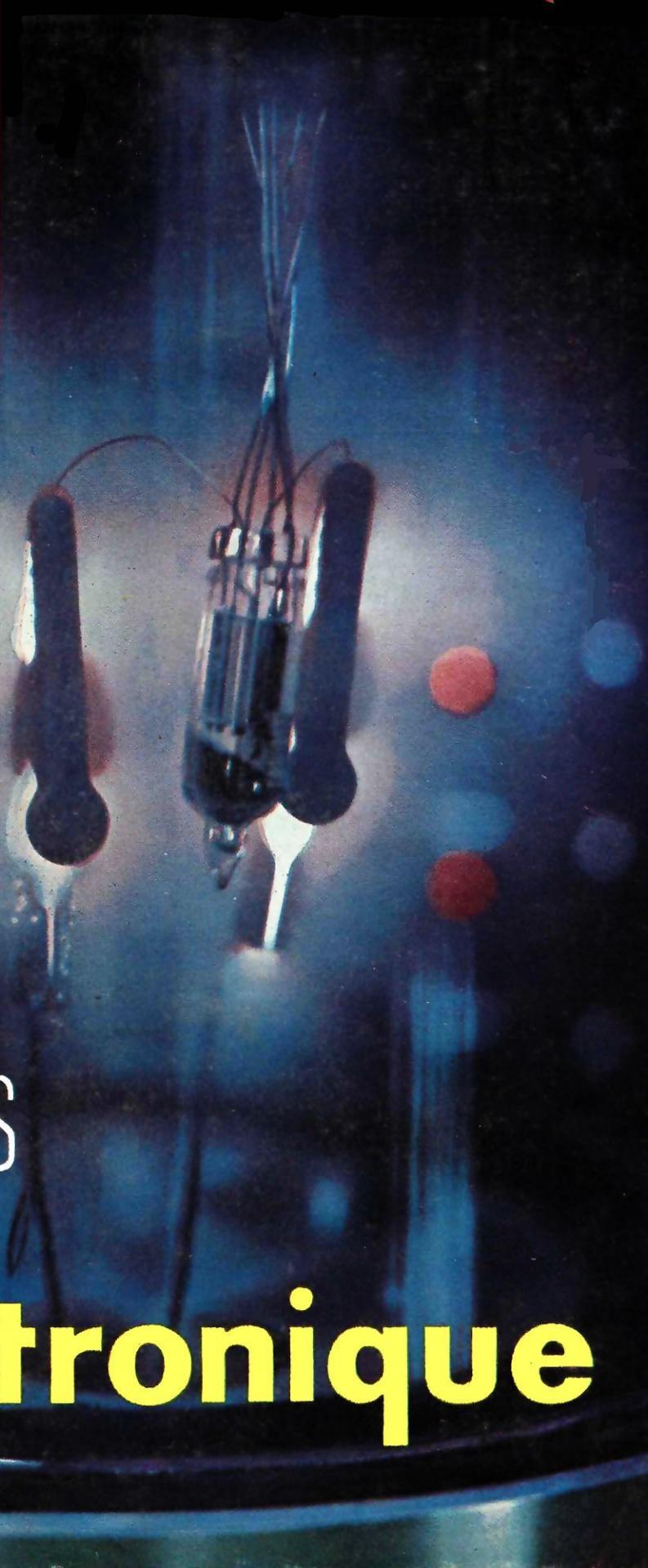


# SCIENCE et VIE

NUMÉRO HORS SÉRIE

dans  
tous  
les  
domaines

**l'Électronique**



# *l'ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE*

21, RUE DE CONSTANTINE, PARIS 7<sup>e</sup>

*est la seule*

qui donne à ses élèves, avec l'enseignement par correspondance le plus complet,

**UN MATERIEL  
ET OUTILLAGE  
de haute valeur**

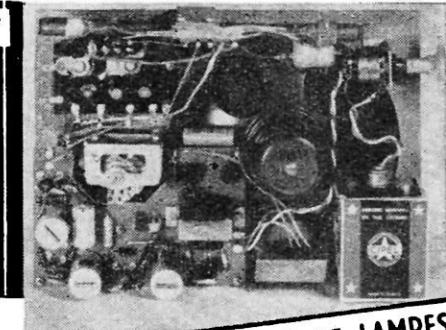


*le tout restera votre  
**PROPRIÉTÉ***

TOUTES LES INDUSTRIES RECHERCHENT  
LES TECHNICIENS SORTIS DE L'E.P.S.

•  
Devenez élève de l'E.P.S.  
c'est une GARANTIE pour vous  
c'est une GARANTIE pour les  
EMPLOYEURS

DEMANDEZ LA DOCUMENTATION  
GRATUITE ACCOMPAGNÉE D'UN  
ÉCHANTILLON DE MATERIEL



*POSTE STÉRÉO, 3 H.P., A 15 LAMPES*

*MIRE ÉLECTRONIQUE*



*APPAREIL DE MESURE*



*HÉTERODYNE MODULÉE, OSCILLOSCOPE*

A TRANSISTORS AVEC CIRCUITS IMPRIMÉS

Si vous habitez la région Parisienne, venez assister gratuitement à l'une des projections cinématographiques sonores qui ont lieu tous les samedis de 17 h à 19 h, et les lundis de 21 h à 22 h 30, 21 rue de Constantine. (M<sup>e</sup> Invalides) • Si vous habitez la province, lorsque vous serez l'élève de l'E.P.S., nous vous enverrons chez vous un appareil de projection avec films qui vous montreront d'une manière très vivante tous les problèmes techniques de la Radio, de la Télévision et de l'Électronique, qu'on ne peut "toucher du doigt", ni même "imaginer". Vous sera également offerte, gracieusement, l'E.P.S., qui vous sera utile dans vos études et dans vos démonstrations filmées en 16 mm et adressées à nos élèves dans les endroits les plus éloignés de France.



NOUS OFFRONS LES MÊMES AVANTAGES A NOS ÉLÈVES BELGES, SUISSES ET CANADIENS



## Ces garçons...

...qui jouent à ce qu'ils seront plus tard, nous les retrouverons, dans quelque 20 ans, homme d'Etat ou chimiste, chirurgien ou bien encore... capitaine courageux.

Mais, qu'ils travaillent en laboratoire ou commandent sur mer, qu'ils mettent au point des thérapeutiques nouvelles, ou dirigent des usines... tous demanderont à l'électronique les instruments de leur réussite. Ils découvriront alors la place que tient Philips dans le domaine de la recherche scientifique, de la productivité, de la découverte, du mieux être... du progrès.

Et demain comme hier, Philips - dont l'expérience en matière d'électronique s'étend déjà sur plus d'un demi siècle - mettra à la disposition de ces hommes d'élite les moyens de préparer des lendemains toujours plus sûrs.

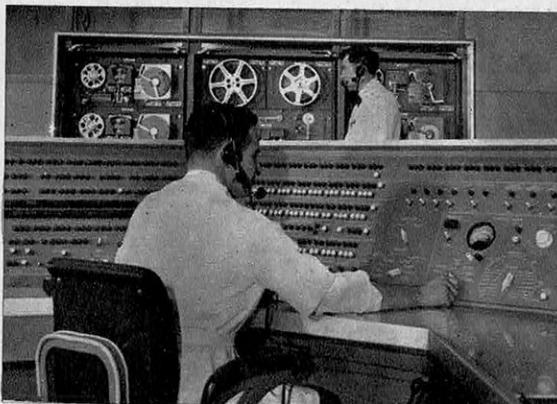
### TOUTES LES APPLICATIONS DE L'ELECTRONIQUE MODERNE

ÉCLAIRAGE	MATÉRIEL INDUSTRIEL
RADIO ET TÉLÉVISION	Soudure à l'arc
TUBES ÉLECTRONIQUES	Appareils de mesure
ÉLECTRO-ACOUSTIQUE	Electrotechnique
Cinéma	Chauffage électronique
APPAREILS ÉLECTROTECHNIQUES	Rayons X
MATÉRIEL MÉDICAL	



# PHILIPS

50, AVENUE MONTAIGNE PARIS 8<sup>e</sup>



BOOK

# les carrières de

## l'électronique

**L'Électronique est la science qui traite des propriétés particulières des électrons et des appareils qui les utilisent.**

Dès maintenant les industriels de toutes spécialités, soucieux de la bonne marche de leur entreprise, recherchent de nombreux électroniciens qualifiés ayant aussi bien une formation d'Ingénieur, d'Agent Technique, que de Technicien.

Pour répondre à cet impérieux besoin, l'**INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL**, l'Ecole des Cadres de l'Industrie bien connue dans les milieux industriels, a créé une gamme de Cours par Correspondance qui préparent spécialement aux carrières de l'Électronique.

### Ingénieur Électronicien

L'étude de l'Électronique du niveau Ingénieur peut être parfaitement poursuivie par correspondance. Il est, bien entendu, nécessaire de posséder déjà de bonnes connaissances générales, particulièrement en Mathématiques (niveau du Bacc. Math.) et en Electricité. L'**INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL** complètera, si nécessaire, vos connaissances en mathématiques jusqu'aux mathématiques supérieures et vous enseignera méthodiquement et d'une façon très approfondie toutes les techniques de l'Électronique supérieure. Deux ans et demi à trois ans d'études sont nécessaires pour en obtenir tout le profit attendu.

La valeur de cette formation d'Ingénieur Electronicien est largement reconnue puisque le grand Service National « **ELECTRICITE DE FRANCE** » l'a choisie pour la formation en Électronique des Ingénieurs des Centrales Thermiques de toute la France.

**Programme N° IEN O**

### Agent Technique Électronicien

#### (SOUS-INGÉNIEUR)

Bien entendu beaucoup n'ont pas eu la chance, ou la possibilité, de faire des études supérieures sans, pour autant, abandonner l'espoir, le ferme désir d'un avenir meilleur par des connaissances techniques et professionnelles plus étendues.

A tous ceux qui possèdent le Brevet Élémentaire, ou même des connaissances équivalentes au C.A.P. d'Electricien, il est conseillé de suivre le Cours d'Agent Technique Electronicien qui peut, en une année d'études, améliorer considérablement leur situation.

De nombreuses Firmes industrielles, parmi lesquelles :

- Les Acieries d'Imphy (Nièvre),
- La S.N.E.C.M.A. (Société Nationale d'Études et de Construction de Matériel Aéronautique),
- Les Ciments Lafarge, etc...

ont confié à l'**INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL** le soin de dispenser ce Cours d'Agent Technique à leur personnel électrique. De même, les jeunes gens qui suivent cet enseignement pourront entrer dans les Écoles spécialisées de l'Armée de l'Air ou de la Marine, lors de l'accès de leur Service Militaire.

sées de l'Armée de l'Air ou de la Marine, lors de l'accès de leur Service Militaire.

**Programme N° ELN O**

### Cours élémentaire d'Électronique

L'**INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL** a également créé un Cours élémentaire d'Électronique qui réalise le tour de force de former des Electroniciens **valables** qui n'ont d'autre formation, au départ, que celle du Certificat d'Etudes Primaires.

Loin d'être un cours de vulgarisation tel qu'il en existe tant déjà, ce véritable enseignement fait beaucoup plus appel au bon sens qu'aux mathématiques. Il permet néanmoins à l'Elève d'acquérir les bases essentielles de l'Électronique Industrielle (et non pas seulement de la Radio, dont les débouchés sont fort encadrés) et d'aborder effectivement en professionnel l'admirable carrière qu'il a choisie.

C'est ainsi que l'une des plus importantes Firmes internationales de machines électroniques, la Société BURROUGHS, a consacré la valeur du Cours Élémentaire d'Électronique de l'**INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL** en le choisissant pour la formation de base de son Personnel, et cela pour toutes ses Succursales des pays de langue française.

