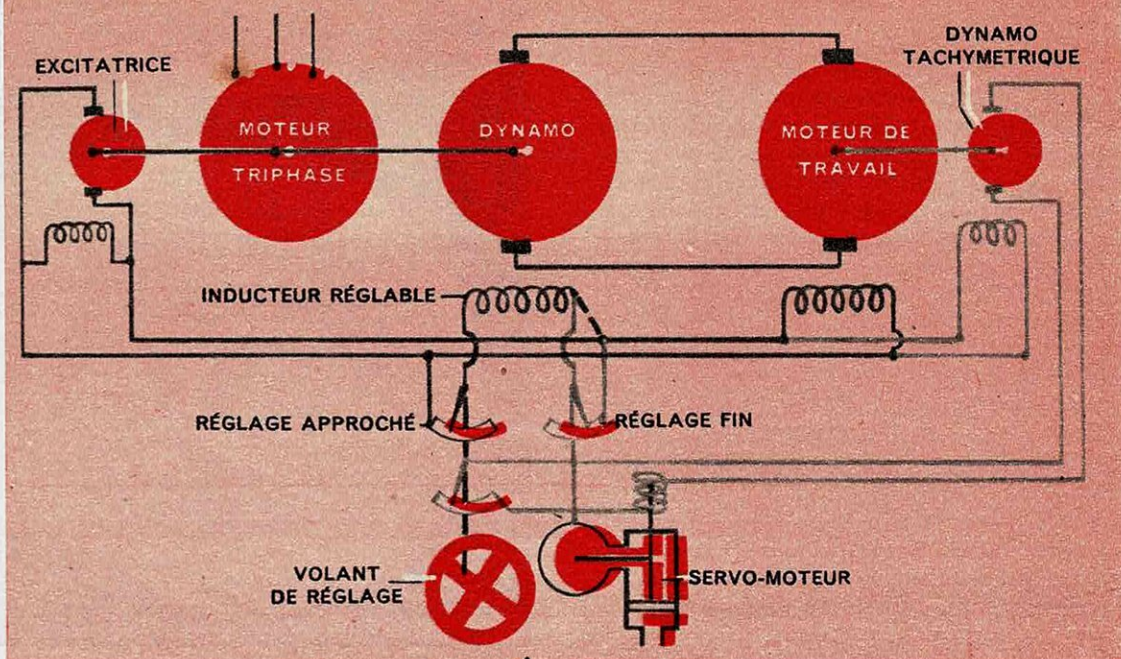


Variation de vitesse

Nous avons vu que le succès du moteur triphasé dans les commandes mécaniques était dû à la constance de sa vitesse. Cependant, dès le début, on s'intéressa aux moteurs à vitesse variable, notamment pour la commande des grandes machines, par exemple dans les laminiers, dans les machines à papier, dans l'imprimerie, etc. Jusqu'à une dizaine de chevaux, le moteur asynchrone bobiné avec des résistances pouvait convenir à la rigueur, malgré la perte

TROIS PROBLÈMES DE RÉGLAGE

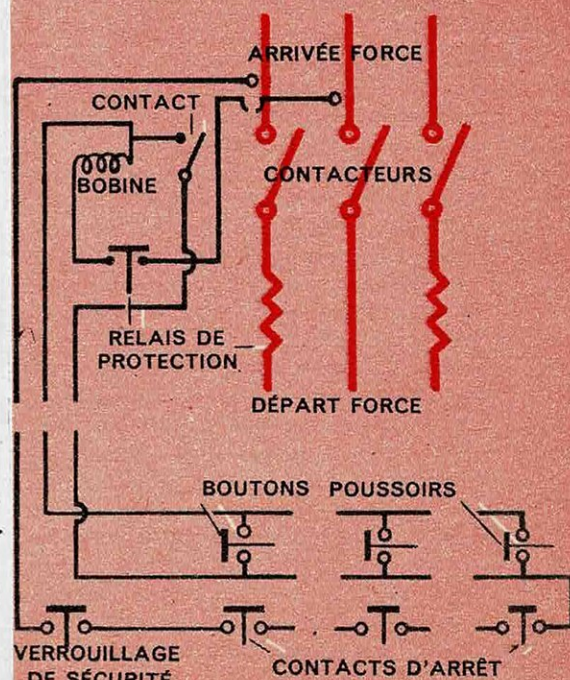
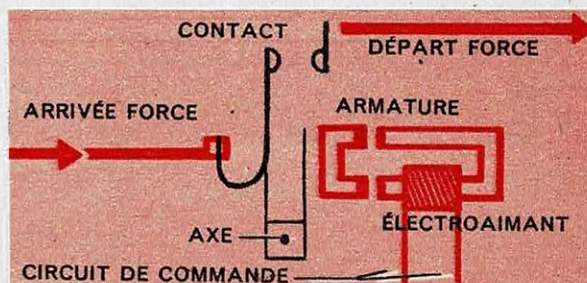
- Usinage à vitesse de coupe constante : la vitesse du tour doit varier avec le rayon de la pièce ; le chariot porte-outil est lié à un rhéostat.
- Laminage des tôles : un palpeur détecte les variations d'épaisseur. L'amplificateur actionne le moteur pour régler la pression des cylindres.
- Boucle pendante entre deux machines : des faisceaux lumineux fixent les niveaux extrêmes ; l'amplificateur agit sur le moteur d'entraînement.



Le groupe Léonard comprend un moteur triphasé, à vitesse constante, qui entraîne une dynamo dont on fait varier l'excitation et qui débite ainsi à une tension réglable; elle alimente le moteur de travail à courant continu, dont la vitesse varie avec cette tension. En trait plus fin, un système de régulation automatique par dynamo tachymétrique.

d'énergie dans les résistances. Cette solution était inadmissible pour les grandes machines, mais on disposait déjà d'un moteur très souple permettant de grandes variations de vitesse : le moteur à courant continu, d'où l'idée de transformer le courant triphasé par des groupes convertisseurs pour obtenir des commandes à vitesse variable. Le groupe Leonard a donné à ce problème une solution très élégante : un moteur triphasé entraîne une dynamo dont l'excitation est variable et qui alimente le moteur actionnant la machine; en réglant l'excitation de la dynamo, c'est-à-dire un circuit à faible intensité, on fait varier sa tension et par conséquent la vitesse du moteur qui lui est proportionnelle. Pour la commande des laminoirs, où l'on a de brusques variations d'efforts, le groupe Leonard a été perfectionné sous la forme du groupe Illgner dans lequel le moteur d'entraînement du groupe a un grand diamètre et sert en même temps de volant.

Le contacteur se ferme quand le circuit de commande est excité, l'électroaimant attirant son armature. En bas, schéma avec trois postes de commande et relais de protection en cas de surintensité. Quand l'un des boutons d'arrêt ou de sécurité est poussé, le moteur s'arrête et ne peut plus être mis en marche par la manœuvre des boutons presseurs.

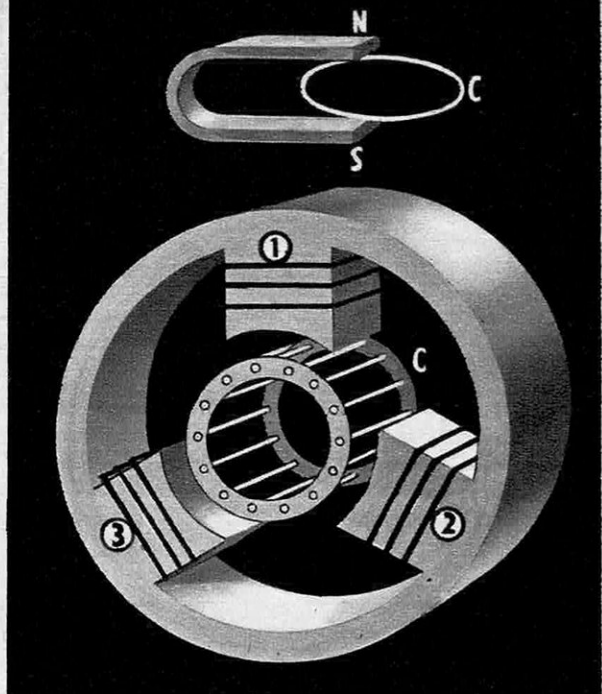


Une autre solution au problème de variation de vitesse est donnée par les moteurs triphasés à collecteurs dont la théorie est relativement compliquée. On règle la vitesse en décalant les balais. Cette commande des balais peut être effectuée à la main avec un volant ou par un petit servomoteur commandé par des boutons-poussoir, ou encore par un système de cames, comme dans certains métiers à filer pour éviter les « casses » dues à la tension du fil quand le diamètre de la bobine d'enroulement varie au cours du bobinage.

Avec le développement des redresseurs et mutateurs à mercure ainsi qu'avec celui des appareils électroniques et des thyristons permettant de redresser les courants en faisant varier d'une façon très précise leur tension et leur intensité, on a pensé à utiliser ces appareils en combinaison avec des moteurs à courant continu. Les variateurs électroniques sur ce principe permettent de contrôler très exactement la vitesse de zéro au maximum et, par exemple dans les appareils de levage, d'obtenir des vitesses très lentes et des déplacements de l'ordre de 1 cm avec des charges de plusieurs tonnes.

Réglage automatique de vitesse

Dans bien d'autres cas, le réglage automatique de la vitesse permet d'augmenter d'une façon considérable le rendement des machines. Nous citerons l'exemple simple des tours à copier. On sait que la vitesse de coupe doit rester dans des limites relativement étroites; si la broche de la machine tourne à vitesse constante, la vitesse de coupe est très différente selon la partie de la pièce copiée dont le diamètre est variable. La vitesse de rotation de la broche doit donc varier en fonction du diamètre usiné, ce qui peut s'obtenir d'une façon simple avec un variateur électronique, combiné avec le chariot porte-outils. Autre problème de réglage dans les grandes machines telles que les machines à papier qui s'étendent sur plusieurs centaines de mètres et dont les différents groupes d'appareils sont tous reliés par la bande de papier qui avance suivant sa vitesse de fabrication. En supposant cette bande absolument rigide, on comprend que les différents groupes devraient tous tourner à la même vitesse linéaire sous peine de la déchirer. Un arbre mécanique reliant les différents groupes entraînerait une perte de puissance considérable et il est plus simple d'utiliser un système de synchronisation électrique, réalisé en pratique par un système de « télédifférentiels ». Ces « télédifférentiels » ont un de leurs éléments entraîné au moyen d'un moteur alimenté par une dynamo tachymétrique associée avec le groupe auquel ils appartiennent, tandis que l'autre élément est entraîné par un moteur alimenté en courant alter-



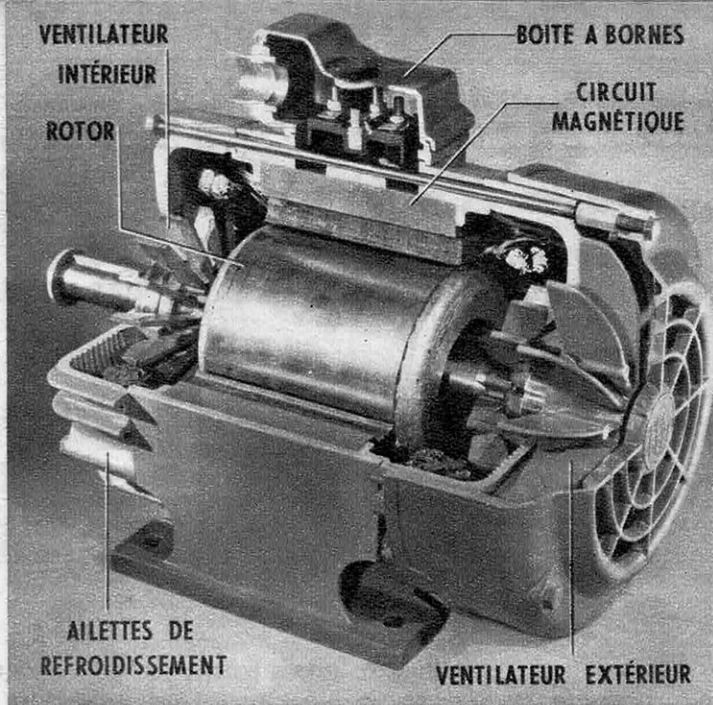
natif et qui tourne en synchronisme avec un moteur pilote associé, par exemple, au premier groupe. Toute différence de vitesse entre le groupe pilote et un groupe quelconque entraîne une rotation de son télédifférentiel. Cette rotation agit sur des rhéostats qui agissent à leur tour sur le système commande du groupe en question. En réalité, la question se complique du fait que le papier perd de son épaisseur au cours de son élaboration et s'allonge. On peut en tenir compte grâce à d'autres rhéostats insérés dans le système de commande.

L'automatisme et la régulation automatique dans les machines

Les contacteurs ne permettent pas seulement de réaliser la commande « marche-arrêt ». On peut obtenir des arrêts automatiques à certains points et la réalisation de cycles de travail déterminés, avec ce qu'on appelle les « commandes à programme ». Dans ces machines, une opération d'usinage continue jusqu'à ce qu'un certain travail soit réalisé, ce qui provoque l'arrêt de cette opération et éventuellement le démarrage d'une seconde opération différente.

Une autre possibilité donnée par l'électricité est celle de la régulation automatique, c'est-à-dire du maintien automatique d'une certaine caractéristique de la machine ou du produit qu'elle donne. On peut citer tout d'abord les régulations automatiques de vitesse. Notons la différence entre réglage et régulation. Le réglage est une opération qui peut être manuelle et qui vise à faire varier une caractéristique, par exemple, ici, la vitesse, et nous avons vu en par-

Le moteur à induction ou moteur asynchrone triphasé. A gauche, schéma de principe : lorsqu'un champ magnétique (créé, par exemple, par l'aimant N S) se déplace par rapport au circuit fermé C, le courant induit dans ce circuit exerce une force mécanique tendant à s'opposer à la variation du champ ; le circuit tend à suivre l'aimant. Au-dessous, les trois pôles du moteur à induction, alimentés en courant triphasé, engendrent un champ magnétique d'intensité constante tournant à raison de un tour par période ; les barres et flasques de la cage constituent des circuits fermés que les courants induits tendent à faire tourner à la vitesse du champ tournant. A droite, un moteur triphasé moderne entièrement fermé. La cage, en alliage d'aluminium moulé, emprisonne les tôles du rotor. La carcasse moulée est refroidie par un ventilateur. Ces moteurs sont normalisés (hauteurs d'axes et distance de trous de fixation en gammes échelonnées), ce qui garantit l'interchangeabilité des moteurs.



C.E.M. Novacem

ticulier le réglage de vitesse à l'aide d'un groupe Leonard. La régulation de vitesse est une chose différente. Il s'agit de maintenir une vitesse fixée à sa valeur. La régulation de vitesse comporte donc un système de réglage actionné par une commande automatique. Dans la figure représentant le groupe Leonard, on peut voir le montage d'un système de régulation automatique consistant essentiellement en une dynamo tachymétrique qui donne une tension proportionnelle à la vitesse réelle obtenue par le moteur. Cette tension est comparée avec une tension fixe, et toute différence actionne un servomécanisme (électroaimant ou petit moteur électrique) qui ramène la vitesse à la valeur fixée. Les systèmes de variateurs électroniques comportent presque toujours un système de régulation automatique.

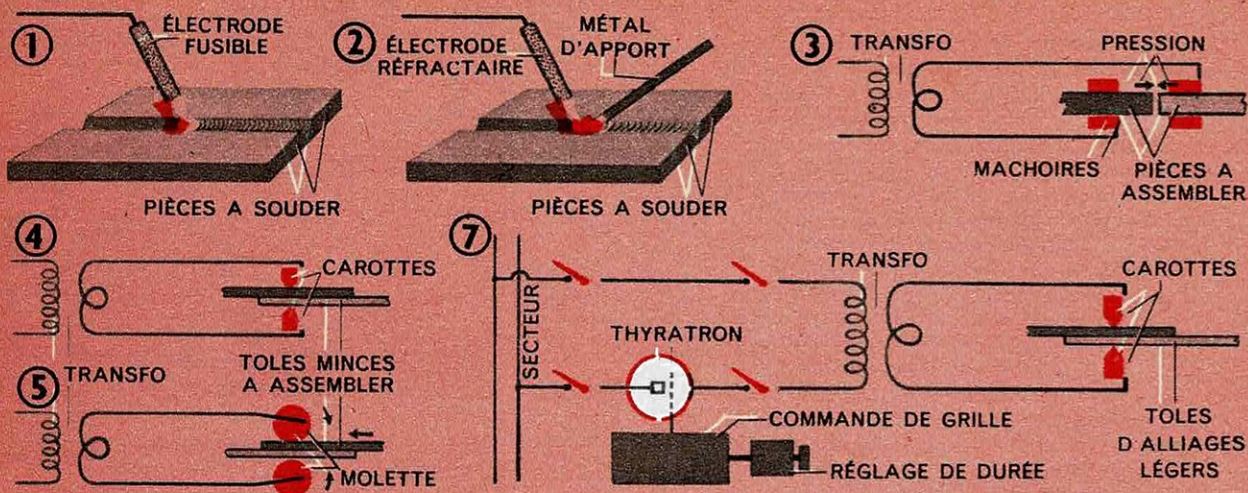
Quelques exemples de régulation

Mais il y a dans l'industrie mécanique d'autres problèmes de régulation. Citons par exemple la régulation dite « de boucle pendante » pour le décapage des tôles. Dans ce cas, on a une tôle qui défile en continu dans un bain de décapage en formant une boucle qui pend dans le bain. Il faut maintenir constante la longueur de cette boucle. Pour cela, il faut que la vitesse de départ de la tôle soit égale à la vitesse d'arrivée. On n'arrive pas à maintenir constantes ces vitesses si l'on ne prend pas de précautions spéciales. Le système de régulation de boucle pendante est très simple. Il comporte deux cellules photoélectriques éclairées par deux projecteurs. L'un de ces ensembles cellule-projecteur correspond au niveau le plus

bas que la boucle ne doit pas dépasser, tandis que l'autre correspond au niveau le plus haut de la boucle. Si la boucle pend trop bas, elle intercepte le faisceau lumineux du projecteur. La cellule correspondante n'est plus éclairée et la variation de courant débité par la cellule provoque l'accélération du moteur côté départ. Inversement, si la boucle devient trop courte, elle démasque le projecteur du système du haut, ce qui provoque le ralentissement.

Les systèmes de régulation exigent toujours des amplificateurs. En effet, la variation détectée donne toujours un effet mécanique ou électrique très faible alors qu'il faut agir sur des commandes exigeant une puissance relativement grande. Les amplificateurs électroniques sont là tout indiqués, bien que les mécaniciens se montrent réticents devant l'emploi d'appareils électroniques qu'ils jugent trop délicats pour les ateliers de mécanique; actuellement, ces craintes sont absolument sans objet. On peut néanmoins éviter leur emploi grâce aux amplificateurs magnétiques qui ont pris un très grand développement ces dernières années. Les amplificateurs magnétiques utilisent des selfs saturables polarisées par un courant continu. On obtient des effets analogues à ceux des amplificateurs électroniques, mais avec une vitesse de réponse moins grande, qui est toutefois sans inconvénient pour la plupart des applications industrielles.

La régulation peut se combiner avec l'automatisme. Le système pilote peut, par exemple, arrêter une machine lorsqu'une opération est terminée. Ce système est utilisé, par exemple, sur les rectifieuses. Un palpeur électronique contrôle le diamètre d'une pièce à rectifier au



centième de millimètre près ; lorsque la cote désirée est obtenue, le palpeur combiné avec un amplificateur arrête l'avance de la meule, puis coupe son moteur.

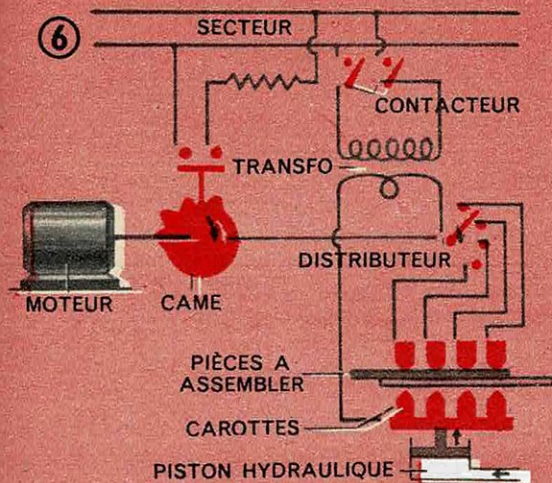
L'emploi des contacteurs conduit vite à un encombrement trop grand avec les « commandes programmes » un peu compliquées. On a songé à les remplacer par des relais du type téléphonique, un dernier relais actionnant toujours les contacteurs commandant les différents moteurs de la machine. Ces dispositifs ont pris un développement remarquable ces dernières années et ont permis la création de nouvelles machines automatiques universelles. Dans ces machines, les opérations sont commandées par des cartes perforées et se réalisent successivement sans intervention d'un ouvrier. Les résultats obtenus vont bien plus loin qu'avec les tours automatiques connus depuis longtemps. Un tour automatique peut effectuer un certain nombre d'opérations différentes, jusqu'à une dizaine, pour usiner une pièce complexe, mais dès qu'on change de pièce, il faut procéder à un nouveau réglage de la machine, relativement long ; d'autre part, la diversité des pièces que l'on peut usiner est très limitée. Les tours automatiques ne sont rentables que pour des fabrications en grande série. Il n'en est pas de même des machines-outils à cartes perforées. C'est le « bureau des méthodes » qui établit les cartes d'après les plans des pièces et il n'y a pratiquement pas de réglage à effectuer sur la machine qui peut donc être utilisée pour des travaux très divers, et même pour de toutes petites séries.

Il ne reste plus, direz-vous, qu'à inventer la machine à laquelle on confie un plan et qui fait le travail toute seule. C'est chose faite pour le découpage des tôles dans les chantiers maritimes. Il existe une oxycoupeuse à commande électronique qui suit automatiquement un plan à petite échelle grâce à un système de servo-commande combiné avec des cellules photoélec-

triques. Ce système permet d'ailleurs de réaliser des économies considérables sur la tôle à découper, car il est beaucoup plus facile à un dessinateur de placer les pièces à petite échelle sur une bande de papier qu'à un traceur à l'atelier de placer les mêmes pièces en grandeur nature sur la tôle. L'économie ainsi réalisée peut atteindre 10 %.

Commandes centralisées

Jusqu'ici nous n'avons parlé que de machines isolées et nous avons vu que la tendance était aux commandes individuelles. Certaines installations exigent cependant une centralisation complète de la commande. Prenons, par exemple, une minoterie moderne comportant plusieurs silos avec les appareils de manutention pour leur chargement, les moulins proprement dits et des transporteurs, des dépoussiéreurs, etc., entre les silos et les moulins. Supposons que l'on veuille traiter avec le moulin n° 3 le grain du silo n° 2 : il est évident qu'on ne peut pas mettre en route les différentes machines dans un ordre quelconque. Il faut successivement mettre en route le moulin, puis les ventilateurs de dépoussiérage, puis les transporteurs en commençant par ceux qui sont les plus voisins des moulins, ensuite régler et enfin ouvrir les distributeurs. Si un autre moulin et un autre silo fonctionnent en combinaison, il faut vérifier que les itinéraires n'ont pas de parties communes. C'est pourquoi on a réalisé une commande centralisée qui comporte souvent un tableau synoptique lumineux figurant l'installation. A l'aide des clés et manettes de commande combinées avec le tableau synoptique, on prépare l'itinéraire, puis une fiche de mise en route assure le démarrage qui s'effectue automatiquement dans l'ordre voulu, tandis que des lampes s'allument sur le tableau. De tels tableaux peuvent encore



Différents principes de soudure électrique.

1-2 : soudure à l'arc ; l'arc jaillit entre l'électrode et les pièces, l'électrode fond et forme le cordon de soudure (1) ; on emploie aussi une électrode réfractaire avec métal d'apport indépendant (2). 3-4-5-6-7 : soudure par résistance ; on rapproche les pièces à souder et un courant intense fait fondre le point de contact où la résistance est la plus grande ; rails et profilés placés bout à bout sont serrés fortement tandis que le courant passe (3) ; les tôles minces sont serrées entre des « carottes » qui donnent un point de soudure (4) ou entre deux mollettes (5) ; on peut prévoir autant de « carottes » que de points à effectuer et un distributeur (6) ; pour les alliages légers, il faut envoyer le courant pendant un temps très court, sous peine de brûler la tôle, et dans le montage représenté, un thyatron est chargé de limiter le passage du courant à une fraction d'alternance (7).

comporter des appareils de télémessure électrique indiquant, par exemple, l'état de remplissage des silos et la température du grain à plusieurs niveaux. Ceci permet de se rendre compte, par exemple, de l'échauffement qui se produit dans un silo et d'opérer le transvasement et la ventilation nécessaire pour éviter des pertes. On voit qu'une telle installation réalise une économie considérable de main-d'œuvre par rapport à une commande dispersée où un ouvrier serait obligé de se déplacer pour mettre en route les différents éléments un à un. Dans ce cas, d'ailleurs, on ne serait pas prémuni contre une erreur ou fausse manœuvre que rien ne viendrait signaler.

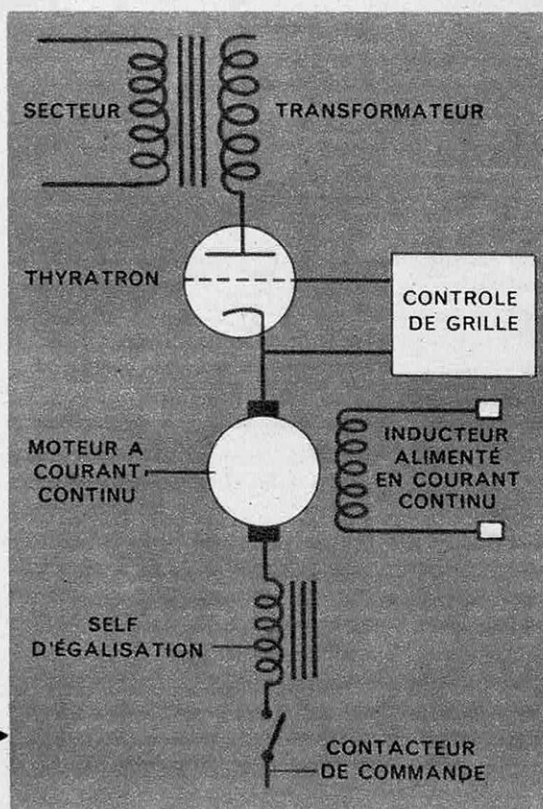
De telles installations de commandes centralisées sont utilisées, par exemple, également dans les sucreries, pour le lavage du charbon, dans l'industrie chimique, et dans les gares de triage.

Nous ne pensons pas épuiser ici toutes les possibilités de commande électrique de l'industrie, d'autant plus que de nouvelles solutions sont inventées tous les jours. Notons cependant pour terminer, que, sans les commandes électriques avec les systèmes de verrouillage et de fin de course, la construction des machines-transfert — ces grandes usines-robot utilisées dans l'industrie automobile — aurait été impossible.

La soudure électrique

L'un des plus répandus parmi les procédés de fabrication où l'électricité joue un rôle actif autre que la production de force motrice, est sans aucun doute la soudure à l'arc. Le principe en est bien connu. On fait jaillir entre les

pièces à souder et une électrode en métal un arc qui porte les pièces à une température voisine de leur point de fusion, tandis que l'électrode, en fondant, fournit la soudure pour assembler les pièces. La soudure à l'arc a posé de nombreux problèmes aux ingénieurs électriciens. Il faut obtenir d'abord un courant de très forte intensité sous une tension relativement faible. En outre, pour amorcer l'arc, on produit un court-circuit franc ; il faut donc que l'appareil produisant le courant puisse supporter ce court-circuit, d'où des transformateurs ou des groupes



Le variateur électronique règle avec précision la vitesse d'un moteur à courant continu, l'amorçage à chaque alternance du thyatron qui alimente l'induit pouvant être avancé ou retardé.

convertisseurs spéciaux, les premiers utilisés pour les soudures normales avec électrodes nues, les seconds indispensables avec les électrodes enrobées dans différentes substances qui forment, en fondant, un flux protégeant la soudure. La soudure à l'arc a donné lieu à la construction de machines automatiques dans lesquelles des électrodes avancent le long de la soudure et où la distance entre l'électrode et la pièce à souder est réglée automatiquement.

A côté de la soudure à l'arc, on a vu se développer également différents procédés de soudure par résistance. Le principe est aussi très simple. On rapproche deux pièces à souder sous une forte pression et on fait passer un courant électrique très intense. La résistance électrique au point où les deux pièces se touchent les porte à l'incandescence et on a une soudure autogène.

La soudure *bout à bout* est utilisée par exemple pour les rails et les profilés, la *soudure à la molette*, ou la *soudure par points* pour les tôles. La soudure par points multiples constitue un perfectionnement de ce dernier procédé.

Enfin, avant de quitter la soudure, mentionnons celle des tôles d'aluminium à l'étain. Normalement, les tôles d'aluminium ne peuvent pas

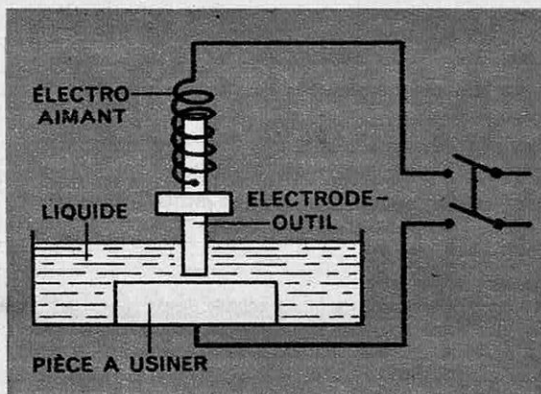
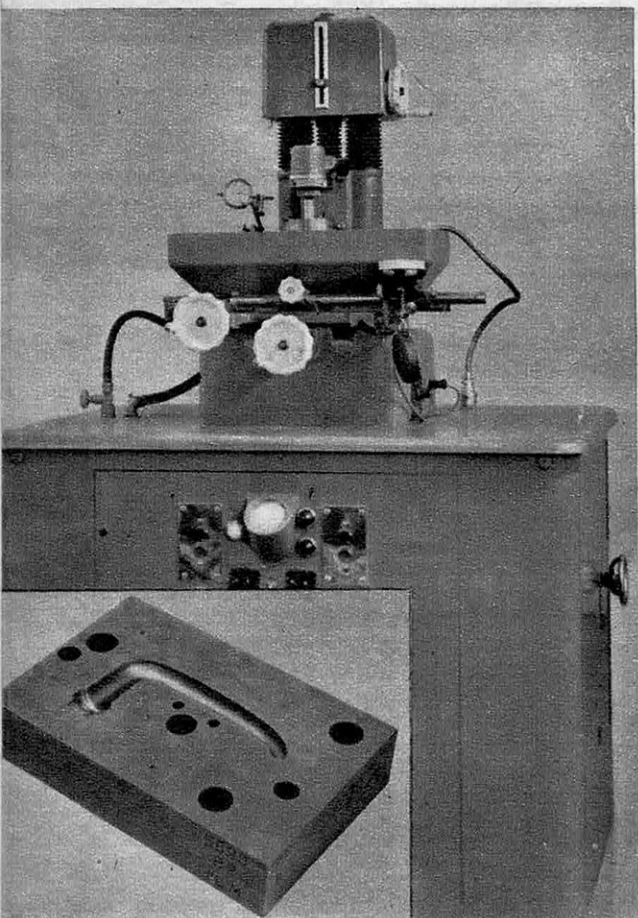
se souder à l'étain, à cause de la pellicule d'oxyde qui recouvre l'aluminium et empêche un contact intime de l'étain de soudure avec les pièces. Le problème a pu être résolu par le fer à souder aux ultrasons. Dans ce fer à souder, la pointe chauffée comme d'habitude est animée de vibrations ultrasonores, qui se transmettent à la soudure et aux pièces à souder et détruisent la pellicule d'oxyde ; l'étain entre ainsi en contact intime avec l'aluminium.

Étincelles et ultrasons

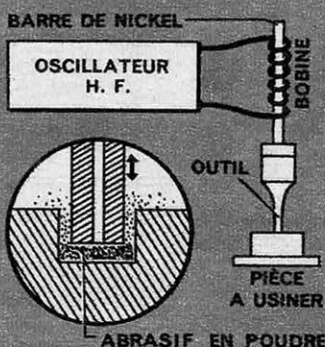
Dans l'usinage par étincelle, on fait jaillir celle-ci entre le corps à usiner et une électrode, tous deux noyés dans un liquide diélectrique. L'étincelle provoque l'érosion de la pièce à usiner. Initialement, on provoquait l'étincelle en donnant à l'outil un mouvement de vibration et en alimentant l'ensemble en courant continu. Dans les machines plus modernes, un système électronique permet de contrôler d'une façon beaucoup plus précise l'intensité et la durée de l'étincelle. Ce qu'il y a de remarquable dans ce procédé, c'est que l'électrode, dont la forme peut être quelconque, est en métal ordinaire (par exemple laiton) et qu'on peut usiner des pièces en métaux très durs, tels que les carbures métalliques. On peut ainsi percer dans les carbures métalliques des trous de forme quelconque. Par exemple, avec une électrode creuse, on peut découper des pièces en forme de pignons. Ces machines, qui donnent une très grande précision (5/1 000), sont surtout utilisées pour la fabrication d'outillage, de matrices d'estampage, etc.

Le procédé par ultrason est un concurrent direct du procédé par étincelle électrique. L'électricité ne joue pas de rôle direct et sert uniquement à produire la vibration ultrasonore

L'usinage par étincelle assure une grande précision. Ci-dessous, principe: l'électroaimant attire l'outil et une étincelle jaillit sur la pièce ; l'outil retombe et le cycle recommence. Dans l'angle, à gauche, un moule usiné dans un bloc d'acier trempé.



Une perceuse par ultrasons avec, en haut, à gauche, le principe de l'usinage aux ultrasons : la barre de nickel entre en vibrations très rapides ; entre la pièce et l'outil, on intercale de l'abrasif en poudre (carbure de bore, p. ex.). Ces particules prennent un mouvement de faible amplitude mais très rapide. On peut ainsi usiner des corps très durs.



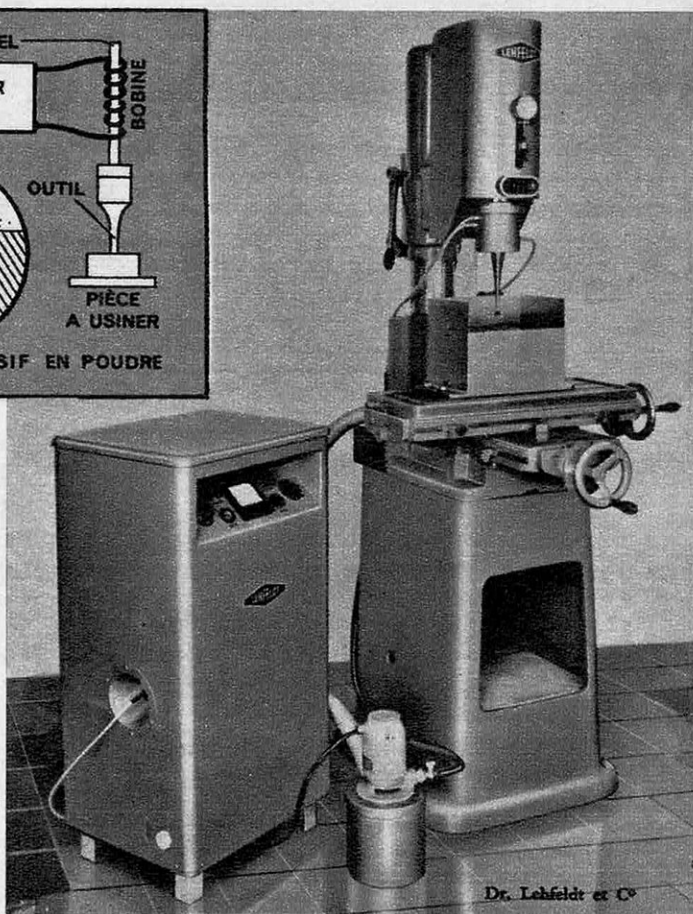
de l'outil, qui est aussi ici un métal ordinaire (acier doux). Il agit sur la pièce par l'intermédiaire d'une suspension contenant une matière abrasive (carbure de bore, par exemple), dont les particules prennent un mouvement de va-et-vient très rapide et de très faible amplitude (0,01 mm à 3 000 cycles/s.). Il se produit une érosion de la matière à usiner. On peut usiner ainsi des corps très durs tels que le diamant et les carbures métalliques.

Contrôles électriques

Une autre application importante de l'électricité dans l'industrie est le contrôle des fabrications. Depuis que l'on a dépassé la précision du centième de millimètre dans l'usinage, on a vu apparaître des appareils de mesure tels que les comparateurs électriques et électroniques. Ces différents appareils utilisent le déplacement d'une touche de contrôle pour modifier les caractéristiques d'un circuit oscillant, soit son induction, soit sa capacité, ce qui fait varier la fréquence du système.

Pour les contrôles simples, analogues à ceux que l'on effectue avec des calibres à mâchoire qui indiquent qu'une pièce se trouve bien entre une cote maximum et une cote minimum correspondant aux tolérances, on a construit des appareils comportant deux contacts : un qui doit se fermer pour indiquer que la pièce dépasse la cote minimum, l'autre qui doit rester ouvert pour indiquer que la pièce ne dépasse pas la cote maximum. Ils sont d'un emploi simple et rapide, car les contacts allument des lampes « bon » ou « rebut ». Ils peuvent être combinés avec des compteurs qui indiquent automatiquement le nombre de pièces contrôlées et le nombre de pièces rebutées, et avec des systèmes qui effectuent automatiquement le tri selon les cotes. De tels appareils de triage automatique sont surtout utilisés dans la fabrication des roulements à billes.

Enfin, on peut combiner des comparateurs électriques pour obtenir des appareils dits « multicotes », permettant le contrôle simultané de toutes les cotes intéressantes d'une pièce. Il

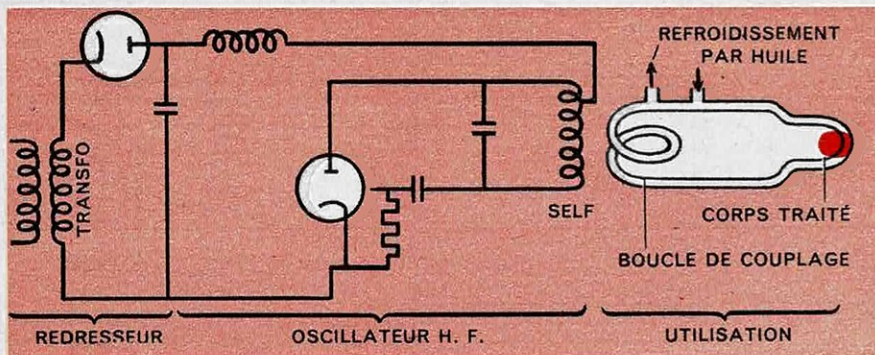


suffit de monter la pièce sur l'appareil pour obtenir l'indication « bon » ou « rebut ».

Les appareils de contrôle électrique ne se bornent pas au contrôle dimensionnel. Différents procédés permettent également un contrôle de la qualité. Ainsi, les ultrasons, engendrés électriquement, sont utilisés en fonderie pour détecter les soufflures, criques, etc. Des détecteurs magnétiques mettent en évidence les défauts des pièces forgées et trempées ou décèlent des inclusions métalliques, par exemple sur les troncs d'arbres dans les grandes scieries, afin d'éviter l'endommagement des scies. Enfin, des contrôles beaucoup plus complexes basés sur l'étude des cycles d'aimantation permettent d'étudier la structure des métaux.

Petit outillage électrique

Le moteur électrique est parvenu à s'intégrer dans certains outils à main d'une façon parfaite et a donné naissance à tout un outillage spécial qui connaît actuellement une large diffusion, bien que les progrès soient relativement récents. Ils utilisent en général des moteurs universels pouvant fonctionner sur courant monophasé ou continu, mais on emploie également des moteurs triphasés et on a même vu apparaître des moteurs à courant triphasé d'une fréquence plus



Pour la trempe haute fréquence, l'oscillateur induit un courant intense dans une boucle de cuivre. Le courant haute fréquence induit dans le corps traité est localisé à sa surface portée rapidement à haute température et trempée par refroidissement brusque ; le cœur garde sa ténacité.

élevée que la fréquence normale, par exemple 200 ou 300 cycles/s, d'où un volume plus réduit et des vitesses plus élevées.

Le petit outillage électrique est très varié. Les outils les plus répandus sont certainement les perceuses électriques et les meules ponceuses et lustreuses. Il existe également des tronçonneuses, grignoteuses, des marteaux électriques, des perforatrices, etc.

Décapage par ultrasons et peinture électrostatique

Enfin, avant de quitter l'industrie mécanique, mentionnons encore deux procédés de finition où l'électricité joue un rôle considérable : le décapage par ultrasons et la peinture électrostatique.

Dans le premier, on utilise toujours un bain de décapage, mais on y soumet les pièces à des ultrasons qui détachent les particules de graisse, de rouille, etc., et donnent une propreté supérieure à tout ce qu'on avait pu obtenir auparavant.

La peinture électrostatique utilise, elle, les progrès récents des redresseurs secs qui fournissent facilement des tensions électriques de plusieurs dizaines de milliers de volts. Cette tension est appliquée entre le pistolet et la pièce à peindre, sur laquelle les forces électrostatiques attirent les gouttelettes de peinture, d'où une réduction considérable des pertes.

Electrometallurgie et électrochimie

Si, comme nous l'avons vu, l'électricité a pour application la plus courante dans l'industrie mécanique la production de force motrice, il est un autre domaine où elle a permis des progrès considérables, celui de l'électrometallurgie et de l'électrochimie où elle intervient, d'une part pour produire de la chaleur, d'autre part pour effectuer des décompositions par électrolyse.

Les premiers fours électriques furent les fours à arc. Leur principe est simple. On fait jaillir un arc électrique entre une électrode en charbon et un bain de métal ou une autre élec-

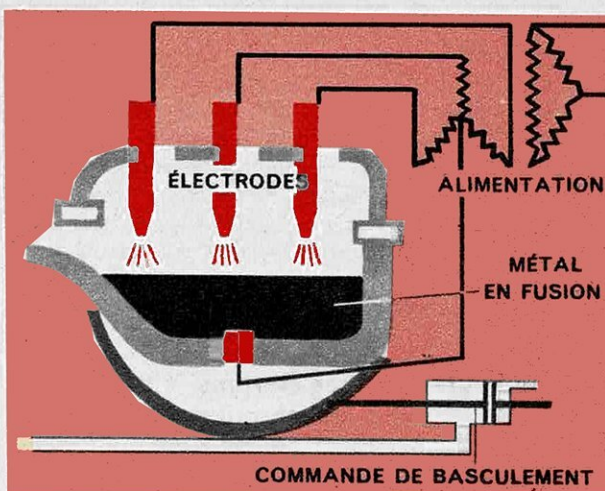
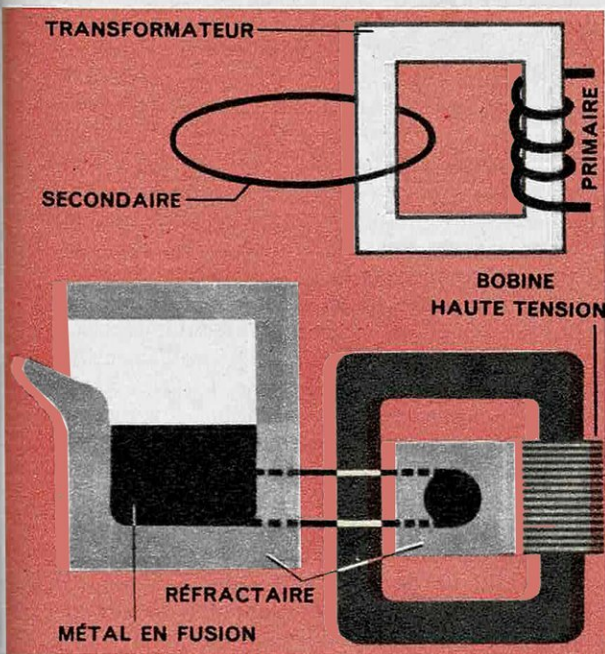
trode. On obtient ainsi des températures extrêmement élevées (3 000°) que l'on ne peut pas atteindre par les combustibles ordinaires, et qui conviennent pour certaines réactions, telles que la fabrication du carbure de calcium.

Le four électrique est également utilisé pour l'affinage des aciers. Certains procédés ont été mis au point pour la fabrication directe de l'acier au four à arc. Enfin, son emploi le plus intéressant au point de vue industriel consiste dans la fabrication de l'aluminium et du magnésium, où l'on n'a d'ailleurs pas uniquement une action de chauffage, mais une électrolyse. Les fours à arc, alimentés en courant continu ou alternatif, possèdent des systèmes de régulation relativement complexes.

Fours à induction et à résistance

A côté des fours à arc, on a vu apparaître les fours à induction, notamment les fours à induction moyenne fréquence. Ils ont ceci de particulier que chaque four constitue un transformateur. Le bain métallique ou le chargement de métaux que l'on met au début dans le four forme un anneau dans un creuset annulaire autour du noyau d'un transformateur alimenté dans son primaire par un courant à haute tension, soit à la fréquence normale de 50 cycles/s, soit à une fréquence plus élevée allant de 500 à 10 000 cycles/s. Le primaire induit à l'intérieur du creuset, dans la masse même du métal, un courant très intense qui provoque la fusion. On voit que le métal n'est en contact qu'avec le creuset, ce qui assure une grande pureté. On utilise ces fours surtout pour la fusion des alliages.

Les fours à induction à haute fréquence fonctionnent selon un principe analogue. On produit à l'aide d'un oscillateur un courant haute fréquence, haute tension, que l'on envoie dans le primaire d'un transformateur. Le secondaire est formé par une ou plusieurs boucles constituées par des tubes en cuivre parcourus par une circulation d'huile; ces boucles entourent le creuset où elles induisent des courants de Foucault très intenses qui peuvent provoquer la fusion du



Deux types de fours : à gauche, four à induction basse fréquence dont la cuve en anneau constitue le secondaire à spire unique d'un transformateur; le courant induit fait fondre le métal. Ci-dessus, four à arc; l'arc jaillit entre les électrodes et le métal dont il provoque la fusion.

métal. A cause de l'effet pelliculaire des courants haute fréquence, les courants restent en surface et l'on a un chauffage utilisé pour la trempe superficielle qui respecte la structure du métal sous-jacent.

Un appareil un peu analogue peut être utilisé pour la soudure des matières plastiques. Dans ce cas, le secondaire du transformateur haute fréquence se referme sur deux électrodes formant condensateur. On serre entre elles les deux pellicules de matière plastique à souder qui forment ainsi le diélectrique du condensateur. Leur échauffement réalise la soudure auto-gène de la matière plastique.

Enfin, on emploie également en métallurgie et en chimie, de nombreux fours à résistance. Les éléments chauffants sont constitués par des fils en alliage de nickel et de chrome (comme ceux des fers à repasser). On n'obtient avec ces fours que des températures relativement basses (environ 1000° C), sauf dans certains fours spéciaux où la résistance est constituée par du graphite. Leur intérêt réside dans la facilité de leur réglage qui peut s'effectuer automatiquement à l'aide de régulateurs thermostatiques électriques. Les fours à résistance sont utilisés surtout pour les traitements thermiques en métallurgie; on les emploie également en céramique ou dans l'industrie du verre où l'on peut réaliser automatiquement des cycles de refroidissement réglés à l'avance, livrant des produits d'une qualité parfaitement contrôlée.

Electrolyse et galvanoplastie

L'électrolyse constitue une deuxième application très importante de l'électricité en électrochimie et en électrometallurgie.

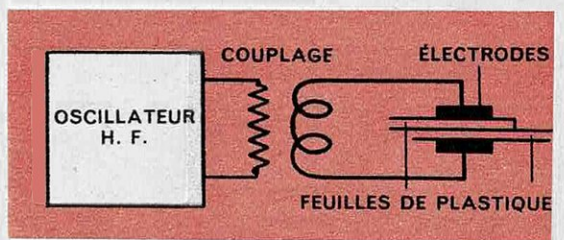
Rappelons que lorsqu'on fait passer un courant continu dans une solution d'un sel ou dans un sel fondu, le métal se dépose sur l'une des électrodes, tandis que le radical acide du sel se dirige vers l'autre.

Ce phénomène se complique souvent du fait que le métal ou le radical acide réagissent à nouveau sur le bain au moment où ils apparaissent sur l'électrode. Ceci permet d'obtenir des produits très variés.

Ainsi, par exemple, l'électrolyse du chlorure de sodium permet d'obtenir à volonté du chlore, du sodium métallique ou de l'acide chlorhydrique, de la soude, de l'eau de javel, selon la façon dont sont agencées les électrodes et selon que l'on fait l'électrolyse d'une solution de sel ou de sel fondu.

Les électrolyses ont pris une importance considérable dans l'industrie chimique actuelle.

Elles fournissent des produits comme le chlore ou l'hypochlorite pour le blanchiment (par exemple dans l'industrie du papier), ainsi que de nombreux produits de base pour les synthèses. En métallurgie, l'électrolyse est éga-



Pour la soudure des plastiques, deux électrodes forment les armatures d'un condensateur. Entre elles, les feuilles plastiques forment le diélectrique, s'échauffent et fondent pour se souder.

lement très importante. Elle sert non seulement à la production de l'aluminium et du magnésium dans les fours à arc, comme nous l'avons déjà vu, mais on l'utilise également pour l'affinage du cuivre et de nombreux autres métaux, notamment des métaux précieux.

L'électrolyse exige l'emploi de courant continu. Il est fourni à partir du réseau alternatif par des redresseurs à vapeur de mercure ou, plus récemment, par des redresseurs à contact.

Mesures et régulations électriques en chimie

Dans toutes les grandes synthèses chimiques, les mesures et les régulations électriques jouent un rôle de plus en plus important.

En premier lieu viennent les mesures de température. L'électricité offre deux moyens de mesurer une température : par la variation d'une résistance (thermomètre à résistance) et par la création d'une force électromotrice par les thermocouples. Dans les thermomètres à résistance, on utilise une résistance bobinée dont la valeur varie fortement en fonction de la température. Un galvanomètre monté dans la dia-

gonale d'un « pont » indique directement la température. Ce même système peut servir à la régulation, en remplaçant le galvanomètre par un relais qui commande l'ouverture d'une vanne ou qui actionne des contacteurs. Le thermocouple est formé par deux métaux différents (par exemple : platine - platine-rhodié); lorsque la soudure entre les deux métaux est chauffée, il se produit une petite force électromotrice que l'on peut mesurer directement ou bien amplifier pour actionner un système de régulation.

Enfin, dans les pyromètres optiques, on utilise le rayonnement émis par une surface à très haute température pour chauffer un thermocouple. C'est le seul moyen industriel que l'on ait actuellement pour mesurer les températures au-dessus de 1 500° C.

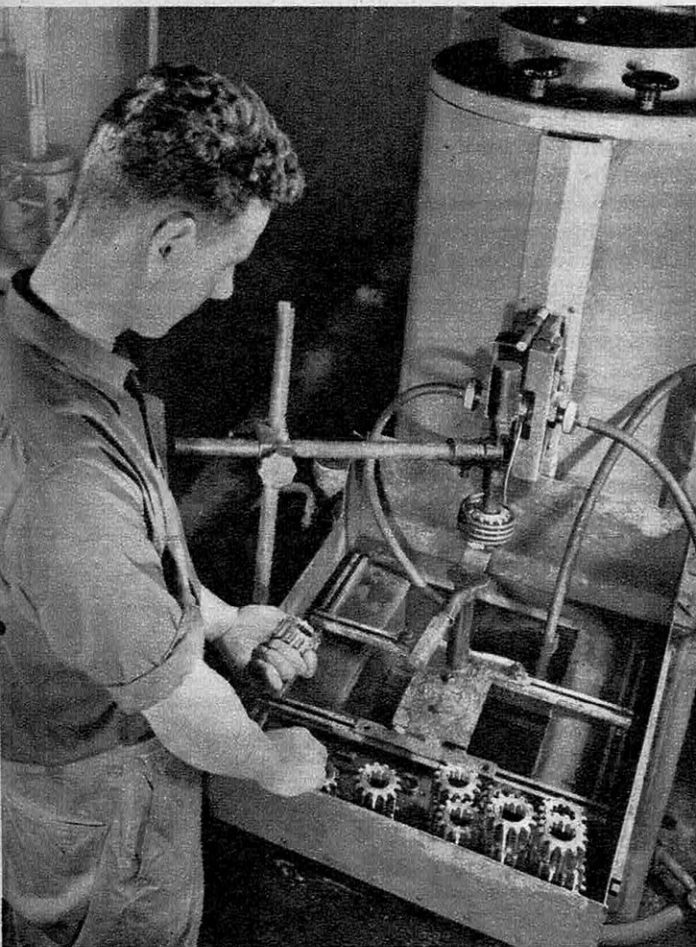
Autre type de mesure électrique très importante en chimie : la mesure du pH, c'est-à-dire de l'acidité ou de la basicité d'une solution, car la plupart des réactions organiques ou anorganiques ne se font avec un rendement convenable que lorsque le pH a une valeur bien déterminée. On peut prélever les solutions dans les cuves à réaction et mesurer l'acidité par dosages ou réactions colorées, ce qui ne donne que des indications discontinues. Les pH-mètres électriques permettent un contrôle continu avec enregistrement et régulation automatique.

A côté de ces deux types d'appareils d'importance capitale, on trouve également dans l'industrie chimique de nombreux appareils d'analyse automatique basés sur différents principes, mais qui utilisent tous des amplificateurs et des circuits de mesure électriques.

L'électricité et l'ingénieur

Nous ne dirons qu'un mot, pour terminer, d'un domaine relativement nouveau et actuellement en plein développement, celui des machines analogiques et des modèles électriques. Là, l'électricité qui, comme nous l'avons vu, a modifié profondément les machines et la conception même des installations industrielles les plus diverses, se met directement au service de l'ingénieur pour faciliter ses calculs et résoudre ses problèmes les plus complexes.

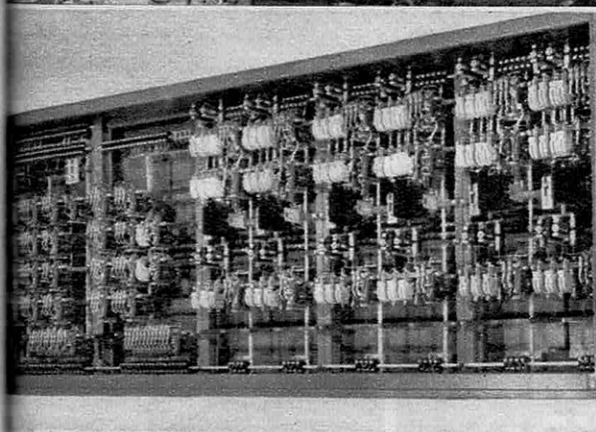
Nous ne donnerons qu'un seul exemple relativement simple, celui de la ventilation dans les mines. On a, dans une mine, un système de galeries en communications, dans lequel on réalise une circulation d'air grâce à des ventilateurs. Etant donné le nombre de galeries qui s'enchevêtrent, on comprend qu'il est très dif-



← **La trempe superficielle** par haute fréquence est ici appliquée à des pignons. On voit le générateur derrière la cuve et la boucle de cuivre que parcourt le courant haute fréquence très intense.



Cette machine transfert Renault effectue automatiquement diverses opérations sur les culasses de moteurs de Frégate. En bas, à gauche, une des armoires de la file de droite a été ouverte pour montrer une partie des contacteurs de commande.



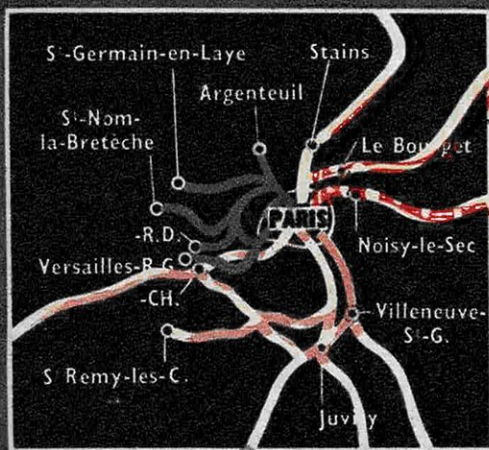
Télé mécanique Electrique

facile de calculer exactement la vitesse de l'air dans les différentes galeries et de vérifier que les plus lointaines sont suffisamment ventilées. Les galeries offrent à l'air qui circule une résistance proportionnelle au carré de la vitesse de l'air. On pourra donc constituer un circuit électrique compliqué représentant la mine, où les ventilateurs seront figurés par des piles ou des sources de courant analogues, et les galeries par des lampes électriques dont la résistance varie proportionnellement à l'intensité du courant qui les traverse; ainsi la tension aux bornes d'une lampe, qu'on peut assimiler à la différence de pression aux deux bouts d'une galerie, sera proportionnelle au carré de l'intensité du courant, qui traduit la vitesse de l'air. Lorsqu'on perce une nouvelle galerie, on modifie

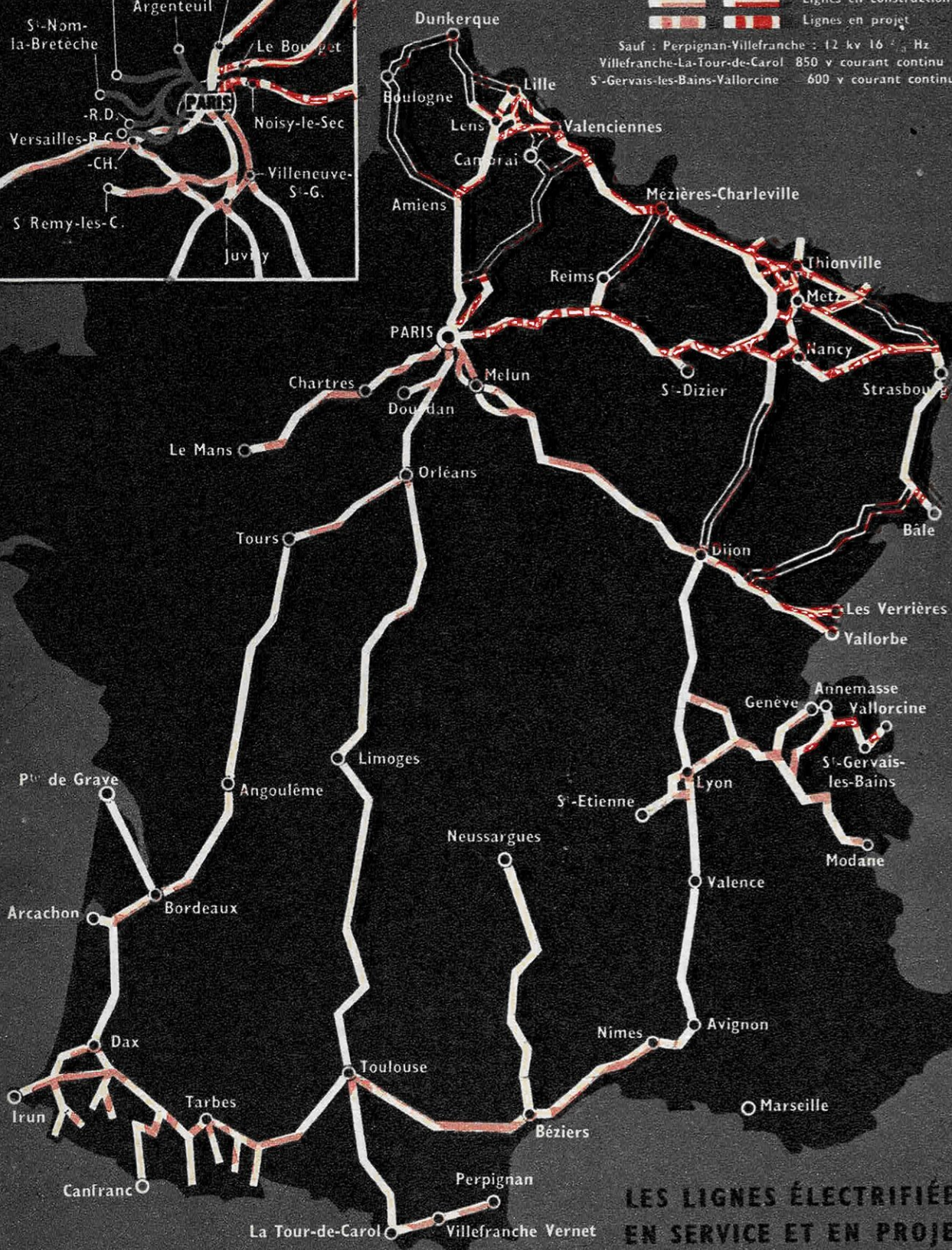
évidemment toutes les conditions de ventilation de la mine. Au lieu de se livrer à des calculs ardu, il suffit de brancher une nouvelle lampe dans le modèle électrique pour observer la perturbation. On peut également, en branchant à titre d'essai de nouvelles piles, ou en intercalant des résistances, expérimenter de façon simple les mesures les plus efficaces pour assurer correctement la ventilation dans les nouvelles conditions de fonctionnement.

Ces méthodes de calcul analogique et de modèles se développent très rapidement, notamment en hydraulique et en aérodynamique, et il faut s'attendre à ce qu'elles révolutionnent les méthodes de recherches des bureaux d'étude.

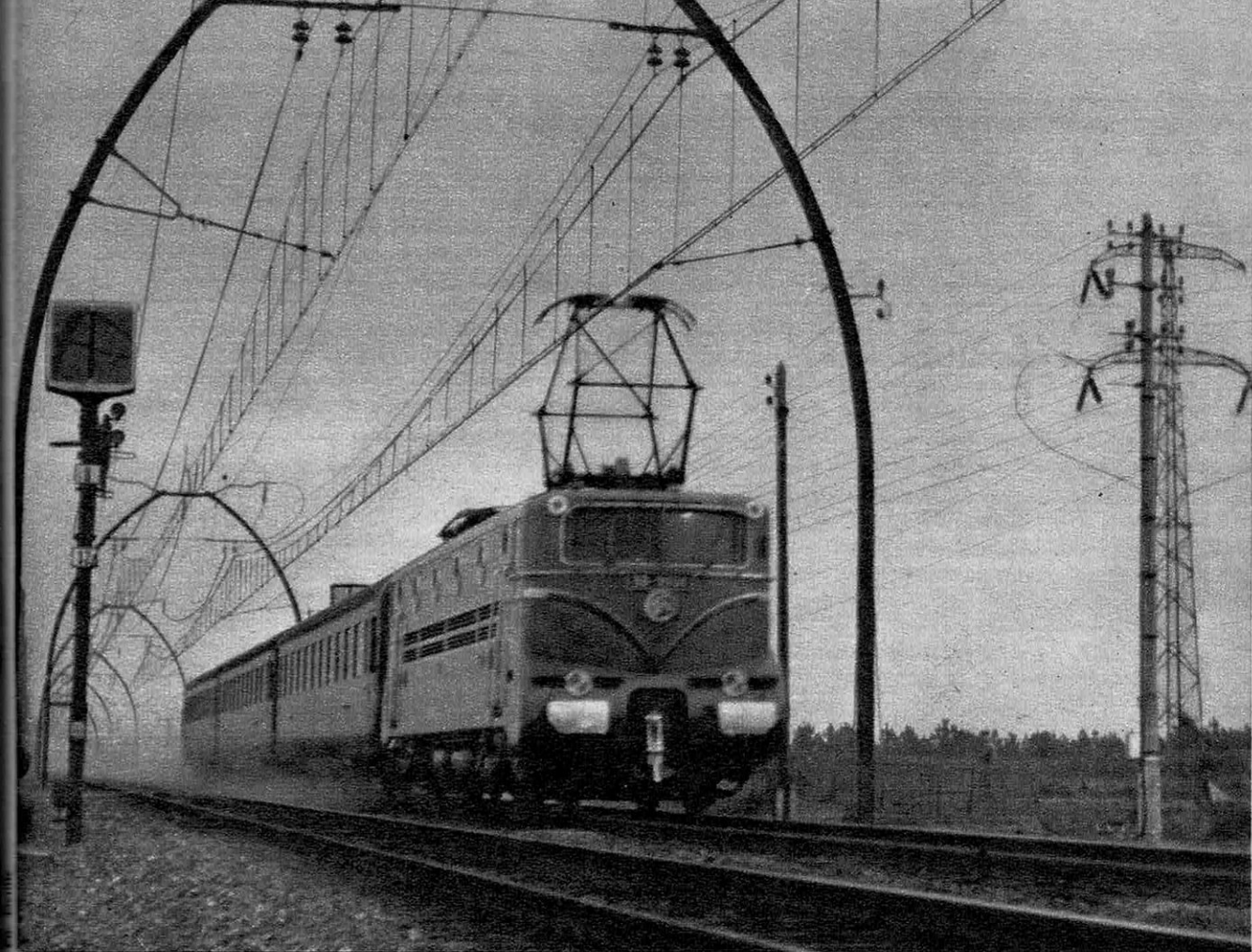
André SCHORP



Sauf : Perpignan-Villefranche : 12 kv 16 Hz
 Villefranche-La-Tour-de-Carol 850 v courant continu
 S-Gervais-les-Bains-Vallorcine 600 v courant continu



**LES LIGNES ÉLECTRIFIÉES
 EN SERVICE ET EN PROJET**



La **BB-9004** vue en pleine vitesse lors du record établi en 1955 : 330 km/h entre Bordeaux et Dax.

UNE RÉVOLUTION EN TRACTION ÉLECTRIQUE

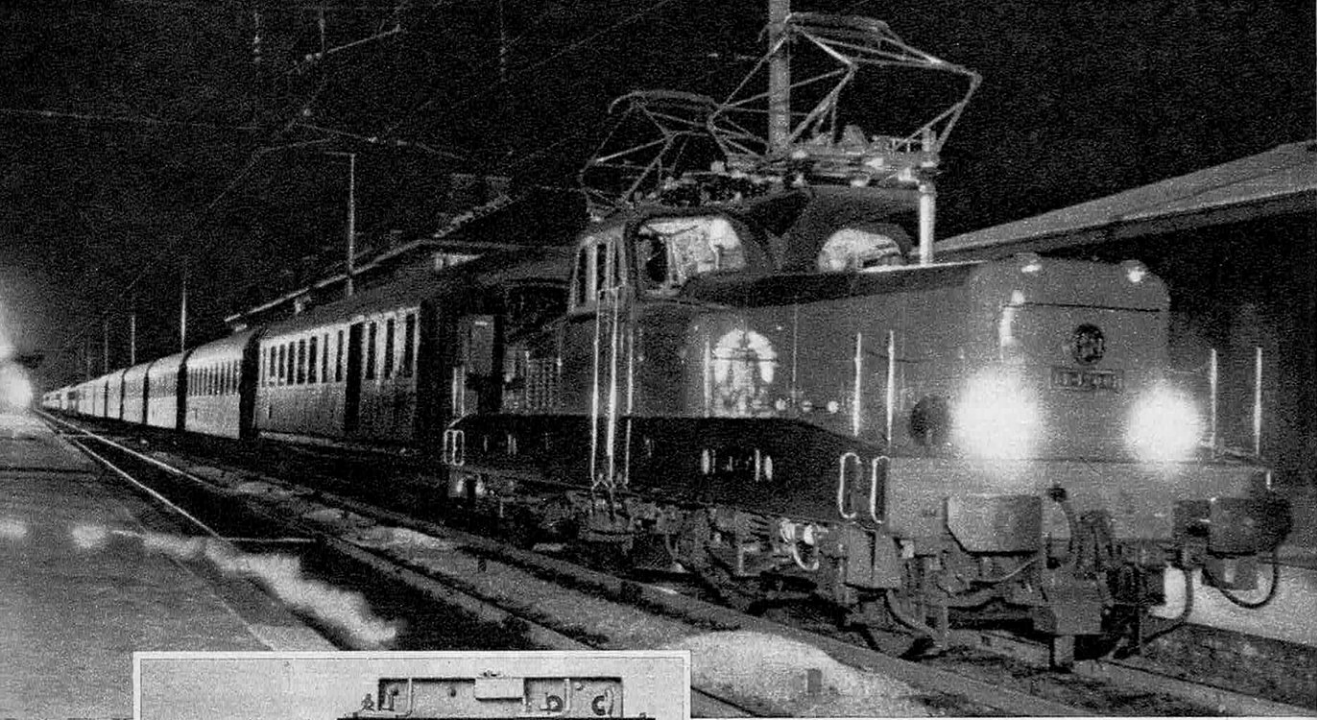
LA traction électrique a été une des premières applications de l'électricité. En 1879, dix ans après l'invention de la machine de Gramme, apparaissait le premier engin électrique sur rail, le petit chemin de fer de l'Exposition de Berlin.

Depuis lors, la traction électrique s'est considérablement développée, avec les tramways tout d'abord, puis avec les réseaux ferrés de chemin de fer et de métropolitain; elle s'est même étendue à la route, avec les véhicules à accumulateurs et les trolleybus. Dans chacun de ces domaines les progrès se poursuivent; les tramways ne sont pas morts : certaines compagnies ont

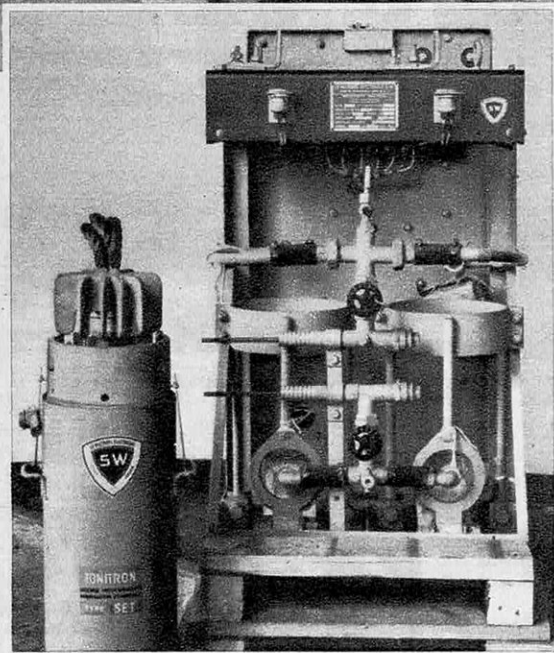
même mis en service des matériels ultra-modernes; le métropolitain rénove son matériel et inaugure une nouvelle technique révolutionnaire : le métro sur pneus; les trolleybus voient poindre un concurrent : le gyrobus.

Dans le chemin de fer, la traction électrique a également connu un développement considérable : certains pays, comme la Suisse, ont leurs lignes électrifiées pratiquement en totalité. Mais la technique même de la traction électrique appliquée au chemin de fer est en train de subir une véritable révolution.

Cette révolution se passe en France. Là jus-



Sur les nouvelles BB à « ignitrons » le courant alternatif est redressé à une tension qui croît progressivement de 0 à 750 volts au démarrage. Ci-contre, un bloc de redresseurs « ignitrons ».



La traction par continu 1 500 volts

L'électrification en courant continu 1 500 volts, qui a vu en quelque sorte son couronnement en 1952 avec la mise en service complète de l'artère Paris-Lyon, la plus importante de la S.N.C.F. et sur laquelle s'achemine 10 % du trafic total, s'est poursuivie depuis lors à un rythme plus ralenti. Elle a été appliquée pour raccorder la ligne Paris-Lyon aux lignes déjà électrifiées de Savoie, permettant ainsi la disparition totale de la traction à vapeur dans des régions proches des Alpes, bien alimentées en énergie électrique.

L'emploi du redresseur à vapeur de mercure « mono-anodique » dans les sous-stations est la principale nouveauté de ces dernières électrifications. Il permet de réduire le volume des bâtiments, et son remplacement, pour entretien ou en cas d'incident, est aisé.

Dans le domaine des locomotives électriques à courant continu, de nouveaux progrès ont également été enregistrés depuis les matériels « Paris-Lyon ». La succession était pourtant difficile. On connaît en particulier les *records d'en-*

tement où les techniques classiques d'électrification des chemins de fer étaient arrivées à un état de perfection que le grand public n'ignore plus depuis « Paris-Lyon » et les records du monde de vitesse, une nouvelle technique vient d'être mise au point, qui est plus économique et d'une qualité encore supérieure : la traction par courant monophasé de fréquence industrielle.

Pour illustrer cette évolution toute récente, nous nous proposons d'évoquer rapidement les derniers progrès accomplis depuis Paris-Lyon dans le domaine de la traction classique à courant continu 1 500 volts, et de donner un aperçu des récentes réalisations du nouveau mode de traction.

Cette locomotive BB-9003 à courant continu, que l'on voit ici attelée à un rapide lourd, développe plus de 4 000 ch. Une série de 24 machines, qui en dérivent, entreront en service en 1956. →

durance, battus en 1954 par la 2D2 9101 (1) avec 51 657 km en un mois, puis, plus récemment par la CC 147 qui a parcouru en 6 mois, du 1^{er} mai au 31 octobre 1955, 363 468 km, soit une moyenne mensuelle supérieure à 60 000 km!

Depuis, on a vu apparaître un nouveau type de locomotives BB à grande vitesse (4 prototypes BB 9001 à 9004). Ces locomotives, d'un poids de 80 t et d'une puissance supérieure à 4 000 ch, peuvent circuler à très grande vitesse, ce qui avait été jusqu'alors jugé presque impossible pour des locomotives à adhérence totale du type BB. Elles peuvent ainsi couvrir l'ensemble des services rapides et mixtes et réalisent le type de machine universelle et économique tant apprécié de l'utilisateur. Les excellents résultats de ces quatre prototypes — l'un d'eux a couvert 380 000 km en 1954 — ont conduit la S.N.C.F. à commander une série de 24 machines qui en dérivent directement, les BB 9 200 qui seront mises en service dans le courant de 1956.

Les locomotives électriques françaises à 1 500 volts ont également prouvé leur qualité par les records de vitesse remportés successivement en 1954 et 1955. Le 21 février 1954, la locomotive CC 7121 a montré ce dont était capable une locomotive « strictement de série » en atteignant entre Dijon et Beaune la vitesse de 243 km/h. Un an plus tard la CC 7107 et l'un des 4 prototypes de BB à grande vitesse, la BB 9 004,

(1) Le rang dans l'alphabet des lettres qui désignent les types de locomotives électriques indique le nombre d'essieux moteurs groupés : une CC possède 2 groupes de 3 essieux moteurs ; une D, 1 groupe de 4 essieux moteurs. Les chiffres indiquent les essieux seulement porteurs.

légèrement modifiées, atteignaient l'une et l'autre la vitesse extraordinaire de 330 km/h entre Bordeaux et Dax.

Enfin, de nouveaux éléments automoteurs ont été mis en service sur la banlieue Paris Sud-Est. Ils sont constitués d'une automotrice et d'une ou deux remorques, ce qui permet d'adapter la composition des rames aux besoins du trafic. Chaque motrice est équipée de quatre moteurs, un par essieu, d'une puissance totale de 1 200 ch, ce qui permet des démarrages à pleine charge et à forte accélération.

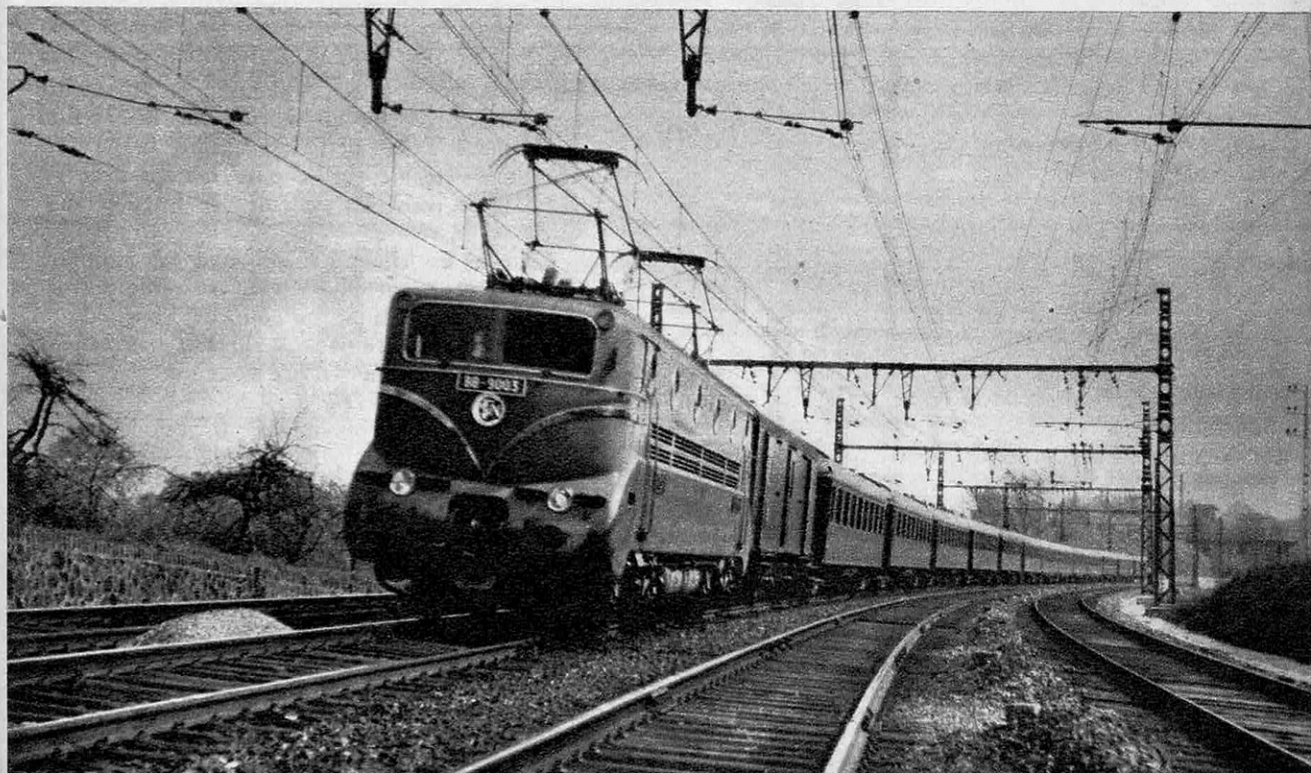
Des matériels identiques sont actuellement en construction pour les banlieues Sud-Ouest et Montparnasse.

Le programme d'électrification à fréquence industrielle

Avec 4 900 km de lignes exploitées à l'heure actuelle en traction électrique et représentant 12 % de la longueur du réseau, la France ne vient qu'au 4^e rang des pays électrifiés d'Europe, derrière la Suède (6 100 km, 40 %), l'Italie (5 600 km, 35 %) et la Suisse (5 200 km, 99 %). Elle transporte toutefois sur ces lignes près de 40 % de son trafic.

Mais la France est, en fait, le pays où, actuellement, la traction électrique se développe le plus. D'ici 6 à 7 ans, l'électricité équiperait environ 8 000 km de lignes et 70 % du trafic de la S.N.C.F.

Indépendamment de la ligne Lyon-Marseille, ce vaste programme porte surtout sur les artères à fort trafic du Nord et de l'Est de la France. Il va prolonger la première section déjà en ser-



vice (Valenciennes-Thionville) vers Lille d'une part, Metz-Sarrebourog-Forbach, puis Strasbourg et Bâle d'autre part, réunissant ainsi les grands centres miniers et sidérurgiques du Nord et de l'Est de la France avec la Belgique, le Luxembourg et le bassin allemand de la Ruhr. L'électrification va s'étendre également à Paris-Lille et diverses lignes du Nord, puis à Paris-Strasbourg.

L'importance du programme Nord-Est tient à deux raisons essentielles : d'une part, l'intensité du trafic des lignes considérées qui desservent les zones industrielles les plus actives de France; d'autre part, la proximité de sources d'énergie électrique à bon marché : centrales thermiques des houillères et de la sidérurgie, centrales hydrauliques de la vallée du Rhin. La consommation électrique des lignes du programme Nord-Est, y compris Valenciennes-Thionville, doit s'élever à 1 200 millions de kWh.

L'originalité essentielle du programme d'électrification Nord-Est consiste dans l'emploi de la nouvelle technique de traction électrique mise au point en France : la traction monophasée de fréquence industrielle.

Les avantages économiques du 50 périodes

Les avantages économiques du nouveau système sont maintenant bien connus. En amenant le courant industriel, c'est-à-dire le courant alternatif à 50 périodes, jusqu'au pantographe des engins moteurs, on réduit au minimum les installations de raccordement du chemin de fer au réseau public d'énergie; les sous-stations deviennent de simples postes de transformation

ajustant la tension à la valeur choisie pour l'alimentation de la caténaire.

La tension de 25 kV qui peut être adoptée permet d'espacer les sous-stations jusqu'à 70 km au lieu de 10 à 25 km en courant continu. On peut ainsi les rapprocher des grands postes du réseau général (voire même les intégrer), ce qui réduit considérablement la construction de lignes spéciales à haute tension.

Enfin, on peut alléger au maximum la caténaire qui ne transporte que des courants de faible intensité; les sections de cuivre nécessaires sont de 3 à 5 fois plus faibles que celles des lignes électrifiées en courant continu 1 500 volts.

Compte tenu de certaines dépenses supplémentaires imputables au nouveau système, notamment en ce qui concerne le gabarit des ouvrages d'art et les installations de signalisation et de télécommunications, on estime que l'économie dans le domaine des installations fixes est de l'ordre de 30 % par rapport au courant continu 1 500 volts.

On pouvait craindre que ces avantages fussent plus ou moins atténués par le coût des engins moteurs. La réalisation de locomotives et d'automotrices fonctionnant correctement lorsqu'on les alimente directement en monophasé à 50 périodes, constituait en effet le principal obstacle technique au développement du nouveau système.

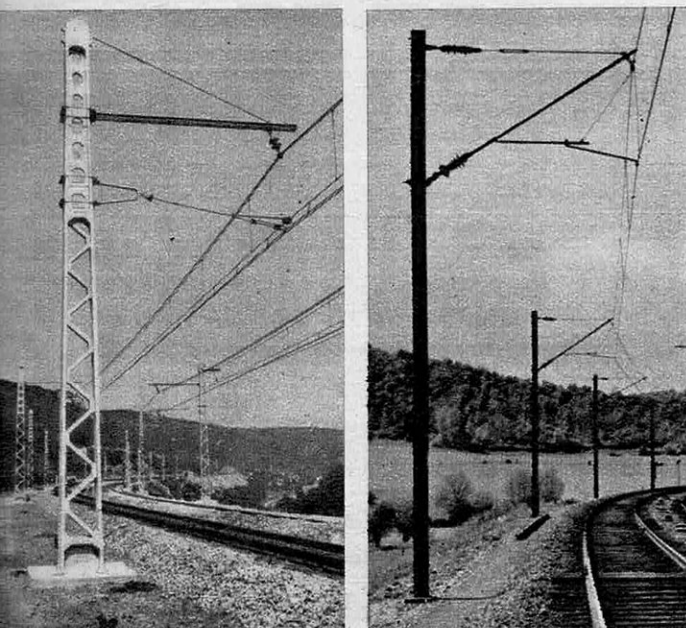
Les solutions possibles se rangeaient en deux grandes catégories :

- emploi de moteurs monophasés à 50 périodes adaptés aux besoins de la traction par des artifices de construction;
- transformation du courant monophasé, soit en courant continu (locomotives à redresseurs ou à groupe « mono-continu »), soit en courant triphasé (locomotives à groupe « mono-triphasé »).

Les nouvelles locomotives construites suivant ces principes, pour Valenciennes-Thionville, viennent de révéler en service que la traction monophasée à 50 périodes apporte aussi une économie sensible sur le parc moteur : de 10 à 20 % suivant les systèmes de traction auxquels on se réfère.

Le prix de chaque locomotive est peut-être encore légèrement plus élevé, mais les performances de traction, notamment l'aptitude à remorquer des trains très lourds, permettent d'assurer un même service avec un parc plus réduit de locomotives.

La traction monophasée à 50 périodes ne se traduit pas non plus par un accroissement des dépenses d'exploitation, bien au contraire. Une



← La caténaire du monophasé à 50 périodes sous 25 000 V (à droite) ne comporte qu'un câble porteur en bronze et un fil de contact en cuivre dur. Celle du 1 500 V continu (à g) est bien plus lourde.



Sur les nouvelles locomotives CC pour trains très lourds, du type « mono-continu », le groupe convertisseur comporte un moteur synchrone entraînant 2 génératrices à courant continu.

étude économique récente les évalue entre 6 et 10 %. Finalement le 50 périodes est gagnant sur tous les tableaux.