**Programme N° EB O**

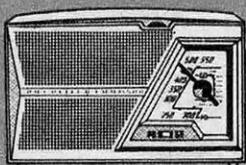
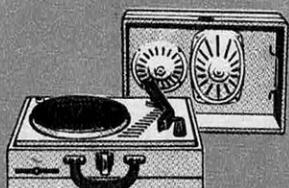
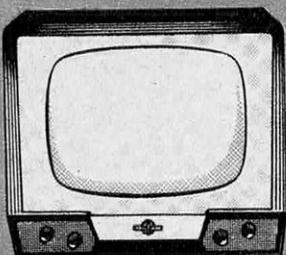
Quels que soient votre niveau d'instruction, votre formation technique ou professionnelle — voire scientifique — vous trouverez toujours à l'**INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL** un enseignement qui répondra à vos aptitudes, à votre ambition, et que vous pourrez suivre chez vous, dès maintenant, quelles que soient vos occupations actuelles.

Nous vous conseillons de demander le programme qui vous intéresse (en précisant le N° et en joignant 2 timbres pour frais) à :

**INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL  
ÉCOLE DES CADRES DE L'INDUSTRIE**

69, rue de Chabrol Bâtiment A - PARIS (X<sup>e</sup>)  
PRO 81-14 et 71-05

POUR LA BELGIQUE: I.T.P. Centre administratif  
87, Rue de l'École - ERPENT-NAMUR

**radio****électrophones****téléviseurs**

(EXTRAIT DU CATALOGUE)

**R. 2012**

le poste

« personnel »

des jeunes

Prix : 15 800 F (+ t. l.)

seulement

**E. 062**

valise électrophone

adaptable

à la stéréophonie

Prix : 32 000 F (+ t. l.)

**T. 4013**

téléviseur

en « orthovision »

écran de 43

Prix : 123 900 F (+ t. l.)

# DUCRETET THOMSON

33, rue de Vouillé - Vau 06-20

En vente chez tous les distributeurs de la marque  
 Exposition et démonstration, 173, Bd Haussmann, Paris

3 années d'expériences outre-mer dans les récepteurs **TRANSISTORS ONDES COURTES**

Le nouveau portatif universel remplace les modèles 84 bien connus des coloniaux : sensible, robuste, musical, tropicalisé. Parfaite réception des émissions OC en n'importe quel point du globe.

5 gammes : GO, PO, **OC de 100 m à 13 m** 8 transistors.

6 piles torches 1,5 V. disponibles partout.

Autres modèles : MÉTROPOLE et MARINE



## TRANSISTOR TR 85



*technifrance*

6, Rue Louis-Philippe - NEUILLY - Seine  
Licencié pour les brevets de la RADIO CORPORATION OF AMERICA  
en France



*Le charme de la supériorité*

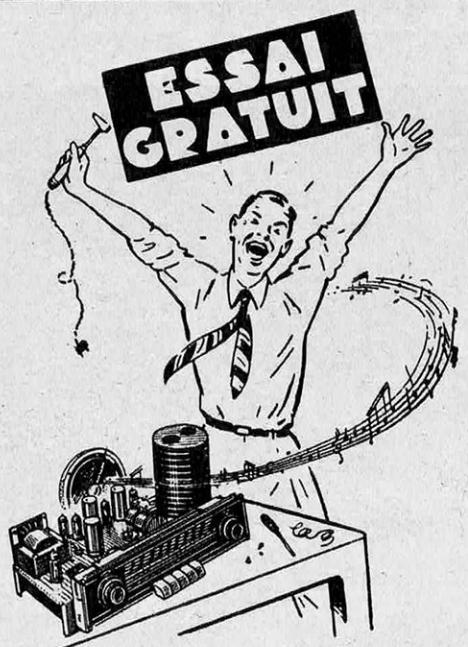
Pour être totalement satisfait par le prix et la qualité  
Exigez de votre Fournisseur un **Électrophone HIFIVOX**

Gamme complète de modèles : à 1 H. P.  
- 2 H. P. - 3 H. P. - Chaîne à Haute  
Fidélité - Modèles à transistors - Modèle  
stéréophonique.  
Tous équipés de la fameuse platine Mélo-  
dyne 4 vitesses.

Demandez notre documentation détaillée et  
illustrée avec adresse de notre Agent local.

# HIFIVOX

PRODUCTION BARBIERI 3, RUE LAFFITTE PARIS-9<sup>e</sup> PRO.89-28



*J'ai compris*  
LA RADIO ET LA TÉLÉVISION  
grâce à  
L'ÉCOLE PRATIQUE  
D'ÉLECTRONIQUE

Sans quitter votre occupation actuelle et en y consacrant 1 ou 2 heures par jour, apprenez la RADIO qui vous conduira rapidement à une brillante situation.  
Vous apprendrez Montage, Construction et Dépannage de tous les postes.  
Vous recevez un matériel ultra moderne : Transistors, Circuits Imprimés et Appareils de mesures les plus perfectionnés qui resteront votre propriété.  
Sans aucun engagement, sans rien payer d'avance, demandez la

*Première  
leçon gratuite!*

Si vous êtes satisfait vous ferez plus tard des versements minimes de 1.250 francs à la cadence que vous choisirez vous-même. A tout moment vous pourrez arrêter vos études sans aucune formalité.

Notre enseignement est à la portée de tous et notre méthode vous émerveillera ! ...

ÉCOLE PRATIQUE  
D'ÉLECTRONIQUE  
Radio - Télévision  
II, Rue du Quatre-Septembre  
PARIS (2<sup>e</sup>)

**SONNECLAIR**  
RADIO TÉLÉVISION S. A.

*Gamme 1959*

**RADIO**  
(8 modèles)

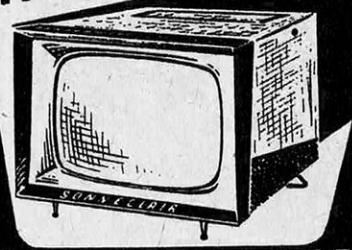
**TRANSISTORS**  
**ELECTROPHONES**  
**COMBINES ET MEUBLES**  
**RADIO-PHONO**

**TÉLÉVISION**  
(6 modèles)

dont le fameux

**dauphin**  
*Super écran*  
43<sup>1/2</sup> et 54<sup>1/2</sup>

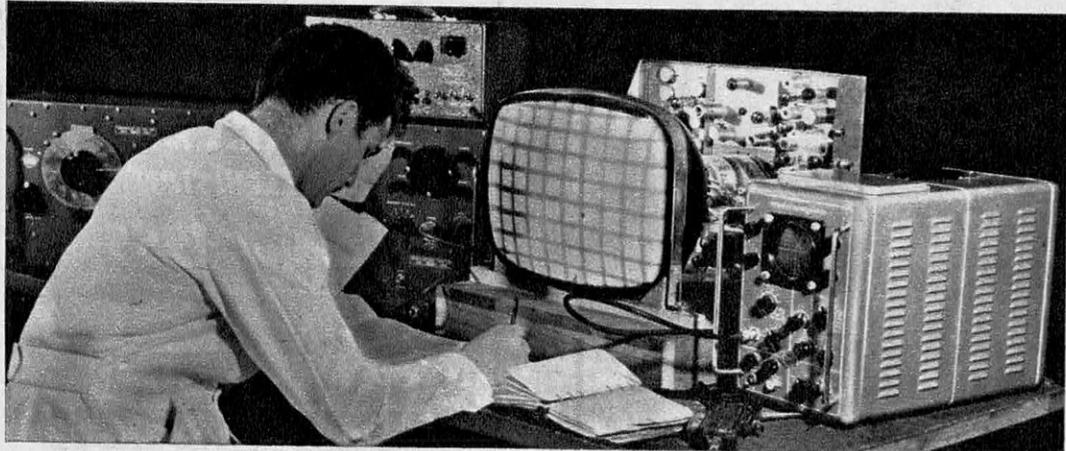
114.500 Frs.



**SONNECLAIR**  
MONTREUIL \* FOURMIES  
(SEINE) (NORD)

ET CHEZ TOUS LES DISTRIBUTEURS

**LA SEULE ÉCOLE D'ÉLECTRONIQUE** qui vous offre toutes ces garanties pour votre avenir



CHAQUE ANNÉE

**2.000 ÉLÈVES**  
suivent nos COURS du JOUR

**800 ÉLÈVES**  
suivent nos COURS du SOIR

**4.000 ÉLÈVES**  
suivent régulièrement nos

**COURS PAR CORRESPONDANCE**  
*Comportant un stage final de 1 à 3 mois dans nos Laboratoires.*

**EMPLOIS ASSURÉS EN FIN d'ÉTUDES**  
par notre "Bureau de Placement"  
sous le contrôle du Ministère du Travail  
*(5 fois plus d'offres d'emplois que d'élèves disponibles).*

L'école occupe la première place aux examens officiels (*Session de Paris*)  
• du brevet d'électronicien  
• d'officiers radio Marine Marchande

Commissariat à l'Énergie Atomique  
Minist. de l'Intérieur (Télécommunications)  
Compagnie AIR FRANCE  
Compagnie FSE THOMSON-HOUSTON  
Compagnie Générale de Géophysique  
Les Expéditions Polaires Françaises  
Ministère des F. A. (MARINE)  
PHILIPS, etc...

*...nous confient des élèves et recherchent nos techniciens.*

DEMANDEZ LE GUIDE DES  
CARRIÈRES N° S.V.E.  
(envoi gratuit)

**ÉCOLE CENTRALE DE TSF ET D'ÉLECTRONIQUE**

12, RUE DE LA LUNE, PARIS-2<sup>e</sup> - CEN 78-87

NUMÉRO HORS SÉRIE

# L'ÉLECTRONIQUE

## dans tous les domaines

### SOMMAIRE

• PETITE HISTOIRE DE L'ÉLECTRONIQUE .....	8
• TUBES ET TRANSISTORS .....	14
• RADIO, TÉLÉVISION, RADAR ABOLISSENT LES DISTANCES..	30
• L'OUTIL UNIVERSEL DU SAVANT.....	56
• ÉLECTRONIQUE, SYNONYME DE CONFORT.....	70
• LA MUSIQUE ÉLECTRONIQUE .....	78
• L'ÉLECTRONIQUE A L'USINE .....	86
• LA SÉCURITÉ DANS LES TRANSPORTS .....	94
• LES MACHINES A TRAITER L'INFORMATION.....	108
• L'AUXILIAIRE INDISPENSABLE DE LA MÉDECINE.....	132
• LA GUERRE MODERNE ET L'ÉLECTRONIQUE .....	142

### TARIF DES ABONNEMENTS

	France et Union Fr <sup>e</sup>	Étranger	Belgique et Grand Duché	Congo belge et Hollande
UN AN, 12 parutions .....	1500 fr.	2000 fr.	180 fr. belges	200fr. belges
UN AN, 12 parutions .....	(envoi recom.)	2250 fr.	2800 fr.	
UN AN, avec en plus, 4 numéros hors série .....	2400 fr.	3200 fr.	330 fr. belges	375fr. belges
UN AN, avec en plus, 4 numéros hors série.. (envoi recom.)	3400 fr.	4200 fr.		

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

Administration, Rédaction : 5, rue de La Baume, Paris-8<sup>e</sup>. Tél.: Balzac 57-61. Chèque postal 91-07 PARIS  
Adresse télégraphique : SIENVIE-Paris. — Publicité : 2, rue de La Baume, Paris-8<sup>e</sup>. Tél.: Elysées 87-46

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Copyright by SCIENCE ET VIE. Décembre 1959



Thomas A. Edison



Lee de Forest



V.K. Zworykin

Ces inventeurs ont joué un rôle capital dans l'histoire des tubes à vide. L'effet Edison a été découvert dès 1883, Lee de Forest imagina la triode en 1907 et Zworykin l'iconoscope en 1934.