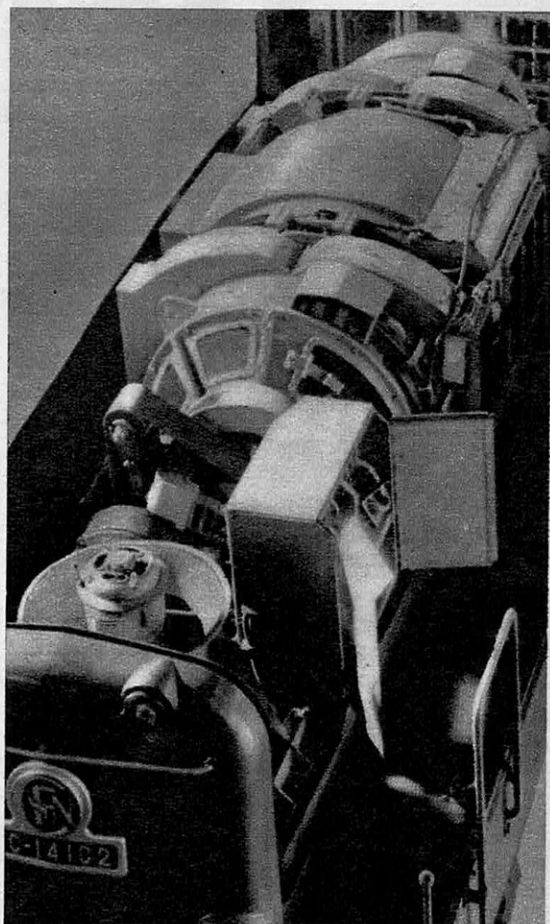
Notre exemple est déjà suivi par plusieurs pays

La Turquie électrifie la banlieue d'Istanbul selon la technique nouvelle et avec du matériel français ; le Portugal adopte le même principe pour la banlieue de Lisbonne ; en Allemagne, près de Cologne, une compagnie minière équipe un important réseau de surface ; une compagnie privée de Colombie électrifie l'une de ses lignes avec du matériel français.

Les Chemins de fer du Bas-Congo-Katanga, qui avaient de leur côté adopté le nouveau système pour une ligne d'une centaine de km, en étendent maintenant l'application.

Enfin, des essais commencent dans divers pays, notamment en Grande-Bretagne, en U.R.S.S. et au Japon. Aux U.S.A., même, pays du diesel, une importante commission d'experts a retenu, pour le développement futur de la traction électrique, le courant monophasé à la fréquence industrielle, là-bas, de 60 périodes.

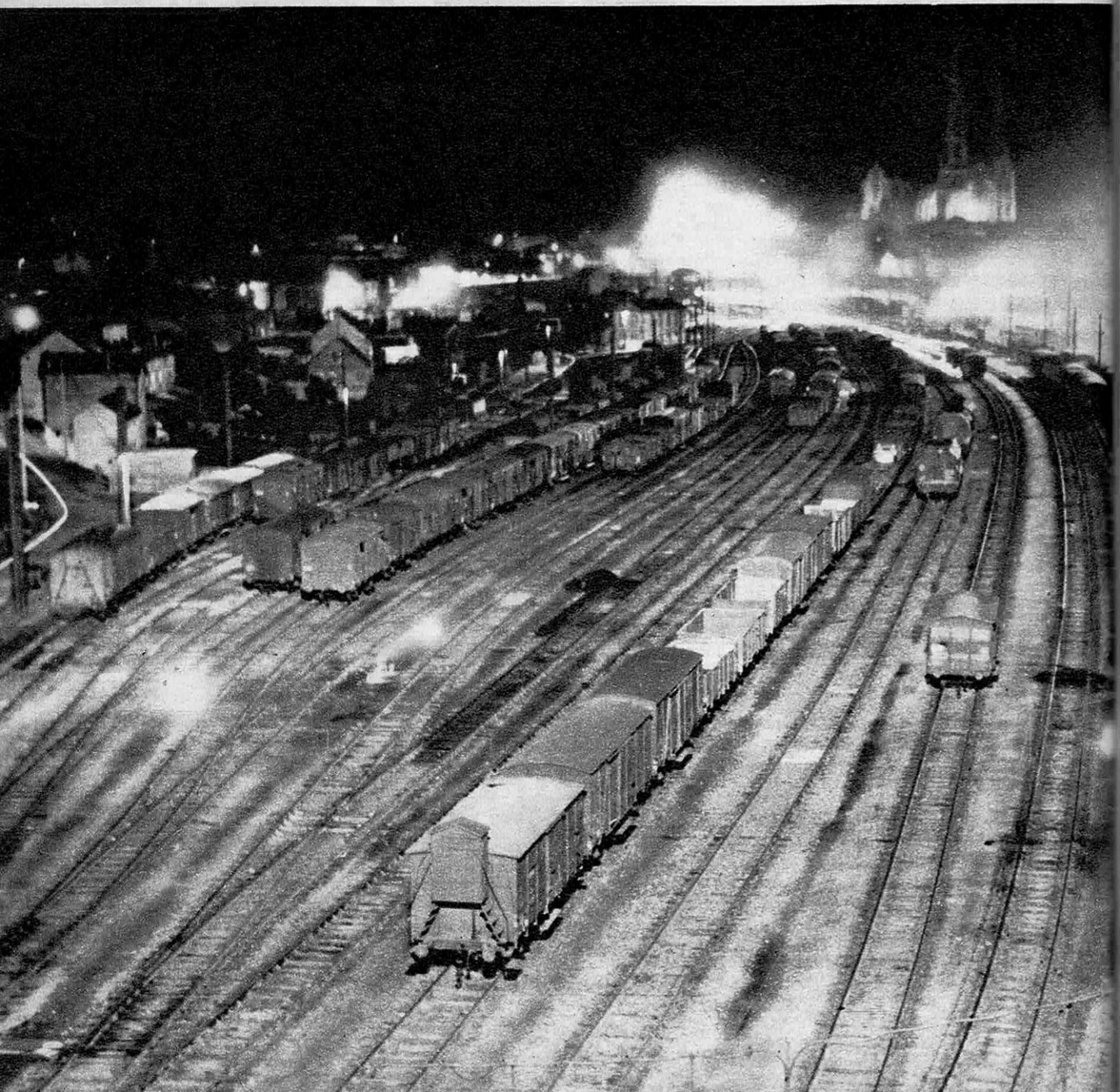
Marcel TESSIER



LES PROGRÈS DE L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

L'ÉCLAIRAGE a été la première application pratique de l'électricité, et ce fait pourrait, à lui seul, justifier un chapitre spécial dans cette revue. Mais — ce qui est certainement plus important encore — l'éclairage électrique a profondément transformé les conditions de notre vie et a apporté à de nombreux problèmes des solutions qu'il aurait été impossible d'envisager avec toute autre source de lumière.

De tout temps, l'homme a cherché à vaincre les ombres de la nuit, et pendant de longs siècles, les torches, lampes à huile, chandelles,



bougies, lampes à pétrole ont été les seuls moyens d'éclairage, moyens bien faibles qui présentaient en outre de nombreux inconvénients. Un grand pas en avant a été fait par l'utilisation du gaz d'éclairage, en particulier grâce à l'invention du manchon Auer. Mais c'est l'électricité seule qui a permis les éclairages abondants dont nous disposons actuellement, les féeries lumineuses que nous admirons...

Divers procédés sont utilisés pour transformer l'énergie électrique en lumière : l'arc électrique; l'incandescence; la décharge dans les gaz

ou vapeurs métalliques, combinée ou non avec la fluorescence.

L'arc électrique n'a guère qu'un intérêt historique et n'est plus utilisé que dans des projecteurs puissants, lorsqu'il faut une source ponctuelle de très haute intensité lumineuse.

La lampe à incandescence

Il y a à peine plus de soixante-quinze ans, en 1879, les recherches d'Edison en Amérique et de Swan en Angleterre, aboutissaient à la réalisation des premières lampes à incandescence pratiques.

Elles comportaient un filament de carbone dans le vide. Puis on utilisa des métaux : l'osmium, le tantale, enfin le tungstène. De nouvelles améliorations furent obtenues par le remplissage de l'ampoule par un gaz inerte (mélange d'azote et d'argon, krypton), puis par le spiralage et le double spiralage du filament.

Pour juger de l'importance des progrès, il suffit de mentionner que l'efficacité lumineuse qui était de 1.68 lumen par watt pour la première lampe d'Edison, dépasse 13 lumens par watt pour les lampes modernes usuelles de puissance moyenne; elle atteint 20 lumens par watt pour les lampes de 1 500 watts. Nous sommes encore loin de l'efficacité des lampes fluorescentes (40 lumens par watt) et des lampes à décharge dans la vapeur de sodium (70 lumens par watt). Nous sommes encore plus loin de l'efficacité théorique de 621 lumens par watt que donnerait une lampe capable de transformer toute l'énergie reçue en lumière de longueur d'onde 5 550 angströms, pour laquelle l'œil atteint son maximum de sensibilité.

Dans une lampe de 40 watts, la proportion d'énergie transformée en lumière n'est que 7,4 %, mais dans l'état actuel de nos connaissances, il ne semble pas que des progrès importants puissent être envisagés. Il ne peut être question d'augmenter la température du filament; celle-ci est de l'ordre de 3 000° K (1), alors que la température de fusion du tungstène est de 3 650° K. Un progrès spectaculaire ne pourrait se produire que si l'on disposait, pour confectionner le filament, de corps sélectifs

(1) Degrés Kelvin, qui expriment la température comptée à partir du zéro absolu, c'est-à-dire la température centésimale augmentée de 273.

Claude Paz et Silva



La gare de triage de Chartres, telle qu'elle apparaît la nuit, éclairée par des lampes à ballon fluorescent. Au fond, sur le cliché, on aperçoit, brillamment illuminée, la célèbre cathédrale.

rayonnant principalement dans la partie visible du spectre, analogues aux oxydes de terres rares utilisés dans le manchon Auer.

On ne saurait décrire tous les types de lampes à incandescence. Toutes les applications nécessitent des lampes spécialement étudiées : lampes pour automobile, projection fixe, cinéma, mines, téléphone, lampes miniatures, lampes fantaisie. Il existe des lampes naines de très faible puissance pour les besoins médicaux et des lampes géantes absorbant des milliers de kilowatts.

Types de lampes et vie moyenne

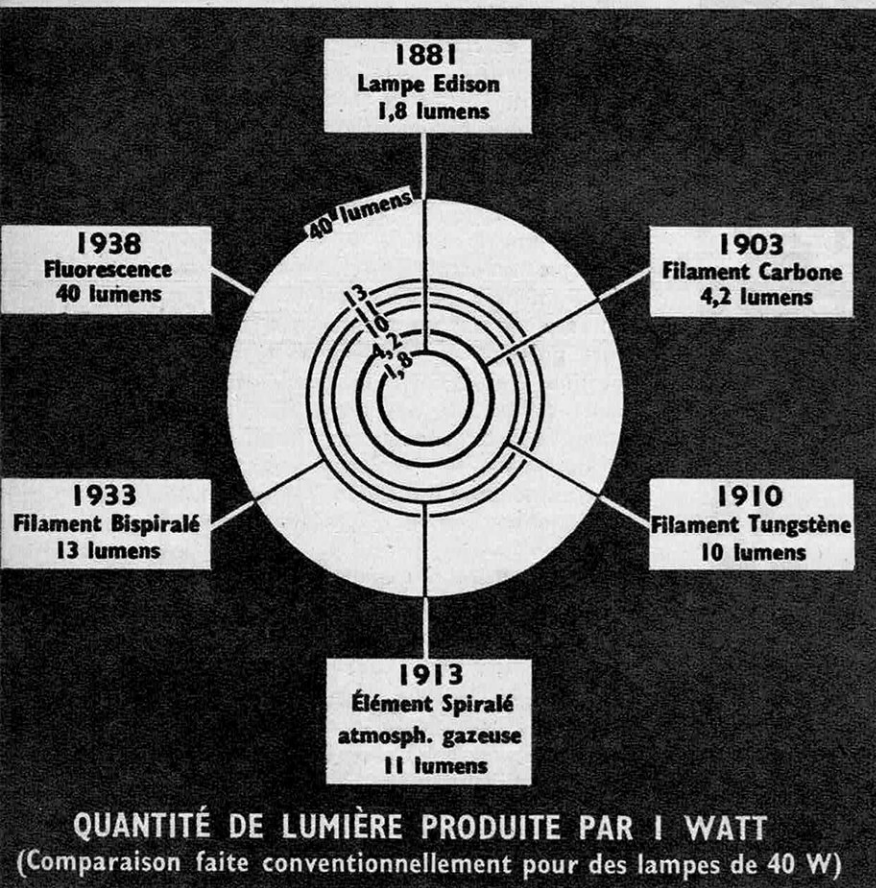
L'élément lumineux d'une lampe à incandescence est de petites dimensions. C'est là un grand avantage chaque fois que l'on désire diriger le faisceau lumineux de façon précise, au moyen de réflecteurs de dimensions raisonnables. Aussi les lampes à incandescence en verre clair sont-elles des sources de choix pour les appareils de projection, le cinéma, les projecteurs de tous types, tant pour l'automobile que pour les illuminations de monument, les appareils scyaltiques utilisés en chirurgie. Mais cette concentration du filament peut être un inconvénient. La luminance (ou brillance) est élevée et les risques d'éblouissement sont accrus. Aussi, pour beaucoup d'applications, et en particulier pour les usages domestiques, doit-on employer exclusivement les lampes *satiniées*

intérieurement ou les lampes à *dépôt interne de silice*, qui donnent une lumière plus diffuse et plus douce.

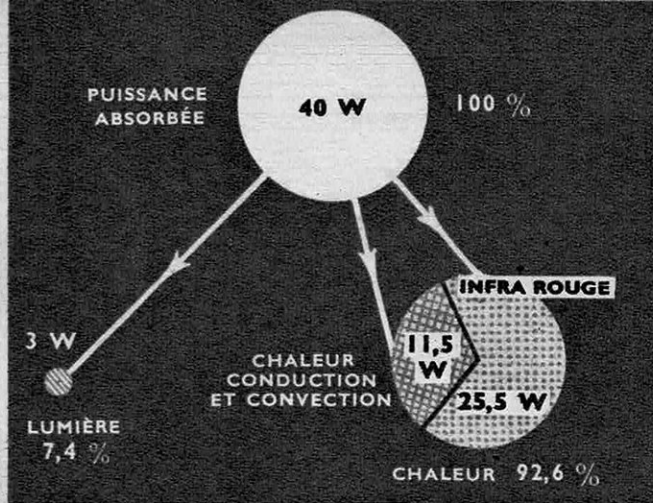
Les lampes à incandescence sont établies de façon telle que la durée de vie moyenne ait une valeur déterminée suivant les applications. Pour les usages courants, on a choisi une durée de vie de 1 000 heures, ce qui, compte tenu du prix de l'énergie électrique et des frais de remplacement, conduit au minimum de prix de revient de la lumière. Si une lampe marquée 115 V est alimentée sous 120 V (survoltée), sa durée diminue de 45 %, le flux lumineux augmente de 16 % et la puissance absorbée augmente de 7 %. Inversement, pour une lampe marquée 125 V et alimentée sous 120 V (sous-voltée), la durée augmente de 78 %, le flux émis diminue de 14 % et la consommation diminue de 6,3 %.

Dans les deux cas, le prix de revient du lumen-heure se trouve augmenté. En outre, dans le cas du sous-voltage, la couleur tire sur le rouge et est moins agréable.

Pour certains usages spéciaux, dans le but d'accroître la luminance du filament, et étant donné la faible utilisation des lampes, on a admis des vies moyennes notablement plus faibles, 300 à 500 heures pour les lampes équipant les projecteurs d'illumination, 25, 50 ou 100 heures pour les lampes de projecteurs de cinéma, 100 et même 200 heures pour certaines lampes de prises de vues photographiques.



Le rendement des sources lumineuses a fait depuis 1881 des progrès considérables. Les premières substances utilisées pour faire les filaments : papier, coton ou fibres végétales carbonisés se montrèrent mauvais émetteurs de lumière. Ce n'est qu'en 1910 que les filaments de carbone furent abandonnés au profit du tungstène. Depuis 1938, l'utilisation de tubes à décharge, revêtus de matière fluorescente, a triplé le rendement lumineux.



Bilan de transformation de l'énergie par une lampe à incandescence de 40 watts. La proportion d'énergie perdue en chaleur est considérable.

Pour en terminer avec les lampes à incandescence, il convient de mentionner spécialement les lampes à réflecteur incorporé qui constituent en fait des petits projecteurs et qui trouvent de nombreuses applications pour les éclairages localisés, en particulier pour les vitrines.

Les lampes à décharge dans les gaz et vapeurs métalliques

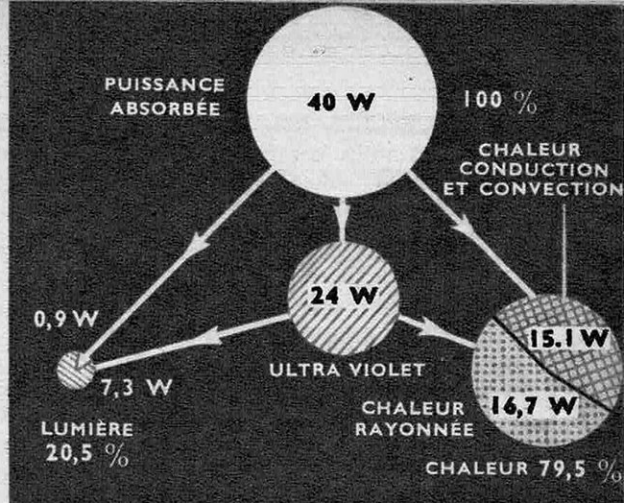
Si l'on applique une tension suffisante entre deux électrodes scellées aux extrémités d'un tube contenant un gaz ou une vapeur métallique, sous une pression convenable, on constate le passage d'un courant électrique, en même temps que l'émission d'un rayonnement lumineux. C'est la vieille expérience des tubes de Geissler.

Pour expliquer le mécanisme de production de ce rayonnement, rappelons qu'on peut se représenter schématiquement un atome sous la forme d'un système solaire en miniature : autour d'un noyau central gravitent des électrons répartis sur plusieurs couches, à chacune desquelles correspond un niveau d'énergie déterminé.

Sous certaines influences, telles que le choc d'un électron en mouvement assez rapide, un ou plusieurs de ces électrons planétaires sont projetés sur une couche correspondant à un niveau d'énergie plus élevé. Cette modification est instable et les électrons déplacés reviennent sur leur orbite de départ, en restituant, sous forme d'un rayonnement, les énergies qui leur avaient été communiquées.

Il est possible de régler les conditions de la décharge électrique dans le néon, dans la vapeur de mercure ou de sodium, de façon telle que la majeure partie du rayonnement produit se trouve dans la partie visible du spectre. On obtient ainsi des sources de lumière utilisables pratiquement.

Il est nécessaire de stabiliser la décharge élec-



Une lampe fluorescente de même puissance a un rendement lumineux bien supérieur. La presque totalité de la lumière est produite par la fluorescence.

trique au moyen d'une impédance (self, condensateur ou résistance). Aussi les lampes à décharge sont-elles alimentées par l'intermédiaire d'un transformateur conçu spécialement, qui assure cette stabilité en même temps qu'il fournit la tension nécessaire à l'amorçage.

Alors que le spectre émis par une lampe à incandescence est continu et comporte toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, le spectre des lampes à décharge est composé de raies. La lumière est fortement colorée, rouge pour le néon, jaune pour le sodium, bleue pour le mercure. Ceci limite les applications de ces lampes.

Les lampes au néon se présentent sous forme de tubes de grande longueur et sont alimentées sous tension élevée. Elles ont été très largement utilisées pour la publicité, les enseignes lumineuses, mais sont, en général, remplacées actuellement par des tubes fluorescents qui permettent l'obtention de couleurs variées.

Dans les lampes à vapeur de sodium, la décharge se produit dans un tube, en général en forme de U, qui contient un peu de néon, pour faciliter l'amorçage, et du sodium. Le dégagement de chaleur vaporise le sodium et la lampe atteint son régime de fonctionnement normal au bout de 10 minutes environ. Une cloche à vide entoure la lampe, limite les pertes de chaleur et assure le maintien de la température optimum. La lumière émise est pratiquement monochromatique, jaune ; la brillance est relativement peu élevée.

Les lampes à vapeur de sodium sont intéressantes par leur efficacité lumineuse très élevée qui peut atteindre 70 lumens par watt, et sont utilisées lorsque les questions de couleur n'interviennent pas : éclairage des routes et des grands espaces, chantiers, ateliers, en particulier lorsque l'atmosphère est chargée de poussières, canaux, écluses, ports.

Les lampes à vapeur de mercure se présentent

Un spectacle « Son et Lumière » au château de Chantilly. Ces féeries lumineuses qui mettent en valeur certains de nos châteaux ont déjà contribué considérablement à développer le tourisme. →

sous la forme d'une ampoule renfermant un petit tube en quartz à l'intérieur duquel se produit la décharge. La couleur de la lumière est assez désagréable et bleutée, aussi ces lampes n'ont guère que des applications spéciales : contrôle de surfaces métalliques polies, triage du charbon, éclairage des frondaisons des arbres, photographie et reproduction photomécanique.

La correction de la couleur des lampes à vapeur de mercure

On a vu qu'une impédance est nécessaire pour stabiliser la décharge électrique ; une résistance pure pourrait convenir, mais présenterait l'inconvénient de dissiper une partie appréciable de l'énergie en chaleur.

Dans les *lampes mixtes*, la résistance est constituée par un filament de lampe à incandescence placé en série avec le brûleur à mercure dans la même ampoule que celui-ci. L'énergie dépensée dans le filament est transformée en radiations de grande longueur d'onde.

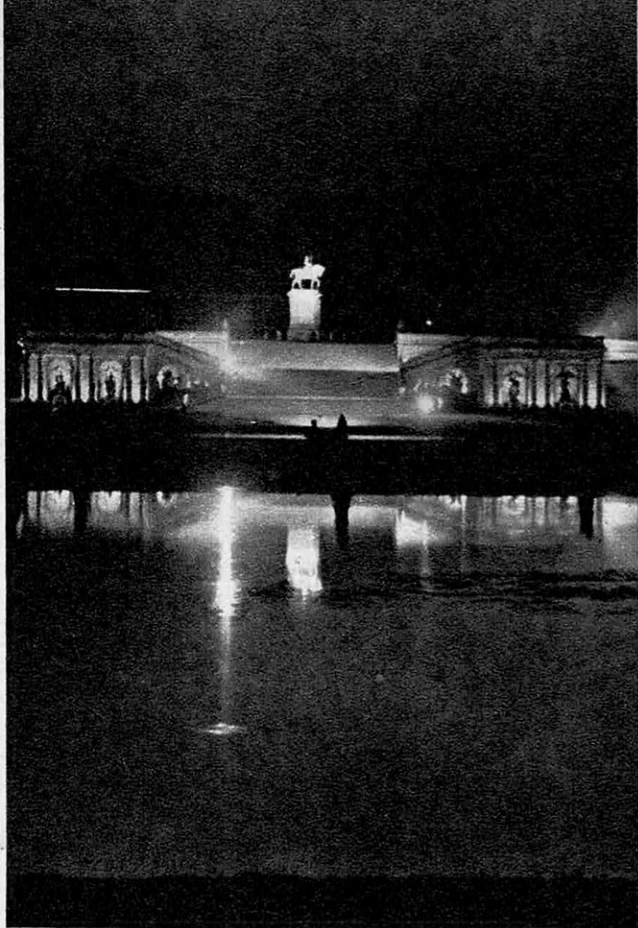
Ces lampes ont une efficacité lumineuse inférieure à celle des lampes à vapeur de mercure, mais présentent l'intérêt de ne pas nécessiter d'appareillage auxiliaire. Elles s'alimentent directement sur le réseau, comme une lampe à incandescence. Toutefois, elles ne fonctionnent que sous des tensions de l'ordre de 220 volts.

Dans les *lampes à ballon fluorescent*, une mince couche de produit fluorescent est déposée sur la face intérieure de l'ampoule. Cet enduit transforme en radiations visibles de grande longueur d'onde une partie du rayonnement ultraviolet produit par la décharge, apportant ainsi la correction de couleur nécessaire.

Les lampes mixtes et les lampes à ballon fluorescent sont principalement utilisées pour de grands espaces, et l'on peut noter actuellement un développement rapide du deuxième de ces types de lampes pour l'éclairage des voies publiques et de certains grands halls industriels. La fluorescence n'est utilisée que pour apporter une correction de couleur.

Dans la *lampe fluorescente*, au contraire, la presque totalité de la lumière émise est produite par la fluorescence.

La lampe a la forme d'un tube aux extrémités duquel sont scellées des électrodes. Une gouttelette de mercure est déposée à l'intérieur et la paroi interne est tapissée de substances fluorescentes. Les conditions de la décharge sont



Proj. Mazda

réglées de façon telle qu'il se produit à l'intérieur de la lampe une émission de rayonnement ultraviolet de longueur d'onde 2537 angstroms. Ce rayonnement est transformé en lumière visible par l'enduit fluorescent.

L'allumage des lampes à décharge

Pour permettre l'allumage sous les tensions usuelles de distribution, il est nécessaire de diminuer la tension d'amorçage de la lampe. On obtient en général ce résultat par un réchauffage des électrodes qui sont alors constituées par des filaments recouverts d'oxydes de terres rares. Un petit organe supplémentaire dénommé « starter » assure automatiquement le préchauffage. Le starter est constitué par un petit tube à néon dont une des électrodes est formée par un « bilame », languette de deux métaux accolés se dilatant inégalement lorsqu'ils s'échauffent ; l'ensemble se déforme et coupe le courant. Dès lors, la décharge dans le starter cesse, les contacts du bilame se séparent et la tension du réseau est appliquée aux bornes de la lampe. Si la coupure a lieu à un instant favorable, la lampe s'allume : sinon, le même processus se reproduit.



Proj. Mazda

L'allumage est très rapide, mais n'est pas instantané. Cela n'est, en général, pas un inconvénient. Toutefois, il peut, dans certains cas, être nécessaire que la lampe s'allume dès que l'on ferme l'interrupteur. Il a été établi à cet effet des lampes à allumage instantané qui comportent, en général, un trait conducteur placé le long d'une génératrice et relié à l'une des électrodes.

La présence de l'appareillage auxiliaire n'est pas, du point de vue électrique, sans inconvénient (« facteur de puissance » assez bas). On a donc été amené à rechercher des dispositifs correcteurs ; l'un des plus courants est le montage « duo », avec lequel deux lampes sont alimentées simultanément ; le circuit d'une des lampes est inductif, celui de l'autre est capacitif. Ce dispositif diminue, en outre, le papillotement.

Rendement et rendu des couleurs

L'usage des lampes fluorescentes s'est rapidement développé ; cela est dû aux caractéristiques très intéressantes de ces sources. En premier lieu, le rendement lumineux est élevé ; ce rendement dépend de la couleur de la lumière émise et est de l'ordre de 40 lumens par watt.

C'est dire que, pour une même dépense d'énergie, on peut s'éclairer beaucoup plus abondamment qu'avec les lampes à incandescence.

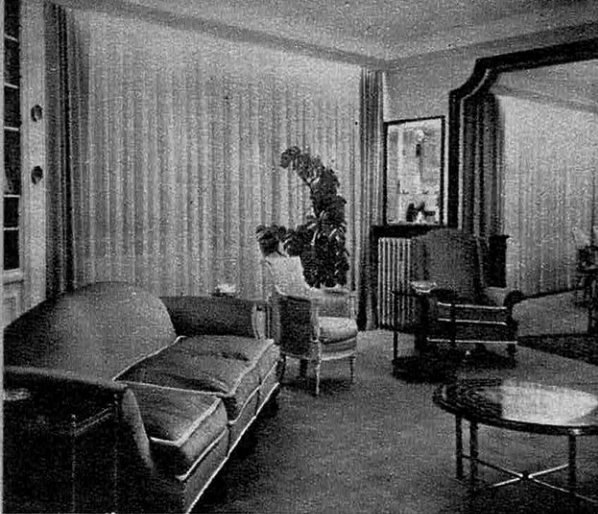
L'élément lumineux est de grandes dimensions ; ceci est particulièrement intéressant pour assurer une bonne diffusion de la lumière.

Enfin, il est possible, en utilisant des poudres fluorescentes appropriées, d'obtenir des lumières de couleurs différentes. Si l'on considère simplement la teinte apparente, il existe des lampes dont la lumière est nettement plus blanche que celle des lampes à incandescence et d'autres dont la lumière est chaude. Mais il est nécessaire de comparer également les teintes au point de vue de leur aptitude à bien rendre les couleurs.

Chacun sait que la couleur d'un objet dépend de la composition de la lumière qui l'éclaire. Une source comportant une forte proportion de rouge avive les rouges et éteint les bleus.

Il existe à ce point de vue deux catégories de lampes fluorescentes :

— les lampes à haute efficacité lumineuse, dont le rayonnement comporte une faible proportion de bleu et de rouge, couleurs pour lesquelles l'œil est peu sensible. Ces lampes sont destinées à tous les usages pour lesquels l'obtention d'un bon rendement est importante, le



Doc. Mazda

rendu très correct des couleurs n'ayant qu'une importance secondaire : éclairage industriel en général, éclairage des voies publiques;

— les lampes à bon rendu de couleur, le plus souvent dénommées « de luxe » par les constructeurs et dans lesquelles le rayonnement est beaucoup mieux équilibré. La gamme des teintes est suffisante pour répondre à tous les besoins. En particulier, les nouvelles lampes « de luxe » à teinte chaude permettent à la fluorescence de s'introduire dans l'éclairage des habitations. Leur lumière très agréable s'accorde bien avec la lumière émise par les lampes à incandescence.

Il est nécessaire de placer à part les lampes dites « lumière du jour ». Elles assurent un très bon rendu des couleurs, mais nécessitent des niveaux d'éclairage très élevés, de 400 à 500 lux au minimum. Elles sont, en raison de ce fait, réservées à des usages industriels spéciaux et leur utilisation pour les applications courantes risque de provoquer des déceptions en créant une ambiance peu agréable.



Doc. Philips

← Dans ce salon, même la nuit, la lumière vient des fenêtres. Des tubes fluorescents longs de 1,20 m. de nuance « Blanc Soleil de luxe » sont, à cet effet, dissimulés dans les caissons des grands rideaux.

Quelle source de lumière choisir ?

Les moyens mis à notre disposition pour nous éclairer sont nombreux et variés. On peut se demander s'il y a conflit entre les sources à incandescence et les sources à fluorescence et si cette dernière est appelée à remplacer la première, comme l'huile a détrôné la chandelle, le gaz a succédé à l'huile et l'électricité a pratiquement gagné la partie sur le gaz.

On peut répondre par la négative. Sans doute, existe-t-il nombre d'installations que l'on peut traiter indifféremment au moyen de l'une ou l'autre source, si l'on se place au point de vue éclairagisme pur. Mais souvent d'autres considérations permettront de fixer le choix, par exemple, la durée d'utilisation de l'éclairage, la nécessité d'obtenir des niveaux d'éclairage élevés sans consommation d'énergie prohibitive, l'obligation de bien contrôler le flux lumineux, comme dans les projecteurs.

De toute façon, les sources modernes correctement utilisées permettent de trouver une solution à tous les problèmes d'éclairage, qu'ils soient d'ordre utilitaire ou esthétique.

Que nous réserve l'avenir ?

Déjà est apparue une nouvelle source de lumière : l'électroluminescence. Sans doute est-elle encore du domaine du laboratoire et ses applications pratiques sont bien modestes. Mais quand on remarque le prodigieux développement de la lampe à incandescence en trois quarts de siècle, il serait certainement imprudent de suivre l'exemple de M. de Sartines qui, après l'adoption du réverbère pour l'éclairage des rues de Paris, écrivait : « La lumière que dispense le réverbère est telle qu'elle ne permet pas de penser que l'avenir puisse réserver quelque chose de mieux. »

L'électroluminescence modifiera sans doute profondément nos procédés d'éclairage. La lampe à incandescence est une source ponctuelle; avec la fluorescence est apparue la ligne de lumière; l'électroluminescence nous fournira la surface lumineuse et bien des effets nouveaux seront possibles, qu'il est difficile d'obtenir actuellement.

René NAMPON,

Secrétaire général du Comité Français de l'Eclairage et du Chauffage

← La mosaïque de lumière au plafond crée dans ce grand magasin de Rouen une atmosphère harmonieuse. Ce dispositif d'éclairage, très souple, peut être facilement modifié suivant les besoins.

ré-vo-lu-tion
DANS L'ÉCLAIRAGE FLUORESCENT



LES NOUVELLES LAMPES

MAZDAFLUOR

de luxe

EXALTENT
LES COULEURS

Blanc-Goleil | *Blanc-Brillant* | *lumière du jour*

de luxe

ambiance chaleureuse comparable à celle de l'incandescence. C'est la teinte idéale pour toutes les pièces de l'habitation.

de luxe

la lumière d'un jour ensoleillé. Cette teinte convient particulièrement pour l'éclairage des bureaux et des magasins.

de luxe

donne avec un haut niveau d'éclairage une lumière comparable à celle du jour et un parfait rendu des couleurs.

COMPAGNIE DES LAMPES : 29, rue de Lisbonne - LAB. 72-60



Les appareils de cuisine électriques sont d'une prodigieuse variété. On y trouve le modeste réchaud à un feu qui ne coûte que 1 030 f, et aussi la cuisinière de grand luxe qui atteint 165 000 f. Ils sont équipés de plaques obscures en fonte, de plaques rougissantes cannelées, de plaques à serpentins qui passent au rouge vif en 90 secondes, ou de plaques à anneaux mobiles. Les puissances s'étagent entre 500 et 3 000 watts. Certaines cuisinières sont mixtes : elles combinent de diverses manières l'emploi du gaz et celui de l'électricité. Le dernier cri du modernisme aboutit aux grilloirs et rôtissoires avec tourne-broche et thermostat où les rôtis se dorment sous l'œil du consommateur.

L'ÉLECTRICITÉ DANS LES

SUR la production totale d'électricité en France, un peu plus de 10 % est utilisé pour les usages domestiques. Pour la Grande-Bretagne, ce chiffre s'élève à environ 24 %. Ces moyennes sont comparables car, outre-Manche, la quantité totale d'énergie produite, le chiffre de la population, la structure géographique et sociale sont très voisins des nôtres.

Il serait inexact d'en conclure que les consommateurs français prisent moins que les Anglais le confort que donne l'électricité. Les prix relatifs du courant et des appareils, les taux des salaires et des impôts sont également équivalents. C'est plus loin qu'il faut en rechercher la cause, à l'époque où, entre les deux guerres mondiales, l'électricité est devenue une commodité courante. Aujourd'hui, à ne s'en tenir qu'au nombre des abonnés : 12 millions et demi en France — ce qui représente 93 % de logements raccordés — et 12 millions trois quarts en Grande-Bretagne — 94 % de logements raccor-

dés — on pourrait penser que la différence des consommations moyennes tient au vigoureux effort de propagande entrepris là-bas par les producteurs de courant et les fabricants d'appareils. En fait, c'est toute la politique de l'électrification qui est en cause.

En France, l'électrification s'est faite sous le signe de l'éclairage et pour l'éclairage. Les premiers prospecteurs, à qui incombait la tâche de prendre un nombre suffisant d'abonnés en puissance pour que l'installation des lignes secondaires de desserte se révèle un jour payante, basaient leur argumentation sur les commodités apportées par l'éclairage électrique. Cette propagande, d'ailleurs, aboutissait à déterminer la puissance du compteur par le nombre de lampes qu'il y aurait à alimenter. C'était la survivance d'une formule héritée des distributions de gaz où la puissance des compteurs domestiques s'exprimait en « becs ».

Par contre-coup, beaucoup de compagnies de



Les réfrigérateurs fabriqués en France ou importés ont de multiples tendances communes : l'utilisation du volume de la porte pour y ranger des bouteilles, des œufs, du beurre ; l'augmentation du volume de la chambre entourée par l'évaporateur pour fabriquer une plus grande quantité de glace et pouvoir y loger les denrées surcongelées ; généralisation de l'éclairage automatique intérieur, des thermostats à positions multiples, du dégivreur automatique et du bac à légumes ou à fruits. A partir d'une capacité de 100 l, le prix des types à compresseur est d'environ 1 000 f le litre. Dernière nouveauté, un bac sorbetière muni d'un agitateur électrique qui prépare des crèmes glacées.

TRAVAUX MÉNAGERS

production et de distribution d'électricité de l'époque installèrent les lignes nécessaires, mais strictement — ou à peu près — suffisantes pour assurer ces faibles consommations. Si bien qu'aujourd'hui, bien souvent, l'abonné dont le logement comprend plus de « lampes », et des « lampes » plus fortes, un fer à repasser, un radiateur d'appoint et divers appareils, même de faible puissance : poste de radio, moulin à café, machine à coudre, etc., cet abonné dispose d'un compteur trop faible pour permettre d'alimenter, en plus, des appareils à puissance élevée. Le changement du compteur, solution facile, résoud la plupart du temps le problème. Mais bien avant que 24 % du courant produit soit utilisé pour les usages domestiques, ce seront les lignes de distribution à basse tension et les colonnes montantes des immeubles qu'il faudra changer pour leur permettre de débiter l'ampérage nécessaire.

On voit que le problème du développement

des applications ménagères de l'électricité n'est pas aussi simple qu'il paraît à première vue.

Le budget « électricité »

A cette première considération, et pour épuisser cet examen rapide du marché en puissance, il convient d'en ajouter une autre qui a trait au budget « électricité » d'un foyer familial.

Là encore, il convient de ne pas se laisser abuser par des conclusions trop hâtives. Chaque maîtresse de maison a, certes, tendance, lorsqu'elle retrouve des quittances datant de 1945, à trouver que le prix du kilowatt-heure a augmenté dans de fortes proportions par rapport à d'autres dépenses ménagères. Ce n'est cependant qu'une impression fautive. Si l'on établit le rapport « dépenses de consommation/coût de la vie », et si l'on prend l'indice 100 pour base des chiffres de 1938, on constate que, pour la région parisienne, le rapport moyen est



Les machines à laver le linge sont sans nul doute appelées à une diffusion aussi importante que les réfrigérateurs, mais, à l'inverse de ces derniers, elles semblent encore chercher leur voie. Toutes prétendent éviter l'usure du linge et assurer un lavage rapide, compte tenu évidemment du degré de salissure, pourtant les solutions, très différentes parfois, proposées par une même marque, laissent à penser que l'on est encore à la recherche de la machine idéale. Tandis que certains préconisent le tambour perforé à rotation continue ou alternée, d'autres vantent les mérites des agitateurs ou batteurs, des pulsateurs multiples, latéraux, décentrés, ou des pulsateurs-pompes.

actuellement de 39,5 pour les consommateurs utilisant 100 kWh par an, de 44 pour ceux consommant 300 kWh par an, et de 61 pour les gros consommateurs utilisant 3 500 kWh par an. Ainsi donc, et cette constatation est valable non seulement pour notre pays mais pour tous ceux de l'Europe occidentale, l'augmentation du coût de l'énergie électrique par rapport à l'avant-guerre se situe nettement au-dessous de celle du coût de la vie.

Comptés dans l'absolu, les dépenses d'un ménage pour l'électricité sont cependant plus importantes qu'avant guerre, parce qu'en moyenne la consommation a augmenté. Pour ne s'en tenir qu'aux dernières années, alors qu'elle était de 265 kWh par an et par abonné pour les usages domestiques en 1950, elle est passée à 350 kWh en 1954. Dans le même temps, les abonnés britanniques consomment chacun, en moyenne, 1 350 kWh par an, soit près de quatre fois plus.

Mais l'impression fautive de certains abonnés français que « l'électricité coûte cher » tient, peut-être, au système actuel de relevage des compteurs et de perception. Si l'on prend le cas d'un logement dont « l'électrification » est assez poussée, c'est-à-dire dans lequel, outre l'éclairage, cette énergie « noble » est utilisée

pour la production d'eau chaude, aussi bien que pour divers appareils, une machine à laver, un réfrigérateur, voire un réchaud ou une cuisinière, la dépense journalière s'établit en moyenne à 100 F, chiffre modeste en regard des autres dépenses. Si le règlement de cette somme se faisait jour par jour, ou à la rigueur semaine par semaine, comme celui des achats de denrées, ces 100 ou 700 F passeraient à peu près inaperçus. Seulement, le principe des relevés bi- ou trimestriels se traduit par le versement, en bloc, de 6 000 ou de 9 000 F. De là à considérer que les dépenses d'électricité constituent une part importante du budget familial il n'y a qu'un pas, qui est vite franchi. Si les ménages qui tiennent un livre de comptes totalisaient, tous les deux ou trois mois, ce que leur coûtent les notes du boucher, du boulanger ou du crémier, qui n'ont pas pour habitude de faire crédit à leur clientèle, ils se rendraient compte que la part de l'électricité est, en définitive, l'une des plus modestes.

Alléger les tâches domestiques

Cette démonstration par les chiffres fait abstraction d'autres considérations moins immédiatement apparentes mais qui méritent



Les machines à laver la vaisselle, dérivées pour la plupart du principe de la machine à laver à tambour rotatif ou alternatif, sont, elles aussi, semi-automatiques ou automatiques. Leurs formes simples et leurs dimensions permettent de les intégrer dans les cuisines « fonctionnelles ». Elles sont encore peu répandues, même aux États-Unis, où fin 1953, 32 % seulement des ménages américains en étaient pourvus (ce qui représente malgré tout 1 400 000 machines environ). Outre la commodité qu'elles apportent, les frais d'amortissement paraissent faibles si l'on compte l'économie de temps, de fatigue et même de détergent et d'eau chaude qu'elles permettent de réaliser.

d'être soulignées. En dehors de la qualité des services rendus et de leur commodité d'emploi, les appareils électro-domestiques abaissent, dans une proportion souvent considérable, la durée des tâches ménagères les plus banales. La maîtresse de maison, surtout si c'est une mère de famille, est obligée, pour venir à bout des multiples travaux qui lui incombent, de faire — aussi inconsciemment que M. Jourdain faisait de la prose —, de la « planification ». Cela ne va certes pas jusqu'à l'établissement d'un emploi du temps à horaire rigoureux ; mais, dans l'activité hebdomadaire, il y a généralement des demi-journées ou des jours entiers qui sont réservés à des tâches bien définies qu'on ne peut entreprendre que si l'on dispose de plusieurs heures pour les mener à bien.

S'il existe sur le marché des appareils qui permettent à la fois d'alléger la fatigue occasionnée par l'accomplissement de ces tâches et de réduire le temps qu'elles exigent normalement, il se trouvera des acheteurs, même s'ils doivent consentir une dépense importante et accepter éventuellement une consommation d'électricité relativement forte. C'est le cas, par exemple, des machines à laver. Il en existait en France, en 1950, en moyenne 2,7 pour 100 abonnés. Ce chiffre est passé à 11 en 1954, année où les

290 000 machines vendues ont porté à 1 350 000 le nombre de celles en service. Notre pays est en passe de rejoindre l'an prochain la Grande-Bretagne où il existait 12,5 machines pour 100 abonnés en 1953. Et le marché est très loin de saturation : aux États-Unis, pour la même année, avec un peu moins de quatre fois notre chiffre d'abonnés domestiques — 43 580 000 exactement —, il a été vendu 3 505 850 machines à laver — contre 3 266 500 en 1952 —, ce qui représente 78,5 machines en service pour 100 abonnés.