## Petite histo

**S**i nous en croyons l'historien Diogène Laërce, les premiers hommes qui expérimentèrent sur l'électron furent des Grecs d'Ionie, contemporains du géomètre Thalès de Milet, vers l'an 600 av. J.-C.

A vrai dire, Thalès n'entendait pas le mot dans le même sens que nous. Elektron, en grec, signifie *ambre jaune*. Le phénomène observé était mince. Les Ioniens avaient remarqué qu'un morceau d'ambre jaune, frotté avec un chiffon de laine bien sec, acquérait une propriété singulière : il attirait à distance les corps légers... comme une pierre d'aimant. Mais tandis que l'aimant attire presque uniquement le fer, l'admirable ambre jaune, excité, attirait généreusement bouts de fil, feuilles sèches et fétus de paille.

On nomma tout naturellement « électrisité » cette mystérieuse propriété attractive. Telle fut la contribution, surtout linguistique, des Hellènes à cette science encore dans sa première enfance.

Thalès, pour sa part, crut apporter une explication décisive du phénomène. « L'ambre, dit-il, possède une âme, et il attire les objets comme par un souffle ! » Aucun de ces Ioniens pas plus que, plus tard, Aristote ou Pline, n'eut l'intuition que cette « vertu » électromécanique était de nature corpusculaire. Démocrite et Lucrèce, il est vrai, expliquèrent bien que la matière est formée d'atome. Mais le terme même indique que ces particules, dans leur esprit, étaient indivisibles. Et jamais, au grand jamais, les frotteurs d'ambre ne se doutèrent que leur chiffon arrachait tout simplement, aux atomes constituant cet

# Opire de l'électronique

ambre, leurs *électrons* négatifs périphériques, au sens que nous donnons aujourd'hui à ce mot.

Bien des années plus tard, un ancien ouvrier relieur britannique dont le nom est légitimement célèbre, Faraday, s'avisa d'une autre étymologie poétique. Pour désigner un atome électrisé, tel qu'il s'en rencontre dans les solutions salines, il lança le mot — qui est resté — de *ion*. Or, en grec, le mot « ion » veut dire « violette ». Les physiciens ne sont-ils pas des poètes ? Il est vrai que Faraday a peut-être pensé à Ion, chef de la dynastie ionienne, auquel cas le terme serait simplement un nouvel hommage à l'antique Grèce d'Asie.

## De Gilbert de Colchester à Volta

Durant 25 siècles, les savants vont vivre sur l'idée de l'électricité *substance continue*, puis des deux électricités de signes contraires, positive et négative, capables de se neutraliser l'une l'autre, mais également continues. Quoi de plus naturel ? Avons-nous l'idée de fragmenter la chaleur en doses « discrètes », la force de nos muscles en « atomes de grammes » ? L'idée générale de *quantum* n'est pas naturelle à l'homme : elle s'est imposée sous la pression logique de l'observation. Guillaume Gilbert, de Colchester, médecin de la reine Elizabeth d'Angleterre, auteur du traité *De arte magnetica*, mit au point de véritables détecteurs d'électricité, constitués par une « boussole électrostatique », ancêtres de la fameuse balance de torsion de Coulomb.

Vinrent ensuite les fastes de l'« électricité mondaine », avec les machines à plateaux de verre de l'abbé Nollet, la bouteille de Leyde, la découverte de la nature électrique de la foudre par Franklin. En 1729, Grey et Wheeler distinguèrent les corps en « conducteurs » et « isolants », mais tout cela n'imposait pas l'idée d'une *structure granulaire* de l'électricité ; ces gens voyaient, si l'on peut dire, des champs et des phénomènes de contact, rien qui appelât une numération discrète.

L'aventure débute, sans qu'on y prit garde, avec l'invention de la pile par Volta, ou plutôt quand Davy et quelques autres s'aviseront d'effectuer des décompositions chimiques avec la nouvelle électricité, autrement dit, de pratiquer l'électrolyse. On en arrive ainsi aux lois quantitatives de Faraday, dont le cousinage avec le fameux « nombre d'Avogadro » aurait dû éclairer les esprits. Toutefois, on pouvait se dire que, dans une cuve électrolytique, l'électricité était bien obligée de se « poser » sur chaque ion conformément à la capacité de celui-ci, tout comme l'eau emplit une collection de litres sans être pour autant, par nature, structuralement divisée en litres.

## Le tube de Crookes

Au fond, le « granule d'électricité » ne s'impose aux savants que progressivement, à partir du moment où ils étudient la propagation de l'électricité *sans support matériel apparent*, autrement dit les décharges dans le vide.

A l'Exposition Universelle de 1866, un simple ouvrier, « bricoleur » génial, nommé Rhumkorff, avait présenté une énorme bobine magnétique à double enroulement, terminée par un « trembleur ». Alimentée en courant continu, que le trembleur hachait, la bobine fournissait, à travers un circuit secondaire à fil fin (long de 200 km) une tension disruptive très élevée. Ce fut l'ancêtre de toutes nos bobines d'allumage et, au trembleur près, de nos transformateurs.

Remarquée par l'Empereur, honorée de flatteuses médailles, la bobine de Rhumkorff reçut d'innombrables applications dont une seule nous intéresse : la production d'admirables rosaces veinulées, roses, bleues, violettes dans la spirale contournée des « tubes de Gessler ».

Qui était ce Gessler, sans parenté avec le tyran à la pomme, occis par Guillaume Tell ? Un verrier adroit, doublé d'un physicien curieux, qui eut l'idée d'observer ce que deviendrait la décharge lumineuse si l'on procédait dans un gaz raréfié. A vrai dire, il ne put aller très loin, étant donné l'imperfection de ses pompes ; ce furent un Allemand nommé Hittorf, puis le grand physicien britannique William Crookes, qui réussirent à pousser le vide jusqu'à des chiffres très bas, de l'ordre du centième de millimètre de mercure.

Crookes utilisait une bobine de Rhumkorff présentant une coupure dans le secondaire, disposition qui fournit une haute tension continue, ou du moins toujours de même signe. Quand cette tension atteignit quelques milliers de volts — ce qui correspond à une longueur d'étincelle de 2 à 3 cm dans l'atmosphère — il vit se dessiner dans le tube une colonne lumineuse très pâle, partant de la cathode (électrode négative) ; à l'opposite, la colonne venait dessiner, sur le verre de l'ampoule, une frémissante tache d'une fluorescence verte.

L'expérience de Crookes (1879) fut attentivement répétée par tous les physiciens. Le phénomène était bizarre. Qu'il se produisit un faisceau — de nature inconnue — dans l'axe du tube, rien ne surprenant : c'était le cheminement de l'électricité d'un pôle à l'autre. Mais ce faisceau aurait dû s'en aller rejoindre l'anode (électrode positive) ; que signifiait ce trajet rectiligne ? Et quel était le sens de la tache fluorescente apparue sur le verre inerte ?

Les uns pensaient que le faisceau de Crookes était immatériel, proche parent de la lumière ; d'autres penchaient pour un jet de minuscules projectiles... Projectiles ! Voilà le grand mot lâché ! Des projectiles de quoi ? D'électricité évidemment puisque rien de ma-

tériel ne se transporte dans le tube. Et voilà le bienheureux granule d'électricité négative, l'électron, qui fait son apparition dans l'esprit des hommes.

Crookes était à peu près de cet avis ; il eut l'idée d'introduire dans son tube un léger moulinet, qui se mit à tourner sous l'impact des corpuscules. La preuve, toutefois, était insuffisante, car on n'ignore pas que les « pressions de radiation », celle de la lumière par exemple, peuvent produire des effets identiques.

La preuve matérielle fut apportée par un jeune savant que d'autres travaux devaient conduire à l'immortalité : Pierre Curie. Celui-ci introduisit dans le tube de Crookes un boîtier métallique creux formant « cage de Faraday », c'est-à-dire capable de retenir les charges électriques. Ce boîtier-cage était relié à un électromètre. Quand on fit fonctionner le tube, on vit l'aiguille de l'électromètre dévier peu à peu, attestant que le boîtier se chargeait négativement.

### Comment on pèse les électrons

Comme les *ondes*, lumineuses ou autres, ne transportent pas de charges, force était bien, cette fois, d'admettre que ces charges arrivaient « personnellement », si l'on peut dire, sans support matériel. Ce fut l'acte de naissance de l'électron.

On se préoccupa alors de faire plus ample connaissance avec les nouveaux venus, et, naturellement, on en trouva partout. Ceci ne saurait surprendre, puisque nous savons que les électrons, sous forme de satellites du noyau, font partie des atomes de tous les corps matériels qui nous entourent.

Faisons ici une petite place à un homme qui fut grand dans d'autres domaines : Thomas-Alva Edison. Ce « bricoleur » de génie — le « sorcier de Menlo-Park » — observa que les métaux, chauffés dans le vide, émettent des électrons. C'est ce qu'on appelle l'*effet Edison*, un des rares « effets » dont ce savant commercial ne tira absolument rien. Fleming et Lee de Forest furent plus heureux parce que plus instruits ; nous retrouverons ces deux noms à propos de la naissance de la radio.

L'« œil électrique », ou cellule photoélectrique arriva également à la rescousse. On y vit, si l'on peut dire, la lumière arracher des électrons périphériques aux métaux les plus vulnérables, les alcalins et les alcalino-terreux.

Décrochés de leurs orbites par la lumière, lancés par la chaleur, projetés par les décharges électriques, les électrons pleuvaient de partout ! Il restait à les *individualiser* ; ce fut l'œuvre du grand physicien anglais J. J.

Thomson, qui réussit, en 1897, à les peser unitairement, en rapport avec leur minuscule charge électrique.

Le savant britannique utilisa un dispositif analogue à ce que nous appellerions aujourd'hui un « spectrographe de masse ». C'était un tube de Crookes que l'on pouvait soumettre à un champ électrique transversal, puis à un champ magnétique également transversal. Le champ électrique dévia obliquement le jet électronique, ce qui ne saurait surprendre, puisque nous avons affaire à une grêle électrisée. Le champ magnétique les perturba de façon plus bizarre : on eut dit que les électrons s'enroulaient en cercle autour des lignes de force du champ. Là encore, il n'y avait que demi-surprise, puisque les électrons, charges électriques en mouvement, sont assimilables à des courants électriques, obéissant aux règles d'Ampère.

La comparaison des deux déviations, traitées par le calcul, fournit à Sir J. J. Thomson la masse et la vitesse des électrons ; cette dernière variait, suivant les potentiels mis en jeu, de 20 000 au chiffre énorme de 200 000 km par seconde, les deux tiers de la vitesse de la lumière !

Passons sur les années 1900 à 1920, qui correspondent à l'exploration interne de la matière et à la constitution des théories atomiques modernes. Désormais, depuis le fameux « modèle » de Niels Bohr, la matière est bien et dûment cataloguée comme doublément électrique : positive dans le secret de son noyau, négative en ses électrons-planètes.

### La merveilleuse expérience de Millikan

Arrivons aux entours de 1925, où Jean Perrin et Millikan vont scruter jusqu'à une « évidence » insoupçonnée la fiche d'identité des électrons. C'est l'expérience fameuse des « brouillards d'huile » de Millikan, qui nous fait toucher du doigt le caractère séparé, discret, des granules électriques.

Millikan dispose de deux plateaux métalliques horizontaux, placés l'un au-dessus de l'autre, formant « condensateur » ; le plateau supérieur est relié au pôle positif d'une source électrique à haute tension, le plateau inférieur au pôle négatif.

Entre les deux plateaux, on pulvérise un fin brouillard — nous dirions aujourd'hui un aérosol — d'huile, dont les gouttelettes n'excèdent pas 1 millième de millimètre. Au moyen d'un microscope spécial, on fait choix de l'une des micro-gouttes, le condensateur n'étant pas chargé, et l'on note soigneusement

sa vitesse de chute, nécessairement très faible.