Le chauffe-eau électrique

Le facteur principal déterminant le choix est souvent aussi la recherche d'un plus grand confort. Lorsqu'il s'y ajoute une campagne de propagande collective, le marché s'ouvre largement. Alors qu'en 1953 il n'avait été vendu en France que 74 000 chauffe-eau contre 77 000 en 1952, et 78 000 en 1951, la propagande déclenchée au cours du second semestre de 1954 a entraîné le relèvement des ventes à 96 000 appareils pour l'ensemble de l'année. Les résultats pour 1955 ne sont pas encore connus, mais tout indique que ce chiffre a été très largement dépassé.

L'accroissement de la diffusion de ce type d'appareil suivant les pays tient pour beaucoup aux possibilités dont dispose la clientèle pour assurer le chauffage de l'eau destinée aux usages ménagers. La Suisse est probablement la nation où le chauffe-eau électrique est le plus répandu : on évaluait, pour 1953, à 41,5 % le nombre des abonnés qui en étaient pourvus. Ce pays, qui ne dispose pas de combustibles solides ou liquides nationaux, a naturellement axé son développement sur une production abondante d'énergie hydroélectrique. De plus, les distributeurs ont entrepris un effort important pour combler les creux nocturnes de la courbe de charge et consentent des conditions très avantageuses pour la fourniture du courant pendant la nuit. Le chauffe-eau à accumulation est donc la solution idéale nationale, tant pour l'usager que pour les distributeurs.

En Grande-Bretagne où déjà, en 1953, 18,6 % des abonnés possédaient un chauffe-eau électrique, l'effort commercial important déclenché en 1954, à la suite de la levée des restrictions



La bassine à friture et les grills sont particulièrement justiciables du chauffage électrique. La réussite d'une friture est conditionnée par la température du corps gras : les aliments collent et se « défont » si la friture n'est pas assez chaude. Une température trop élevée provoque des projections, et, avec la graisse, le « brûlage ». Le chauffage électrique à thermostat élimine les risques d'échecs et de brûlures. Les grills électriques, à simple plaque chauffante, ou à deux soles réglables, donnent des résultats rapides et excellents.



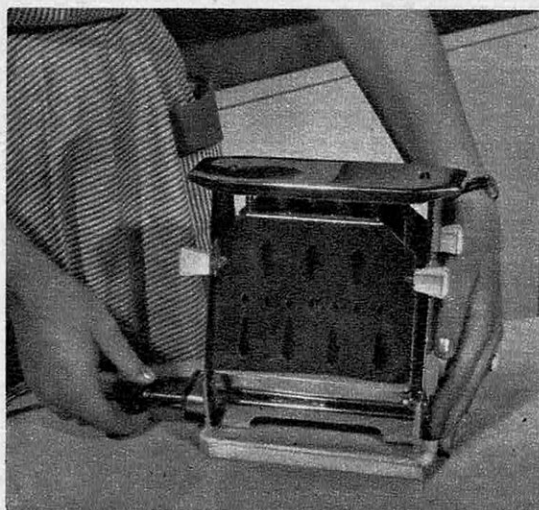
Les bouilloires électriques ont paru depuis longtemps sur le marché. Dans certains modèles, un thermostat coupe le courant à l'ébullition. Les chauffe-biberons permettent de tiédir à la température désirable le lait ou les bouillies ; certains sont, en outre, calorifugés. Les cafetières électriques présentent trois types également recommandables : à différence de densité et ballons superposés, à filtre immergé où l'eau reste au-dessous de l'ébullition, enfin à percolateur, où la vapeur va traverser la poudre de café.

d'ordre gouvernemental concernant la propagande et les ventes à crédit, — ces dernières ont été à nouveau réglementées en 1955 —, s'est traduit par une production de 518 000 appareils en 1954 contre 264 000 en 1953. Par ailleurs, dans le même temps, la production des chauffe-eau à gaz passait de 178 000 à 451 000. Si l'on pousse plus loin la comparaison entre ces deux types d'appareils, on voit qu'en fait il s'agit d'une course à la clientèle où la balance ne penche pas toujours du même côté. En 1952, il avait été produit 135 000 chauffe-eau électriques et 137 000 à gaz. Tandis qu'en 1953 les « électriciens » doublaient à peu près leur chiffre, les « gaziers » n'augmentaient le leur que de 31 % ; mais en 1954 ces derniers commençaient à combler leur retard en prenant une avance de plus de 150 % sur les ventes.

En France, avec 630 000 chauffe-eau électriques en service au 31 décembre 1954, le pourcentage des abonnés utilisant cet appareil était de 5,1 %. Aux Etats-Unis, malgré les 862 000 appareils vendus en 1953, le marché n'était encore couvert qu'à raison de 14,7 %. Notre retard dans ce domaine par rapport aux U.S.A. est donc sensiblement moins important que pour les machines à laver.



Grâce au moulin électrique, il suffit de moins d'une minute pour obtenir, sans accomplir de corvée inutile, une mouture très fine qui assure économiquement un café « corsé ». Les prix des appareils de marque s'échelonnent entre 3 980 f et 9 500 f pour un modèle de luxe. Certains comportent des meules en acier dont l'écartement réglable fournit la finesse désirée. La plupart possèdent un concasseur à ailettes, tournant à 20 000 t/mn environ ; dans ce cas, la pulvérisation dépend de la durée de mouture.



Le grille-pain permet de concilier les exigences de l'estomac (la mie de pain frais est souvent difficile à digérer) et celles du palais : manger du pain rassis ou des biscottes n'est pas toujours agréable. Les tranches fines ou moyennes sortent du grille-pain déshydratées et dorées à point. Un grille-pain automatique éjecte, au bout d'un temps prééglé, deux tartines grillées et coupe le courant. Dans un domaine voisin, signalons également le gaufrier dont les deux soles, chauffées électriquement, assurent une cuisson uniforme.

Réfrigérateurs

Restent, parmi les « gros consommateurs » de courant, les réfrigérateurs domestiques et les appareils de cuisine. Pour les premiers, c'est également le désir d'accroître le confort qui est à l'origine du développement des ventes des réfrigérateurs. Ce sont évidemment, comme on pouvait s'y attendre, les ventes aux abonnés des grandes villes qui se développent le plus rapidement, et cela pour tous les pays de l'Europe occidentale. C'est également, on peut le noter au passage, l'inverse de ce qui se produit pour les machines à laver, lesquelles se diffusent plus rapidement dans les zones rurales. La multiplication des laveries automatiques dans les zones urbaines rend moins nécessaire, pour leurs habitants, la possession d'une machine à laver.

Deux cent quarante mille réfrigérateurs domestiques ont été vendus en France en 1954, ce qui a porté la moyenne de diffusion à 10,6 pour 100 abonnés, contre 3,5 % en 1950. Mises à part la Suède (32 % à fin 1953) et la Suisse (9,9 % fin 53), c'est dans notre pays que l'on constate à la fois le plus fort degré de diffusion et la plus forte vitesse d'accroissement de ce genre d'appareils pour l'Europe de l'Ouest. Aux Etats-Unis, si l'on excepte les appareils de

radio diffusés à 98,4 % fin 1953, l'indice de saturation des réfrigérateurs l'emporte, avec 90,4 %, sur tous les autres appareils électrodomestiques, y compris les fers à repasser dont l'indice est de 90 %.

Cuisinières

Si, pour les réfrigérateurs, on ne peut parler de concurrence, puisque la diffusion des glacières est limitée par les possibilités et la sujétion de l'approvisionnement en glace vive, et que, dans la majeure partie des cas, il s'agit de l'acquisition d'un appareil nouveau, la vente des appareils de cuisine se heurte à la concurrence des appareils traditionnels, cuisinières à charbon, cuisinières et réchauds à gaz. Presque toujours aussi, sauf pour les nouveaux ménages, il s'agit de remplacer un appareil ancien dont le fonctionnement est devenu défectueux.

Enfin, malgré l'artifice des plaques électriques à deux ou trois allures de chauffe, qui permettent de proportionner celle-ci aux besoins successifs de la cuisson d'un plat ou d'un repas, la cuisine à l'électricité nécessite, pour être économique, une « rééducation » complète des habitudes ménagères. Pour la cuisson d'un pot-au-feu comprenant 2 kg de viande et légumes

dans 4 litres d'eau sur une plaque en fonte de 180 mm de diamètre, il faut porter à ébullition en maintenant pendant 35 minutes l'allure de chauffe maximum, ce qui représente une consommation de 0,8 kWh; il faut ensuite entretenir cette ébullition pendant 2 h 25 en réglant l'allure au minimum, soit une consommation de 0,6 kWh; enfin, on peut terminer la cuisson sans courant pendant 30 minutes. Pour cuire 600 g de riz, il faut 19 minutes sur une plaque débitant pendant ce temps 0,328 kWh, et 20 minutes sans courant.

Ces résultats d'essais, pratiqués par des opératrices entraînées et portant sur des quantités de denrées bien définies, n'ont qu'un lointain rapport avec les conditions normales d'utilisation. Ils mettent cependant en évidence l'obligation de cette réforme des habitudes évoquée plus haut; ils expliquent aussi l'opinion communément répandue que la cuisine à l'électricité coûte cher.

La situation est évidemment plus favorable dans les pays où la majeure partie des cuissons se fait à l'eau, et où le raffinement des plats mijotés ou braisés, des sauces courtes et onctueuses, est pratiquement inconnu. N'en déplaise à nos amis britanniques, les faits confirment l'hypothèse. De 239 000 en 1953, la production des appareils de cuisine à l'électricité est passée, outre-Manche, à 405 000 en 1954. La couverture du marché doit, à l'heure actuelle, atteindre sinon dépasser 25 %, c'est-à-dire à peu de chose près de celle des Etats-Unis, où la cuisine aussi...

Ceci posé, il n'en est que plus remarquable que chez nous il existe 10,7 % des abonnés qui font leur cuisine à l'électricité, au moins en partie, ce qui représente 1 320 000 appareils en service, qu'il s'agisse de cuisinières tout à l'électricité ou mixtes électricité-gaz, de réchauds-fours, de fours seuls ou de réchauds seuls. Il semble qu'en ce domaine il soit très difficile de prévoir quelle pourra être l'augmentation de la diffusion pour les années à venir. L'exemple du passé montre qu'il s'agit d'un marché extrêmement capricieux. Le record, pour l'instant, appartient à 1948 — qui fut sans doute au même titre que 1947 l'échéance de remplacement d'appareils ayant dû à la guerre de rester en service — avec un total de 180 000 appareils vendus. Après un essouffement passager, 109 000 en 49, la courbe redevint ascendante : 128 000 en 1950, 152 000 en 51. Une nouvelle baisse à 114 000 en 52 fut suivie d'une mise en veilleuse à 74 000 en 53, légèrement relevée à 82 000 en 1954.

Téléviseurs

Dans le domaine des applications non utilitaires, tourne-disques, radio, téléviseurs, les statistiques récentes indiquent que, pour ces der-



Dix millions de fers électriques

équipent 80 % des foyers français; 1 200 000 assurent chaque année les renouvellements et les équipements nouveaux. Les modèles automatiques se répandent rapidement. Leur température, commandée par thermostat, est réglable suivant qu'il s'agit de repasser du coton, du lin, de la soie, de la rayonne, du nylon ou de la laine. Les modèles automatiques à vapeur sont précieux quand le linge est trop sec, ou pour repasser sans pattemouille; la vaporisation est parfois réglable.

niers, il a été vendu 100 000 récepteurs en 1954, ce qui a porté à 200 000 le nombre de ces appareils en service à la fin de cette même année. Le nombre des téléviseurs vendus en 1955 s'est élevé à 150 000, ce qui signifie qu'en moyenne 2,75 % des abonnés possèdent la télévision. Si l'on considère d'une part le petit nombre de stations émettrices, d'autre part le nombre restreint des heures d'émission, ce chiffre est assez honorable. Malgré les 7 000 000 de postes vendus aux Etats-Unis en 1953, malgré le nombre important des émetteurs, et malgré l'engouement extraordinaire du public américain pour ce genre de distraction, le marché n'était alors couvert qu'à 63 %. Cet engouement persiste car, en 1954, il y fut vendu 7 300 000 appareils et la proportion atteignait 75 %.

Les petits appareils

Pour les applications ci-dessus, il est assez facile de tenir des statistiques grâce, soit au petit nombre de fabricants, — 42 firmes produisent des réfrigérateurs ménagers. —, soit aux échelles



L'épluchage des légumes a l'honneur discutable de tenir la première place parmi les tâches ménagères les plus fastidieuses et qui abîment le plus les mains. Mais, dans un foyer familial, il paraît assez difficile d'amortir le coût d'une petite éplucheuse électrique, supérieur à 20 000 f, d'autant que ces appareils n'admettent que les légumes à peu près sphériques et n'enlèvent pas les « yeux » des pommes de terre ni les parties supérieures des racines. Par contre, les collectivités utilisent avec profit des éplucheuses de grande capacité.



Les mixers présentent une variété prodigieuse de modèles, depuis le simple batteur à main, vendu 6 900 f et comportant un moteur sous carter cylindrique formant poignée, jusqu'au robot universel à 16 vitesses, véritable usine électro-culinaire, vendu 115 000 f. Certains remplacent simplement les fouets ou batteurs à engrenages pour la confection des sauces, des purées, des blancs d'œufs battus. D'autres peuvent aussi accomplir des fonctions très variées en servant de concasseurs ou moulins, presseurs ou coupeurs de fruits et légumes.

de tarification de l'Electricité de France pour la fourniture du courant pour les usages domestiques. Mais la tâche est pratiquement impossible pour le petit matériel : aspirateurs, fers à repasser, radiateurs et tous les « aides de cuisine », du grille-pain à la rôtisserie, en passant par le mixer, le moulin à café et la cafetière. L'évaluation du marché potentiel, dans ce cas, est affaire de bon sens, à condition de tenir compte des engouements, parfois passagers, dont l'origine peut presque toujours être rattachée à une campagne de publicité bien orchestrée.

Crédit et location-vente

En dehors de cela, il est certain que la tendance générale, qui déborde les « jeunes » générations, est à une électrification domestique de plus en plus complète. L'obstacle majeur à une diffusion très rapide, qui permettrait à la France de se classer plus honorablement parmi ses principaux voisins, n'est sans doute pas le prix du courant, réserve faite comme ci-dessus quant aux délais de perception. Il ne réside pas non

plus dans le prix des appareils. Si l'on exprime en heures de salaire de manœuvre le rapport du prix actuel et celui de 1938, on constate que, pour les chauffe-eau, ce rapport est descendu à 0,55; pour les réfrigérateurs à 0,84; pour les cuisinières à 0,76.

Cet obstacle, c'est l'obligation, dans presque tous les cas, de déboursier en une seule fois une somme importante. Des facilités de crédit qui ne chargent pas exagérément le prix de l'appareil seraient certainement accueillies avec empressement, et cette intelligente politique de vente se traduirait par une avance spectaculaire du chiffre d'affaires des firmes qui en prendraient l'initiative. Plusieurs grands magasins offrent à leur clientèle, sans presque de formalités, un crédit à 1 % l'an parce qu'ils prennent à leur charge la différence du taux d'escompte. Sans même descendre à des conditions aussi avantageuses, en fixant par exemple un intérêt de 2,75 % l'an — identique à celui servi par les Caisses d'épargne — il est vraisemblable que le partage de la différence du taux d'escompte entre le



Ph. Kollar. Arch. Apel

Les chauffe-eau à accumulation

de grande capacité présentent de nombreux avantages : le mètre cube d'eau chaude ne revient pas plus cher qu'avec un appareil à gaz à débit instantané, si l'on bénéficie du tarif des heures creuses, et la sécurité est totale grâce au thermostat. Pour des appareils de faible capacité, le prix du mètre cube est plus élevé. Il reste le chauffe-eau de 8 à 30 litres à chauffage accéléré ou du chauffe-eau instantané à écoulement libre ; mais si le prix de l'appareil est moindre, les calories reviennent plus cher.

Les aspirateurs sont répandus dans plus de 25 % des foyers français. C'est sans doute peu mais les constructeurs sont optimistes et, bon an mal an, 250 000 appareils sont vendus. Certains appareils sont à usages multiples : pulvérisateur, pistolet à peinture, sèche-cheveux, moulin à café, etc. Sans préjuger de l'intérêt d'un si grand nombre d'emplois, il est permis de se demander si les servitudes imposées au moteur ne sont pas contradictoires. Les cirseuses, pour leur part, s'acquittent bien de leur tâche : décapage et lustrage des parquets.



Ph. Kollar. Arch. Apel

fabricant de l'appareil et le détaillant qui conclut la vente ne constituerait ni pour l'un ni pour l'autre un manque à gagner périlleux pour leurs finances. Qu'un acheteur appartienne à une Association d'anciens élèves d'une grande école ou d'anciens combattants, ou qu'il soit seulement le chef d'une famille nombreuse, il peut trouver des commerçants en appareils ménagers qui lui consentiront immédiatement une remise d'au moins 5 % sur ses achats. Que ces derniers soient traités au comptant ne change en rien le fait, puisqu'une organisation centralisée de crédit ne se justifierait que si elle prenait à sa

charge de verser, dans les délais normaux, au fabricant le prix de l'appareil, et au détaillant le montant de sa remise.

Une autre formule faciliterait la diffusion du matériel électro-domestique important ; elle commence à percer timidement : c'est celle de la location-vente. L'incidence sur le prix est peut-être plus importante que dans le cas du crédit pur et simple, mais le mode de rédaction du contrat peut amener l'acheteur à accepter de déboursier finalement un peu plus que pour une acquisition au comptant. Ce sera le cas si le contrat stipule que l'acheteur peut se libérer par

anticipation à tout moment et économiser les frais inhérents à la période restant à courir. Ou bien qu'il peut, par exemple, dans un délai de six mois, demander au vendeur de reprendre l'appareil, les sommes versées étant alors perdues.

Cette dernière disposition comme, d'ailleurs, le principe même de la location-vente, garantit à l'acheteur qu'il sera satisfait du fonctionnement de l'appareil. Peut-être, en effet, la crainte de la panne d'engins compliqués pour le profane, tels un réfrigérateur, une machine à laver ou un chauffe-eau, entraîne-t-elle dans une certaine mesure la restriction des achats.

L'estampille de qualité

Il semble que l'attention de la clientèle ne soit pas suffisamment attirée, par les fabricants ou les revendeurs, sur la garantie de premier ordre

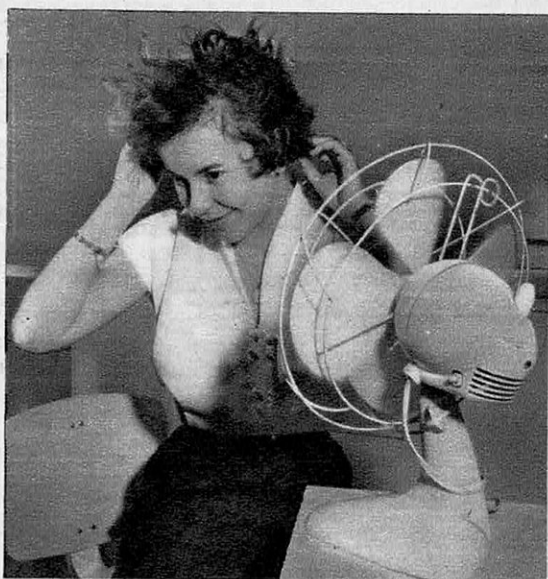
que constitue l'octroi de l'estampille de qualité « APEL-USE » pour l'ensemble des appareils électro-ménagers ou « FNAF » pour les réfrigérateurs.

Les normes légales imposées aux constructeurs garantissent évidemment la sécurité des usagers, mais ce qui importe aussi à ceux-ci, c'est que les cotes de résistance pour les éléments électriques et les parties mécaniques soient calculées avec une marge suffisante assurant un fonctionnement de longue durée. Un réfrigérateur ménager doit durer normalement vingt ans ; même en faisant abstraction des économies qu'il permet de réaliser dans l'achat ou la conservation des denrées, l'amortissement d'un réfrigérateur de 100 litres, d'un prix moyen de 100 000 F, y compris le courant consommé au tarif dégressif de l'Electricité de France, ne représente qu'un budget annuel de 9 300 F, somme modeste en

Les rasoirs électriques vendus en France se chiffrent actuellement à 3 500 000. Près de 20 modèles sont offerts à la clientèle. Les prix s'échelonnent entre 15 000 et 23 000 f pour les marques étrangères, et entre 4 000 et 6 000 f pour les marques françaises. Le choix est assez difficile, car il dépend de la nature des poils et des peaux. Enfin, on passe de 1 à 7 mn pour « faire une barbe ».



Les ventilateurs peuvent s'enorgueillir d'avoir été les premiers appareils électro-ménagers. Ils constituent toujours, en attendant la future climatisation des locaux d'habitation, un appréciable élément de confort. Les aérateurs évacuant buées, odeurs de cuisine, etc., sont de plus en plus répandus. Quant aux séchoirs à cheveux, la clientèle féminine les apprécie.

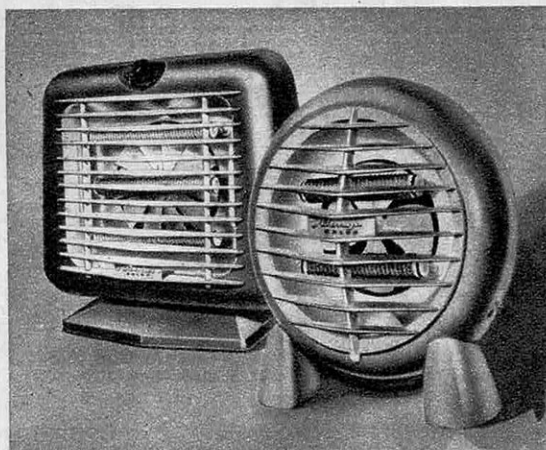


regard des commodités procurées par ce type d'appareil. On voit tout de suite qu'en réalisant à l'achat, par le choix d'un appareil non estampillé, une économie de 15 000 F, par exemple, l'usager, si cet appareil ne lui donne pas de mécomptes, ne diminuera en définitive l'amortissement annuel que d'une somme dérisoire : 750 F.

Les conditions posées pour l'octroi de l'estampille de qualité sont fort sévères. Pour les réfrigérateurs, les essais sont réalisés à la Station expérimentale du Froid à Bellevue, qui fonctionne dans le cadre des laboratoires du C.N.R.S.; pour les autres appareils, les essais sont réalisés dans des salles spéciales du Laboratoire Central des Industries Électriques à Fontenay-aux-Roses. Outre les contrôles de sécurité proprement dite, comme les essais de surtension ou la vérification de l'inaccessibilité des pièces sous tension, les dirigeants de ce laboratoire ont

Le choix de la machine à laver

C'est, en effet, l'usage qui doit déterminer le choix. Or, avec la multiplicité des modèles présentés par les constructeurs, il est souvent fort difficile de décider celui dont l'achat est le plus intéressant. Pour les machines à laver, par exemple, le brassage du linge est assuré, suivant les marques, soit par la rotation d'un panier perforé horizontal ou vertical, par la rotation d'ailettes, par le changement de sens de la circulation d'eau, par barbotage d'un courant d'air, par vibrations à fréquence élevée, etc. Chaque constructeur revendique naturellement une usure minimum du linge. Certaines machines ont un chauffage autonome, soit par résistances électriques, soit par brûleurs à gaz de ville ou gaz butane. Quelques-unes, simplifiées à l'extrême pour réduire les prix, n'apportent en fait pas plus de service, sinon une plus grande



Les radiateurs électriques, qu'ils soient paraboliques, soufflants ou à accumulation, ont deux gros avantages : la propreté et la souplesse du chauffage. Avec les « soufflants », une puissance de 2 500 watts permet de chauffer une pièce de 60 m² et, comme le branchement s'effectue sur un compteur force, le prix du kilowatt n'est pas prohibitif. Le radiateur à accumulation demande plus de puissance pour un même cubage, mais l'adjonction au compteur d'une horloge déclenchant le tarif de nuit ou des heures creuses permet de ne payer l'énergie qu'au prix du tarif minimum; il a pris un grand développement en raison de sa commodité et de son économie.

imaginé des appareillages qui soumettent le matériel examiné à des tortures diaboliques et à des épreuves, d'apparence plus anodines mais non moins perfides, qui mesurent exactement les rendements. Le choix d'un appareil électro-ménager revêtu de l'estampille de qualité donne donc à l'acquéreur éventuel les meilleures garanties de fonctionnement.

C'est également à Fontenay que la SODEL (Sté pour le développement des applications de l'électricité), s'est réservée une salle où des ingénieurs et des monitrices réunissent, pour des causeries périodiques et des démonstrations pratiques, les actuelles et futures professeurs des cours d'enseignement ménager. Celles-ci, mieux informées, peuvent ainsi expliquer à leurs jeunes élèves — et aux mères de famille — les « mystères » de ces aides précieux et les conseiller pour le choix des types d'appareils convenant le mieux aux conditions particulières d'emploi.

commodité d'emploi, que la lessiveuse traditionnelle à percolation. Après lavage et rinçage, lequel exige parfois la vidange manuelle de l'eau souillée, l'essorage doit, lui aussi, être fait à la main, la seule facilité supplémentaire étant uneessoreuse à rouleaux; mais cet accessoire existe seul, et rien n'empêche de combiner son emploi avec celui d'une lessiveuse à champignon. On ne voit donc pas bien les avantages d'une « machine à laver » de cette catégorie.

A l'autre extrémité de l'échelle des prix, on trouve des machines entièrement automatiques, véritables robots où la présélection du temps de lavage par le déplacement d'une manette doit permettre à l'utilisatrice de ne plus s'occuper de la machine entre le moment où elle y place le linge et le moment où ce linge, dûment essoré, est prêt à être étendu pour terminer le séchage. Cette formule, évidemment plus pratique que la précédente, convient-elle cependant pour les lavages domestiques? Pour obtenir de



Les machines à coudre électriques sont plus légères et moins encombrantes que leurs devancières à pédale : certaines ne pèsent que 3,8 kg et ont la dimension d'une boîte à chaussures. La commande par rhéostat donne une gamme continue de vitesse constamment adaptée à la difficulté du travail. Les machines dites à bras libre ont l'avantage sur celles dites à plateau de permettre les reprises des chausettes, le montage des manches, etc. Quelques-unes peuvent d'ailleurs se transformer en machines du second type. Les prix s'échelonnent pour les portatives entre 40 000 et 110 000 f.

bons résultats, il faut s'astreindre à traiter successivement des lots de linge classés par catégories et par degrés de salissure. Même pour le linge de corps des différents membres de la famille, la nature des taches n'est pas la même et certaines, loin d'être éliminées par les produits lessiviels, sont fixées par eux. Quant au linge de maison, il est impossible de traiter en même temps des serviettes de toilette ou de table et des torchons. Pour les draps, enfin, il est rare qu'une machine permette d'en laver plus d'un à chaque fois, et c'est alors le problème du repassage qui se pose. Tout ceci se complique encore depuis que les fabricants de textiles livrent des tissus mélangés de fibres naturelles et de fibres artificielles.

Le choix du réfrigérateur

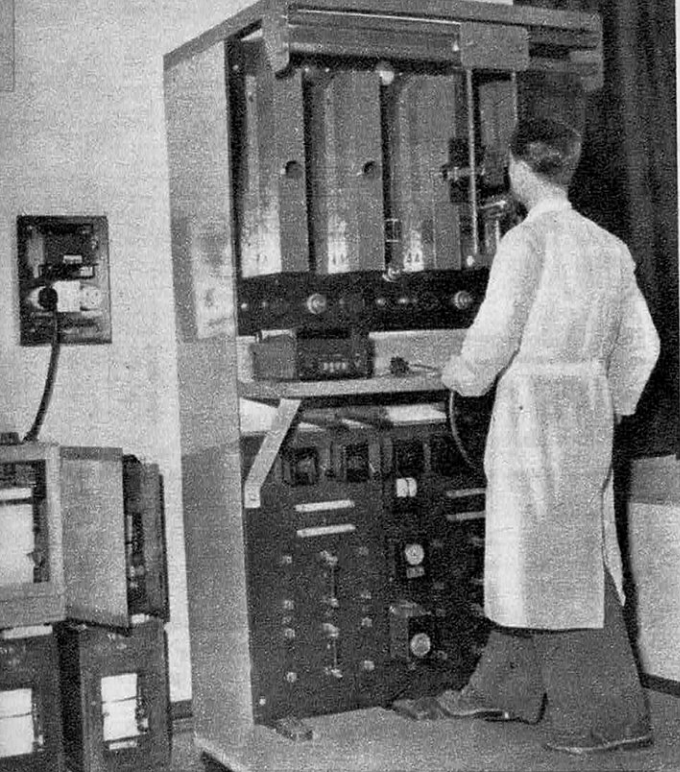
Pour les réfrigérateurs, indépendamment de la préférence donnée à une marque, le choix

Les téléviseurs qui rallient actuellement la majorité des suffrages ont un écran de 43 cm de diagonale qui donne une image d'environ 36,5 cm de large sur 27,5 cm de haut. Ces dimensions sont suffisantes pour qu'apparaisse le détail des scènes. L'écran de 54 cm exige un recul (7 fois la diagonale) souvent incompatible avec la dimension des pièces d'un appartement moderne. Dans les régions où peuvent être reçus plusieurs postes émetteurs, il est préférable de posséder un téléviseur multicanaux et multistandards. Certains appareils possèdent aussi la radio et un tourne-disques.

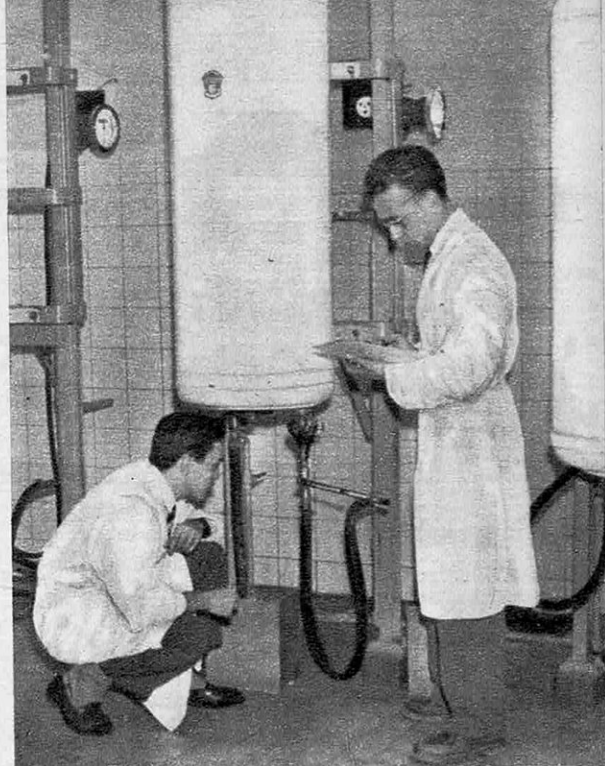
est beaucoup plus facile puisqu'il se limite à la détermination de la capacité, puis du système réfrigérant, à compression ou à absorption. Des études de marché ont permis de constater que la capacité moyenne désirée par les futurs acheteurs se répartit entre 60 litres (25,1 % des enquêtés), 85 litres (26,4 %), 120 à 220 litres (23,5 %). Cette tendance est conforme aux résultats des ventes : en 1954, la moitié d'entre elles portèrent sur des appareils d'une capacité inférieure ou égale à 100 litres, avec, en parts à peu près égales, deux catégories, 35 à 60 litres ou 60 à 100 litres. Aux Etats-Unis, où les ménagères, dans leur ensemble, ne font leur marché qu'une fois par semaine, la capacité la plus vendue est de 200 litres. L'incidence sur le prix, en France, est assez importante puisqu'un appareil de cette capacité coûte en moyenne trois fois plus cher qu'un appareil de

(Suite page 127)





Les résistances électriques sont mises en circuit et hors circuit jusqu'à ce qu'elles grillent.



Le chauffe-eau à accumulation doit avoir un rendement de 78 à 93 %, suivant son volume.

Les installations d'essais des appareils électro-domestiques

Dès le début du siècle, avant même que l'électricité devienne accessible au plus grand nombre, les services officiels se sont préoccupés d'édicter des règlements imposant des consignes de sécurité, tant pour les installations de distribution de courant que pour les divers appareils d'utilisation.

Ces consignes, qui garantissent contre les risques d'incendie et d'électrocution, sont évidemment primordiales, mais l'utilisateur d'appareils électro-domestiques souhaite davantage : il veut, entre deux appareils également sûrs, être renseigné sur celui dont le rendement est le meilleur et la longévité la plus grande. C'est dans ce but qu'un certain nombre de constructeurs décidèrent, en 1923, de créer une marque commune de qualité « APEL », qui ne serait accordée qu'aux appareils ayant satisfait aux essais d'un programme sévère.

L'Union des Syndicats de l'Électricité (U.S.E.), qui groupe les constructeurs de matériel électrique, décida à son tour, en 1930, d'admettre l'estampille APEL dans le cadre plus général de la marque de qualité U.S.E.

Enfin, en 1950, l'estampille U.S.E.-APEL franchit une nouvelle étape en s'intégrant à la marque nationale de conformité aux normes (N.F.). Elle est ainsi devenue, sous le sigle « NF - USE - APEL », la garantie officielle de sécurité, de durée et de rendement, et le matériel français qui en est revêtu peut soutenir avantageusement la comparaison avec les meilleures productions étrangères.

Lorsqu'un fabricant a obtenu le droit d'utiliser cette marque de qualité, il est soumis aux contrôles des ingénieurs de l'U.S.E., qui s'assurent que sa fabrication est de qualité constante et conforme au prototype présenté.

Depuis le 1^{er} octobre 1953, le laboratoire APEL est intégré au Laboratoire Central des Industries Electriques, à Fontenay-aux-Roses, près de Paris. Les locaux dont dispose la Section des appareils électro-thermiques et électro-domestiques sont divisés en plusieurs pièces, dont trois salles d'essais. La première salle, dite « salle d'eau », est réservée aux essais des chauffe-eau, robinets chauffants, machines à laver, aux essais hygroskopiques et, d'une façon plus générale, à tous ceux qui nécessitent l'emploi de l'eau sous pression, parfois à 15 kg/cm². Des pyromètres enregistreurs donnent les réactions des couples thermo-électriques soudés sur le haut des réservoirs des chauffe-eau.

La salle d'essais n° 2 est réservée aux essais et vérifications des prototypes pour lesquels

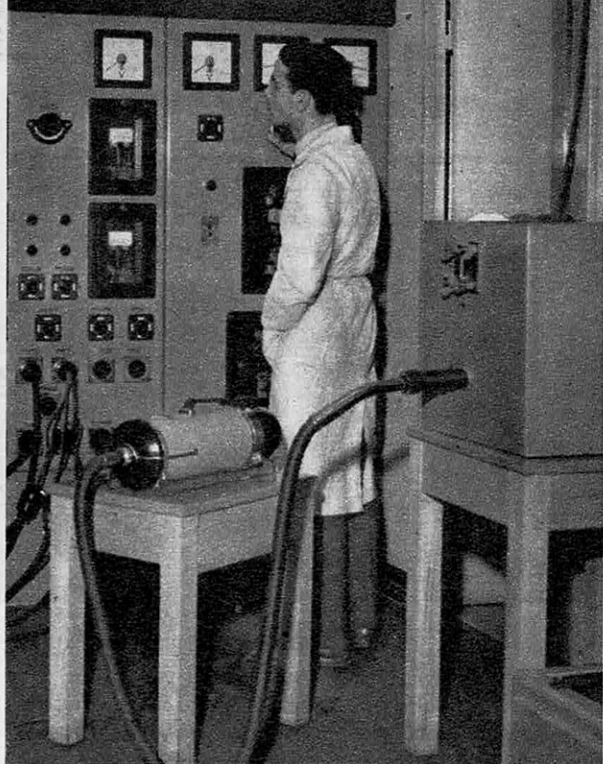


Tableau de distribution délivrant toutes les tensions et intensités nécessaires aux essais.



Rôtissoires et foyers de cuisson sont soumis à des essais d'isolement et de rendement.

l'attribution de la marque de qualité est sollicitée.

La salle d'essais n° 3 comprend, entre autres appareillages, ceux qui permettent l'essai des thermoplastes, des couvertures chauffantes et des fers à repasser. On y trouve également les calorimètres et les cuves à niveau constant destinés à la mesure du rendement de ces fers.

Du point de vue mécanique, les prototypes sont soumis à un contrôle portant sur la robustesse des enveloppes, des vis, des dispositifs de fixation, des conducteurs d'amenée du courant. On vérifie qu'aucune pièce en mouvement n'est susceptible de provoquer des accidents.

Du point de vue thermique, un essai dit « d'échauffement » permet de s'assurer que la température atteinte par les poignées et les autres parties de l'appareil pouvant être touchées n'est pas trop élevée.

Du point de vue électrique, les épreuves comportent :

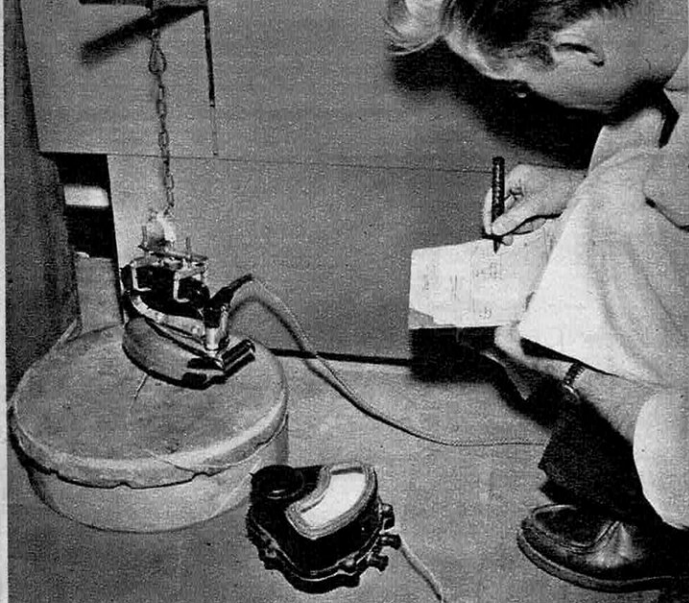
- l'essai dit de « rigidité diélectrique » où l'appareil est soumis, soit froid, soit chaud, à une tension atteignant généralement 1 500 volts ; essai destiné à vérifier le bon isolement des parties sous tension ;*

L'essai des ventilateurs comprend un contrôle, par anémomètre, de la répartition de l'air.

- l'essai de surtension où l'on fait fonctionner l'appareil sous un voltage 1,18 fois supérieur à celui pour lequel il est prévu ;*
- l'essai d'endurance où l'on provoque une fatigue accélérée de l'appareil ;*
- l'essai hygrosopique destiné à vérifier la constance des qualités d'isolement en milieu humide ;*
- enfin des essais concernant l'aptitude des appareils à leur emploi et l'économie de leur fonctionnement.*

Lorsque des prototypes nouveaux sont présentés au Laboratoire, c'est à la Commission désignée par l'U.S.E. qu'il appartient de définir





Les fers à repasser subissent 19 épreuves dont une très sévère sur la résistance aux chocs.



La mise en température des fers doit être rapide : 8 mn pour un fer de 1 kg et 250 W.

les normes auxquelles devra répondre ce nouveau type d'appareil et les épreuves qu'il devra subir. C'est également à une Commission de l'U.S.E. que sont soumis les rapports établis par le laboratoire et c'est au vu des « notes » obtenues par le prototype que cette Commission décide d'accorder ou non la marque de qualité. Le rejet n'implique évidemment pas l'interdiction de mettre l'appareil sur le marché si les résultats des épreuves de sécurité sont satisfaisants, mais il est rare qu'un fabricant ne tire pas profit des critiques formulées pour améliorer son prototype et le soumettre à nouveau au Laboratoire.

Pour les appareils de cuisine électrique, par exemple, les épreuves portent d'abord sur les foyers de cuisson, dont le rendement doit être

supérieur à 60 % et l'allure de mijotage bien calculée. Il doit aussi ne pas se mettre en court-circuit en cas de débordement des liquides.

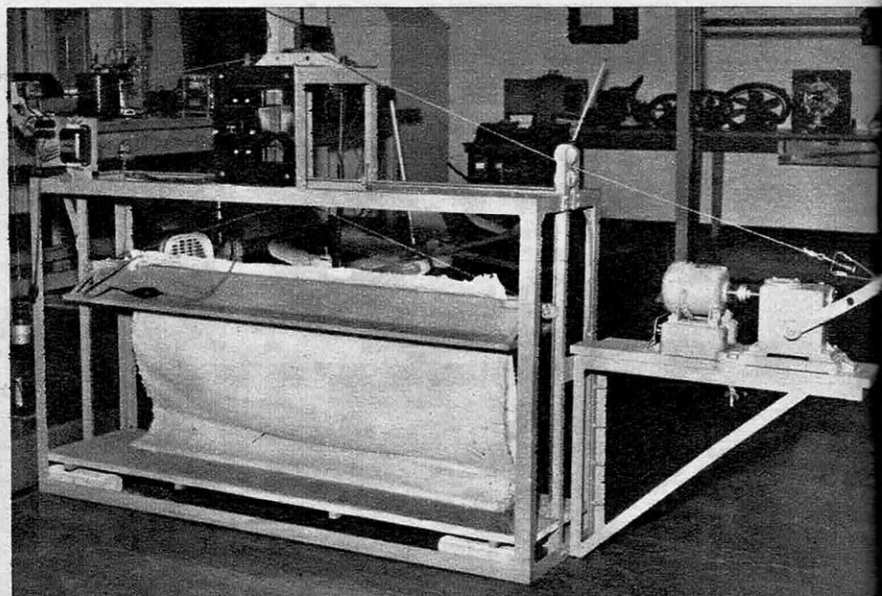
Pour les fers à repasser, l'essai le plus spectaculaire, c'est celui de la robustesse. Chaque fer est attaché à un levier qui le fait tomber 10 000 fois de suite d'une hauteur de 4 cm sur une plaque d'acier, alors qu'il est sous tension.

Pour les cafetières, elles ne doivent pas provoquer d'accidents même si, vides, elles restent branchées pendant une demi-heure.

Pour leur part, les sèche-cheveux ne doivent pas pouvoir être mis en circuit sans que le moteur soit en marche et, après dix minutes de fonctionnement, la température de l'air soufflé doit atteindre 60° C au moins, et 80° C au plus, au-dessus de celle de l'air ambiant.

↓ **Les thermostats** sont ici soumis à des tests concernant leur délai de réponse et leur longévité.

Les couvertures chauffantes doivent satisfaire à de très sévères épreuves de pliage. ↓



60 litres. L'écart est pratiquement proportionnel à la capacité pour les volumes intermédiaires, mais l'expérience prouve qu'il vaut mieux généralement disposer d'un appareil de 100 à 125 litres. On peut ainsi s'affranchir de la sujétion du marché tri- ou bi-hebdomadaire et, pratiquement, la différence de consommation est insignifiante car, dans un réfrigérateur qui n'est pas « bourré » à bloc, l'air circule mieux, le réchauffement d'ambiance est moins rapide et le thermostat de mise en marche fonctionne moins fréquemment. Les réfrigérateurs de plus de 100 litres fonctionnent presque tous à compression, ce qui exige une consommation d'électricité très inférieure à celle des appareils à absorption.

Le choix du chauffe-eau

Ce sont également les besoins relatifs en eau chaude qui permettent de déterminer le choix du type de chauffe-eau convenant le mieux. Mis à part quelques modèles dits « instantanés », ne comportant pas de réserve calorifugée et dont le débit moyen est d'un litre par minute à 40°, ce sont surtout les types à accumulation qui sont les plus répandus. Les uns, comportant une horloge, fonctionnent seulement en heures creuses; les autres peuvent être mis en marche à tout moment par leur thermostat. Certains, dits à « double capacité », expression impropre qui ne concerne pas le volume d'eau emmagasinée mais la puissance de chauffe, comportent deux unités corps de chauffe-thermostat, l'une située à la base de la réserve d'eau, comme dans les types simples, l'autre située à la partie supérieure de cette réserve. Bien que les besoins d'eau chaude varient suivant les habitudes, les moyennes suivantes sont considérées satisfaisantes : pour la cuisson des aliments et la vaisselle, 10 l par jour et par personne à 50° ou 6 lit. à 75°; pour la toilette (ni bain, ni douche), 20 litres par jour et par personne à 35° ou 8 litres à 75°; par douche, 20 litres à 35° ou 8 litres à 75°; par bain (grande baignoire), 170 litres à 35° ou 70 litres à 75°; par petit bain (baignoire sabot), 80 litres à 35° ou 30 litres à 75°. Avec un chauffe-eau fonctionnant en heures creuses, un grand bain coûte de 35 à 45 francs et une douche de 5 à 7 francs.

Routine et progrès

Il serait évidemment fastidieux de passer en revue les innombrables sortes et types d'appareils électro-ménagers conçus pour accroître le confort ou les distractions familiales. D'autant que, lorsqu'il s'agit d'appareils destinés à remplacer ceux d'un usage traditionnel, il y aurait beaucoup à dire sur le manque d'imagination des constructeurs pour s'écarter des solutions classiques... où sur la réticence de la clientèle

à changer ses habitudes. Les exemples des fers à repasser et des cuisinières suffiront à éclairer ce propos.

Depuis quarante ans, le fer à repasser électrique garde, non seulement la forme, mais, ce qui est plus grave, le principe du fer à main : l'accumulation de chaleur. Il en découle des sujétions qui réduisent considérablement l'avantage du chauffage à l'électricité : poids du fer, nécessité de surveiller la température, ce qui se traduit, soit par la coupure du courant soit, inversement, par l'obligation de perdre du temps pendant que le fer reprend sa température. Malgré cela, et bien que le remède consistant à munir le fer d'un thermostat fût applicable depuis longtemps, c'est seulement pendant les dernières années que les fers à réglage automatique de température ont commencé à trouver droit de cité.

Autre exemple, celui des cuisinières. L'industrie du gaz, à l'origine, a construit des appareils dont la disposition relative du dessus et du four copiaient la disposition des cuisinières à charbon, où la place du four était commandée par la place du foyer unique chauffant à la fois dessus et four. Un seul constructeur, semble-t-il, avait tenté de réagir, vers 1930, en présentant une cuisinière à gaz dont le four était aligné avec le dessus comportant les brûleurs. Aussi étrange que cela paraisse, ce modèle dut être abandonné, les ménagères préférant continuer à se baisser pour placer les plats dans le four et surveiller la cuisson.

Les constructeurs de cuisinières électriques, à leur tour, se gardèrent de réagir contre cette obstination. Mais vint le four séparé, puis la rôtissoire à « infra-rouge », et maintenant l'exemple d'outre-Atlantique où les constructeurs américains ont redécouvert le caractère pratique d'un four placé à une hauteur normale. Certains, désireux de conserver l'aspect uniforme des nouvelles cuisinières « fonctionnelles » ont même prévu des fours escamotables, ne déparant l'harmonie des plans horizontaux que lorsqu'ils sont en service. On peut prédire avec certitude que cet exemple qui nous revient de loin fera école chez nous à plus ou moins brève échéance.

Comme feront aussi école d'autres accessoires ménagers plus ou moins récents; conditionneurs d'air, freezer, machines à laver la vaisselle, couvertures ou matelas chauffants, tant il est vrai que de plus en plus l'électricité nous libérera des nombreuses tâches qu'exige le soin du foyer, en nous rendant plus agréable la vie de chaque jour.

Jean ROVIÈRE.

Les chiffres utilisés dans cet article nous ont été communiqués par l'Union pour l'étude du marché de l'électricité (Unimarel) et par l'Union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique (Uniped).

L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE

C E n'est qu'avec un certain retard sur les activités industrielles et le milieu urbain que l'agriculture a commencé à bénéficier des innombrables possibilités qu'ouvre l'électricité, puisque l'électrification rurale ne débuta pratiquement en France qu'au lendemain de la première guerre mondiale. Auparavant, seuls quelques villages voisins d'usines hydrauliques, ou qui avaient eu la chance de se trouver sur le tracé d'une ligne à haute tension desservant une ville, avaient pu être desservis, et, en 1919, 7 500 communes seulement, dont un millier de villes, étaient atteints par les réseaux électriques.

En 1930, grâce à d'importantes subventions du Ministère de l'Agriculture, 27 000 des 38 000 communes françaises étaient atteintes par des distributions d'énergie électrique qui desservaient, sinon la totalité, du moins une partie de leur territoire.

A la cadence de 2 000 communes par an, la tâche paraissait devoir s'amenuiser rapidement, mais les premières électrifications avaient négligé les « écarts », petits villages, hameaux et fermes isolées, qui constituent, en bien des régions, le siège principal de l'activité agricole proprement dite.

La deuxième guerre mondiale arrêta pratiquement la construction des réseaux, mais la pénurie de combustibles et de carburants provoqua le raccordement au réseau voisin d'innombrables immeubles que, par négligence ou routine, leurs propriétaires n'avaient pas fait brancher. Ainsi cette époque fut marquée par un véritable essor de l'utilisation du moteur électrique agricole.

A la veille du « Plan Monnet », en 1946, il restait encore à électrifier 1 000 communes, et un nombre appréciable d'écarts dans les régions partiellement desservies, soit au total environ 2 500 000 habitants; les dernières statistiques de 1954 révèlent que sur 20 millions environ d'habitants des communes rurales, 1 800 000 attendaient encore l'électricité; le degré de desserte de la population rurale atteignait 91 % en moyenne avec de très sensibles variations selon les régions, puisque cinq départements de l'Ouest ne dépassaient pas 70 % alors que 47 autres avaient 95 % au moins de leurs habitants ruraux desservis.

On peut estimer qu'à l'heure actuelle

grâce à un vigoureux effort, 300 000 à 400 000 habitants de plus ont été ou vont être électrifiés par les travaux en cours, ramenant à environ 1 400 000 le nombre de ceux qui seront tributaires des programmes des années 1956 et suivantes.

L'électrification rurale, problème sans cesse renaissant

On serait donc tenté de croire que l'électrification rurale est fort avancée. Mais il faut penser au constant développement de la consommation d'énergie électrique, et il ne faut pas s'étonner qu'une partie de nos réseaux ruraux ne soient plus adaptés à des besoins sans cesse grandissants et qui, dans le milieu rural tout particulièrement, grandiraient plus vite encore si lignes et transformateurs permettaient de répondre sans réserve au désir de modernisation qui anime la majeure partie des agriculteurs de notre époque et tout particulièrement la jeunesse paysanne. L'électrification rurale, dont on envisageait la fin, renaît donc sans cesse.

L'amélioration de la productivité, c'est-à-dire l'accroissement de la production pour une même somme de travail humain, ou bien la réduction de celui-ci pour une même production, exige en effet un recours chaque jour plus généralisé à l'énergie électrique afin d'économiser une main-d'œuvre rare et coûteuse. Quand l'agriculteur peut ainsi produire à meilleur compte, les avantages de la productivité se partagent entre lui-même, qui peut élever son niveau de vie et s'épargner des fatigues inutiles, et les consommateurs qui bénéficient des progrès abaissant les prix de revient.

« Le premier ouvrier de la ferme »

Les applications agricoles de l'électricité doivent de plus en plus faire d'elle, selon une formule adoptée aux Etats-Unis et qui s'y vérifie pleinement, « le premier ouvrier de la ferme ».

Les uns visent essentiellement à améliorer le confort de l'existence, ou à faciliter certains travaux ménagers. Mais les Américains dénombrent plus de deux cents usages différents de l'électricité dans l'agriculture, de telle

DES CAMPAGNES

sorte que même en nous dispensant d'étudier les applications ménagères qui trouvent leur place aussi bien à la ville qu'à la campagne, la liste des utilisations qui intéressent l'agriculture reste longue.

Nous devons cependant mentionner l'éclairage, application la plus répandue, et pourtant encore susceptible d'importants progrès.

En effet, un éclairage réparti dans l'ensemble des locaux par des foyers lumineux placés aux endroits où le travail est le plus fréquent, et le blanchiment des murs et plafonds qui assurent à la fois un meilleur rendement de l'éclairage et un effet de diffusion, sont hautement profitables. Le travail dans un milieu éclairé, fût-ce une étable, est plus rapide, plus précis que dans la pénombre, et les risques d'accidents se trouvent diminués dans une proportion notable.

Les étables, écuries, porcheries, poulaillers, salles de préparation des aliments, ateliers, laiteries ont aussi besoin d'un éclairage assuré, de préférence, par des ampoules diffusantes munies de réflecteurs concentrant la lumière vers les points essentiels ou le sol. Les hangars, les points de passage dans la cour ne doivent pas non plus être négligés car toute la ferme constitue en somme l'atelier du cultivateur, le danger y est partout présent et la circulation incessante.

L'eau courante à la ferme

Le pompage de l'eau est aussi une des applications les plus répandues. Lorsqu'un puits ou une source peu éloignée peuvent fournir un eau saine — et il faut s'en assurer par une double analyse chimique et bactériologique préalable — il est particulièrement rentable d'installer une pompe qui conduit l'eau dans tous les points de la maison et de l'exploitation. Cette solution n'est cependant à recommander que si la desserte par une distribution publique paraît lointaine et pour les fermes isolées, car la surveillance sanitaire des réseaux collectifs offre plus de garanties que celle d'une source ou d'un puits particulier et il ne faut pas sous-estimer les dangers d'une eau polluée.

Il existe d'excellents modèles de groupes électro-pompes avec réservoirs à pression d'air dont l'installation est particulièrement simple et rapide dans les cas, les plus fréquents,



Le poste de transformation, d'architecture moderne, se dresse au milieu des vieilles pierres, tel le donjon du village au siècle de l'électricité.

de sources peu éloignées ou de puits dont la profondeur n'excède pas 30 mètres. Les cas plus délicats trouvent aussi des solutions aisées. Lorsque aspiration et refoulement correspondent à une hauteur de 30 mètres, un moteur de 1/2 ch assure 2 m³ à l'heure, pour 4 à 5 fr d'énergie électrique au mètre cube, dépense à laquelle il convient d'ajouter l'amortissement de l'installation.

La force motrice

La force motrice, en tant que telle, trouve des applications en chaque point de la ferme, et cela est si évident que nous nous limiterons à une simple énumération.

C'est d'abord la préparation des aliments du bétail avec les hache-paille, les laveurs de tubercules, les coupe-racines, les mélangeurs de rations, dans lesquelles on ajoute les farines qui proviennent du moulin, ou du simple aplatisseur selon la finesse du produit désiré, ou encore du brise-tourteaux, tous mus à l'électricité.

La rentrée et le stockage des récoltes peuvent aussi être considérablement simplifiés par l'énergie électrique, qu'elle anime

des déchargeurs de fourrage à griffe ou des aéro-engrangeurs.

Dans l'un ou l'autre cas, deux hommes déchargent 1 500 kg et les transportent à 20 mètres, par exemple, en 12 à 15 minutes et ceci sans effort dans le cas du déchargeur à griffe; mais l'installation présente alors l'inconvénient d'être fixe. L'aéro-engrangeur exige que le déchargement dans sa trémie soit fait à la main et a besoin d'un moteur de 8 à 10 ch; mais il peut être transporté, assure par la ventilation un séchage complémentaire des fourrages et peut permettre l'ensilage des fourrages verts dans les silos-tours.

Le battage des céréales à l'électricité constitue un spectacle classique des fins d'été dans nos campagnes, et quels que soient les accessoires ajoutés à la batteuse pour perfectionner son rendement, monte-gerbes, engrenneur automatique, expulseur de balles, botteleuse ou presse à haute densité, le moteur électrique anime tout le chantier.

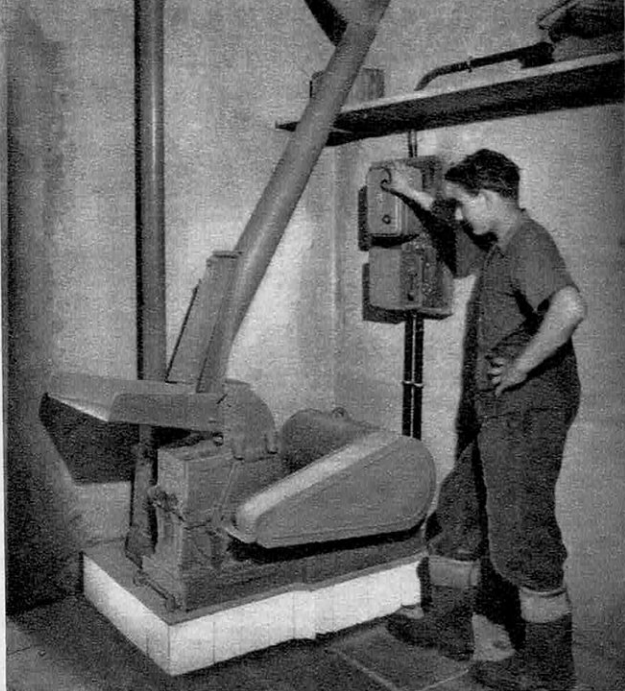
Il n'est guère de production auxquelles le moteur électrique ne puisse contribuer, par exemple : égrenage du maïs, triage et calibrage des pommes de terre grâce à des appareils constitués de tables à secousses et cribles, aptes à rendre le même service pour les noix, châtaignes, bulbes et oignons, chez les horticulteurs.

L'outillage électromécanique

A l'atelier et sous le hangar, le moteur trouve encore sa place et revêt une importance capitale avec les progrès de la mécanisation qui imposent à chaque agriculteur d'effectuer lui-même, outre les menus travaux de charronnage, menuiserie et forge, auxquels il se livrait traditionnellement, de plus en plus de travaux mécaniques. Il faut pour cela ajouter aux meules, aux scies, une perceuse, parfois un tour, un appareil de soudure, un gonfleur pour les pneus du tracteur, pour s'en tenir à un outillage simple à la portée d'une exploitation moyenne.

Il faut noter au passage la tendance, qui prévaut aussi dans l'industrie, de munir chaque appareil du moteur qui lui est approprié comme puissance et vitesse, en évitant les transmissions coûteuses et dangereuses à cause de leurs courroies.

Il serait cependant injuste de ne pas mentionner certains modèles de moteurs mobiles, ou sur brouette, de petite puissance, avec dispositif de changement de vitesse, qui rendent d'appréciables services dans les petites fermes pour faire tourner certains appareils à fonctionnement très discontinu comme la meule, le trieur, la scie à bois de



Le moulin broyeur réduit en farine les grains ou fourrages secs, et permet à l'agriculteur de composer lui-même des rations équilibrées.

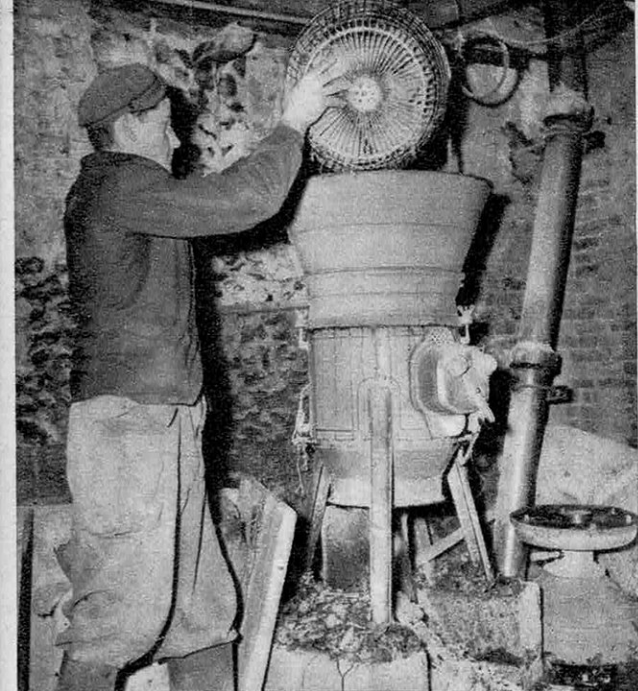
chauffage, ou la pompe à purin, par exemple.

Ainsi avons-nous examiné ce que l'on pourrait appeler les « services généraux » de la ferme, éclairage, distribution de l'eau, et force motrice appliquée aux activités non spécialisées; mais il est d'autres formes d'utilisations de l'électricité aussi importantes dans bien des cas, dont certaines nouvelles.

Le nettoyage des étables

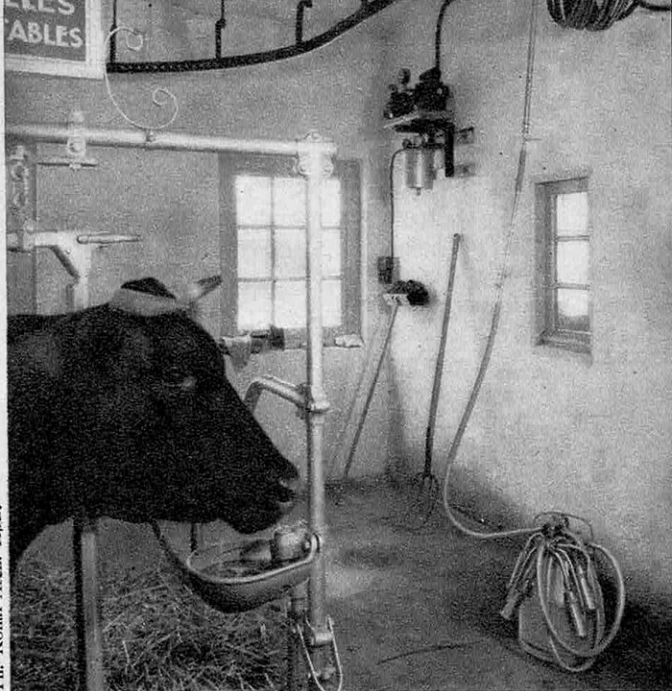
A ce titre, il nous paraît intéressant d'attirer spécialement l'attention sur les dispositifs qui permettent d'enlever les fumiers d'une vaste étable, tout en se consacrant à une autre tâche. Pour cela, la stalle doit être séparée de l'allée par un caniveau cimenté rectangulaire où se trouve le dispositif d'enlèvement. Celui-ci peut être constitué d'une chaîne sans fin entraînant des raclettes qui suivent le fond du caniveau; un moteur commande le déplacement de la chaîne qui peut faire le tour de l'étable et déverse le fumier dans un dispositif transporteur, wagonnet, épandeur à fumier, ou simplement dans une fosse. Un moteur de 1,5 ch commande ce système qui, en deux fois 5 minutes par jour, nettoie une étable de 20 à 25 bêtes.

Une salle de traite mécanique dans une grande exploitation. La surélévation facilite le travail du personnel. Le lait monte dans les réservoirs gradués et le rendement est noté chaque jour. →

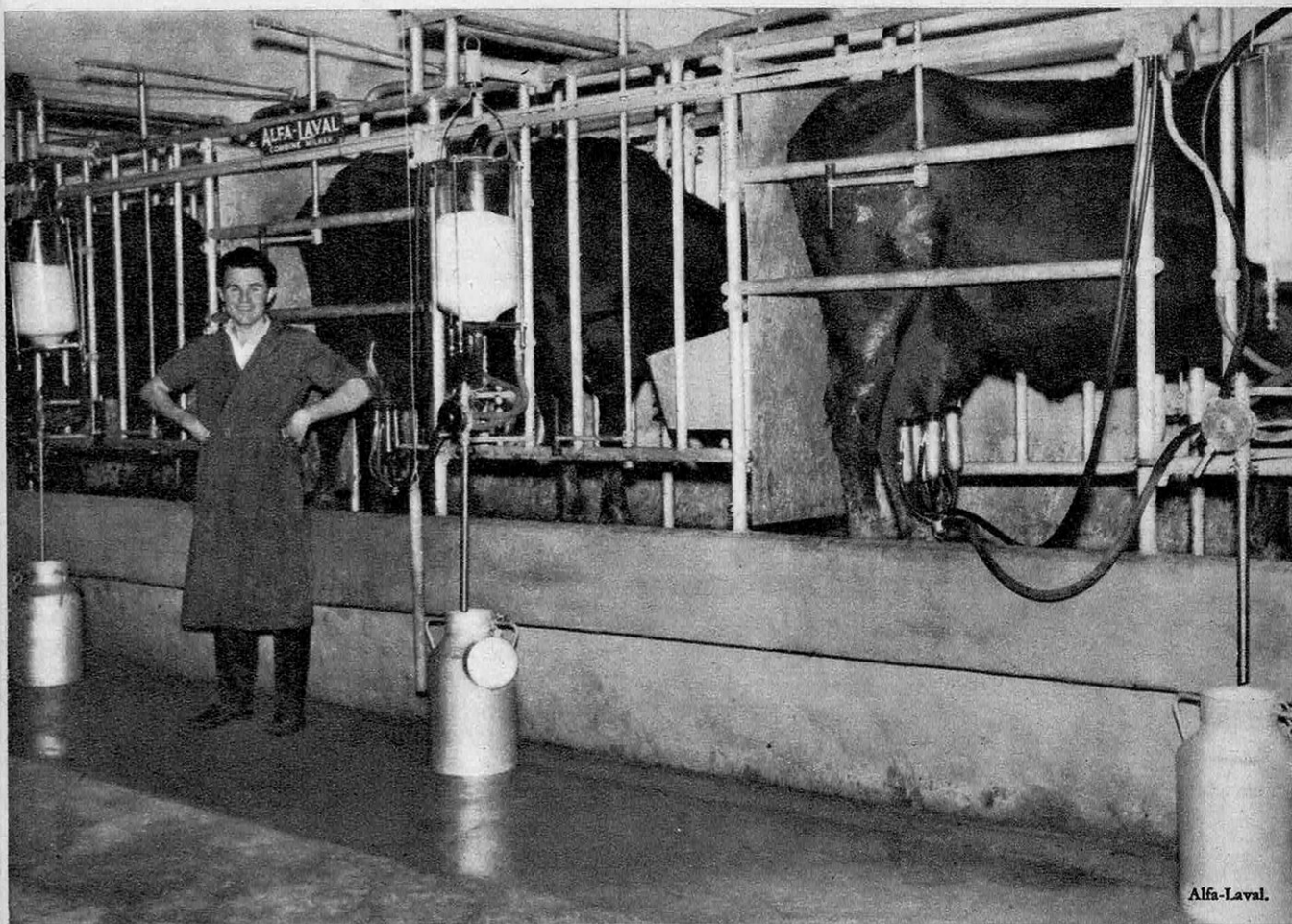


Le coupe-racines sert chaque jour pour les rations du bétail. L'électricité, dix fois plus vite, fait un travail plus complet que l'homme.

Ph. Kolliat-Arch. Apel.



La distribution d'eau sous pression, par réservoir et pompe électrique, permet l'abreuvement automatique. La production laitière augmente.



Alfa-Laval.

Il existe un autre montage où les raclettes sont commandées par une barre animée d'un mouvement alternatif; les raclettes se replient lorsque la barre avance vers le fond de l'étable, et se remettent en équerre lorsqu'elle revient vers la sortie du fumier; celui-ci progresse de 1,50 m à 2 m à chaque mouvement. Il faut noter alors qu'il est nécessaire d'avoir un moteur par rangée de bêtes, mais le dispositif est plus simple que le précédent.

L'énergie consommée varie avec la longueur de l'étable et son mode final d'évacuation, mais elle se situe entre 0,5 et 1 kWh par mois et par vache, ce qui est très rentable si l'on considère le temps ainsi économisé.

Ces différents genres d'équipement, déjà très répandus aux U.S.A., mériteraient d'être mieux connus car ils économisent du temps et dispensent d'un travail fastidieux.

Séchage et dessiccation

Il est encore une application qui nous paraît particulièrement intéressante; c'est le séchage complémentaire des foin à l'intérieur même des granges grâce au soufflage d'air ambiant ou chauffé à l'intérieur de la masse de fourrage, grâce à une gaine à claire-voie. Un ventilateur animé par un moteur de 4 à 5 ch suffit, et l'ensemble, aisément monté par les agriculteurs eux-mêmes, constitue un des équipements les plus efficaces et les plus rentables que l'on puisse réaliser. La consommation est de 45 à 65 kWh pour une tonne de foin.



La dessiccation proprement dite, à l'aide de rayons infrarouges constitue une technique très différente et de caractère plus industriel, qui semble la situer, au moins pour le moment, au niveau des coopératives disposant d'ateliers spécialisés dans la préparation d'aliments concentrés, ou des très grandes exploitations.

La production laitière

La production laitière fait appel à de nombreuses applications de l'électricité, en commençant par la traite mécanique déjà très répandue pour les vaches, et qui s'étend à la production de lait de crebis dans les régions où l'on fabrique certains fromages tels que le Roquefort. Un moteur de 1/2 ch permet de traire 4 vaches à la fois, sans recours à une main-d'œuvre spécialisée, et dans des conditions que certains pays tels que les Etats-Unis considèrent comme indispensables pour la collecte d'un lait de qualité. Mais, pour conserver les qualités du lait, il est nécessaire de le refroidir rapidement.

Les investissements que représente un tank réfrigérateur de conservation ne seraient justifiés pour le moment que lorsque le ramassage ne peut être quotidien; mais le bac réfrigérateur où l'on plonge les pots constitue désormais dans ce domaine l'élément de base de la chaîne du froid.

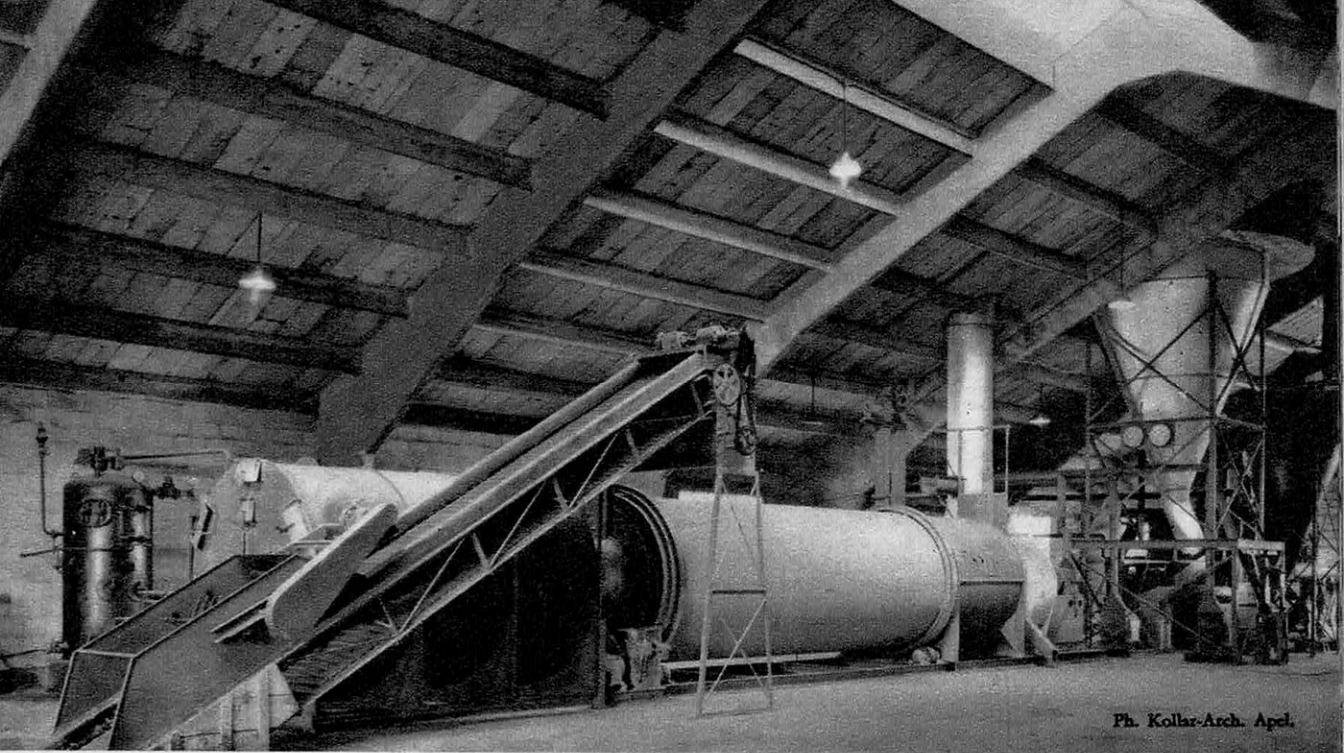
Dans la laiterie on trouvera, en outre, lorsque le lait n'est pas destiné à la vente, les appareils de fabrication du beurre, écrémeuse, baratte, malaxeur, laveur, et, de préférence isolé dans un réduit ou dans un passage, le chauffe-eau indispensable pour les rigoureux nettoyages de la machine à traire et des autres appareils.

La vinification, la cidrerie, opérations de transformation qui restent dans le domaine des activités des agriculteurs, utilisent encore des moteurs pour l'égrappage, le pressage et le pompage des moûts et des produits en cours d'élaboration.

Les travaux des champs

Il n'est pas jusqu'aux travaux des champs eux-mêmes qui n'aient fait l'objet de tentatives de mécanisation par l'électricité. Des chantiers de labourage électrique furent créés et fonctionnèrent plusieurs années en France, notamment dans la région parisienne; des

← **L'aéro-engrangeur** comporte un ventilateur avec moteur de 6 ch. Il happe les fourchées de foin et les empile dans la grange; il remplace 4, 5 ou 6 hommes, selon la distance parcourue.

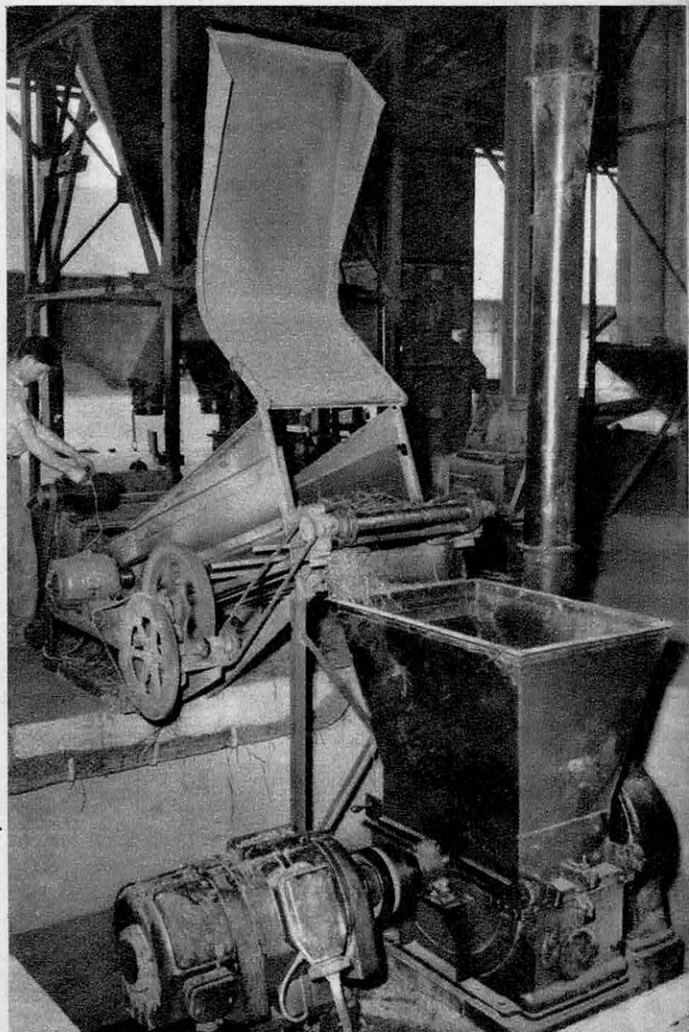


Ph. Kollar-Arch. Apel.

Dans ce séchoir à luzerne, l'électricité assume toute la manutention et la rotation du tambour à air chaud. L'herbe coupée très tôt en saison et traitée ainsi en quelques minutes reste très riche en protéines.

treuils placés à chaque extrémité du champ halaient dans un sens ou l'autre une charrue réversible. Le procédé ne peut s'appliquer qu'à de très grandes parcelles; les investissements importants, non seulement pour le matériel, mais pour l'implantation d'un quadrillage de lignes électriques à haute tension n'ayant pas d'autre objet, en limitaient considérablement l'intérêt. Cette technique est actuellement rénovée en U.R.S.S. grâce à la mise au point de tracteurs électriques alimentés par un câble isolé, mais ces appareils restent tributaires d'une ligne et d'un poste de transformation; on s'accorde à considérer que leur spécialisation enlève beaucoup d'attrait à cette technique et que ces appareils sont difficilement adaptables dans les pays présentant un relief varié et la structure foncière des pays d'Europe Occidentale. De plus, l'intérêt purement économique et la rentabilité de l'opération comparée à la mécanisation à l'aide de moteurs thermiques restent très douteux.

En horticulture cependant, par suite de la répétition des façons culturales sur un espace restreint, la traction électrique a été



La farine de luzerne pulvérisée dans le broyeur est envoyée par le tube vertical à la machine à cuber où, additionnée de mélasse, elle est mise en dragées de 1 cm³, indéfiniment conservables.



Philips.

expérimentée avec succès, mais, à notre connaissance, seulement avec des treuils qui, dans ce cas, présentent un moindre inconvénient; toutefois, en définitive, cette application de l'électricité reste encore exceptionnelle.

Par contre l'irrigation, et spécialement l'irrigation par aspersion qui connaît une diffusion rapide depuis quelques années, font appel de plus en plus à l'énergie électrique; cela se conçoit, car généralement le point d'eau est unique, ou bien les postes de pompage possibles le long d'un cours d'eau sont en nombre limité, de telle sorte que l'installation électrique peut être fixe ou

transportable en quelques points seulement, tandis que les canalisations mobiles sont généralement déplacées au fur et à mesure des besoins de l'arrosage.

On comptait en 1954 qu'un millier d'exploitations représentant 15 000 hectares environ bénéficiaient de l'irrigation par aspersion. Cette technique permet, sans travaux d'infrastructure, de sauver les récoltes menacées par la sécheresse et d'accroître les rendements des cultures de toutes natures; les dispositifs à basse pression ($1,5 \text{ kg/cm}^2$ à l'orifice d'arrosage) conviennent aux cultures délicates des horticulteurs, tandis que le



Ph. Kollar, Arch. And.

← **Les lampes à infrarouge** augmentent les chances de succès dans l'élevage des poussins. Elles donnent une chaleur sèche qui assainit les locaux et maintient une température constante.

« canon » d'arrosage alimenté à 4 ou 5 kg/cm², n'est admissible que pour les grandes cultures, plantes sarclées, prairies artificielles, etc., et lorsque le sol n'a pas tendance à se tasser sous l'influence d'une pluie assez énergique. La haute pression exige évidemment beaucoup plus de puissance, mais économise la main-d'œuvre grâce à la réduction du nombre des stations et des déplacements du matériel. Le choix entre les diverses solutions est d'ailleurs souvent imposé par les conditions naturelles, l'étendue des parcelles, les cultures projetées et l'énergie disponible.

Au Tyrol autrichien, en Bavière et en Italie, on associe purinage et arrosage à l'aide d'une pompe mélangeuse placée à la fumière et qui dirige le mélange sur les champs par des canalisations souvent utilisées en commun par les agriculteurs d'un même village.

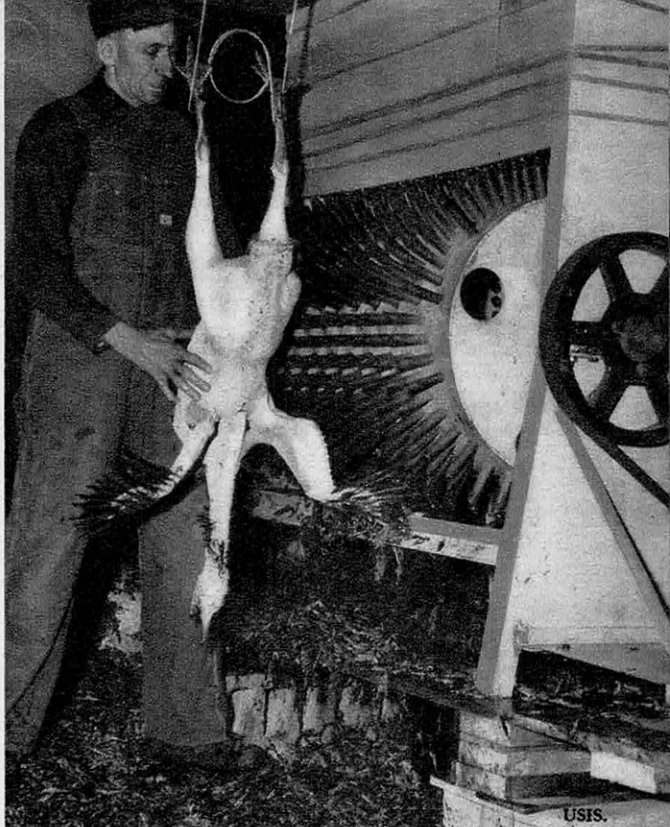
L'aviculture

L'électricité dispense également ses multiples effets sous d'autres formes que l'énergie mécanique, et nous en trouverons la preuve dans ses applications à l'aviculture. C'est, en effet, essentiellement la chaleur qu'utilisent les couveuses, qui cèdent ensuite le poussin à l'éleveuse également électrique. Notons en passant que l'électricité ne peut être utilisée à cet usage que dans les régions où la continuité du service est assurée sans défaut, car une interruption du courant un peu prolongée — quelques dizaines de minutes au maximum — mettrait en péril un capital considérable.

Les appareils modernes comprennent des types industriels assurant l'hygrométrie nécessaire, le retournement des œufs, la ventilation; la consommation moyenne par poussin éclos, qui est de 0,25 kWh pour les couveuses « fermières », tombe à 0,10 à 0,15 kWh dans les grands incubateurs.

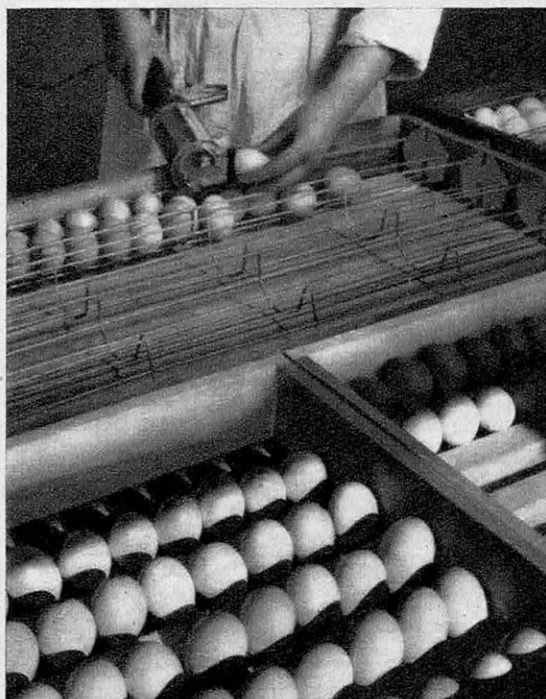
Les éleveuses peuvent constituer un abri chauffé par une résistance, et exigent pour 6 semaines une consommation de 0,6 kWh par poussin, dans un local maintenu à

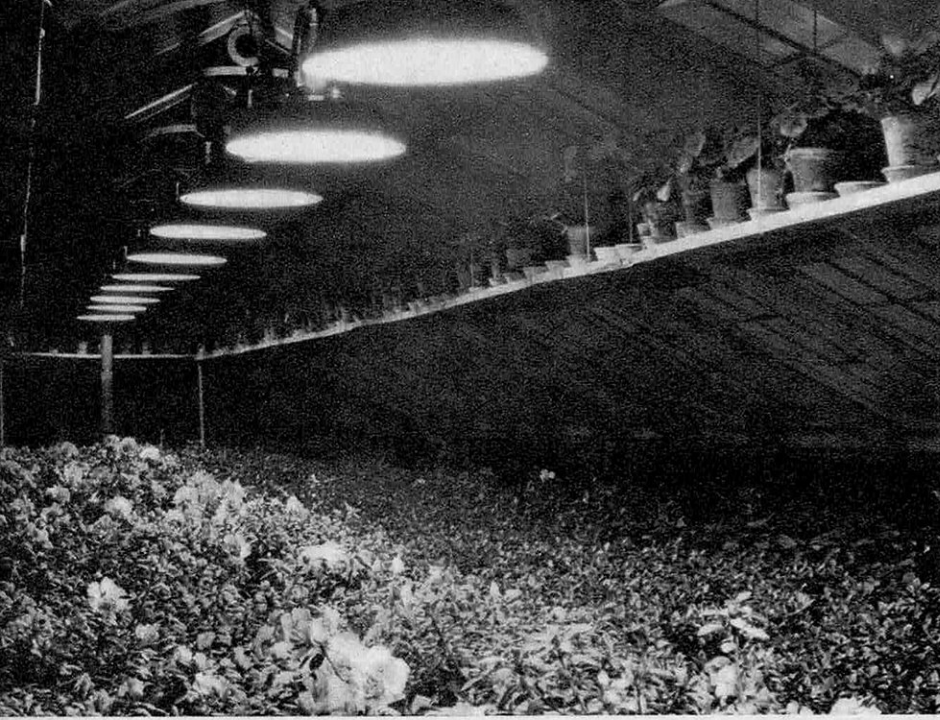
← **Ces armoires isothermes** chauffées à l'électricité conduisent l'incubation des œufs dans les meilleures conditions grâce aux bacs humidificateurs et au thermostat. Le retournement quotidien des œufs est effectué automatiquement.