Sans perdre de vue le minuscule point brillant, on met alors les plateaux sous tension et, simultanément, on envoie transversalement un faisceau de rayons X. Ceux-ci ont la propriété d'ioniser l'atmosphère gazeuse dans laquelle on fait l'expérience, c'est-à-dire qu'ils arrachent des électrons aux atomes du gaz. Ces électrons, errant au hasard, se dirigent par attraction vers le plateau supérieur, positif. Toujours par hasard, il arrive qu'un électron percute une goutte d'huile. A ce moment, la goutte se trouve chargée et remonte elle-même vers le plateau supérieur.

Or — c'est ici que l'expérience devient saisissante — on observe que les gouttelettes se comportent essentiellement *par sauts brusques*, ce qui prouve bien qu'elles reçoivent l'électricité négative sous forme « granulaire ». Connaissant — par sa vitesse de chute libre — la masse de la goutte, et l'intensité du champ électrique entre les plateaux, on possède les données nécessaires pour calculer la charge élémentaire de l'électron.

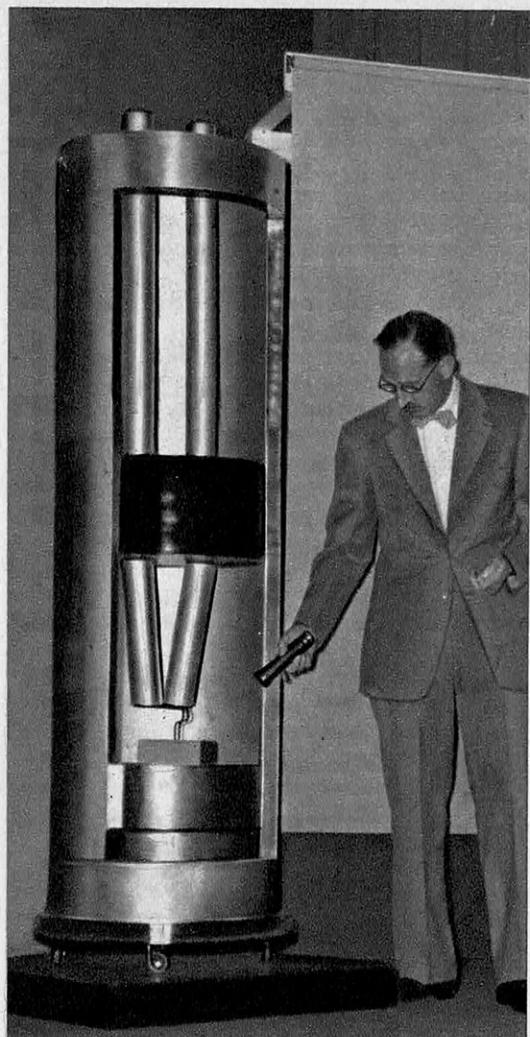
Cette charge de l'électron est une des constantes de l'univers. Millikan l'a trouvée égale à  $1,6 \times 10^{-19}$  coulomb (1 coulomb par seconde correspond à un courant de 1 ampère).

### L'électron projectile et son onde pilote

L'électron va maintenant révéler ses propriétés et prendre le grand départ vers des applications hautement caractéristiques. En 1925, deux Hollandais, Uhlenbeck et Goudsmit, lui découvrent un « spin », c'est-à-dire un élan de rotation, ou « moment cinétique ». Hans Busch, dès l'année suivante, construit le premier microscope électronique ; toute une « optique électronique » va naître, où les rayons lumineux sont remplacés par des jets d'électrons, où des anneaux électrisés et des bobines focalisantes magnétiques remplacent les lentilles de l'optique classique.

En 1927, alerte. Davisson et Germer découvrent un phénomène interdit, en apparence, aux jets corpusculaires : la diffraction des électrons sur les surfaces cristallines. Il est peut être heureux que cette découverte n'ait pas eu lieu trente ans plus tôt, car, survenant alors que la nature corpusculaire des électrons était encore discutée, elle eut achevé d'embrouiller le problème !

En 1927, et à plus forte raison aujourd'hui, tout péril a disparu parce que nous nous faisons — grâce à la Mécanique ondulatoire de Louis de Broglie — une idée suffisamment logique, sinon cohérente, de la dualité ondes-corpuscules. Oui, les électrons sont des cor-



## ← Naissance du transistor

C'est en juin 1948 que les Bell Laboratories firent connaître officiellement les résultats des travaux de trois de leurs chercheurs dans le domaine des semi-conducteurs et exposèrent le modèle désormais historique du premier transistor à pointes (ci-contre). Le Prix Nobel consacra le succès des trois pionniers.

dans ses débuts des transmissions radio-électriques ? Non par nature, puisque aucun électron n'accompagne le vol des ondes d'une station à l'autre; mais par les prodigieuses facilités qu'apporte l'électron pour engendrer, détecter, amplifier, moduler de toutes manières les oscillations extrêmement rapides liées à l'existence de ces ondes.

### La naissance de la «lampe»

Erstedt (1819), Ampère (à partir de 1820), puis Faraday nous acheminent de l'ignorance complète jusqu'aux lois bien établies de l'électromagnétisme : qui dit électromagnétisme, ou induction, dit action à distance, mais à quelques centimètres tout au plus aux fréquences que nous qualifions maintenant d'industrielles. A plus forte distance, une liaison ne pourrait être établie qu'en faisant appel à ce que d'Arsonval appela plus tard des courants de haute fréquence.

Telles sont les idées qui découlent des travaux mathématiques fameux d'un élève de Faraday, Clerk Maxwell (1864). Sur le papier, les ondes étaient nées; Fitzgerald en produisit dans des circuits, Edison essaya d'en lancer dans l'espace, mais échoua, Heinrich Rudolf Hertz, en 1887, y réussit.

Tout de suite, c'est la chasse au détecteur qui commence, et l'électron, encore masqué, intervient. Car ce sont bien les électrons de la limaille métallique, dans le célèbre tube de Branly (cohéreur) qui sont à l'œuvre, avec leur circulation dissymétrique aux points de contact, pour déceler les ondes anémiques transmises dans l'espace. Comme ce seront plus tard les électrons et les ions qui conditionneront le fonctionnement du détecteur électrolytique de Ferrié et de cette merveille rustique, le détecteur à galène, simple pointe métallique reposant sur un cristal de sulfure de plomb.

Ici s'amorce, aux premières années du siècle, ce qu'il faut bien appeler la « bagarre de la lampe ». L'« effet Edison » n'a pas été perdu pour tout le monde. Fleming, en Angleterre, s'avisa d'utiliser comme source d'électrons un filament chauffé par une source

puscules, mais comme tout corpuscule mobile ils sont inséparables d'une « onde pilote » personnelle, qui se manifeste également. Notion féconde, rebelle au sens commun et qui fait songer au fameux : « L'homme peut plus qu'il ne sait ! » de Claude Bernard.

En 1932, enfin, Carl Anderson découvre l'électron positif... Mais arrêtons-nous au seuil des laboratoires contemporains, équipés de chambres à brouillard de Wilson, de compteurs de Geiger-Muller, de cuves à hélium liquide, où Saint Thomas lui-même, voyant de ses yeux le cheminement individuel des particules, entendant de ses oreilles leurs impacts, ne pourrait plus douter. Il nous faut — pour donner toute son ampleur à ce panorama de l'électronique — revenir sur nos pas pour suivre les progrès de la radio.

Pourquoi l'électronique est-elle inséparable

auxiliaire et logé dans une ampoule vide d'air. L'Américain Lee de Forest arriva au même point par des voies bien différentes; son premier détecteur fut... la flamme d'un béc Bunsen (béc de gaz à flamme bleue) dans laquelle il plaçait ses électrodes ! Lee de Forest — qui fut par ailleurs un véritable martyr de la Science — en vint à utiliser plus commodément un filament incandescent, mais il alla plus loin que Fleming : il introduisit d'abord une seconde plaque positive, puis la grille, qui contrôle le vol des électrons. Ainsi naquit la *lampe triode* (et bientôt pentode, octode, etc.), le « tube à vide », d'où est sortie toute l'électronique jusqu'à nos jours.

### Avènement des transistors

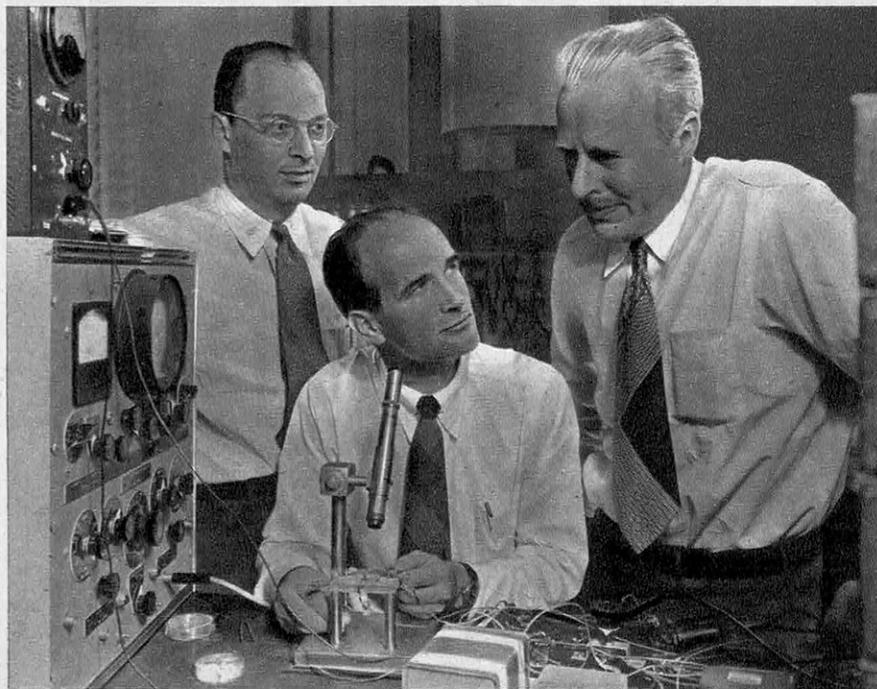
Aujourd'hui, un rival est né à la lampe : le cristal à conduction dissymétrique, d'où est sorti le transistor. L'affaire était dans l'air depuis 1935, date où les chercheurs se mirent à fouiller les stocks des boutiquiers pour acheter tous les anciens postes à galène, appelés à de fructueuses transformations.

Dans les cristaux, les atomes sont disposés en « mailles » dont la régularité n'est inter-

rompue que par des impuretés. Il peut arriver que des électrons figurent en trop dans certaines mailles ou, au contraire, manquent, laissant des « vacuoles ». Si l'on met au contact des corps de ce genre, convenablement choisis, on peut obtenir des effets de dissymétrie, donc de détection. Un second contact, influençant le premier, conduira à des effets de verrou, c'est-à-dire finalement à la réalisation de véritables amplificateurs à cristal, les transistors.

Ici, il faut avouer que la notion d'électron devient tout à fait subtile, bien plus difficile à imaginer que l'électron volant en nuage invisible dans le vide d'une « lampe ». Et pourtant, nous sommes bien encore dans le domaine de l'électronique, qui est essentiellement celui des électrons bénéficiant d'une certaine liberté. Point de liberté dans un fil de cuivre, où les électrons sont obligés de se suivre sous la férule de la loi d'Ohm. Mais la destinée « hasardeuse » des électrons libres, que ce soit dans le vide d'une ampoule ou dans les mailles d'un cristal de germanium, offre aux physiciens des possibilités gigantesques, que nos pères n'avaient pas même soupçonnées.