Cette machine équipée d'une centaine de doigts de caoutchouc permet de plumer complètement les dindes que l'on a simplement fait tremper au préalable dans de l'eau tiède.

Le mirage des œufs destinés à la vente ou à l'incubation peut s'effectuer rapidement à l'aide d'une lampe placée dans une monture spéciale.





← **La lumière électrique** permet de changer artificiellement le cours des saisons pour les plantes en serre. Suivant les espèces, les nuits ou les jours plus longs provoqueront la floraison. Ci-contre, des azalées dans une serre aux environs de Paris.

Les chassis de cette exploitation horticole sont équipés avec des résistances électriques qui les chauffent. On remplace ainsi le fumier de cheval devenu plus rare. Un thermostat peut contrôler la température. →

Ph. Mazda

environ 15°; avec les éleveuses à infra-rouge, il n'est pas nécessaire de réchauffer l'aire de promenade des jeunes sujets qui s'approchent de la lampe, située à 0,30 m ou 0,40 m au-dessus d'eux d'après sa puissance (150 à 250 W), selon qu'ils en éprouvent plus ou moins le besoin. La puissance à installer est de 4 à 5 W par poussin. Pour les petits élevages, un dispositif mixte utilisant le premier procédé pour la nuit avec chauffage par accumulation, et l'infra-rouge pour le jour, a été mis au point.

L'élevage proprement dit a recours encore à l'électricité pour l'éclairage artificiel, car 13 à 14 heures de lumière favorisent la nutrition. Il est préférable de placer les heures de lumière le matin pour éviter d'avoir à prévoir une extinction progressive.

Ainsi, dans un grand élevage, la consommation totale d'énergie pour le chauffage et la ventilation est d'environ 2,5 kWh pour faire d'un poussin naissant un poulet prêt à vendre.

Les poulaillers de ponte utilisent également un éclairage d'appoint pour stimuler l'activité et l'alimentation des volailles, mais comme l'intérêt économique de l'opération se situe au cours de la période froide de l'année, il est recommandé de tiédir l'eau de boisson grâce à un thermo-plongeur. Dans certaines régions où le froid ralentit la ponte malgré ces précautions, notamment dans de nombreux élevages au Canada, on chauffe les perchoirs qu'un câble isolé porte à 20° avec une dépense de 20 W au mètre linéaire.

Le mirage des œufs, le triage-calibrage utilisent l'électricité, et même le triage selon la couleur plus ou moins foncée, réalisé de manière, à vrai dire, encore exceptionnelle.

Même après avoir été sacrifiée, la volaille ne cesse pas pour autant de dépendre de l'électricité; plumée électriquement par des disques ou doigts de caoutchouc montés sur une machine rotative préparant 60 à 80 volailles à l'heure pour une consommation de 0,5 kWh, ou par immersion dans un bain de paraffine tiédie dans un bac chauffé par une résistance qui permet une préparation parfaite et rapide, elle attend dans le réfrigérateur la vente au consommateur.

Chauffage du sol et des serres

Nous n'avons encore rien dit du rôle physiologique que l'électricité est apte à tenir auprès des plantes auxquelles elle est susceptible d'apporter un appoint de chaleur et de lumière, corrigeant les conditions naturelles ou se substituant à des procédés que l'évolution actuelle rend périmés.

C'est le cas notamment en matière de chauffage horticole, par suite de la disparition du fumier de cheval devenu trop coûteux pour la constitution de couches chaudes, et qui est réservé désormais à des utilisations plus rentables, comme la culture des champignons; aussi la solution moderne à l'électricité a-t-elle déjà été adoptée par plus de deux mille exploitations qui, en énergie de nuit seulement, consomment annuellement



Ph. Kollar-Arch. Apei.

2,5 à 3,5 millions de kWh. Les techniques adoptées sont très variées selon qu'il s'agit de productions florales, maraîchères, de production de plants, de forçage.

Selon les régions et les climats, et pour une même culture, des installations sont équipées les unes avec 80 à 100 W, les autres avec 200 à 250 W pour une même surface d'un mètre carré.

Le système trouve un intérêt tout particulier par suite de sa souplesse qui permet de n'y faire appel que dans la mesure exacte des besoins, en fonction de la température extérieure, et d'amener les cultures à point au moment optimum,

Dans les serres, le chauffage à l'électricité est facilement substitué aux anciens procédés et l'installation est bien moins coûteuse. Il permet encore de résoudre le problème de la désinfection de ces sols si particuliers, où les cultures répétées seraient menacées par le développement des maladies atteignant particulièrement les semis. De plus, la lumière aide les horticulteurs de notre époque à obtenir des merveilles florales insoupçonnées naguère, et à réaliser des prodiges de précocité.

Applications diverses

Bien d'autres applications de l'électricité à l'agriculture mériteraient encore d'être citées, tel le chaudron cuiseur qui prépare la nuit la provende des porcs et, le cas échéant, des veaux, avec une puissance de 750 watts

pour 50 litres de capacité et 5 heures de chauffage. Et puis encore l'étrille-aspirateur, qui ne demande, comme la tondeuse à moutons, que 1/8 à 1/4 de ch.

Les lampes germicides que l'on utilise dans les élevages de volaille et que l'on aurait sans doute intérêt à généraliser dans les locaux occupés par les jeunes animaux au moins, sont génératrices de rayons ultraviolets qui stérilisent l'air.

Enfin, la clôture électrique est élevée à haute tension (environ 10 000 volts), avec un débit infime, par un dispositif rupteur et bobine, de telle sorte que l'animal qui tente de la franchir reçoit une décharge semblable à celle d'une magnéto, sans danger, mais très efficace. Le dressage est immédiat et le dispositif est économique puisque des fils légers peuvent être substitués à des clôtures coûteuses.

Cette rapide revue des applications de l'électricité, ne pouvait avoir l'ambition de les mentionner toutes. Nous avons préféré n'invoquer que des applications éprouvées et qui, dans l'intérêt général, méritent d'être largement diffusées; mais il en est d'autres, restées plus près du stade expérimental, voire du domaine du laboratoire, telles que, notamment, la destruction des insectes, les ultrasons, les cultures sans sol, qui suscitent actuellement un vif intérêt et connaîtront sans doute des développements encore insoupçonnés.

M. NEVEUX,

Ingénieur en Chef du Génie Rural.

LE PRODIGIEUX ESSOR

EN 1888, Hertz émet le premier rayonnement électromagnétique : ce n'est pas encore de l'électronique.

En 1906, Lee de Forest invente la lampe à trois électrodes, baptisée « audion ». La triode, au dire de son créateur, ne doit avoir que peu d'applications : l'électronique est au stade des premiers balbutiements.

Moins de 50 ans plus tard, l'électronique se substitue aux sens et aux réflexes de l'homme, les affine et les magnifie, surmonte les obstacles du temps et de l'espace, et ouvre à la puissance humaine des horizons sans limites.

Qu'est-ce que l'électronique ?

Pour beaucoup, l'électronique est intimement liée à la radioélectricité (radio, télévision, radar) et concerne l'art de construire émetteurs et récepteurs. •

Cette conception, beaucoup trop restreinte, a causé à cette nouvelle discipline un retard de plusieurs dizaines d'années. L'activité des chercheurs se limitait aux seules applications de

l'électronique concernant les transmissions à distance.

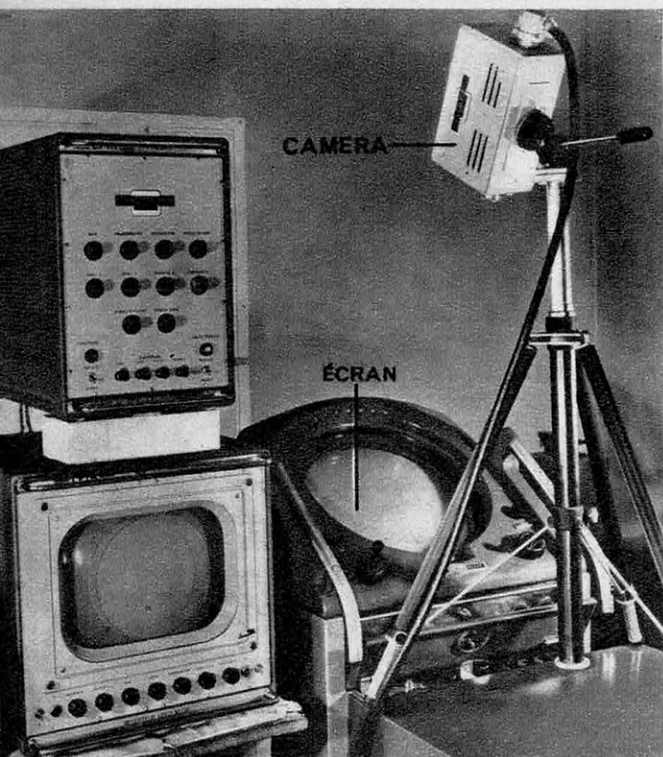
Si, aujourd'hui, on peut dire avec raison que l'« électronique commande la vie moderne », nous le devons aux pionniers qui ont su détourner la pensée électronique de son cours primitif, ouvrant ainsi un nombre illimité de domaines d'applications.

L'électronique, selon la définition de M. Aisberg, c'est en effet « l'ensemble des procédés mettant en œuvre le mouvement des électrons dans le vide, les gaz et les semi-conducteurs ».

Ainsi est bien mis en évidence le lien physique entre des systèmes apparemment aussi différents qu'un récepteur de télévision, un appareil mesurant l'acidité ou la basicité d'une solution (pH-mètre), un tube à éclairs pour la photographie, ou un calculateur électronique.

L'immense variété des tubes électroniques

Il existe un nombre fort élevé de tubes électroniques. Ils possèdent tous, à l'intérieur d'une



DE L'ÉLECTRONIQUE

enveloppe hermétique, une cathode susceptible d'émettre des électrons, grains infinitésimaux d'électricité négative, qu'une plaque, ou anode, attire lorsqu'elle est portée à un potentiel positif. D'où un flux d'électrons, qui n'est autre qu'un courant électrique.

Dans la *diode*, les seules électrodes sont la cathode et l'anode. On peut interposer entre ces deux éléments essentiels une troisième électrode, ou « grille », dont le potentiel contrôlera le flux électronique de façon très simple : on a réalisé une *triode*.

On peut ensuite augmenter le nombre des électrodes auxiliaires pour accroître les possibilités d'actions séparées sur le flux électronique. Ainsi réalise-t-on des tubes à 4, 5, 6, 7, 8 électrodes : *tétraodes*, *pentodes*, *hexodes*, *heptodes*, *octodes*. On peut encore grouper dans une même enveloppe les électrodes propres à plusieurs tubes et l'on engendre des tubes mixtes : doubles diodes, diodes-triodes, doubles triodes, etc.

Tous les tubes à grilles de commande pré-

sentent deux particularités remarquables qui ont contribué puissamment à développer le nombre de leurs applications industrielles :

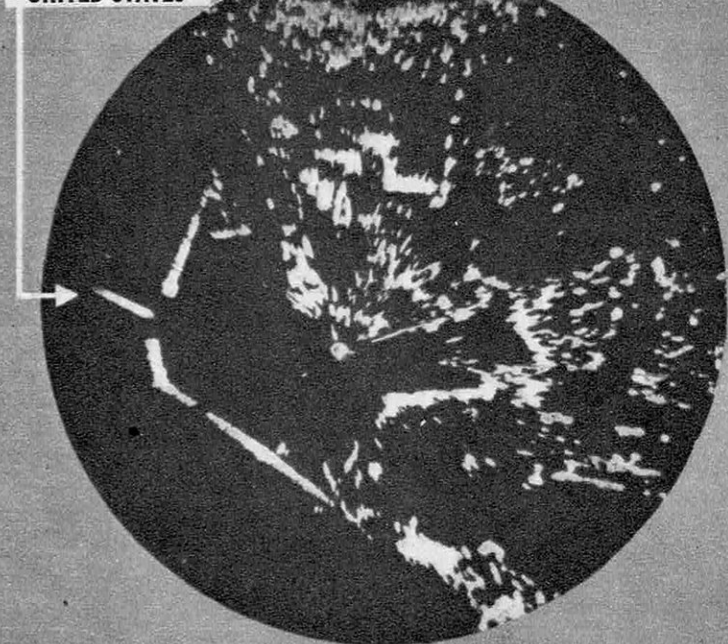
1° l'énergie nécessaire pour commander la grille est toujours très faible par rapport à celle débitée par le tube dans le circuit plaque ;

2° le délai de réaction du tube aux « ordres » transmis à la grille est pratiquement instantané : il n'introduit de gêne qu'aux fréquences très élevées qui sont celles des ondes ultra-courtes.

Le tube à grille de commande apparaît donc comme un relais ultra-sensible et dépourvu d'inertie.

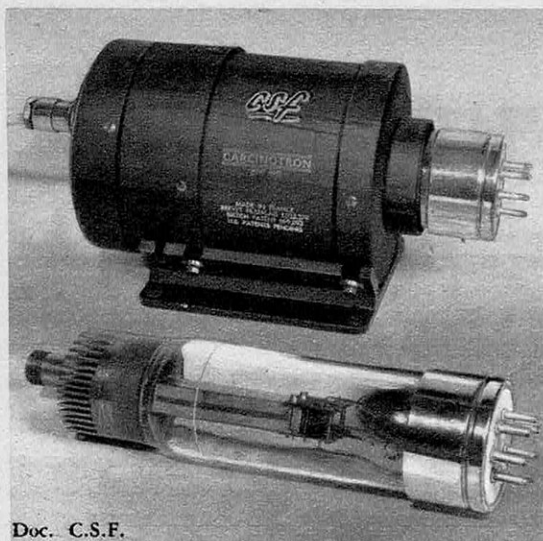
Mais l'arsenal des tubes électroniques n'est pas limité à ces types classiques. Dans la catégorie des tubes à vide poussé, on rencontre encore les *tubes électromètres* (dont la sensibilité est telle qu'ils peuvent déceler des courants de 6 électrons par seconde : 10^{-18} ampères (soit un milliardième de milliardième d'ampère), les tubes à électrons secondaires, et les tubes à modulation de vitesse (*clystrons*) où l'on met à

Le paquebot
"UNITED STATES"



LE RADAR DE PORT ET LA NAVIGATION

Les radars de bord des navires, dont les conditions d'installation limitent l'efficacité, peuvent être insuffisants à l'approche d'un port. Un radar fixe de port donne des images bien supérieures. Le téléradar apporte une aide précieuse aux manœuvres du pilote en transmettant aux navires, par télévision, l'image fournie par le radar du port. À gauche, la caméra de retransmission en position devant l'écran radar du sémaphore du Havre ; au centre, le navire reçoit l'image ; à droite, image radar du port du Havre : le paquebot *United States* franchit les jetées.



Doc. C.S.F.

Le carcinotron, auto-oscillateur adapté aux micro-ondes. Par le jeu d'un simple réglage électrique, il est possible de lui faire couvrir une bande de fréquences particulièrement large.

profit la durée du transit des électrons d'une grille à une autre. Le *magnétron* est un tube où les électrons sont soumis à un champ électromagnétique et travaillent dans des cavités résonnantes. Clystrons et magnétrons sont utilisés dans le domaine des hyperfréquences (radars, câbles hertziens, etc.).

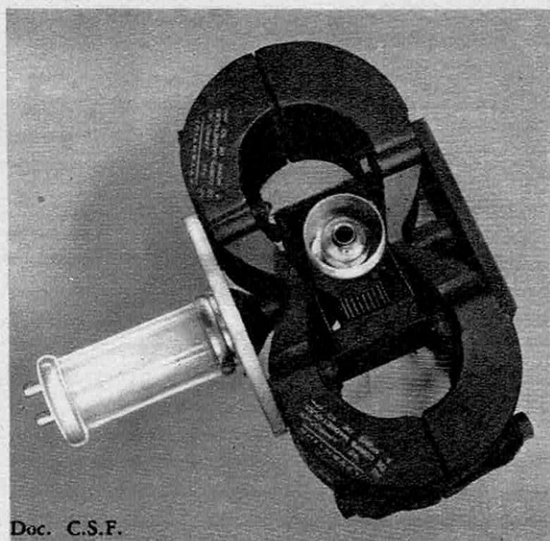
Occupant une place de choix, le *tube à rayons cathodiques* a été popularisé par la télévision, puisqu'il constitue l'élément essentiel des récepteurs. L'impact du faisceau électronique sur l'enduit fluorescent de la paroi plane du tube produit une tache lumineuse. Des électrodes déviatrices commandent la position du pinceau électronique, et des grilles en contrôlent le flux.

Dans le tube à rayons cathodiques, un faisceau électronique engendre donc une énergie lumineuse. Le phénomène inverse est mis à profit dans les *tubes photoélectriques* où un rayonnement optique (de l'infrarouge à l'ultraviolet) produit un micro-courant.

Les *tubes analyseurs d'images* des caméras de télévision allient l'effet photoélectrique produit par une couche photosensible sur laquelle on forme une image optique, et l'exploration par un spot lumineux électronique mobile.

En dehors des tubes à vide poussé, le génie inventif des hommes a créé les *tubes à gaz*.

Parmi les plus anciens, on peut citer le *tube à vapeur de mercure* utilisé dès 1912 pour redresser les courants alternatifs et les transformer en courants continus. De tels tubes perfectionnés, appelés aujourd'hui *ignitrons*, sont basés sur le phénomène de l'*ionisation par choc*. Un électron projeté par la cathode est capable d'arracher



Doc. C.S.F.

Ce magnétron, utilisé dans les radars de grande puissance, délivre en crête plus de 1 000 kilowatts aux environs de 10 centimètres de longueur d'onde (3 000 mégahertz).

plusieurs électrons aux atomes de la vapeur de mercure. Les courants peuvent être ainsi très intenses.

Mais on peut aussi remplir avec une vapeur ou un gaz (argon, hélium) des tubes à grille de commande tels que les triodes ou les tétrodes. On crée ainsi les *thyratrons*, auxiliaires indispensables de l'industrie, puisqu'ils assurent la continuité entre les tubes à vide poussé, où les courants sont toujours faibles, et les appareils électriques dits « à courants forts ».

Les transistrons ou relais au Germanium

Depuis quelques années, l'électronique n'utilise plus seulement les déplacements de charges électriques dans le vide et les gaz raréfiés, mais aussi dans les corps semi-conducteurs.

On connaissait depuis le début des radiocommunications les propriétés de la galène pour la détection, et, depuis 1925, l'emploi des *redresseurs secs* constitués par un assemblage de deux corps différents tels que le cuivre et l'oxyde cuivreux.

Ces études poursuivies systématiquement ont permis de créer des relais ayant les mêmes fonctions que les tubes à vide, mais constitués intégralement par une manière solide : le germa-

La sécurité des navires a conduit à l'emploi réglementaire de la radio. Ci-contre, salle radio du paquebot *Antilles*. Au fond, les émetteurs ; sur la table de trafic, deux récepteurs universels. L'opérateur dactylographie directement les messages qui lui sont transmis en morse.

nium. Ainsi sont nées les diodes, puis les triodes au germanium ou *transistrons* (appelés *transistors* par les Anglo-Saxons).

Les transistrons sont pratiquement incassables et leurs dimensions extrêmement réduites. Il en existe dont le volume est celui d'une lentille. Ils ont l'énorme avantage de ne comporter aucune cathode chaude ; par suite, la consommation d'énergie nécessaire à leur fonctionnement est minime et la durée des batteries dans les appareils portatifs s'accroît de façon considérable. Certains transistrons actuels débitent plusieurs dizaines de watts, et d'autres fonctionnent aux très hautes fréquences.

Grâce à eux, l'électronique devient un outil encore plus subtil et permet de créer des émetteurs ou des récepteurs de la taille d'une boîte d'allumettes, et de minuscules appareils de prothèse auditive.

Les transistrons ont ainsi apporté une contribution puissante au problème de la miniaturisation, puis de la *sub-miniaturisation* des circuits électroniques, un autre facteur de réussite dans ce domaine étant le développement rapide de la technique des circuits imprimés.

Parmi les derniers-nés de la série des relais au germanium, il faut citer la *photo-diode*, dont les propriétés varient en fonction du flux lumineux qui l'éclaire.

L'emploi du germanium a ouvert la voie à celui du silicium et à la « batterie solaire » dont les possibilités d'application n'ont pas encore été toutes reconnues.

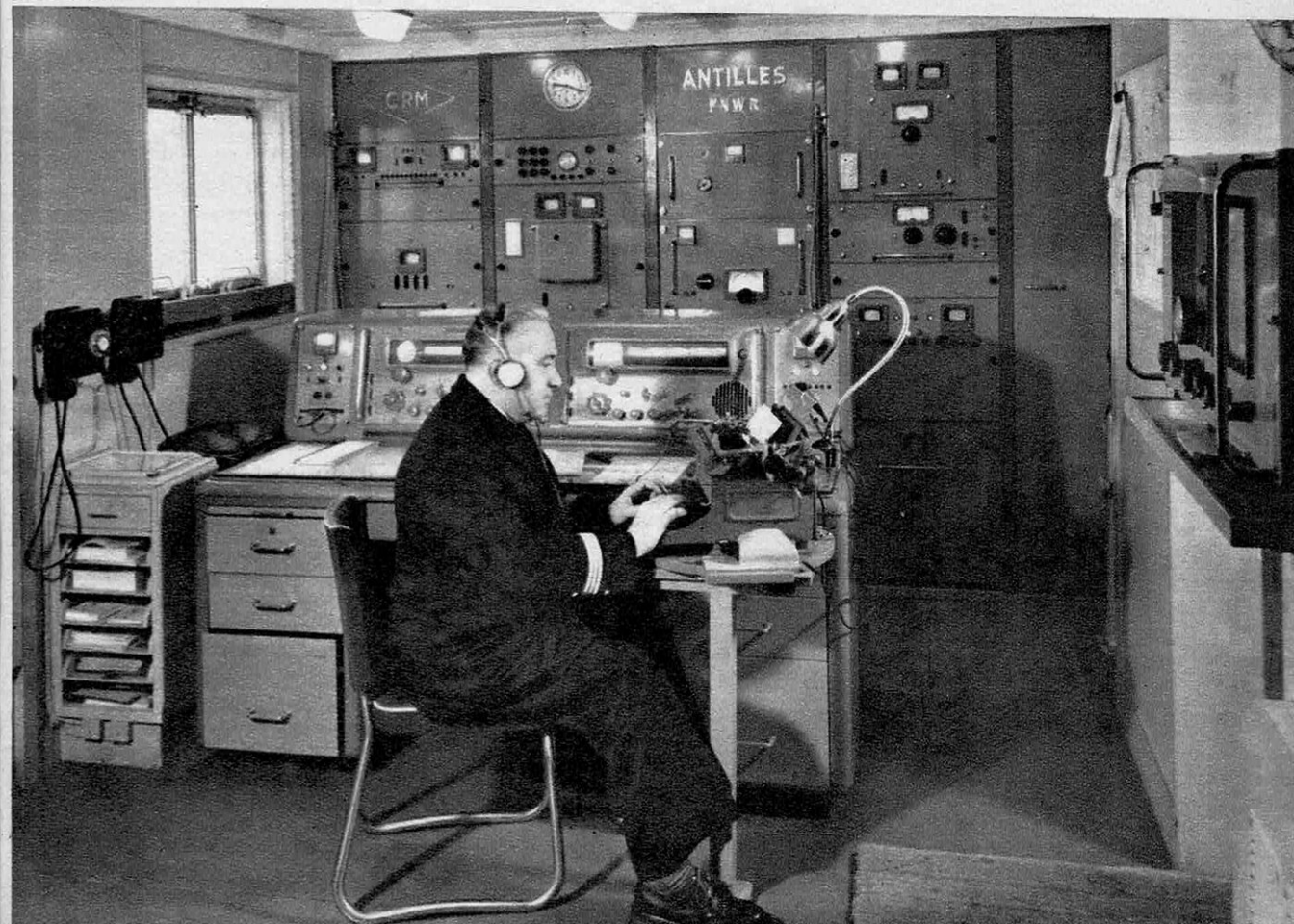
Des ondes centimétriques aux ondes lumineuses : les hyperfréquences

Les tubes électroniques, en eux-mêmes, ne sont rien sans les circuits qui les desservent et auxquels ils sont reliés. C'est l'ensemble tubes-circuits qui permet, suivant le montage adopté, de remplir une fonction précise.

En combinant divers étages, on peut ainsi amplifier un signal (manipulation télégraphique, courant microphonique de la voix ou de la musique), puis s'en servir pour moduler un courant sinusoïdal de haute fréquence (fréquence porteuse) qui sera émis dans l'espace ; à la réception, des transformations inverses, accompagnées d'amplifications successives, feront apparaître le signal initial.

On s'explique ainsi pourquoi l'électronique, créée en vue des télécommunications, fut pratiquement, jusqu'à la dernière guerre, rivée aux signaux de caractère sinusoïdal. L'amplification sonore, l'enregistrement et la reproduction phonographiques, dont on connaît l'extension, ne la détournèrent pas de cette voie : en première

Doc. C.S.F.





Doc. C.S.F.



Doc. C.F.T.H.

approximation, les courants sonores sont assimilables à une superposition de courants sinusoïdaux.

Mais l'électronique s'ouvrait ainsi assez peu de débouchés dans d'autres domaines, tel celui des applications industrielles.

Il faut bien se garder d'en conclure que la technique même des télécommunications n'a pas été l'objet d'une évolution extraordinaire : elle a notamment su utiliser des longueurs d'ondes de plus en plus courtes, ou, ce qui revient au même, des fréquences de plus en plus élevées.

Commencées avec les ondes longues (ondes kilométriques), les radiocommunications se poursuivirent entre les deux guerres sur les ondes hectométriques puis décamétriques. Avec la seconde guerre, les longueurs d'ondes s'abaissent encore, on en vient aux ondes décimétriques, centimétriques, puis millimétriques.

L'évolution de la radioélectricité est intimement liée à cette extension du spectre vers des rayonnements qui se rapprochent de plus en plus des ondes lumineuses.

Avec le professeur Leprince-Ringuet, qui situe à 1 mm la borne séparant le domaine des radio-

← **Au Makalu, l'expédition française** a assuré ses liaisons sur ondes métriques jusqu'à une altitude de 7 400 m et par un froid de -30° centigrades. Le poids du poste, pour une autonomie de 20 heures, n'est que de 3 kilogrammes.

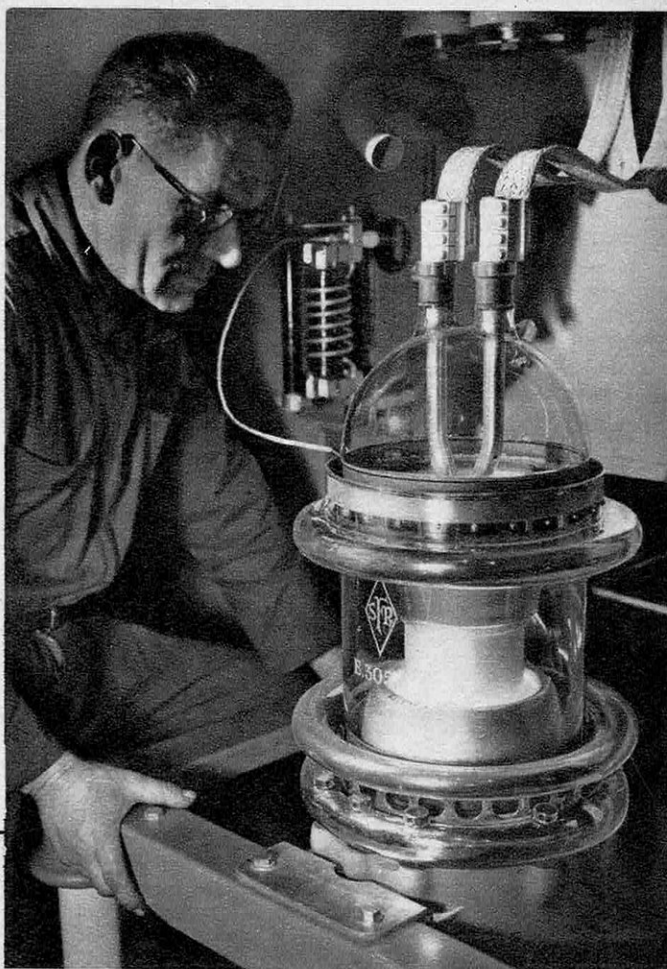
← **Voiture radio** de la police parisienne ; la liaison parlée est maintenue entre la patrouille et le commandement par un émetteur-récepteur à ondes métriques et modulation de fréquence.

électriciens de celui des physiciens, on peut établir, à partir des longueurs d'ondes, une échelle du développement des nations : « Un pays où les ondes ne descendent pas au-dessous de quelques mètres n'est pas civilisé. Tel autre, où les hyperfréquences sont des ondes de l'ordre de quelques centimètres, correspond déjà à une civilisation moyenne. Mais lorsqu'on arrive à une fraction de centimètre, ou même au millimètre, alors c'est de la haute civilisation. »

Le vaste empire des hyperfréquences

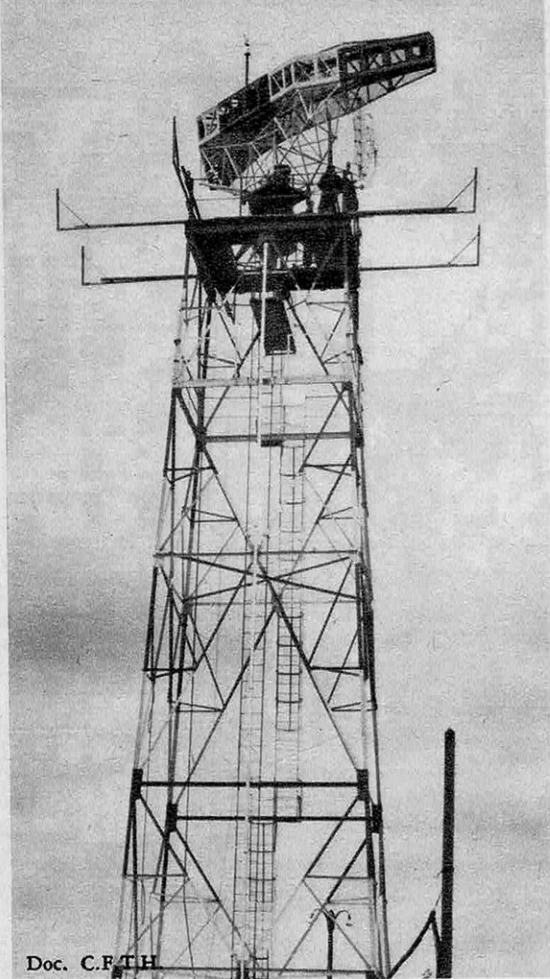
Les hyperfréquences permettent de transmettre une bien plus grande « quantité d'information », selon la terminologie de la cybernétique, que les ondes plus longues. En effet, les variations de fréquence autour de la fréquence porteuse conditionnent la quantité d'information transmise; à pourcentage égal de variations, une onde de 10 cm pourra transporter 1 000 fois plus d'information qu'une onde de

La Radiodiffusion Française transmet « Paris-Inter » sur ondes longues grâce à l'émetteur 250 kW d'Allouis (ci-dessous). A droite, l'une des triodes 300 kW équipant l'étage de puissance.



Clichés Lacheroy. Doc. S.F.R.





Doc. C.F.T.H.

La Navigation Aérienne utilise au Centre de Contrôle régional d'Orly un radar qui détecte à 150 km un bimoteur à une altitude de 12 000 m.

100 mètres, sa fréquence étant 1 000 fois plus élevée.

Les hyperfréquences ont ainsi permis à l'électronique de conquérir les câbles téléphoniques, terrestres ou sous-marins ; un câble coaxial, formé de deux conducteurs concentriques, guide de bout en bout une onde qui peut transporter des centaines de communications téléphoniques simultanées et la modulation extrêmement complexe de la télévision. Des amplificateurs intermédiaires (répéteurs) compensent les affaiblissements de propagation ; les transistors apportent une contribution fondamentale aux répéteurs immergés des câbles sous-marins.

Au lieu d'être guidée par un câble matériel, l'onde peut être projetée dans l'espace d'un point vers un autre, avec d'autant plus d'efficacité que les longueurs d'ondes très courtes autorisent des aériens fortement directifs, sans encombrement excessif. Dans les émissions usuelles (radiodiffusion, par exemple), tous les récepteurs peuvent être touchés dans un large rayon, mais chacun d'eux ne reçoit qu'une portion

infime d'énergie. Ici, les aériens directifs assureront au récepteur une fraction notable de l'énergie de l'émetteur : on aura constitué un *câble hertzien* ou faisceau multiplex.

Les liaisons s'assurent, de proche en proche, par des stations-relais espacées de 50 à 100 km, dont chacune doit être en vue de ses voisines immédiates : en effet, les hyperfréquences sont peu éloignées du domaine de l'optique et se propagent sensiblement en ligne droite comme les rayons lumineux ; les accidents de terrain les arrêtent facilement. Les modernes câbles hertziens connaissent donc, par un curieux retour des choses, les mêmes servitudes d'implantation que l'ancien télégraphe optique de Chappe.

Le radar

Hyperfréquences et tubes à rayons cathodiques ont donné naissance à deux branches très différentes de l'électronique : le radar et la télévision.

Le radar, initialement instrument militaire, équipe aujourd'hui les ports et aérodromes, de nombreux avions, tous les navires de quelque tonnage, et assure la surveillance des frontières.

Les radars traduisent, sur l'écran d'un oscillographe à rayons cathodiques, la carte instantanée de l'espace qu'ils couvrent ; des taches lumineuses représentent sur l'écran les obstacles



Doc. C.S.F.

Tour relais d'un faisceau hertzien à grande capacité (P.T.T.). Sur la plate-forme, les aériens correspondent aux 2 sens de communications.



Doc. C.S.F.

Le radar engendre

des successions de brefs trains d'ondes centimétriques, émis, puis reçus très affaiblis après réflexion sur un obstacle, par un aérien mobile à grande directivité. L'aérien au premier plan, ci-dessus, fournit le gisement et la distance de l'obstacle ; le second fournit le site. Les déterminations sont observées sur des écrans d'oscillographes (ci-contre).



fixes ou mobiles qui ont réfléchi vers le radar une partie de son rayonnement.

Ce rayonnement se compose de « tops » brefs (leur durée est de l'ordre du millionième de seconde) et espacés ; chaque « top » libère une énergie importante : par exemple, les radars à longue portée, qui fonctionnent sur des longueurs d'onde comprises entre 10 et 25 cm, peuvent rayonner des puissances de crête supérieures à 5 000 kW.

Le radar de l'aéroport d'Orly permet de distinguer un bimoteur moyen à une distance de 150 km.

Les radars ont été combinés à des fins militaires avec des systèmes automatiques variés, à commande électronique, qui leur permettent de « suivre » une cible mobile (avion ou fusée par exemple). Dans les applications militaires, il est désormais classique de transmettre les coordonnées et la vitesse de la cible, déterminées par le radar, à des calculatrices qui en déduisent les éléments du tir et provoquent le pointage automatique des canons par des servomécanismes appropriés. Les obus peuvent être pourvus d'une fusée de proximité, dispositif électronique qui les fait exploser au voisinage de la cible. Ainsi, du

guet à l'explosion de l'obus, l'électronique permet un automatisme intégral.

Ne quittons pas le domaine du ciel sans signaler les multiples systèmes électroniques utilisés dans l'aviation. Il faut citer les altimètres, les détecteurs d'obstacles montés à bord des appareils et qui utilisent les principes du radar, les radiocompas électroniques et les nombreux systèmes de radioguidage et d'atterrissage sans visibilité.

Les futures étapes de la télévision

Autre fief des hyperfréquences, la télévision a été constamment en vedette depuis plusieurs années. En 1954, aux U.S.A., ont commencé les

programmes publics de télévision en couleurs. D'autre part, la télévision dite industrielle (ou en circuit fermé, avec liaison par câble coaxial entre la caméra et les téléviseurs) n'a cessé d'accroître le nombre de ses applications pratiques. Que ce soit à l'usine, dans le commerce, au laboratoire, à l'hôpital ou au fond des mers, elle ne fera que se développer, surtout avec l'introduction de la couleur.

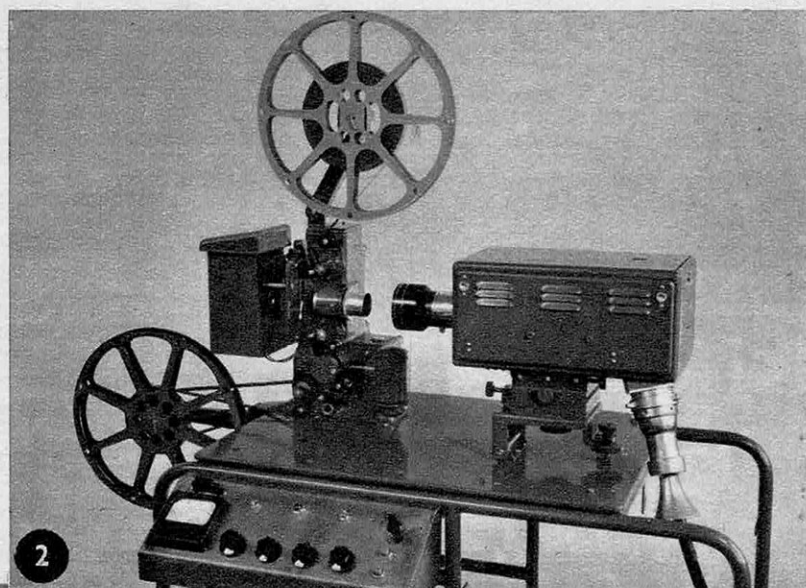
Deux nouvelles créations doivent retenir spécialement l'attention : la réalisation d'un tube cathodique plat, pas plus encombrant qu'un tableau, et qui peut être sorti aisément du récepteur et accroché au mur ; et l'enregistrement sur bandes magnétiques des programmes de télévision, selon le principe du magnétophone. On

LA TÉLÉVISION EN PLEIN ESSOR

La télévision moderne est née en 1936 avec les émissions anglaises sur 405 lignes. La Radiodiffusion Française a adopté 819 lignes, ce qui permet une remarquable finesse d'image; les autres images européennes utilisent 625 lignes. L'émetteur transmet les variations de luminance au long des lignes successives, et, en outre, des signaux de synchronisation qui assurent la stabilité des récepteurs lors des changements de ligne et d'image. Les « temps de pose » étant extrêmement brefs, la sensibilité des caméras a fait l'objet de grands progrès (ériscope de M. de France, image-orthicon et vidicon R C A). Des images lumineuses peuvent être reçues sur les écrans de tubes cathodiques atteignant 60 ou 75 cm de diamètre, et même être projetées sur grand écran de cinéma. Les clichés représentent : 1, une caméra type vidicon à viseur électronique ; 2, une caméra de télécinéma ; 3, un relais mobile qui permet de créer des liaisons temporaires entre la caméra et l'émetteur ; 4, la récente station de télévision du Mont-Pilat, d'une puissance de 20 kilowatts.



Doc. C.S.F.



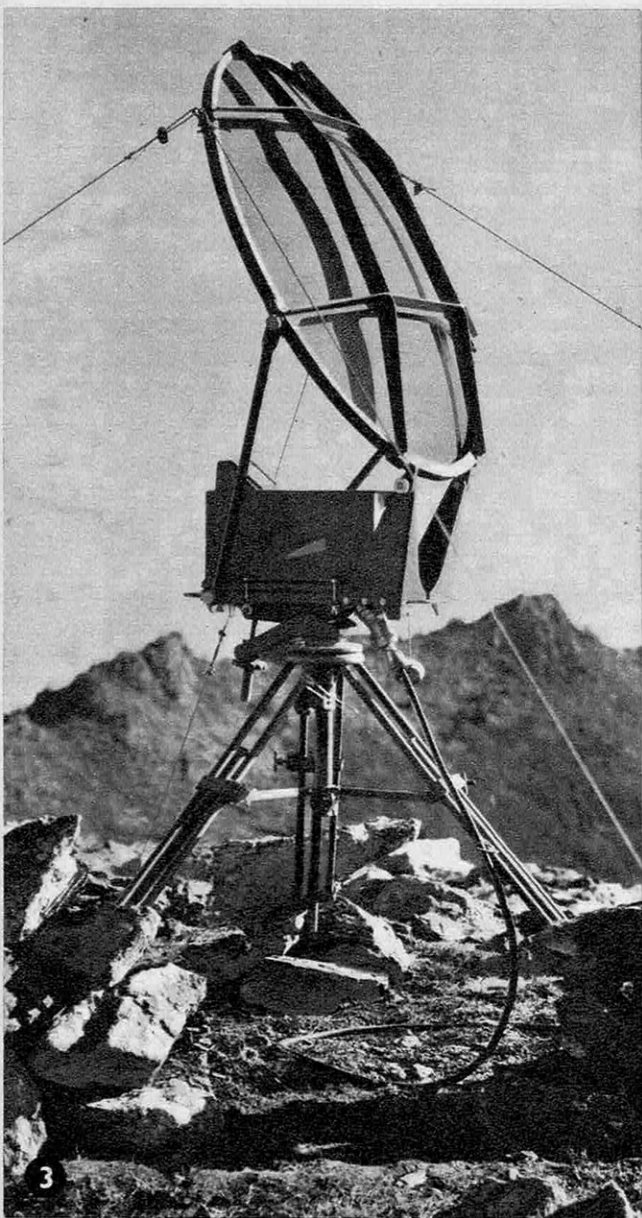
sait que cet appareil sert déjà couramment à l'enregistrement des fréquences audibles et constitue à lui seul une des grandes réalisations de l'électronique, aux incidences considérables sur la vie privée et professionnelle. C'est encore un atout majeur dans la recherche de la *haute fidélité* pour les enregistrements sonores.

« Mémoriser » sur bande une émission de télévision, pouvoir ainsi animer l'écran de son téléviseur à volonté, comme on le fait actuellement pour le seul domaine sonore, tel est l'enjeu. Il ne vise pas moins qu'à créer une forme électronique de la pellicule cinématographique, qui présentera l'avantage considérable de pouvoir être « visionnée » dès l'enregistrement et effacée à volonté.

Le monde mystérieux des ultrasons

On peut communiquer à l'air des vibrations de fréquences plus élevées que celles qui sont sensibles à notre oreille et qui ne dépassent guère 20 000 per/s. Ce sont des ondes élastiques, ou ondes de pression. Elles sont donc nettement distinctes des ondes électromagnétiques. On les appelle des *ultrasons*. Leur vitesse de propagation est de 331 m/s dans l'air, de 1 450 m/s dans l'eau et de 5 100 m/s dans l'acier.

Jusqu'à une date assez récente, les ultrasons n'étaient émis que par des moyens mécaniques. On connaît par exemple le sifflet de chasse ultra-sonore qui est entendu par le chien, mais non par son maître. Il n'est guère possible avec



des sirènes pneumatiques de dépasser 30 000 p/s environ.