Pierre DEVAUX



Bardeen, Shockley, Brattain, inventeurs du transistor.

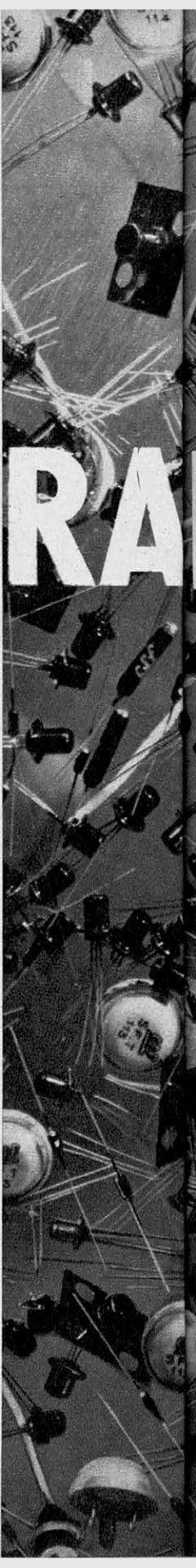
## Les armes classiques et nouvelles de l'électronique:

# TUBES ET TRA

L'ÉLECTRON est un constituant universel du monde matériel. On sait que tout corps, solide, liquide ou gaz, est formé d'atomes et que tout atome comporte un noyau qu'en-tourent des électrons : un électron pour l'atome d'hydrogène, deux pour l'hélium, trois pour le lithium, quatre pour le beryllium, cinq pour le bore, et ainsi de suite jusqu'à 92 pour l'uranium et plus encore pour les éléments transuraniens que l'on a su obtenir au laboratoire. L'atome est normalement électriquement neutre car la charge négative des électrons équilibre exactement celle, positive, du noyau.

Pour fixer les idées, il est bon dès maintenant de donner quelques chiffres, 1 gramme d'hydrogène représente quelque  $3 \times 10^{23}$  molécules (le chiffre 3 suivi de 23 zéros) et donc  $6 \times 10^{23}$  atomes, car il entre deux atomes dans une molécule d'hydrogène. L'atome d'hydrogène pèse donc  $1,67 \times 10^{-24}$  gramme (1,67 divisé par un nombre formé de 1 suivi de 24 zéros). Quant à l'électron, on lui attribue une masse 1 840 fois plus petite encore. Les deux grandeurs principales qui caractérisent l'électron sont sa masse :  $9,11 \times 10^{-28}$  gramme, et sa charge :  $1,6 \times 10^{-19}$  coulomb. Pour se rendre compte de l'extraordinaire petitesse de la masse de l'électron, on peut, par exemple, se représenter qu'un microgramme (un millionième de gramme) pèse à peu près autant que 1 100 milliards d'électrons ! De la même façon, un modeste courant d'un ampère correspond au passage de  $6,24 \times 10^{18}$  électrons, c'est-à-dire 6,24 milliards de milliards d'électrons, en une seconde ! La

Arsenal de diodes à semi-conducteurs et de transistors →



# TRANSISTORS

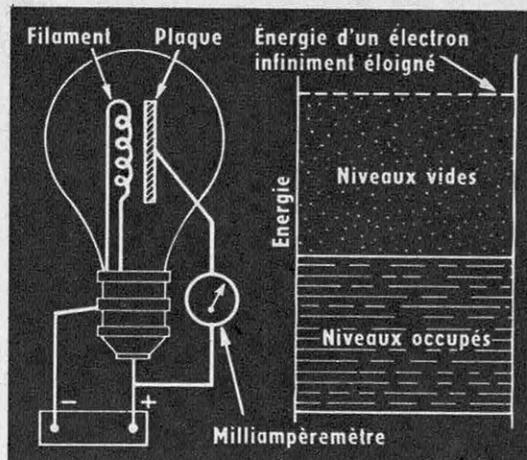
A black and white photograph showing a dense, intricate network of various electronic components, primarily transistors, arranged in a circular, radiating pattern. The components are interconnected by numerous thin, light-colored lines representing wires or traces. The overall effect is one of a complex circuit board or a microscopic view of a semiconductor material. The lighting is dramatic, highlighting the metallic bodies and the leads of the transistors against a dark, textured background.

charge de l'électron est la plus petite quantité d'électricité qui existe; c'est le « grain élémentaire » d'électricité.

Il est assez séduisant de se représenter un atome comme un système solaire miniature, ainsi que l'a proposé Rutherford il y a plus de cinquante ans : autour du noyau-soleil gravitent, sur des orbites diverses, les électrons-planètes. Mais ce modèle trop simple n'était guère satisfaisant pour les hommes de science. Un électron chargé gravitant autour du noyau devrait émettre un rayonnement dont l'énergie serait empruntée à son énergie de mouvement et il devrait retomber fatallement sur le noyau, ce que contredit formellement l'expérience.

La théorie du Danois Niels Bohr (1913) s'accordait mieux avec la réalité : les électrons ne pouvaient décrire que certaines orbites d'énergie bien définie et leur circulation sur ces orbites n'entraînait pas d'échange d'énergie avec le milieu extérieur ; le passage d'une orbite à une autre, au contraire, exigeait soit l'apport d'une énergie extérieure, soit l'émission d'une énergie vers l'extérieur, correspondant exactement à la différence des énergies des deux orbites. Cette notion est très importante : elle indique que les électrons planétaires doivent se trouver sur des orbites, ou plutôt des couches bien définies entre lesquelles ils ne peuvent rester ; elle montre aussi qu'il existe des états normaux de l'atome, d'énergie minimum, et des états excités où certains électrons sont passés sur des couches supérieures par rapport à leur couche normale.

Les lois qui président à la répartition des électrons sur les couches sont bien connues. A partir du noyau, on trouve au maximum 2 électrons sur la première, 8 sur la seconde et sur la troisième, 18 sur la quatrième et la cinquième, 32 sur la sixième ; la septième pourrait en recevoir au plus 50, mais on ne con-



**L'émission thermoélectrique** se produit lorsque, dans le filament chauffé où les électrons sont portés à des niveaux d'énergie supérieurs à la normale, certains ont assez d'énergie pour s'échapper.

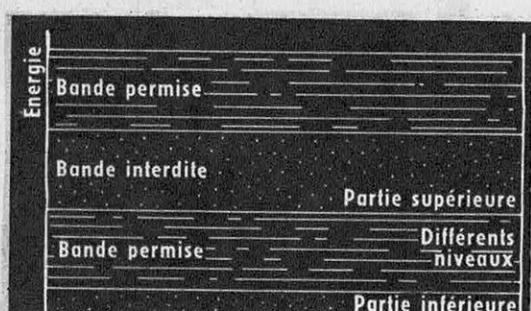
naît pas les éléments correspondants au-delà de 16 électrons. Les atomes qui possèdent le même nombre d'électrons sur leur couche extérieure présentent de grandes analogies chimiques. Du point de vue de l'électronique également, ce sont les électrons de la dernière couche qui sont les plus intéressants.

### Les électrons dans les solides

Il est particulièrement difficile de décrire la structure atomique des corps solides, dont l'étude théorique est très complexe. Elle a permis toutefois de transposer à l'échelle du solide certaines notions établies à propos de l'atome, en particulier celle de niveaux d'énergie permis et interdits pour les électrons d'un solide, considérés dans leur ensemble.

Si l'on étudie la répartition de l'énergie entre ces électrons, on met en évidence des bandes permises séparées par des bandes interdites où les électrons ne peuvent subsister, comme le montre la figure ci-contre. Les principes qui permettent de placer les électrons sur les couches électroniques d'un atome se généralisent ici : il existe dans l'ordre des énergies croissantes des bandes saturées dans lesquelles ne peuvent s'introduire de nouveaux électrons, des bandes incomplètes où tous les niveaux d'énergie ne sont pas occupés, des bandes vides, enfin, où normalement il n'y a aucun électron.

Supposons que nous ayons affaire à un corps dont la bande supérieure soit saturée et que nous lui appliquions un champ électrique. Aucun électron ne peut prendre d'énergie



**Dans un solide,** les électrons ne peuvent occuper que des bandes d'énergie déterminées, séparées par des bandes interdites où ils ne peuvent subsister.

supplémentaire à moins de franchir la zone interdite qui sépare sa bande de la bande supérieure. Autrement dit, aucun électron n'est libre, aucun courant ne passe et le corps est un *isolant*.

Supposons maintenant, au contraire, que la bande supérieure soit incomplète et ne contienne que peu d'électrons qui occupent naturellement les niveaux les plus bas. Un champ électrique même très faible pourra les faire passer à un niveau d'énergie supérieur sans quitter la bande, donc les accélérer ; un courant passera, le corps est *conducteur*.

Supposons enfin que la bande en question contienne un grand nombre d'électrons, les rares places vacantes se situant aux niveaux supérieurs de la bande. Il est intéressant d'imaginer que l'on complète la bande en ajoutant les électrons manquants pour la saturer et autant de charges positives pour ne pas modifier l'état électrique du corps. En présence d'un champ électrique, les électrons ne jouent plus aucun rôle, puisque la bande est saturée comme dans un isolant ; mais ce sont les charges positives qui semblent se déplacer. On dit qu'on a affaire à une *conduction par trous*, parce qu'on oppose aux électrons négatifs les « trous » positifs. Il ne s'agit naturellement que d'une image, puisque ce sont finalement des électrons qui se déplacent de trou en trou, mais tout se passe comme si les trous voyageaient réellement.

Nous verrons plus loin l'intérêt de ces considérations, en particulier lorsque nous parlerons des semi-conducteurs et des transistors. Elles peuvent servir à expliquer dès maintenant l'influence de la température sur la conductivité.

Prenons par exemple un isolant, dont, à très basse température, la bande supérieure est saturée et séparée de la bande permise immédiatement supérieure par une bande interdite. A une température suffisamment élevée, l'agitation thermique des atomes communique des impulsions aux électrons dont quelques-uns peuvent acquérir une énergie suffisante pour passer dans la bande permise jusqu'à vide. Les électrons dans cette bande peuvent alors donner lieu à une conduction par électrons. Mais dans la bande précédemment saturée se trouvent maintenant des lacunes qui peuvent donner lieu à une conduction par trous. Le corps a perdu sa qualité d'isolant et est devenu légèrement conducteur.

### L'émission thermoélectronique

On sait qu'Edison, en 1884, fit, avec une lampe à vide à incandescence, dont il est d'ailleurs l'inventeur, une expérience que l'on

peut bien considérer comme la première expérience d'électronique. Il avait disposé une plaque métallique supplémentaire dans l'ampoule et l'avait reliée à la borne positive de la batterie qui chauffait le filament. Il constata alors qu'un milliampèremètre placé dans le circuit de cette plaque déviait et donc qu'un courant passait à travers le vide de l'ampoule.

Cette expérience n'est pas pour nous surprendre, avec ce que nous savons de la structure des solides. Le métal du filament est porté à haute température et la violente agitation thermique des atomes porte les électrons à des niveaux bien supérieurs à leur niveau normal. Quelques-uns acquièrent même une énergie correspondant à celle d'un électron infiniment éloigné ; ils s'échappent du métal et parviennent à la plaque positive qui les attire. C'est l'émission thermoélectronique ou thermoionique.

Dans cette expérience, le courant croît naturellement avec la température du filament, mais, pour une température donnée du filament, si positive que soit la plaque (grâce à une batterie que l'on intercale sur le circuit de la plaque), celle-ci n'arrive pas à capter davantage d'électrons à partir d'un certain potentiel, ce qui est bien naturel puisque l'émission électronique provient du filament. C'est ce qu'on exprime en disant qu'on a atteint le *courant de saturation*.