L'intervention de l'électronique a permis de porter cette frontière à 50 millions de périodes/s. Comment produire ces ultrasons? D'abord, en engendrant par voie électronique des oscillations électriques (par exemple au moyen d'un oscillateur piloté par quartz), puis en appliquant ces oscillations à un « transducteur », c'est-à-dire à un corps capable de les transformer en des vibrations mécaniques qu'il communique au milieu ambiant.

Certaines applications des ultrasons sont bien connues. Tel est le cas du sondage sous-marin, de la détection des bancs de poissons et de la télécommunication sous-marine. Ici les ultrasons jouent, dans l'eau, le rôle des ondes hertziennes dans l'air.

Il existe encore bien d'autres applications industrielles ou médicales (usinage, décapage, précipitation des poussières, destruction des cellules pathogènes, etc.).

Mais sait-on qu'un œuf peut être cuit et un

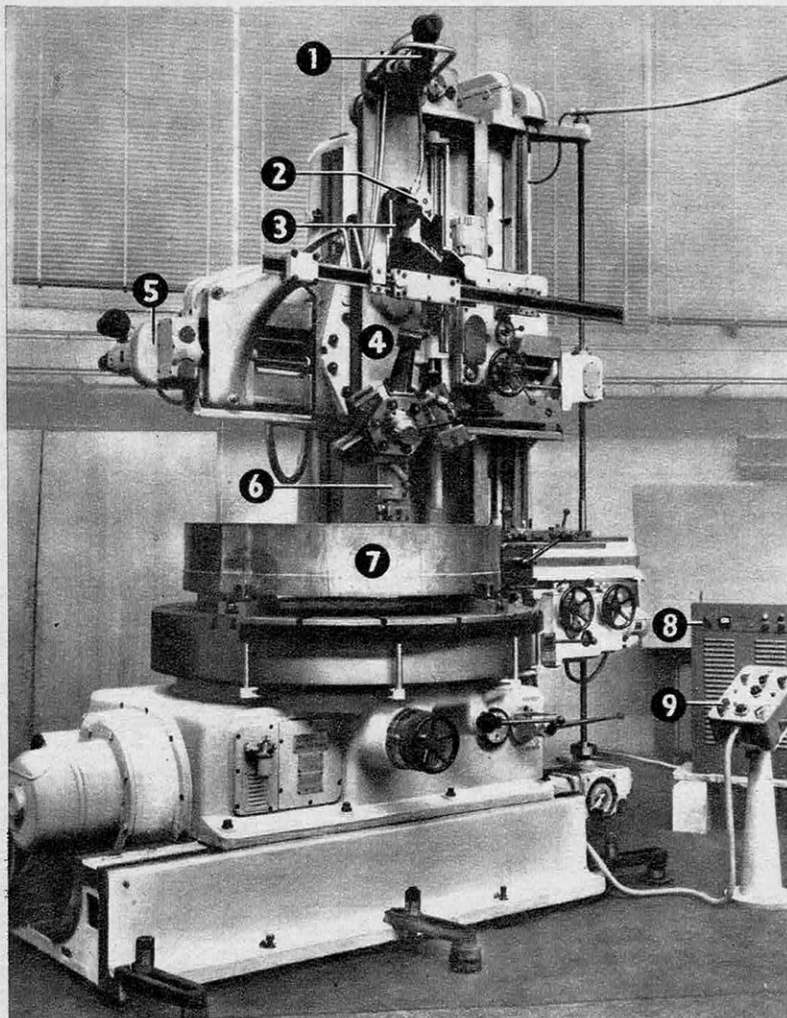
coton enflammé s'ils sont placés dans un faisceau d'ultrasons? qu'en faisant converger à la surface d'un liquide un faisceau ultrasonore immergé on provoque l'apparition d'un jet d'eau? qu'un faisceau stationnaire d'ultrasons permet de maintenir dans l'air de petits objets légers tels que des morceaux de liège?

Peut-être ces simples curiosités seront-elles demain à la base de procédés industriels.

La cellule photoélectrique

L'une des premières et des plus importantes associations entre le monde des électrons et celui des photons a été réalisée par un instrument aujourd'hui bien connu : la *cellule photoélectrique*. Ses applications sont innombrables grâce au développement des étages amplificateurs qui rendent utilisable le débit souvent faible de la cellule.

La cellule photoélectrique, branchée en tête d'un système de commande automatique, commande l'ouverture des portes ou la mise en

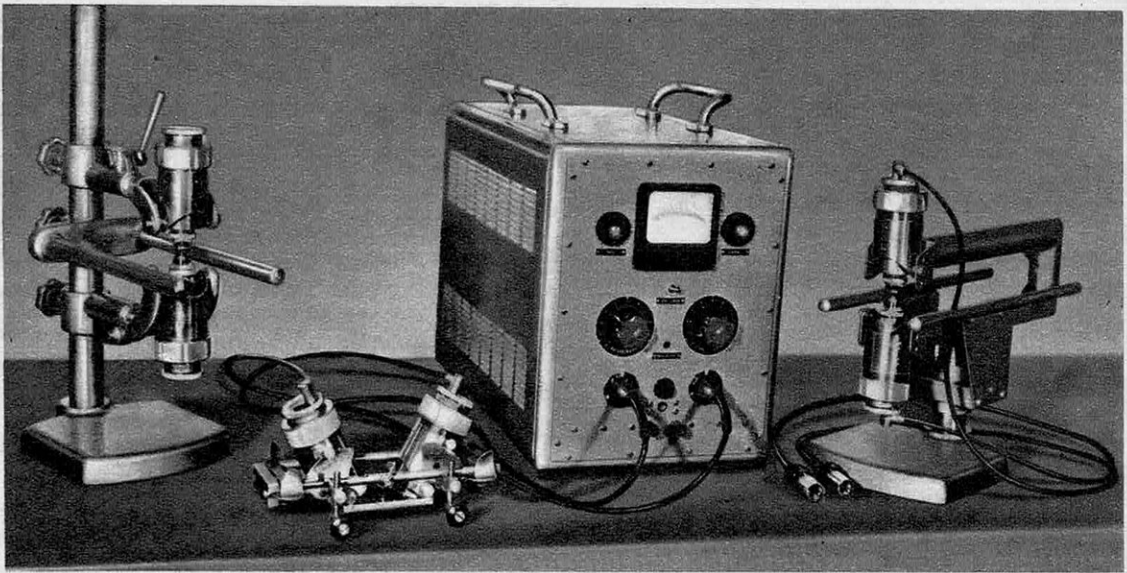


Commande électronique

d'un tour vertical par le duplicatron S E A. Un palpeur sensible à quelques microns et rigidement lié à un outil asservit les moteurs de déplacement vertical et horizontal, qui lui font circonscrire un gabarit; l'outil suit une trajectoire parallèle en conservant une vitesse curviligne constante; la méridienne de la pièce usinée reproduira automatiquement le gabarit avec une très haute précision.

1. Moteur de déplacement vertical (asservi).
2. Palpeur.
3. Gabarit.
4. Chariot liant l'outil au palpeur.
5. Moteur de déplacement horizontal (asservi).
6. Porte-outil.
7. Pièce à usiner.
8. Meuble d'asservissement électronique.
9. Pupitre de commande.

Cliché Berthiez



Cl. Lehfeldt

Les ultrasons permettent l'examen des tôles. A droite et à gauche, deux types de pinces pour examen par transmission des ultrasons ; au centre, une tête en V servant à l'examen des soudures.

marche d'escaliers mécaniques, protège contre le vol, l'incendie ou les accidents (notamment sur les machines-outils), commande l'éclairage des villes à la tombée de la nuit, etc.

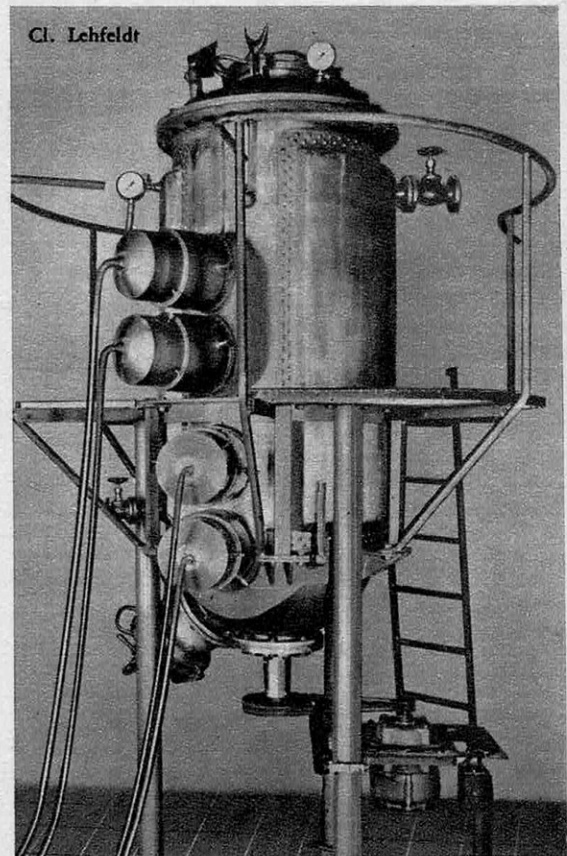
Elle permet aussi, en « explorant » les blancs et les noirs d'un texte ou d'un dessin, d'en assurer la transmission en « fac-similé » sur les voies téléphoniques et radio-électriques.

Elle est à la base d'un grand nombre d'appareils de mesure physique, depuis le posemètre jusqu'au spectro-photomètre, au spectro-colorimètre, et à l'intégrateur de lumière.

L'optique électronique

Les liens entre l'optique et l'électronique sont donc étroits : une cellule photo-électrique transforme un éclaircissement en courant ; dans un oscillographe à rayons cathodiques, les électrons qui frappent une préparation fluorescente la rendent lumineuse.

Mais leurs liens ne s'arrêtent pas là. Les électrons qui se propagent dans le vide sont déviés par les champs électrostatiques ou électromagnétiques, propriété déjà mise en application par les oscillographes, et il est possible à des « lentilles » électriques de faire converger ou diverger un faisceau d'électrons. D'où l'édification d'une science nouvelle : l'optique électronique. Son application la plus complète est la lunette électronique. Eclairons un paysage avec de la lumière infrarouge, donc invisible, et formons avec une lunette une image (invisible) sur une couche photosensible. Chaque point éclairé en infrarouge émettra des électrons ; ces électrons seront focalisés, et donneront une image sur un petit écran analogue à ceux des oscillographes : par l'intermédiaire des électrons, on



Cl. Lehfeldt

Cuve de nettoyage aux ultrasons. On remarquera les quatre têtes ultrasonores alimentées par des câbles reliés au générateur et, à la partie inférieure, le moteur d'agitation à axe vertical.

aura réalisé un convertisseur d'image qui substitue une image visible à une image invisible.

La lunette électronique permet de voir la nuit, sans être vu, les corps qu'on éclaire avec un projecteur infrarouge, et ceux qui, en raison de leur température, ont spontanément un rayonnement infrarouge notable.

Des convertisseurs d'image servent également à rendre visibles les rayons X ou à renforcer la brillance des images données par une lumière visible.

Une autre application de l'optique électronique est le microscope électronique qui révèle la structure intime des alliages, les molécules géantes et surtout la flore biologique des bacilles et des ultravirus jusqu'ici inaccessibles à l'œil humain.

Les redoutables rayons X

Si on projette un faisceau d'électrons sur un obstacle métallique ou « anticathode », on provoque l'apparition de rayons X, rayonnement électromagnétique de longueur d'onde bien plus courte que celle des rayons lumineux.

Les propriétés particulières des rayons X à l'égard de la matière inerte et vivante leur ont assuré une multitude d'applications.

Ici, un physicien met en évidence la structure cristalline ou l'architecture moléculaire d'un corps. Ailleurs, un ingénieur contrôle une soudure et détecte les pailles au moyen d'une radiographie. Là encore, une tumeur cancéreuse est détruite par radiothérapie, et l'on connaît l'importance médicale de la radioscopie et de la radiographie.

Mais la technique traditionnelle des rayons X est sans doute sur le point d'être dépassée.

Le développement des recherches nucléaires

a en effet contribué à la création de machines accélératrices de particules, capables de leur communiquer des énergies s'élevant à plusieurs milliards d'électrons-volts. Ainsi est née une nouvelle branche de l'électronique, où les « tubes à vide » ont cette fois des dimensions considérables et font appel à des électroaimants de plusieurs centaines de tonnes, capables de créer des champs magnétiques d'une intensité fantastique. Le *cyclotron*, le *bêta-tron* et le *synchrotron* sont les plus connus de ces accélérateurs de particules qui permettent de bombarder une anticathode avec un faisceau dont la force vive est sans commune mesure avec celle du flux cathodique d'un tube ordinaire à rayons X.

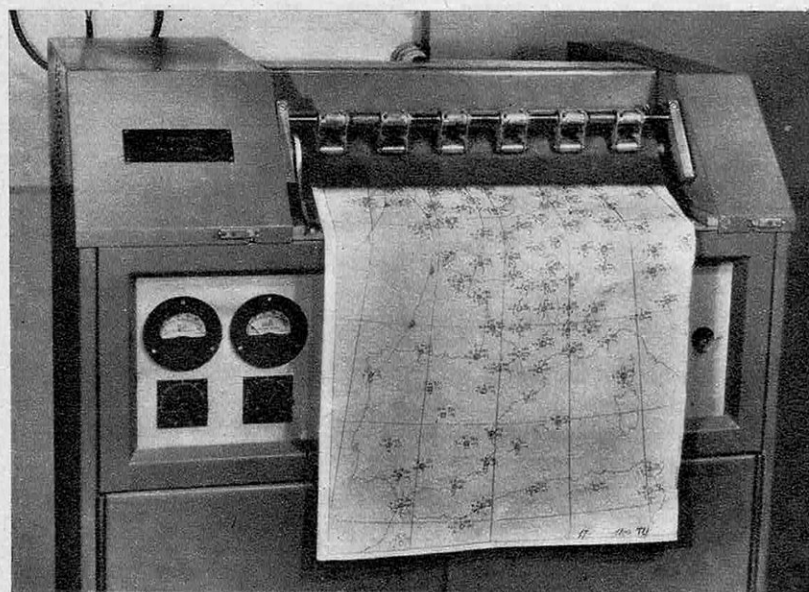
Le rayonnement du synchrotron du Bureau of Standards de Washington permet de radiographier un objet protégé par une plaque de 45 centimètres d'acier ou par 2,5 mètres de béton !

Dans le domaine thérapeutique, ces rayonnements ouvrent de nouveaux espoirs dans la lutte contre le cancer. En effet, ils ont une action destructrice maximum à l'intérieur des tissus, et leur emploi paraît donc tout indiqué pour la destruction des tumeurs profondes.

L'électronique et les laboratoires

L'extraordinaire variété des tubes électroniques et des circuits auxquels ils peuvent être associés, le fait que le flux électronique est pratiquement dépourvu d'inertie, qu'il peut être produit avec des puissances très faibles et provoquer néanmoins, grâce à une succession de relais, des effets très importants, toutes ces raisons parmi bien d'autres ont fait de l'électronique un outil indispensable dans les laboratoires.

Les appareils électroniques de mesure utilisés

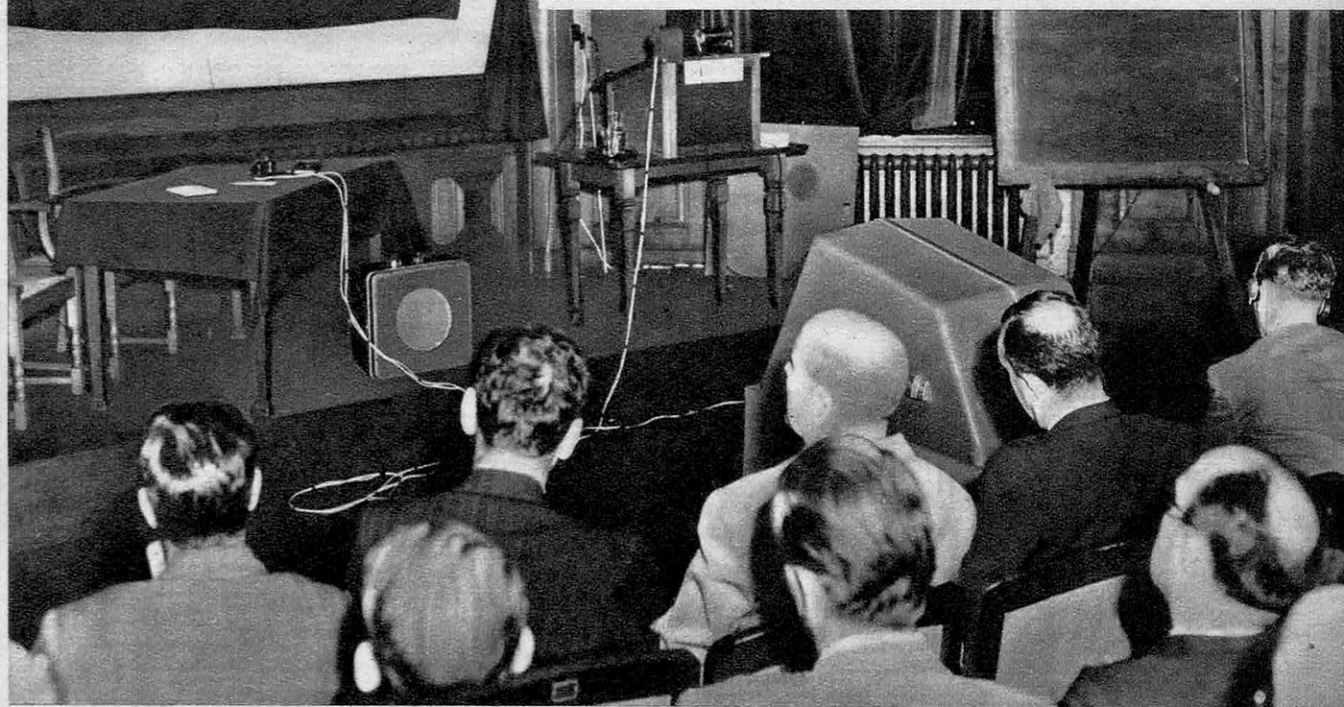
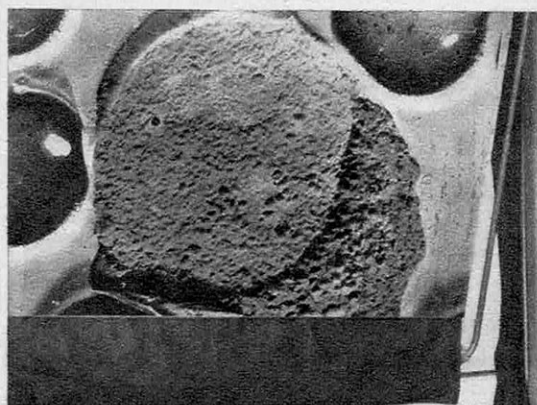
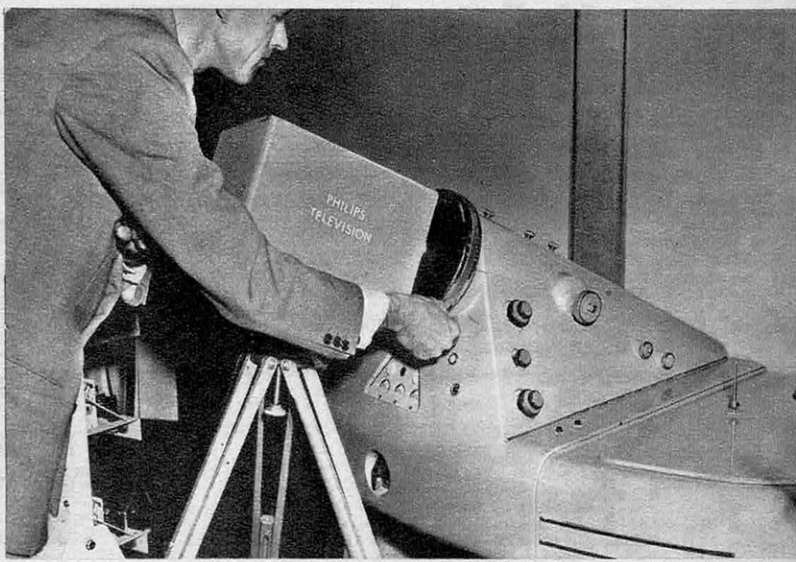
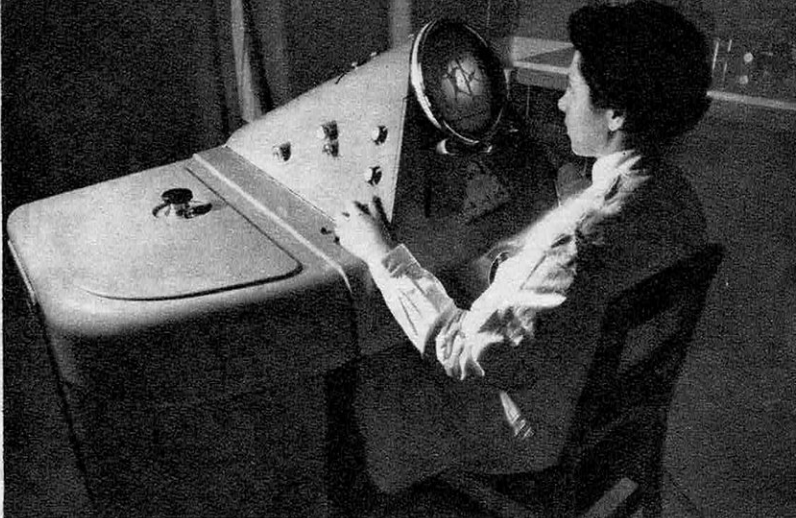


Le fac-similé assure à distance la reproduction conforme des documents. L'original est exploré en hélice par une cellule photoélectrique, dont les indications, transmises par voie téléphonique ou radio, sont traduites en noir et blanc par un stylet sur un cylindre récepteur synchronisé. A gauche, réception automatique d'une carte météorologique.

Arch. Photogr. de la Météo N°10

L'ÉLECTRONIQUE RÉVÈLE VIRUS ET MICROCRISTAUX

Le microscope électronique, dont le pouvoir séparateur dépasse le millièment de micron, est cinq cents fois plus puissant que le microscope ordinaire; le grossissement total, après agrandissement photographique, peut atteindre plusieurs centaines de mille, d'où d'immenses progrès en cristallographie, en métallurgie des surfaces, en étude des textiles, en biologie (gènes, virus), etc. A droite, un microscope électronique (grossissement direct 80 000). Plus bas, une caméra de télévision reprend l'image d'un globule rouge du sang, projetée sur grand écran lors du Congrès d'hématologie d'Amsterdam.



dans toutes les branches de l'activité humaine ne se comptent plus; on les rencontre pour la mesure des tensions, des courants, des phénomènes magnétiques, des températures, des forces, des masses, des temps, des longueurs, des épaisseurs, des vitesses, des rayonnements, des bruits.

En dehors de leurs applications aux mesures, à l'observation par l'oscillographe ou à l'enregistrement, les techniques de l'électronique autorisent des recherches scientifiques dans des domaines fondamentaux placés à l'avant-garde de la physique : en astronomie, étude des rayonnements hertziens et infrarouges des objets célestes; en géophysique, étude de la troposphère et de l'ionosphère; le microscope électronique met en évidence les ondes de la mécanique ondulatoire; les accélérateurs de particules révèlent la variation de la masse avec la vitesse, annoncée par la théorie de la relativité; les cellules photoélectriques vérifient l'existence des quanta de lumière, et les transistors font intervenir l'électron positif. L'électronique, qui doit tant à la science pure, lui rend largement ses bienfaits.

En médecine, l'électroencéphalogramme et l'électrocardiogramme permettent aujourd'hui un diagnostic précis des lésions du cerveau et du cœur. Ne quittons pas le domaine médical sans signaler la *diathermie* (échauffement préférentiel d'un organe par rayonnement de haute fréquence), susceptible de guérir les rhumatismes, et le *bistouri électrique* qui assure, au moyen d'un champ haute fréquence intense, la coupure franche par éclatement des cellules et la coagulation du sang dans les vaisseaux.

Dans l'industrie

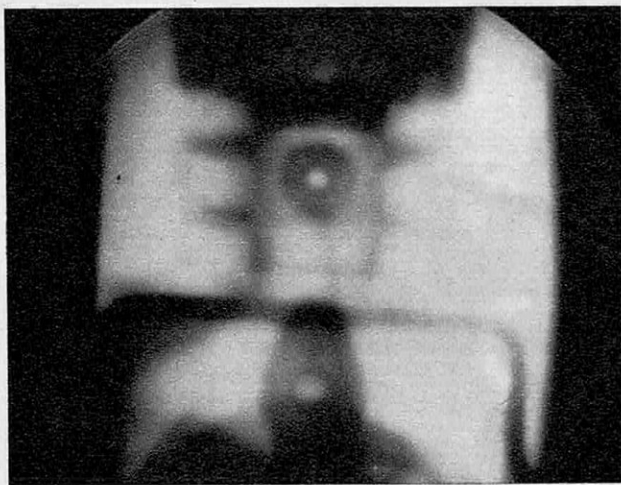
Les courants de haute fréquence assurent le chauffage électronique des métaux, par induction (fusion, trempe, soudage, recuit...), ou des isolants par pertes diélectriques (collage des bois, vulcanisation du caoutchouc, soudage ou moulage des matières plastiques ou du verre), sans oublier les récentes cuisinières domestiques à haute fréquence.

Les thyristors permettent la commande des moteurs et des machines à souder électriques.

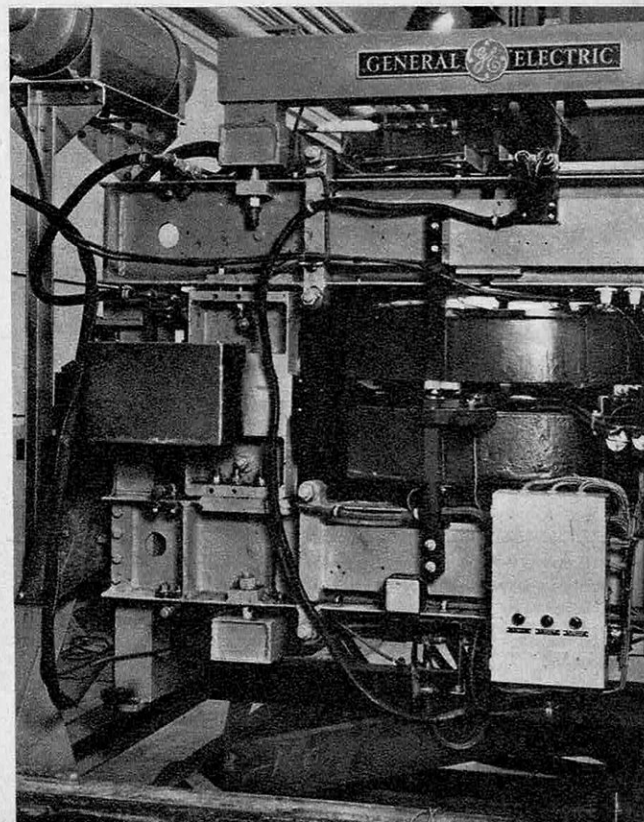
L'électronique permet aussi d'agir de façon plus subtile que les systèmes mécaniques en assurant l'exécution automatique d'un programme : par exemple, d'après un modèle réduit exploré par un palpeur, des machines à reproduire façonnent avec autant de rapidité que de précision des pièces aussi complexes que les pales de turbines; mieux encore, le programme d'exécution peut être déterminé non par un modèle matériel, mais par l'enregistrement de signaux sur une bande de magnétophone.

On franchit un pas de plus en faisant comparer, à chaque instant, l'ordre à exécuter (par exemple une cote à obtenir) à son exécution, d'où un signal d'erreur dont l'action automatique tend en permanence à réduire l'erreur à zéro.

Asservissement, télécommande, autocontrôle : idées maîtresses qui dominent l'électronique industrielle et lui donnent une importance chaque jour plus grande pour la commande électronique des machines-outils, des meules, des bobineuses, etc., le contrôle et la régulation des centrales thermiques, des fours métallurgiques, des laminoirs, des colonnes de distillation, des taux d'humidité dans les papeteries, etc.



Doc. National Bureau of Standards



Cet automatisme atteint un degré supérieur, l'*automation*, lorsque l'évolution du phénomène est canalisée suivant un *programme* déterminé, fixé par l'homme et généralement conservé par une *mémoire*, l'exécution se déroulant sans intervention humaine.

Toutes les fonctions de la production (usage, transfert des pièces, contrôle) pouvant être assurées automatiquement, l'usine automatique est née.

La plus sensationnelle réalisation de ce genre demeure, aux Etats-Unis, l'opération Tinkertoy, permettant la fabrication, entièrement automatique et en grande série, des appareils électroniques les plus complexes, chaque circuit étant

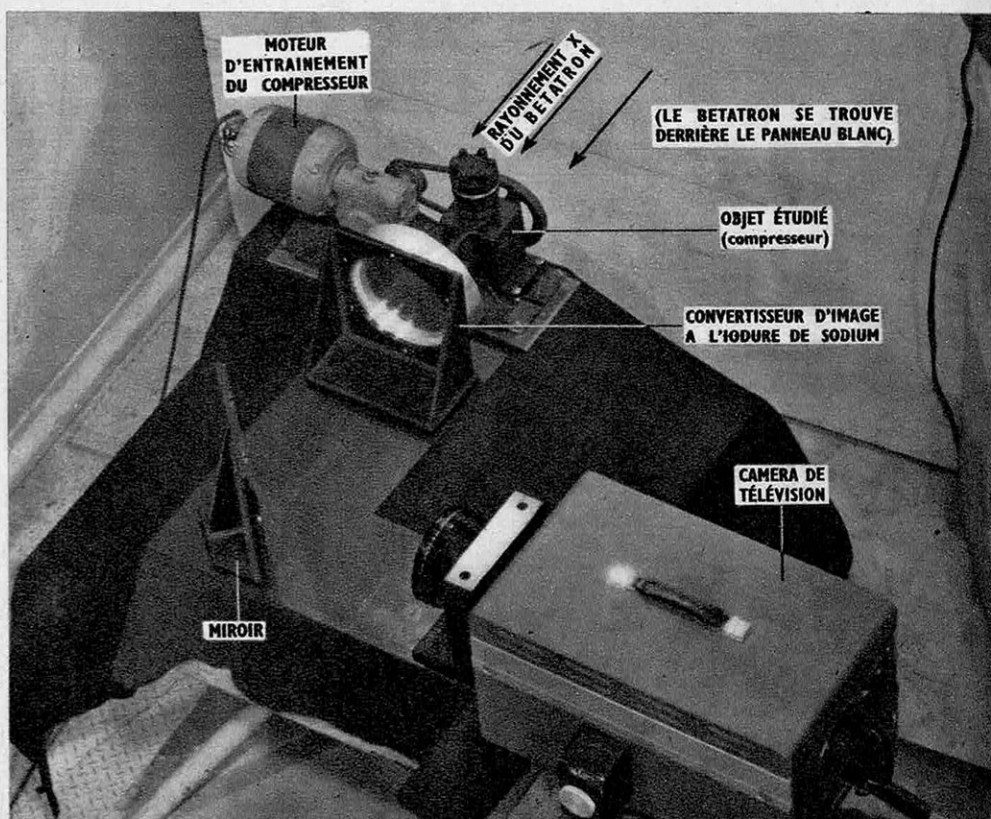
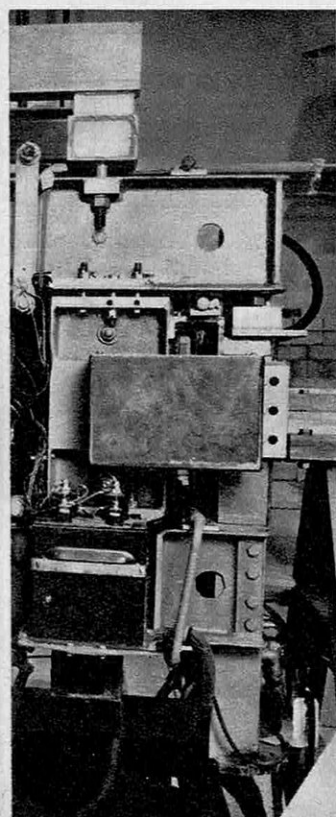
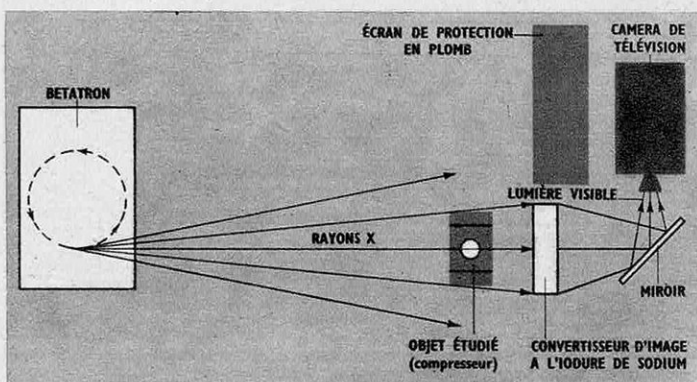
constitué par un assemblage de plaquettes. Avec l'introduction de ces méthodes, le prix de revient d'un récepteur radioélectrique classique a pu être réduit de 45 % ! Aux U.S.A., la firme Motorola a pu fabriquer 1 000 radiorécepteurs par jour dans un atelier automatique nécessitant deux personnes seulement.

Machines calculatrices arithmétiques et analogiques

Le développement des techniques nucléaires a répandu l'emploi des *détecteurs de radiation* dont le plus célèbre est le tube de *Geiger-Muller*. Ils comportent le plus souvent un système de comptage d'impulsions électriques dé-

Accélérateurs de particules et rayons X

Le bêtatron du Bureau National des Standards de Washington (50 millions d'électrons-volts) produit des rayons X assez pénétrants pour l'étude interne d'un compresseur en mouvement (à gauche). A droite, le schéma et le dispositif utilisés : les rayons X, après avoir traversé le compresseur, sont rendus visibles par un convertisseur d'image à l'iodure de sodium. Une caméra de télévision industrielle transmet à l'observateur l'image qui montre le piston et la bielle en déplacement dans le cylindre et le carter.





Doc. Philips

Four haute fréquence à induction. Le poinçonnage des flasques de tambours de films donne naissance au bord des disques à des tensions qui sont ensuite éliminées par le recuit H. F.

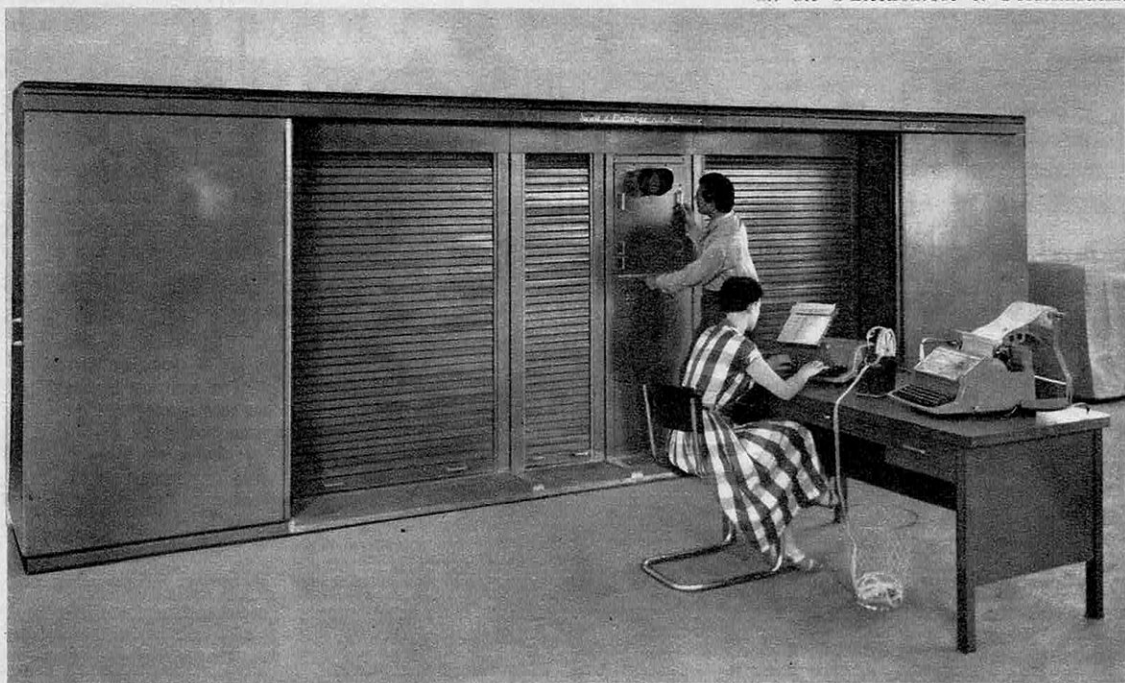
clenchées par le rayonnement qui les traverse.

La technique des compteurs d'impulsions joue un rôle essentiel pour les *calculatrices électroniques*, dans lesquelles les nombres manipulés (traduits dans le « système binaire » où 1, 2, 3, 4, 5... s'écrivent 1, 10, 11, 100, 101...) sont constitués par un ensemble d'impulsions électriques.

Les instructions peuvent être introduites au moyen de cartes perforées ou de bandes magnétiques. Les données, ainsi que les résultats partiels devant être repris à un stade plus avancé du calcul, sont enregistrés dans des « mémoires » de structures très variées, mémoires à tubes de mercure et ondes ultrasonores stationnaires, mémoires électrostatiques à tubes cathodiques, mémoires à diodes et capacités, mémoires à tores ou tambours magnétiques tournants. Des mémoires de ce dernier type, utilisées sur une calculatrice IBM, permettent d'enregistrer 60 000 chiffres sur un tambour de 30 cm dont la surface est magnétisée et qui tourne à 12 000 tours. Comme la machine peut comporter 30 tambours de ce type, sa capacité de mémoire est de 1 800 000 chiffres !

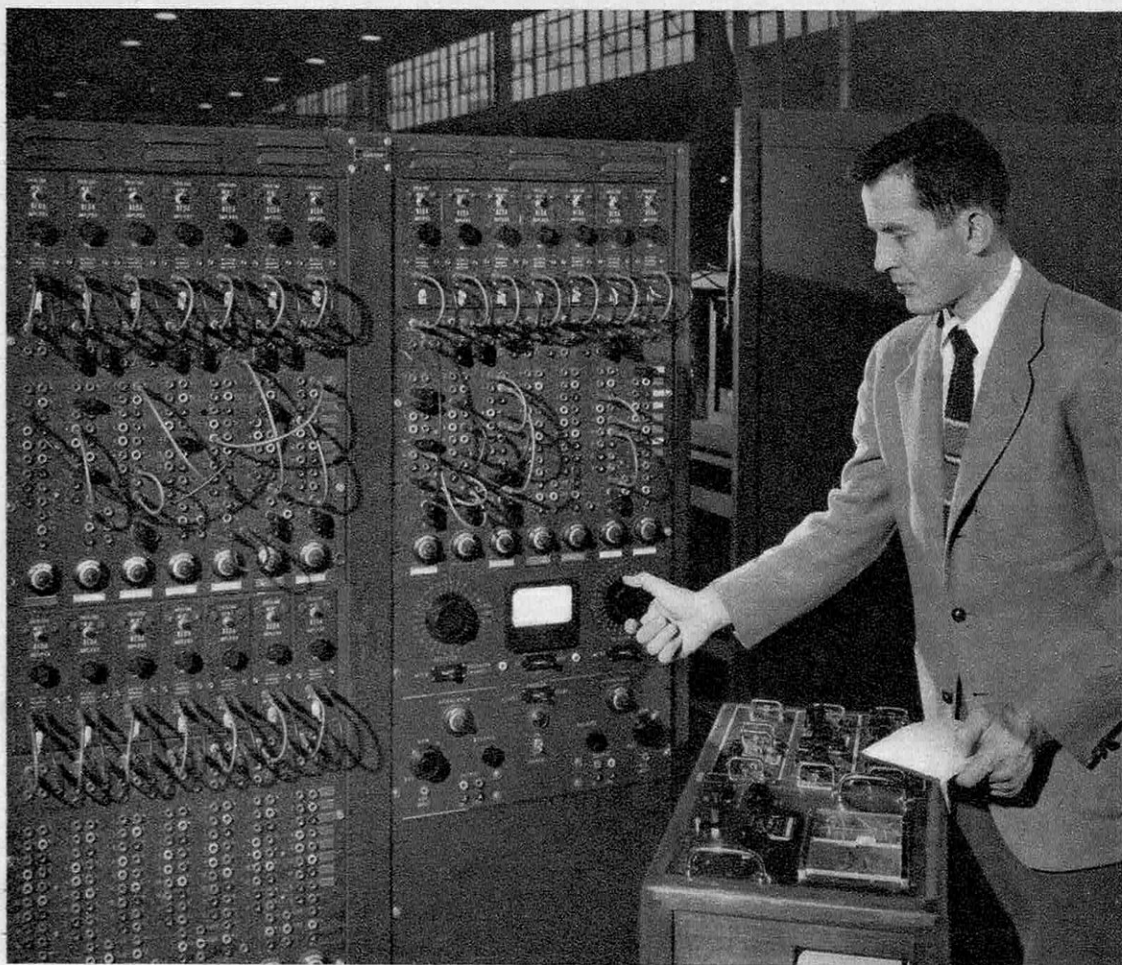
Le côté le plus extraordinaire de ces machines est la rapidité vertigineuse des opérations arithmétiques qu'elles peuvent effectuer. Ainsi, la calculatrice américaine SWAC du Bureau of Standards, qui comprend 2 600 tubes et 3 700 diodes au germanium (ce qui est peu), est capa-

Cl. Sté d'Electronique et d'Automatisme



Cette calculatrice électronique française comporte environ 800 tubes et 8 000 diodes au germanium. Elle résout les systèmes d'équations

algébriques, transcendantes, différentielles ou aux dérivées partielles : elle s'applique à la recherche opérationnelle et à l'analyse des statistiques.



Les problèmes les plus complexes et les plus variés, que l'ingénieur ne peut aborder par le calcul, peuvent être résolus par les calculateurs

analogiques. Ci-dessus, un ingénieur « affiche » les données sur l'appareil du Batelle Institute ; la solution sera fournie sous forme de graphique.

ble de réaliser 16 000 additions ou 2 600 multiplications par seconde.

Une autre calculatrice, l'I.B.M. 705, peut, en une minute, effectuer 504 000 additions ou soustractions, 75 000 multiplications et 33 000 divisions.

Ces machines peuvent rendre des services remarquables dans de nombreux domaines.