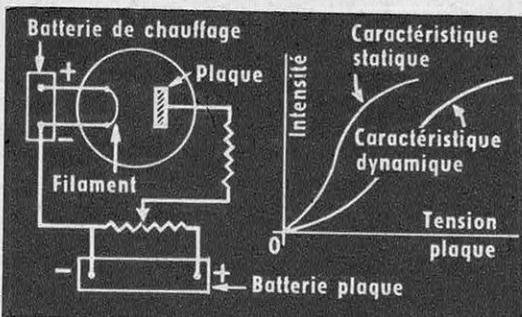
### La diode

Les premières diodes ont été construites vers 1903, et n'étaient guère différentes de l'ampoule qui avait servi à l'expérience d'Edison.

La diode est le plus simple des tubes électroniques avec seulement un filament incandescent opposé à une plaque métallique. Lorsque la plaque est portée à un potentiel positif par rapport au filament, un courant passe dans le circuit plaque. Si l'on trace la courbe de l'intensité du courant en fonction du potentiel, on obtient la « caractéristique » de la diode.

Imaginons maintenant qu'on alimente la plaque non plus par une batterie, mais par une source alternative : le courant ne passera que lorsque la plaque sera positive par rapport au filament, c'est-à-dire lors des alternances positives de la tension alternative. On aura réalisé un *redresseur*.

Jusqu'à présent, nous avons admis que le filament de la diode n'était pas très différent de celui d'une lampe à incandescence. Effectivement, il existe des tubes, et pas seulement des diodes, qui comportent un filament à chauffage direct, qui peut être de tungstène pur ou



**La diode** comporte seulement un filament incandescent et une plaque qui capte les électrons. À droite, la caractéristique statique (à vide) et dynamique (quand le tube débite dans une résistance).

de tungstène thoré. Toutefois, la grande majorité des tubes modernes de petite et moyenne puissance (car tous les tubes comportent évidemment une électrode émissive ou source d'électrons appelée *cathode*) et pas mal de diodes sont à chauffage indirect, c'est-à-dire que la cathode est chauffée par un filament auxiliaire ; elle est généralement recouverte d'une couche d'oxydes alcalino-terreux dont le mélange est très favorable à une forte émission d'électrons sous l'influence de la température. Les cathodes peuvent en pratique prendre les formes les plus diverses.

### La triode

En 1907, un ingénieur américain, Lee de Forest, s'aperçut que l'introduction d'une grille polarisée entre la cathode et l'anode d'une diode (on appelle plus volontiers anode l'électrode que nous avons jusqu'ici nommée plaque) était de nature à modifier considéra-

blement le fonctionnement du tube auquel il donna le nom de triode et qui devait être le point de départ de l'extraordinaire développement des télécommunications.

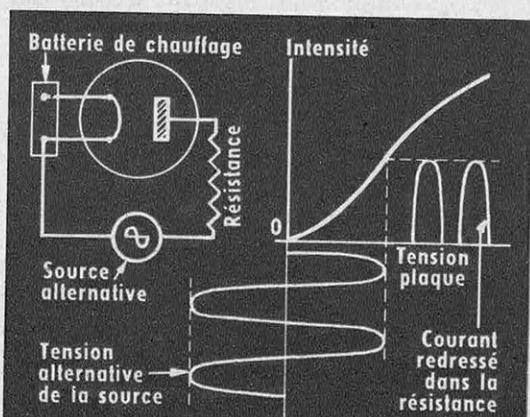
Comment se comportent des électrons à travers un grille ? C'est ce que montre la figure page 20 où on suppose que la grille est au milieu de l'espace cathode-anode et d'abord portée à un potentiel moitié de celui de l'anode, ce qui n'introduit aucune perturbation dans la répartition des potentiels. Elle est supposée ensuite portée à un potentiel négatif par rapport à la cathode, d'où une déformation des surfaces d'égal potentiel, ou équipoientielles, et donc des lignes de force qui leur sont perpendiculaires ; les électrons émis par la cathode vont alors converger sur des lignes parallèles. Pour un potentiel encore plus négatif, une bonne partie des électrons est repoussée par la grille et revient vers la cathode ; tout se passe comme si, sur la cathode, s'étendait une « zone d'ombre » dont l'émission d'électrons ne parvient plus à l'anode. Plus la grille est négative, plus la zone d'ombre augmente ; elle finit par recouvrir entièrement la cathode et l'anode ne reçoit plus d'électrons.

Ainsi la grille commande le flux des électrons qui vont de la cathode à l'anode ; une variation faible de sa tension peut se traduire par une différence importante du courant dans le circuit plaque qui permet de définir un facteur d'amplification.

Cette faculté d'amplifier les variations de tension a été largement exploitée dès qu'on la mit en évidence, et la triode a connu un succès mérité, malgré ses limitations dont nous ne citerons que l'émission secondaire et les capacités parasites.

Un électron émis par une cathode et attiré par l'anode tombe sur celle-ci avec une énergie cinétique considérable (il acquiert une vitesse de près de 6 000 km/s pour une différence de potentiel de 100 volts). Il peut simplement échauffer la plaque en la percutant, mais il peut aussi heurter un électron périphérique du métal constituant l'anode et lui communiquer une énergie suffisante pour l'expulser. Cet électron est appelé électron secondaire.

D'autre part, lorsque la grille est à un potentiel positif, non seulement elle joue le rôle d'électrode d'accélération, mais elle capte elle-même des électrons qui donnent naissance à un courant de grille, en principe néfaste car il échauffe la grille et introduit une distorsion, du fait qu'il est prélevé sur le courant d'anode normal. Dans certaines conditions, la grille captant les électrons secondaires, le courant plaque peut même devenir



Principe du redressement par une diode.



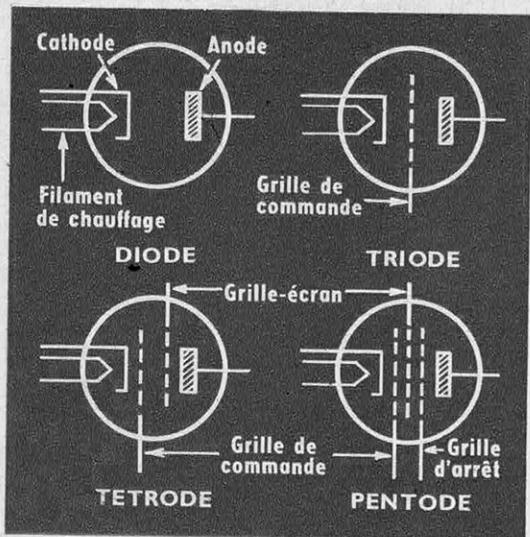
**Les tubes électroniques** adoptent des formes variées : en haut, des « vapotrons » de grande puissance (jusqu'à 300 kW), des doubles triodes et des régulateurs à cathode froide ; en bas, une triode de 2 MW en régime d'impulsions pour amplificateurs à cavité, deux pentodes d'émission, une diode survoltée monoplaque.

négatif et la fonction d'amplification est gravement perturbée.

Un autre défaut des triodes tient aux capacités entre électrodes qui, à certaines fréquences, constituent de véritables court-circuits. Il importait donc de perfectionner la triode pour atténuer les effets de l'émission secondaire d'une part, et réduire la capacité anode-grille, la plus nuisible, d'autre part. De là les recherches sur les tubes multigrilles.

### Tétrode et pentode

La première lampe à deux grilles, appelée bigrille et inventée par Langmuir en 1913, ne visait pas ces objectifs. Mais Schottky créa, en 1915, la lampe à grille-écran qu'on nomme aussi *tétrode* et qui visait à réduire la capacité anode-grille. La deuxième grille se trouve entre la grille de commande et l'anode, ce qui réduit effectivement la capacité constituée



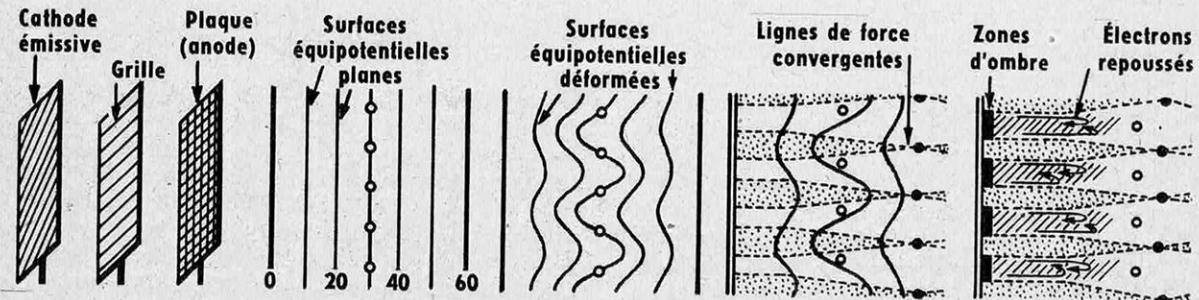
Les quatre types classiques de tubes à vide

par l'ensemble anode-grille, mais ne résoud pas le problème de l'émission des électrons secondaires.

L'Anglais Harries tenta d'améliorer les tétraodes en éloignant la grille-écran de l'anode pour que les électrons secondaires de l'anode puissent difficilement remonter jusqu'à elle. D'autre part, les progrès de l'optique électronique permirent de construire des tétraodes à « faisceaux dirigés » dans lesquelles les électrons de la cathode sont concentrés entre la grille-écran et l'anode, ce qui tend à annuler le courant de grille-écran dû à l'émission secondaire.

Historiquement, la pentode a précédé la tétraode à faisceaux dirigés. Dès 1926, Tel-lingen a proposé d'introduire une troisième grille dite « grille d'arrêt » qui réduit encore la capacité grille de commande-anode et joue surtout un rôle de freinage, étant portée au

**La présence d'une grille entre la cathode et l'anode provoque la déformation des surfaces équipotentielles suivant sa tension. Quand elle devient de plus en plus négative par rapport à la plaque, les électrons sont déviés puis repoussés en nombre croissant jusqu'à ce que leur flux vers l'anode soit complètement arrêté.**



potentiel zéro. Elle ralentit quelque peu les électrons primaires qui, à cause de leur vitesse élevée, parviennent cependant à la franchir, mais elle s'oppose au retour des électrons secondaires de l'anode qui ne possèdent qu'une faible vitesse et qui retombent finalement sur l'anode.

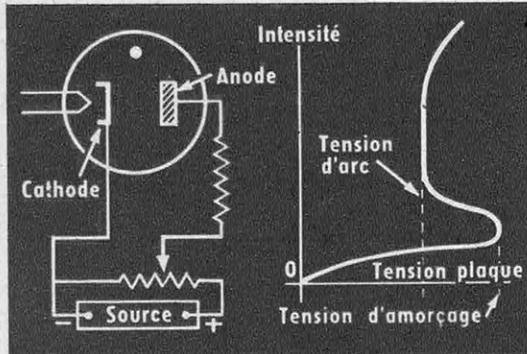
### Tubes à gaz

Jusqu'à présent, nous n'avons envisagé que des tubes à vide, dans lesquels la pression résiduelle est extrêmement faible. Les tubes à gaz, qui renferment une atmosphère à faible pression, n'ont pas du tout le même comportement que les tubes à vide.

En effet, les électrons rencontrent sur leur chemin des molécules gazeuses et peuvent leur arracher des électrons. Il en résulte la présence, dans l'atmosphère de l'ampoule, d'électrons supplémentaires et aussi d'ions positifs (on appelle notamment ainsi les atomes ou molécules qui, ayant perdu un ou plusieurs électrons, ont acquis une charge positive). Encore faut-il que les électrons possèdent, au moment où ils heurtent les molécules, une énergie suffisante, correspondant au moins au potentiel d'ionisation du gaz de l'ampoule : 24 volts environ pour l'hélium, 21 pour le néon, 10 pour la vapeur de mercure, etc...

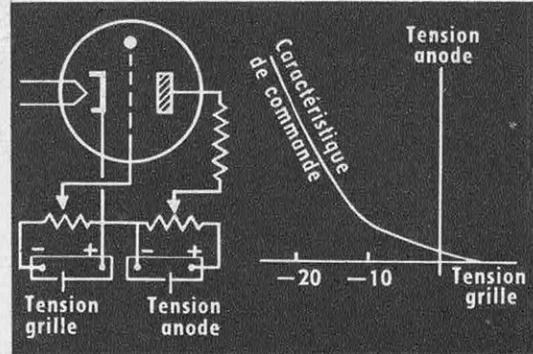
Il faut remarquer qu'une fois la décharge amorcée par une électrode accélératrice (grille), on peut l'entretenir avec un potentiel moindre que le potentiel d'ionisation.

Les tubes à gaz sont de types très variés. Parmi ceux à cathode chaude, on distingue les diodes à basse pression ou « phanotrons », les diodes à haute pression ou « tungars », enfin les triodes ou tétraodes appelées « thytrons ». Parmi ceux à cathode froide (il serait plus exact de dire : non chauffée), les tubes à décharge luminescente, les tubes à arc (« ignitrons », « excitrons »), les tubes à électrode de contrôle, etc...



Dans la diode à gaz, l'ionisation se produit quand la tension prend la valeur d'amorçage et le courant augmente brusquement. Elle cesse quand la tension retombe au-dessous de la valeur appelée « tension d'arc » et le tube se désamorce.

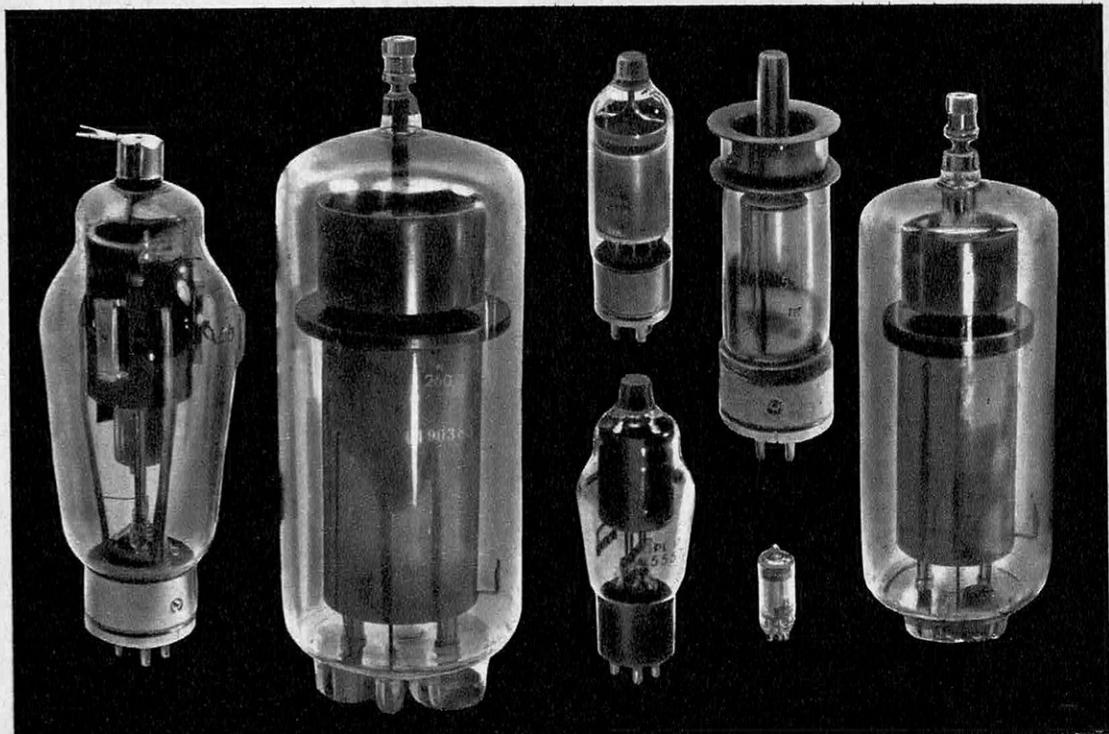
Une diode à gaz peut être constituée par une cathode à oxydes, une anode métallique ou de graphite, l'ampoule étant remplie d'un gaz rare ou encore d'hydrogène. L'anode est portée, comme dans une diode ordinaire, soit constamment, soit périodiquement à un potentiel positif. Un faible flux d'électrons circule donc entre cathode et anode, même lors-



Le thyratron est une triode à gaz où le passage du courant à l'anode est commandé par la grille suivant la « caractéristique » figurée à droite. La décharge une fois amorcée ne peut être éteinte qu'en abaissant la tension de l'anode.

que le gaz n'est pas ionisé ; mais sous l'effet de l'ionisation, qui a lieu à partir d'un certain potentiel de plaque, le courant augmente considérablement.

L'ionisation se trouve favorisée lorsque la pression du gaz atteint une certaine valeur optimale qui dépend de la nature du gaz et de la géométrie du tube. On peut le comprendre



Gamme de thyratrons de 25 m A à 25 A pour applications industrielles

facilement. Si la pression est très faible, le libre parcours moyen de l'électron est supérieur à la distance cathode-anode, et l'électron a peu de chances de rencontrer un atome de gaz sur son parcours : l'ionisation est négligeable. Si la pression est trop forte, le libre parcours moyen entre chocs est si faible que l'électron ne peut jamais atteindre l'énergie minimum nécessaire à l'ionisation. C'est pour une pression intermédiaire que celle-ci se déclenche.

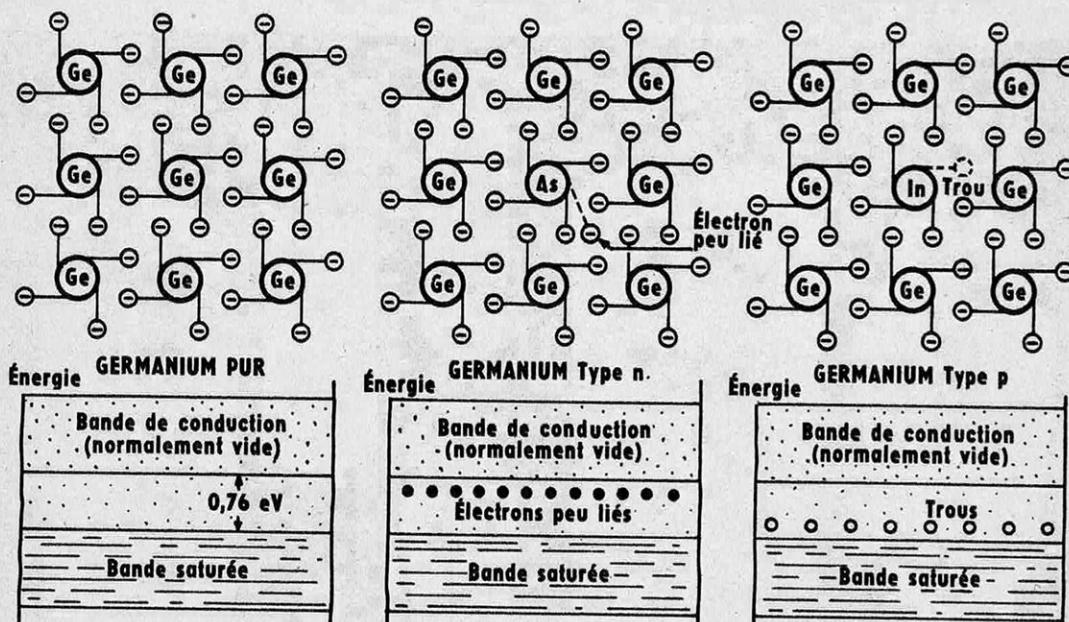
Lorsque l'on applique à l'anode une tension croissante, la diode à gaz se comporte comme un tube à vide tant que le potentiel d'ionisation n'est pas atteint. Puis, pour une certaine tension d'amorçage, le tube s'illuminne et le courant qui le traverse s'accroît considérablement tandis que la tension d'anode tombe à une valeur inférieure par suite de la chute de tension dans l'arc. Si on abaisse la tension au-dessous de cette valeur, le gaz se déionise et il faut remonter à la tension d'amorçage pour rétablir l'ionisation.

L'illumination du gaz s'explique par le fait qu'un certain nombre d'atomes sont excités avec une énergie insuffisante pour provoquer le départ d'un électron et retombent à leur niveau énergétique primitif en émettant un rayonnement.

La triode à gaz ou thyratron possède une anode à un potentiel positif par rapport à la cathode et une grille qui peut être portée d'un potentiel très négatif à un potentiel nul ou positif. Quand la grille est très négative, aucun électron cathodique ne peut la traverser et la vitesse atteinte par les électrons est insuffisante pour ioniser le gaz. Quand la grille devient moins négative, elle laisse passer un certain nombre d'électrons qui, en se dirigeant vers l'anode, peuvent acquérir dans son champ une vitesse suffisante pour déclencher l'ionisation. Dès cet instant, peu importe que la grille soit ramenée à un potentiel même très négatif ; les ions positifs auxquels l'ionisation a donné naissance s'imposent de constituer autour d'elle une gaine qui la prive de tout pouvoir d'arrêter la décharge. Pour la faire cesser, il faut diminuer la tension d'anode au-dessous de la valeur d'entretien de l'arc.

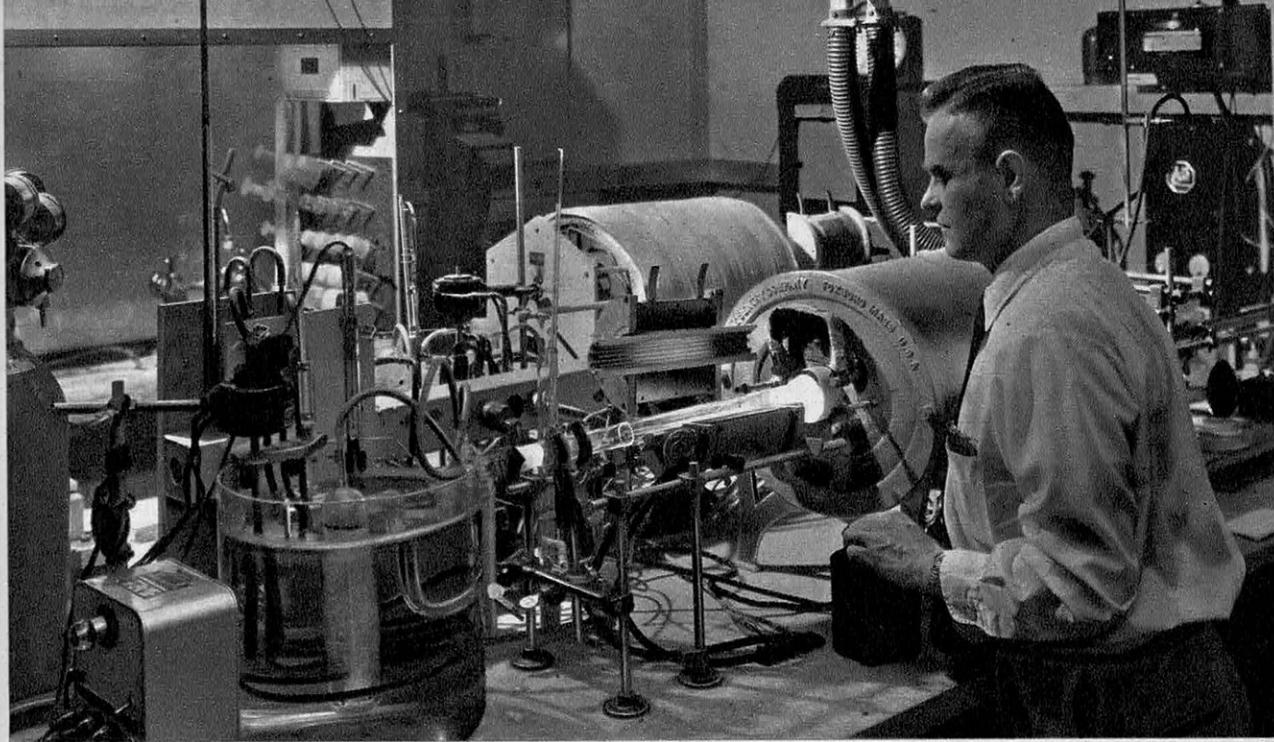
On peut tracer une courbe indiquant, pour chaque tension d'anode, la valeur de la tension grille qui déclenche l'ionisation. On a ainsi la « caractéristique de commande ».