La *machine à épeler* peut, en explorant les caractères d'un texte imprimé, émettre un son correspondant à chaque lettre et permettre la lecture aux aveugles. A l'échelon supérieur, la machine sait associer les syllabes et prononce les sons correspondants, qui ont été enregistrés dans sa « mémoire » à partir d'une voix humaine.

Avec les grandes calculatrices, on peut même *traduire* un texte d'une langue étrangère dans une autre langue. Bien sûr, il ne s'agit que d'une traduction approchée. Elle permet néanmoins une première connaissance d'un texte et peut être très utile pour le passage d'une langue

à une autre très différente, par exemple du russe ou du japonais au français.

Dans le domaine de la recherche scientifique ou technique, les machines calculatrices du type arithmétique (aussi appelées « machines digitales », de l'anglais « digit » : chiffre) peuvent être concurrencées par une autre catégorie d'appareils : les *machines analogiques*. Ici, on constitue un ensemble de circuits électriques qui sont régis par les mêmes lois que le phénomène à étudier.

Avec ce genre d'appareils, on peut traiter très rapidement et avec une bonne approximation un grand nombre de problèmes dont la solution mathématique rigoureuse serait trop longue ou trop complexe : calcul des systèmes asservis, stabilité du vol des aérodynes, problèmes de balistique, d'optique, étude des phénomènes transitoires sur les réseaux électriques ou dans les systèmes hydrauliques, problèmes de résistance des matériaux, d'acoustique, etc.



Ce calculateur analogique, utilisé par l'armée française pour le réglage du tir antiaérien,

offre également des possibilités d'emploi très étendues dans le domaine technique et industriel.

Les machines analogiques fournissent ainsi directement une solution là où il était nécessaire, il y a quelques années seulement, de recourir à de coûteuses approximations, par exemple en expérimentant sur des modèles réduits.

Ordinateurs et recherche opérationnelle

Avec les « ordinateurs », la machine est en outre capable de prendre des décisions logiques. Autrement dit, en cours d'opération, l'ordinateur

choisit de lui-même entre tel ou tel sous-programme, compte tenu des résultats qui viennent d'être obtenus.

Cette faculté de *choix*, ce pouvoir de décision qui apparaît en fait comme un réflexe conditionné, évoque le fonctionnement de l'esprit humain. En fait, l'étude de cette comparaison, vue sous l'angle de la théorie de l'information, constitue une branche très importante de la cybernétique. Il semble cependant que des excès aient été commis. Le terme *cerveaux électro-*



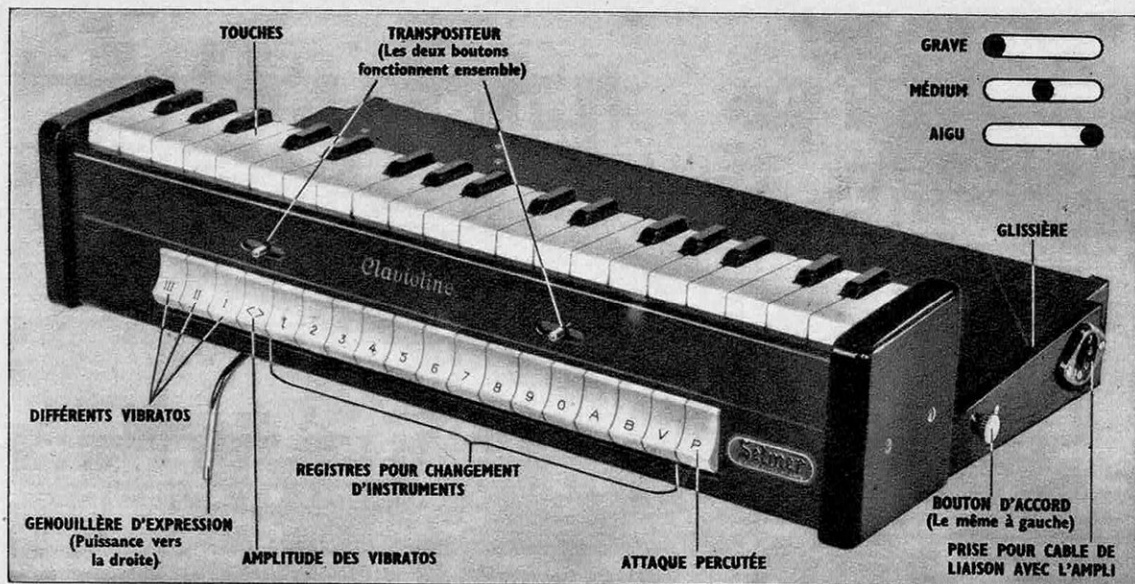
Cl. Néophone

Le Néophone dispense du combiné téléphonique ; à plusieurs mètres de l'appareil, on s'entretient avec son correspondant, les mains libres.



Cl. Bélin

Le Bélinophone enregistre en votre absence les messages téléphonés par vos correspondants et les reproduit lorsque vous en avez le désir.



Le Clavioline imite de nombreux instruments et crée des sonorités nouvelles grâce à ses transpositions, ses changements de timbre, ses effets d'attaque et de vibrato. Il peut s'associer à un piano d'accompagnement confié à la main gauche, la main droite jouant la mélodie au Clavioline.

niques, dont on qualifie parfois les grandes machines calculatrices, ne doit pas faire illusion. Ce sont en effet des machines à syllogismes qui, dans l'exécution, dépassent incomparablement les possibilités du cerveau humain, mais lui demeurent subordonnées.

Les ordinateurs électriques ouvrent vraiment les portes d'un monde nouveau, décuplent le pouvoir d'action de l'homme et permettent l'application de la méthode scientifique dans les problèmes économiques, sociaux ou humains, où la décision était, autrefois, surtout affaire d'opinion ou d'intuition.

En permettant le jeu des calculs statistiques, les ordinateurs apportent à l'homme un outil inappréciable pour la gestion des entreprises. C'est la *recherche opérationnelle*.

Cette nouvelle technique doit son nom au caractère militaire qu'elle avait revêtu durant la dernière guerre mondiale. Elle a permis en effet de prendre des décisions cruciales dans bien des problèmes stratégiques : organisation des convois, rendement des opérations de bombardement aérien, etc.

On la retrouve aujourd'hui dans l'analyse scientifique d'un marché et de ses possibilités de développement. Ainsi une firme américaine opérant dans l'est des U.S.A. a-t-elle pu déterminer le nombre, l'importance et les emplacements exacts des nouvelles succursales qu'elle devait établir sur la côte du Pacifique en vue d'une extension de son activité.



Cl. Selmer

L'ordinateur électronique rend possible dès maintenant la gestion automatique d'une entreprise, avec supervision des ateliers et fonctionnement automatique des services administratifs.

Ainsi l'électronique contribuera toujours plus puissamment à libérer l'homme de ses tâches complexes et ingrates. Il pourra consacrer des loisirs accrus à ses passe-temps favoris, qui iront bien entendu de la construction des robots électroniques à la pratique de la musique électronique.

André Bouju

Cette Bibliographie, établie d'après le stock d'ouvrages sélectionnés de notre librairie, ne représente qu'une partie des ouvrages figurant dans notre catalogue général.

ÉLECTROTECHNIQUE

- MEMENTO D'ELECTROTECHNIQUE.** (Curchod A. et Vellard L.). Tome I : Electricité et Magnétisme. Mathématiques. Physique. Formules et tables. Unités. Lois fondamentales. Mesures constantes. 648 p. 14 × 22, 182 fig. et nomb. tabl., 2^e édit., 1949, relié 2.640 »
- Tome II :** Machines et appareils électriques. Machines électriques. Transformateurs. Redresseurs statiques. Appareillage électrique. 564 p. 14 × 22, 489 fig., 2^e édit., 1949, relié 2.300 »
- Tome III :** Réseaux de distribution d'énergie électrique. Transports et distribution. Lignes. Agencement du matériel. Aménagement des sources d'énergie. 740 p. 14 × 22, 463 fig., dont 2 h. t., 2^e édit., 1950 2.980 »
- Tome IV :** Applications de l'électricité. Traction électrique. Applications mécaniques. Applications diverses. Applications électrothermiques. Applications électrolytiques. 492 p. 14 × 22, 289 fig., nbr. tabl., 2^e édit., 1951, relié 2.060 »
- Tome V :** Applications de l'électricité. Eclairage. Télégraphie. Téléphonie. Radiologie. Optique électronique. Electrobiologie et électrothérapie. Sécurité des installations électriques. Ultrasons. Divers. 624 p. 14 × 22, 425 fig., nbr. tabl., 2^e édit., 1951, relié 3.070 »
- Index alphabétique des cinq tomes 100 »
- Les cinq tomes et l'index 12.000 »
- ELECTROTECHNIQUE A L'USAGE DES INGÉNIEURS.** (Fouillé A. et Lefrand E.). Tome I : Principes. 446 p. 16 × 25, 530 fig., 4^e édit., 1955 1.310 »
- Tome II :** Machines électriques. 396 p. 16 × 25, 554 fig., 3^e édit. 1.230 »
- Tome III :** Convertisseurs. Applications de l'énergie électrique (mécaniques, thermiques, électroniques). 370 p. 16 × 25, 422 fig., 2^e édit., 1951 920 »
- PROBLÈMES D'ELECTROTECHNIQUE A L'USAGE DES INGÉNIEURS.** (Fouillé A.). 372 p. 16 × 25, 239 fig., 4^e édit., 1955 940 »
- TECHNOLOGIE ELECTRIQUE.** (Laurent R.). Tome I : Matériaux utilisés. Construction des machines. Production. Transmission, distribution et transformation de l'énergie électrique. 470 p. 13,5 × 21, 453 fig.
- Tome II :** Transport de l'énergie électrique, appareillage. Piles et accumulateurs. Eclairage. Chauffage. Galvanoplastie. Traction. 487 p. 13,5 × 21, 491 fig.
- Les 2 tomes inséparables. 6^e édit., 1950 1.200 »
- TECHNOLOGIE PROFESSIONNELLE D'ELECTRICITÉ (B.B. de l'Enseignement Technique).** (Merlet R.). Tome I : L'éclairage et le chauffage électrique. Sonneries et téléphone. Installation électrique des automobiles. Organisation du travail dans une entreprise d'installations électriques. 386 p. 14 × 22, 298 fig., 1954 840 »
- Tome II :** Production, transformation et transport de l'énergie électrique. Les moteurs à courants continu et alternatif. Appareillage, mise en marche et contrôle automatique des machines électriques. 290 p. 14 × 22, 225 fig., 2^e édit., 1955. 650 »
- Tome III :** Bobinage des machines électriques (courant continu et courant alternatif) 204 p. 14 × 22, 150 fig., 1956. 450 »
- TECHNOLOGIE DE L'APPAREILLAGE ELECTRIQUE.** (Collet G.). Petit appareillage basse tension. Gros appareillage basse tension. Appareillage haute tension et très haute tension Interrupteurs. Commutateurs. Coupe-circuits. Disjoncteurs. Rhéostats. Contrôleurs. Contacteurs. Isolateurs. Sectionneurs. 190 p. 13,5 × 21, 308 fig. et pl., 1953 990 »
- FORMULAIRE TECHNIQUE D'ELECTRICITÉ.** (Laurent R.). Mémento de poche à l'usage des techniciens, chefs d'entreprise, monteurs installateurs, dessinateurs. 732 p. 10 × 15,5, 220 fig., 2^e édit., 1950 860 »

AIDE-MÉMOIRE DUNOD ELECTROTECHNIQUE GÉNÉRALE à l'usage des élèves de l'Enseign. sup. scient. et techn., de math. sup. et spéc., des ingénieurs, des physiciens et exploitants. (Denis-Papin M.). 178 p. 10 × 15, 242 fig., 4^e édit., 1955 480 »

FORMULAIRE PRATIQUE D'ELECTRICITÉ. (Soulier A.). Grandeurs et unités électriques. Piles. Accumulateurs. Aimants électro-aimants. Machines. Transformateurs. Distributions. Canalisations. Eclairage. Electrothermie. Electrochimie. Traction. 297 p. 11 × 17, 46 fig., 2^e édit. revue et mise à jour... 460 »

SCHEMATIQUE GÉNÉRALE D'ELECTRICITÉ. (Laurent R.). 427 schémas d'études et d'installations complétés par une technologie du matériel et de l'appareillage utilisés. 540 p. 15,5 × 21,5, 240 fig., 427 schémas expliqués. 1.000 »

PRODUCTION - DISTRIBUTION

EQUIPEMENT THERMIQUE DES USINES GÉNÉRATRICES D'ENERGIE ELECTRIQUE. (Ricard J.). Les cycles de vapeur. Transmission de la chaleur et échangeurs. Les combustibles. Les générateurs de vapeur. Les foyers, les chambres de combustion. Tirage et ventilateurs, dépolluissage. Traitement des eaux d'alimentation. Condenseurs, prises d'eau, réfrigérants. Turbines à vapeur. Manutentions, tuyauteries, construction de l'usine. Usines de réserve et de pointe. Frais d'exploitation. 660 p. 16 × 25, 352 fig., 2^e édit., nouveau tirage, 1953, relié 4.220 »

LES TRANSPORTS MODERNES DE L'ENERGIE ELECTRIQUE. (Laurent R. et Roger D.). Etude générale d'un transport d'énergie, d'une distribution d'énergie. Caractéristiques et calculs des canalisations aériennes et souterraines. Etablissement d'un réseau aérien, d'un réseau souterrain, des postes de transformation. Perturbations dans les réseaux, dispositifs de protection. Essais des lignes électriques, recherche et mesure des défauts. Mouvements d'énergie. Sécurité Entretien Tarification de l'énergie électrique. 822 p. 13,5 × 21,5, 577 fig., 1951 2.000 »

LIGNES ELECTRIQUES T.H.T. — Etude mécanique et construction des lignes aériennes. — Carpentier H. — Précis des connaissances indispensables à l'ingénieur projeteur. — Etudes techniques : Tracé et piquetage. Ouvrages : Conducteurs, isolateurs et équipement, supports et fondations. Etablissement des devis pour proposition de prix. Exécution des travaux : Réalisation technique. Contrôle du chantier, prix de revient. Bibliographie. 250 p. 16,5 × 25. 8 pages de photos hors-texte. 19 planches en dépliant. 85 figures Relié toile, 1955 4.800 »

INSTALLATIONS ELECTRIQUES A HAUTE ET BASSE TENSION. (Mauduit A.). Production, transport et distribution de l'énergie électrique. Tome I : 463 p. 16 × 25, 137 fig., 3^e édit., 1956 3.600 »

Tome II : 858 p. 16 × 25, 428 fig., 2^e édit., 1950, relié 4.660 »

ETUDE ET CONSTRUCTION DES LIGNES ELECTRIQUES AÉRIENNES. (Lavanchy Ch.). Calculs électriques des lignes de transmission d'énergie. Etude mécanique des lignes de transmission d'énergie. Etude économique et principes de construction des lignes de transmission d'énergie. 638 p. 16,5 × 25,5, 306 fig., 1952 3.800 »

CONSTRUCTION DES LIGNES AÉRIENNES. (Tucoulat P.). Description du matériel et des principaux types de lignes. Etude mécanique des lignes : conducteurs. Appuis. Etude des lignes au point de vue électrique. Exécution des travaux. 340 p. 16,5 × 25, 198 fig., 1952 1.800 »

LES PILES ELECTRIQUES. (Vinal G.-W.). Traduit de l'américain par Génin G. Théorie élémentaire des piles électriques. Piles sèches, matières premières et fabrication. Caractéristiques de fonctionnement, Influence des basses températures. Piles spéciales pour basses températures. Piles étalons. Etalons de force électromotrice. Piles à dépoliarisation par l'air et autres dépoliarisants. Eléments au cuivre et à l'oxyde de cuivre. Eléments à oxyde du chlorure d'argent. Eléments au plomb à produits de réaction solubles. Piles sèches à l'oxyde mercurique et au vanadium. Eléments à électrolyte fondu. 346 p. 16 x 25, 101 fig., 1953, relié toile **2.980 »**

MACHINES - MOTEURS

THÉORIE, FONCTIONNEMENT ET CALCUL DES MACHINES ELECTRIQUES. (Guilbert A.). Tome I : Circuit magnétique. Machines à courant continu. Induits. Force électromotrice. Enroulement. Caractéristiques des génératrices. Coupages de génératrices. Moteurs à courant continu. Stabilité des machines à courant continu. Pertes et rendements. Calcul des machines à courant continu. 608 p. 16 x 25, 370 fig., 1951, relié toile **2.650 »**

CALCUL ET CONSTRUCTION DE MACHINES ELECTRIQUES. (Mathieu M.). Les matériaux de construction des machines électriques. Les principaux organes des machines électriques. La machine à courant continu. Les machines électriques statiques. Les machines électriques synchrones. Les machines électriques asynchrones. Calculs mécaniques des machines électriques. 664 p. 16,5 x 25, 471 fig. et tabl., 2^e édit., 1952 **2.860 »**

LE MOTEUR ELECTRIQUE MODERNE. (Laurent R.). Définitions et termes électrotechniques. Unités, symboles et formules usuelles utilisés en électrotechnique. Etude technique du moteur électrique. Appareillage. Canalisations électriques. Les mesures électriques dans les installations de moteurs. Montage et installation pratique des moteurs. Conditions de réception et de mise en service des moteurs électriques. Les moteurs électriques et le facteur de puissance. Les moteurs électriques et les parasites. Les applications du moteur électrique. 927 p. 13,5 x 21, 647 fig., 5^e édit., 1950... **1.500 »**

MOTEURS ELECTRIQUES. (Bonnafous E.). Dépannage et rebobinage des moteurs électriques. Les unités pratiques d'électricité et leurs relations. L'électro-magnétisme. Généralités sur les moteurs à courant continu. Notions sur les courants alternatifs. Distribution des courants. Les moteurs à courants alternatifs. Technologie électrique. Dépannage des moteurs. Rebobinage des machines électriques. Antiparasitage des moteurs électriques. 280 p. 13,5 x 21, 296 fig., 1951... **475 »**

TRANSFORMATEURS ET MOTEURS D'INDUCTION. (Clément C.). Calcul, construction, fonctionnement. 348 p. 16 x 25, 203 fig., nouv. tir., 1950..... **1.130 »**

LA PRATIQUE INDUSTRIELLE DES TRANSFORMATEURS. (Denis-Papin M.). A l'usage des élèves ingénieurs, des ingénieurs, des constructeurs et des exploitants. Caractéristiques et fonctionnement. Modes de couplage. Refroidissements. Construction (notions générales). Essais. 197 p. 16,5 x 25, 151 fig., 2^e édit. refondue et mise à jour, 1951... **614 »**

ETUDE TECHNOLOGIQUE DES BOBINAGES ELECTRIQUES et de leur réparation. (Delfosse M.). Etude des enroulements à courant continu. Etude des enroulements à courant alternatif. Réalisation pratique des enroulements. Confection, petits outillages et vérification des bobinages. 248 p. 15,5 x 24,5, 308 fig., 1952 **1.500 »**

SCHEMAS ET REGLES PRATIQUES DE BOBINAGE DES MACHINES ELECTRIQUES. (Torices F. et Curchod A.). Machines à courant continu et machines à courant alternatif. 176 p. 14 x 22, 16 fig., 59 pl., 4^e édit., 1951 **540 »**

MEMENTO DU BOBINAGE. (Lombard G.). Matériaux conducteurs et isolants. Machines à courant continu. Inducteurs. Induit. Schémas. Vérifications. Transformation. Machines à courant alternatif. Enroulement des stators et rotors. Schémas. Cas particuliers. Essais industriels. Transformateurs. Calculs. 115 p. 15,5 x 23,5, 71 fig., 1953..... **750 »**

LA CONSTRUCTION DES BOBINAGES ELECTRIQUES. (Clément C.). Aide-mémoire du bobinier. 384 p. 16 x 25, 363 fig., 4^e édit., nouv. tirage, 1952..... **1.250 »**

REBOBINAGE DES MOTEURS D'INDUCTION. (Braymer D.H. et Roe A.-C.). Principes fondamentaux des enroulements imbriqués et ondulés et procédés pratiques de rebobinage des stators et rotors à courants alternatifs. 211 p. 16 x 25, 130 fig., nouv. tirage, 1953, relié toile.... **1.680 »**

REBOBINAGE DES PETITS MOTEURS. (Braymer D. H. et Roe A.-C.). Procédés d'ateliers avec description détaillée des méthodes de rebobinage pour tous les types de moteurs à fraction de cheval à C.C. et à C.A. Procédé de rebobinage

des induits à courant continu. Procédé de rebobinage des petits moteurs à courant alternatif. Rebobinage des petits moteurs triphasés. 510 p. 16 x 25, 845 fig., 102 tabl., 3^e édit., 1951, relié toile **2.070 »**

CALCUL DES ELECTRO-AIMANTS INDUSTRIELS. (Jung A.). Notions d'électromagnétisme. Calcul des électro-aimants à courant alternatif. Exemples de calcul. 100 p. 14 x 22, 22 fig., 1953 **880 »**

TECHNIQUE DU PETIT APPAREILLAGE ELECTRO-MECANIQUE. (Mimeur R.). Conducteurs, isolants, canalisations. Sources de courant. Aimants et électro-aimants. Bobinages, machines à bobiner. Appareils de mesures électriques. Petit appareillage électrique. Tubes électroniques. 362 p. 16 x 24, 335 fig., 1949 **990 »**

APPLICATIONS PRATIQUES

LES LAMPES A INCANDESCENCE. (La Toison M.). Lampes d'éclairage domestique. Lampes pour piles de poche. Lampes pour automobile. Lampes pour photo et cinéma. Lampes pour scènes de théâtre. Lampes pour laboratoires. Toutes les lampes. 140 p. 16 x 24, 89 fig., 1951..... **865 »**

L'ECLAIRAGE ELECTRIQUE MODERNE. (Laurent R.). Généralités. Unités et mesures photométriques. Sources d'éclairage électrique. Principes d'éclairagisme. Appareils, Installations. Canalisations. Schémas pratiques. 629 p. 12,5 x 21,5, 629 fig., 2^e édit., 1951 **1.600 »**

ECLAIRAGE FLUORESCENT. (Zwicker C.). Aperçu des bases scientifiques et techniques. Applications des lampes fluorescentes et de leurs accessoires. Luminescence, fluorescence et phosphorescence. Substances luminescentes. Couleur de la lumière des lampes fluorescentes tubulaires; rendu des couleurs. Décharge dans les gaz. Construction des lampes. Considérations relatives à l'efficacité lumineuse. Types de lampes. Interrupteurs d'amorçage (starters). Montages. Appareils de stabilisation. Appareils d'éclairage pour lampes fluorescentes. Utilisation des lampes. Emploi des lampes T.L. dans l'agriculture et dans l'horticulture. Index alphabétique. 266 p. 16 x 25, 180 fig., nombr. tabl. et photos, 1 pl. en coul. g. t., 1952, relié toile sous jaquette **1.450 »**

L'ECLAIRAGE PAR FLUORESCENCE. (Cadiergues R.). Les tubes fluorescents. Circuits électriques. Conditions de fonctionnement. Luminaires. Problèmes économiques. Projets. Applications. Fonctionnement, fabrication et contrôle. Calculs d'éclairage par fluorescence. 322 p. 16 x 25, 214 fig., 138 tabl., 1951, relié toile **1.900 »**

LES TUBES A DECHARGE LUMINEUSE ET LEURS APAREILLAGES. (Lecorquillier J.). Passage de l'électricité à travers les gaz. Tubes usuels utilisés pour l'éclairage ou l'irradiation. Règlement de l'E.D.F. Stabilisation des tubes. Tubes selfs redresseurs. Stabilisation par self des tubes à deux électrodes symétriques. Stabilisation par capacité et self en série. Association de divers modes de stabilisation. Dispositifs utilisant des transformateurs. 231 p. 16 x 25, nombr. fig., 1953 **1.730 »**

L'ALARME ELECTRIQUE. (Mousseron G.). Les mille et une manières de protéger efficacement et économiquement par l'électricité : villas, immeubles, poulaillers, clapiers, garages, clôtures, vitrines, etc. 121 p. 13,5 x 21, 75 fig., 1952. **330 »**

LA TECHNIQUE DU CHAUFFAGE ELECTRIQUE. (Frérot Ch.). Ses applications domestiques et industrielles. Tome I : Théories et calculs. En annexe : Une courte étude sur la transmission de la chaleur et sur les systèmes d'unités. 503 p. 16,5 x 25, 70 fig., 1950 **2.210 »**

LES FOURS ELECTRIQUES INDUSTRIELS. (Paschki V.). Tome I : Types de four. Emplois. Choix du type de four. Calcul des fours. Utilisation des fours. Fours de fusion à électrodes : fours à arcs et fours mixtes à arc résistance. Transport du courant. Transformateurs. Régulation. Diagramme de fonctionnement et rendement, fours à ferro-alliage. 254 p. 16 x 25, 158 fig., relié toile **2.780 »**

Tome II : Fours à résistance et dispositifs. Chauffage indirect. Dimension du four et temps de chauffage. Calories utiles. Parties constitutives. Calcul. Chauffage direct. Dispositifs de chauffage à résistance. But et classification. Dispositifs à chauffage direct : à chauffage indirect par résistance. Chauffage à induction et chauffage de haute fréquence par pertes diélectriques. Source d'énergie électrique haute fréquence. Fours et dispositifs. Choix du four. 344 p. 16 x 25, 293 fig., 1952, relié toile... **3.460 »**

LES APPLICATIONS PRATIQUES DES RAYONS INFRAROUGES. (Déribré M.). Vues générales sur l'infrarouge. Production de l'infrarouge. Filtration et séparation des diverses radiations. Réflexion de l'infrarouge. Transmission et absorption. La photographie infrarouge. Le séchage par rayonnement infrarouge. Applications du séchage par rayonnement à l'élimination de l'eau. Séchages avec évaporation des

solvants autres que l'eau. Séchage et cuisson des peintures et vernis. Traitements thermiques et cuissons. Cellules photo-électriques. Le télescope électronique. Relations entre l'infrarouge et la luminescence. Applications biologiques, physiologiques et thérapeutiques. 431 p. 16 x 23,5, 316 fig., 3^e édit., 1954 3.700 »

CHAUFFAGE ET SÉCHAGE PAR LAMPES A RAYONNEMENT INFRA-ROUGE. (La Toison M.). Rayonnement et corps noir. Rayonnement, conduction et convection. Les lampes à rayonnement infra-rouge. Essai d'étude théorique du chauffage par lampes I-R. Théorie et applications. 112 p. 16,5 x 25, 59 fig., 1951 760 »

ÉLECTROCHIMIE PRATIQUE. — Principes et Technologie. — Gaertner V. — Traduit de l'allemand par Metta A. Principes : L'électrolyse. Technologie : Les éléments galvaniques primaires. Les accumulateurs. La galvanotechnique. Les procédés électrometallurgiques en solutions aqueuses. L'électrolyse de l'eau. L'électrolyse des chlorures alcalins. Les procédés d'oxydation. Électrometallurgie par électrolyse ignée. Les procédés électrothermiques. Les procédés de distillation électrothermiques. Les décharges dans les gaz. Les applications techniques de l'électro-osmose. 516 p. 15,5 x 24. 201 figures, 1955 2.700 »

APPLICATIONS DE L'ELECTROCHIMIE. (Koehler W.-A.). Piles. Accumulateurs. Galvanoplastie. Electrometallurgie : électrolyse des solutions aqueuses, des sels en fusion ignée, des halogénures alcalins. Electroanalyse. Fours électriques. Electronique. 644 p. 16 x 25, 260 fig., 1950, relié. . 3.120 »

L'ELECTROCHIMIE ET L'ELECTROMETALLURGIE. (Levasseur A.). Tome I : Electrolyse. 185 p. 16 x 25, 48 fig., 7^e édit., 1950 560 »

Tome II : Fours électriques. 203 p. 16 x 25, 129 fig., 7^e édit., 1950 620 »

ELECTROLYSE. (Audubert R.). Les propriétés des électrolytes. La force électro-motrice. Les principes de l'électrolyse. Théorie de l'électrolyse. Piles et accumulateurs. Polarisation anodique. Réduction et oxydation électrolytiques. Dépôts électrolytiques. Electrolyse en courant modulé. 355 p. 14,5 x 19 95 fig., 1953 2.300 »

CHROMAGE. Technique et Applications. (Morisset P.) Théorie de l'électrolyse. Technique du chromage. Propriétés caractéristiques. Applications industrielles. 477 p. 13,5 x 21,5, 152 fig., 47 tableaux, 5 tableaux de conversion, relié toile, 1952 4.500 »

FROID INDUSTRIEL ET DOMESTIQUE

ENCYCLOPÉDIE DU FROID. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE DES INDUSTRIES FRIGORIFIQUES.

Tome I : Isolants et technique de l'isolation. (Mironneau L.). Données sur quelques matériaux d'isolation et de construction. L'entrepôt frigorifique. Emploi et pose des isolants. 292 p. 16 x 25, 87 fig., 1950 2.000 »

Tome II : Conservation par le froid des denrées d'origine carnée. (Piettre M.). Viandes et abats. Denrées d'origine carnée. Charcuterie, volailles et gibiers, poissons. 300 p. 16 x 25, 69 fig., 1950 2.000 »

Tome III : Fabrication de la glace. (Mironneau L.). Glace hydrique. Glace eutectique. Les mouleaux. Les châssis. Le matériel. Petites installations. Procédés récents de fabrication de la glace. Glace à partir d'eau de mer. Glace opaque et glace transparente. Mélanges réfrigérants. Procédés divers de refroidissement. Saumure congelée et glace eutectique. Congélation des solutions. 427 p. 16,5 x 25, 210 fig., 1951 2.500 »

Tome IV : Les très basses températures. (Piettre M.). Production et emplois. Thermodynamique. Matériel et outillage. Liquéfaction de l'air. Séparation des mélanges gazeux, de l'oxygène et de l'azote de l'air. Liquéfaction de l'hydrogène, de l'hélium. Production de basses températures, par démagéné-

tisation adiabatique. Propriétés des corps aux très basses températures. 200 p. 16,5 x 25, 62 fig., 1952 1.500 »

Tome V : Le Conditionnement de l'air. (Judet de la Combe A.). Procédés et calculs utilisés en climatisation. Généralités. Pulsions et distribution de l'air. Traitements de l'air. Les installations. Applications particulières. 365 p. 16,5 x 25, 160 fig., 1952 2.200 »

Tome VI : Technologie des Petites Machines. Automatisation. (Delalande A.). Armoires et chambres froides. Groupes frigorifiques. Les évaporateurs. Les tubes. Les fluides frigorigènes. Les accessoires. Les réglages. Le dépannage. Electricité. Le travail à l'atelier. Saumures. Les armoires ménagères. La congélation domestique. Défauts de fonctionnement. 286 p. 16 x 25, 130 fig., 3 tables, 4 diagrammes, 1953 2.500 »

ÉLÉMENTS DE THÉORIE DES MACHINES FRIGORIFIQUES. (Ghilardi F.). Physique des gaz. Thermodynamique des gaz. La machine frigorifique. Calcul d'une machine frigorifique à gaz liquéfiable. Machine frigorifique à vapeur d'eau. Machines à affinité. Turbocompresseurs. La similitude dans les machines. 128 p. 16 x 25, 68 fig., 4 pl., 1954 790 »

LA CONSERVATION PAR LE FROID DES DENRÉES PÉRISSABLES. (Monvoisin A.). Éléments constitutifs des denrées périssables. Propriétés des solutions. Causes des modifications des substances organiques. Chimie microbiologique. Atmosphère des locaux. Eaux. Aperçu sur la production, le transport et la conservation du froid. Généralités sur l'application du froid à la conservation des denrées périssables. Produits d'origine animale. Produits d'origine végétale. 618 p. 16 x 25, 240 fig., 4^e édit., 1950, relié 2.860 »

LA MACHINE FRIGORIFIQUE A ABSORPTION. Dr. Dannies. — Traduit de l'allemand par Veich J. — Fonctionnement. Le diagramme. Cycle du solvant. Bilan thermique. Calcul des installations. Récupération. Epuraton. Installations compound. Installations à résorption, à diffusion. Systèmes d'absorption ouverts. Transformateur de chaleur. Calcul du bouilleur et de l'absorbeur, du rectificateur, du déflegmateur, du liquéfacteur, de l'évaporateur, du diffuseur. Mélanges frigorigènes. 216 p. 13,5 x 21, 111 fig. 10 tableaux. 3 diagrammes. 1955 1.500 »

LES ARMOIRES FRIGORIFIQUES A ABSORPTION. (Dequoix P.). Généralités sur les machines à absorption. Principe de fonctionnement. Fonctionnement d'une machine complète. Machines ménagères à cycle continu. Machines diverses à cycle continu. Machines à cycle périodique. Appareillage auxiliaire. 115 p. 13,5 x 21, 26 fig., 1950 645 »

FORMULAIRE DU FRIGORISTE. (Göttsche G. et Pohlmann W.). Systèmes d'unités et tables de conversion. Données météorologiques. Tableaux des poids. Dynamique des corps liquides. Chaleur. Procédés de production du froid. Les machines frigorifiques. Fabrication de la glace. Glace sèche. Réfrigération des locaux. Procédés de congélation rapide. Réfrigération de liquides et de masses solides. Conduite des installations avec machines frigorifiques. Détermination de la production frigorifique des machines à froid, isolation et construction. Entrepôts frigorifiques et abattoirs. Statistiques. Lois et règlements. Installations motrices. Installations de réfrigération par la glace. 526 p. 14 x 22, 195 fig., 190 tabl., 3^e édit., 1951, relié toile 2.350 »

MANUEL DU FRIGORISTE. (Mironneau L.). Tome I : Production du froid. Principes physiques. Différents modes de réfrigération. Système à compression. Echangeurs de chaleur. Fluides frigorigènes. Compresseurs. Graissage. Tuyauteries. Montage, mise en marche et arrêt. Fonctionnement. Saumures. Isolation. 392 p. 13 x 19,5, 129 fig., 1954 1.200 »

LE DÉPANNAGE DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES AUTOMATIQUES. (Dequoix P.). Les compresseurs. Réparation des compresseurs. Compresseurs spéciaux et unités hermétiques. Condensateurs et évaporateurs. Banc de rodage et d'essais. Calorimètre d'atelier. Les détendeurs. Appareils de contrôle de température. Moteurs électriques. Disjoncteurs et relais. Schémas électriques. Outillage. Montage. Dépannage. Renseignements et tables diverses. 208 p. 13,5 x 21, 54 fig., 1954 1.200 »

UNE DOCUMENTATION INDISPENSABLE

Notre catalogue général (4^e édit.), 4.500 titres d'ouvrages techniques et scientifiques sélectionnés, 400 p., 13,5 x 21 : Franco : 200 fr.

Ajoutez 10 % du montant total de votre commande pour frais d'expédition.
C. C. P. Paris 4192-26. - Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, PARIS-9^e

N'attendez pas,

commencez chez vous dès maintenant

les études les plus profitables

Des milliers d'élèves par correspondance de l'Ecole Universelle, la plus importante du monde, obtiennent chaque année les plus brillants succès dans tous les examens et concours, ainsi que dans toutes les professions. **Demandez l'envoi gratuit, par retour du courrier, de la brochure qui vous intéresse :**

- Br. N° 47.775. **Toutes les classes, tous les examens ; Second degré, de la 6^e aux classes de Lettres sup. et de Math. spéc. Baccalauréats, B.E.P.C., Bourses, entrée en sixième. — Premier degré de la section préparatoire (classe de onzième aux classes de fin d'études et aux Cours complémentaires, C.E.P., Brevets, C.A.P. — Classes des Collèges techniques Brevet d'enseignement industriel et commercial. Bacc. techn.**
- Br. N° 47.787. **Enseignement supérieur : Droit** (Licence et Capacité) ; **Sciences** (P. C. B., S. P. C. N., M. P. C.), **Lettres** (Propédeutique et tous certificats), Bourses de Licence, Professorats (Lettres, Sciences, Langues, Profess. pratiques), Inspection primaire.
- Br. N° 47.781. **Grandes Écoles, Écoles spéciales** : Administration, Agriculture, Industrie, Travaux publics, Mines, Commerce, Armée, Marine, Enseignement, Beaux-Arts, Ecoles vétérinaires, France d'Outre-Mer.
- Br. N° 47.797. **Carrières de l'Agriculture** (Administrateur, Chef de culture, Assistant, Aviculteur, Apiculteur, etc.), des **Industries agricoles** (Laiterie, Sucrerie, Meunerie, etc.), du **Génie rural** (Entrepreneur, Conducteur, Chef de chantier, Radiesthésiste), de la **Topographie** (Géomètre expert).
- Br. N° 47.793. **Carrières de l'Industrie, des Mines et des Travaux Publics** : Ingénieur (Diplôme d'Etat), Sous-Ingénieur, Dessinateur, Conducteur, Mètreur vérificateur, Chef de chantier, Contremaître, etc., dans toutes les spécialités (Electricité, Mécanique, Automobile, Travaux publics, Bâtiment, etc.), Certificats d'aptitude professionnelle, Brevets professionnels
- Br. N° 47.796. **Carrières de la Comptabilité** : Caissier, Chef-magasinier, Aide-Comptable, Comptable, etc., Préparation au C.A.P. d'Aide-comptable, au B.P. de Comptable, au diplôme d'Expert-comptable.
- Br. N° 47.776. **Carrières du Commerce** : Sténodactylo, Secrétaire de Direction ; **Publicité ; Banque**, Bourse, Assurances ; **Hôtellerie**. C. A. P., B. P., Professorats.
- Br. N° 47.788. **Pour devenir Fonctionnaire** : Toutes les fonctions publiques, Ecole nationale d'Administration.
- Br. N° 47.785. **Tous les emplois réservés.**
- Br. N° 47.780. **Orthographe, Rédaction, Versification, Calcul, Dessin, Ecriture.**
- Br. N° 47.794. **Calcul extra rapide et mental.**
- Br. N° 47.798. **Carrières de la Marine Marchande** : Officier au long cours (Elève Officier, Capitaine) ; Lieutenant au cabotage : Capitaine de la Marine marchande ; Patron au bornage ; Capitaine et Patron de Pêche ; Officier Mécanicien de 1^{re}, 2^e ou 3^e classe ; Certificats internationaux de Radio de 1^{re} ou de 2^e classe (P. T. T.).
- Br. N° 47.777. **Carrières de la Marine de Guerre** : Ecole navale ; Ecole des Elèves Officiers ; Ecole des Elèves Ingénieurs mécaniciens ; Ecole du Service de Santé ; Commissariat et Administration ; Ecoles de Maistrance ; Ecoles d'Apprentis marins ; Ecoles de Pupilles ; Ecoles techniques de la Marine ; Ecole d'application du Génie maritime.
- Br. N° 47.792. **Carrières de l'Aviation** : Ecoles et carrières militaires ; Elèves pilotes ; Elèves radionavigants ; Mécaniciens et Télémécaniciens ; Aéronautique civile ; Fonctions administratives ; Industrie aéronautique ; Hôtesse de l'Air.
- Br. N° 47.786. **Radio** : Brevets internationaux ; Construction, dépannage.
- Br. N° 47.789. **Langues vivantes** : Anglais, Allemand, Russe, Espagnol, Italien, Arabe, — **Tourisme.**
- Br. N° 47.783. **Etudes musicales** : Solfège, Harmonie, Composition, Direction d'orchestre, Piano, violon, Flûte, Clarinette, Guitare, Accordéon, Instruments de Jazz, Chant, Professorats publics et privés.
- Br. N° 47.778. **Arts du Dessin** : Dessin pratique, Anatomie artistique, Illustration, Figurines de mode, Composition décorative, Aquarelle, Gravure, Peinture, Pastel, Fusain, Professorats, Cours universel de Dessin.
- Br. N° 47.795. **Métiers de la Couture, de la Coupe, de la Mode et de la Lingerie** : Petite Main, Seconde main, Première main, Vendeuse-retoucheuse, Coupeur, Coupeuse, Modéliste, Lingère, Modiste, Haute Mode ; C.A.P., B.P., Professorats ; **Enseignement ménager** : Monitorat et professorat.
- Br. N° 47.791. **Secrétariats** (Secrétaire de direction, Secrétaire particulier, Secrétaire de médecin, d'avocat, d'homme de lettres, Secrétaire technique) ; **Journalisme** ; **l'Art d'écrire** (Rédaction littéraire) et **l'Art de parler** en public (Eloquence usuelle).
- Br. N° 47.799. **Cinéma** : Technique générale. Décoration, Maquillage, Photographie, Prise de vues. Prise de sons.
- Br. N° 47.779. **L'Art de la Coiffure et des Soins de beauté** (Coiffeuse, Coiffeur, Masseur, Pédicure, Manucure).
- Br. N° 47.790. **Carrières féminines.**

La liste ci-dessus ne comprend qu'une partie de nos enseignements ; n'hésitez pas à nous demander conseils gratuits et aide efficace pour toutes études et carrières.

DES MILLIERS D'INCOMPARABLES SUCCÈS

remportés chaque année par nos élèves dans les examens et concours officiels prouvent l'efficacité de l'enseignement par correspondance de

L'ÉCOLE UNIVERSELLE

59, Boulevard Exelmans, PARIS (XVI^e)
Chemin de Fabron, NICE (A.-M.) ; 11, place Jules-Ferry, LYON

PROVOC



CONORD

A L'AVANT-GARDE

DU PROGRÈS

présente



2 créations révolutionnaires

NORETTE

LA PERLE DES MOYENNES MACHINES A LAVER

Lavage efficace par ébullition et batteur.
Essorage : centrifuge par panier-essoreur.
Présentation : forme bloc très élégante
Simplicité de conduite, contrôle, entretien.

95.000

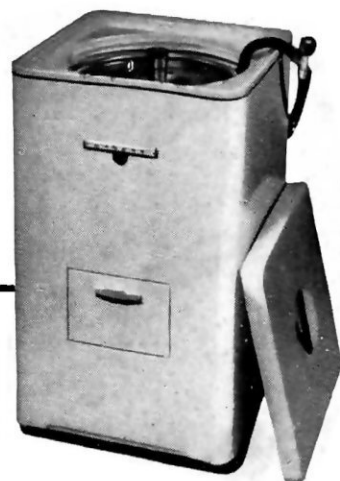
AUDAX

8 APPAREILS EN UN SEUL

ASPIRATEUR, PULVÉRISATEUR, SÈCHE-CHEVEUX
DÉMITEUR, CIREUSE ASPIRANTE, BROSEUSE
PONCEUSE, LUSTREUSE

l'Aspirateur seul : 19.500

Nos prix s'entendent pour machines au gaz, départ usine, taxes en sus.



MARQUE EUROPÉENNE N° 1

CONORD

MARQUE FRANÇAISE 100%.

3 USINES - 17 SUCCURSALES
3.000 CONCESSIONNAIRES

Tous les modèles CONORD
sont vendus avec le crédit
CETELEM