Le gros intérêt du thyratron réside dans la possibilité qu'il offre de contrôler aisément des courants importants tout en les redressant. Lorsqu'on alimente l'anode en courant



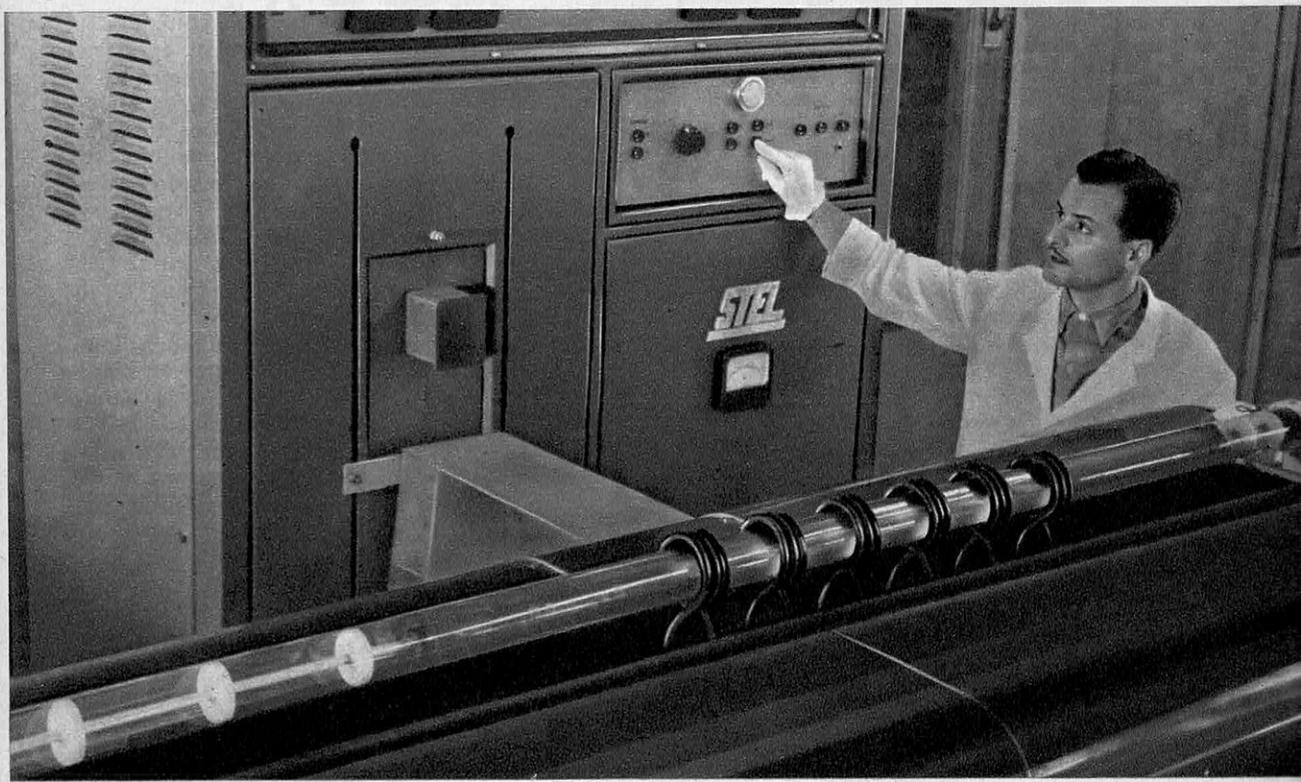
Dans un cristal de germanium pur, les atomes mettent en commun avec leurs voisins leurs quatre électrons superficiels. Si une impureté comme l'arsenic est présente, comme il comporte cinq électrons superficiels, il y a un électron de trop et nous

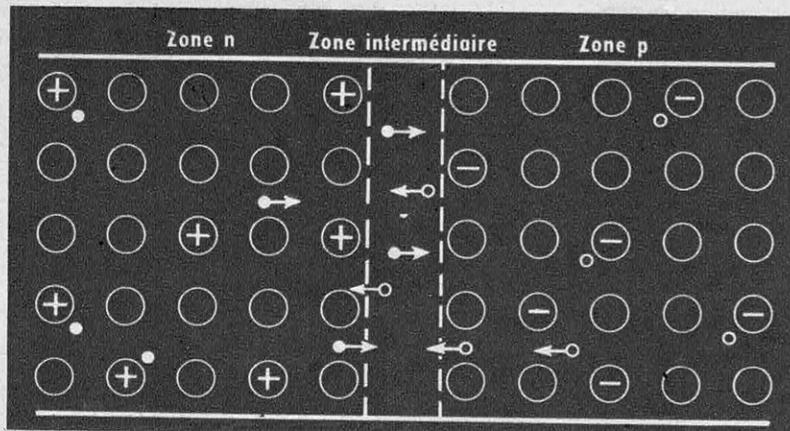
avons un semi-conducteur type n; avec l'indium au contraire, il manque un électron, ce qui équivaut à un « trou » positif, soit un semi-conducteur type p. Ci-dessus, les trois types de cristaux accompagnés des schémas énergétiques correspondants.



**La purification du germanium effectuée ici à l'usine CSF de St. Égrève, s'obtient par une méthode de fusion fractionnée dite « de zonage ». On peut voir les spires destinées à chauffer par haute fréquence les différentes zones traitées simultanément.**

**L'introduction d'impuretés rigoureusement dosées dans les semi-conducteurs s'effectue par diffusion dans un four de « zonage » où la pression de la vapeur des impuretés, la température et la durée de l'opération sont minutieusement contrôlées.**





Une jonction p-n est réalisée en mettant en contact deux semi-conducteurs de type différent, p et n. Les mouvements des électrons peu liés et des trous positifs finissent par créer un équilibre avec excès de charges positives dans la zone n, excès de charges négatives dans la zone p, ce qui fait apparaître une barrière de potentiel à la jonction.

alternatif, le tube s'éteint de lui-même à la fin de chaque alternance positive. Comme c'est la tension de la grille qui détermine l'ionisation, donc l'allumage, on pourra, en appliquant des tensions grilles appropriées, provoquer l'allumage en un point quelconque de l'alternance positive et n'en utiliser ainsi que la fraction désirée.

D'une manière générale, les tubes à gaz trouvent leur emploi dans un domaine intermédiaire entre celui des courants « faibles » et celui des courants « forts ». Un thyratron de la taille d'une triode ordinaire peut contrôler une puissance de quelques kilowatts ; il existe des thyratrons contrôlant une centaine de kW. Quant aux ignitrons, tubes à gaz à cathode froide et à émission par champ, ils peuvent contrôler plusieurs milliers de kW.

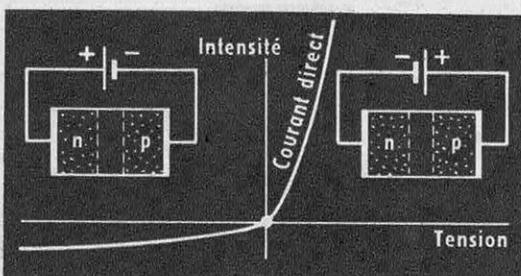
### Les semi-conducteurs

Les semi-conducteurs sont, comme leur nom l'indique, des corps qui, du point de vue conductivité électrique, se situent à mi-chemin entre les isolants et les conducteurs et qui, d'une manière générale, ne suivent pas,

quant à leurs propriétés électriques, les lois classiques (loi d'Ohm, etc...). Ils ont fait et font toujours, à l'heure actuelle, l'objet de nombreuses études, car la gamme de leurs applications en électronique semble devoir s'étendre encore considérablement.

Le germanium et le silicium sont les deux semi-conducteurs qui reçoivent actuellement le plus d'attention en électronique. Les atomes de ces deux corps présentent la particularité de posséder quatre électrons sur leur couche superficielle (l'atome de silicium compte 14 électrons au total, celui de germanium 32) et l'on voit page 22 comment on peut représenter schématiquement un cristal de germanium. Les atomes mettent en commun avec leurs voisins leurs électrons superficiels et établissent ainsi des liaisons durables. Le schéma énergétique du germanium, sur le modèle de ceux que nous avons dressés au début de ce chapitre, consiste, à très basse température, en une bande saturée, suivie d'une bande interdite, puis d'une bande permise normalement vide ; la largeur de la bande interdite est minime (0,76 eV). Dans ces conditions le germanium est un isolant. Mais dès que l'agitation thermique se manifeste, quelques électrons gagnent la bande vide, laissant autant de trous dans la bande autrefois saturée et le germanium devient légèrement conducteur, présentant une faible conductivité par électrons et une faible conductivité par trous. Le germanium pur est un semi-conducteur dit « intrinsèque », parce que sa faible conductivité provient d'une modification de la répartition de ses propres électrons.

Supposons que le cristal de germanium contienne des atomes étrangers, des « impuretés » et, par exemple, de l'arsenic. L'atome d'arsenic possède cinq électrons superficiels, de sorte que lorsqu'il prend la place d'un atome



A travers une jonction p-n, le courant direct dans le sens p-n est plus important pour une même tension que le courant inverse, d'où un effet redresseur.

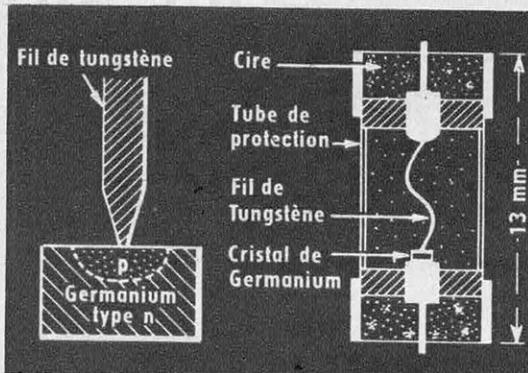


Schéma d'une diode à pointe.

de germanium et établit ses liaisons avec ses voisins, il reste un électron de trop, peu lié au cristal stable et que l'agitation thermique libère aisément. La conductivité est beaucoup plus élevée qu'avec le germanium pur. On a affaire à un semi-conducteur dit « extrinsèque » parce que cette conductivité est due à des électrons étrangers du germanium. On dit de plus qu'il appartient au type *n*, car les électrons négatifs y sont les porteurs de charge majoritaires ; l'impureté ajoutée est un « donneur » d'électrons.

Supposons maintenant que l'impureté soit de l'indium, par exemple, dont l'atome n'a que trois électrons périphériques. Les liaisons établies entre un atome d'indium et les atomes voisins laissent subsister une lacune ou trou. Si un électron d'un atome voisin vient combler ce trou sous l'effet de l'agitation thermique, un autre trou apparaît à la place d'où il vient. On a finalement une conduction par trous et le semi-conducteur est dit du type *p*, car ce sont les trous positifs qui sont les porteurs de charge majoritaires ; l'impureté ajoutée est un « accepteur » d'électrons.

### La jonction p-n

En mettant en contact deux semi-conducteurs, l'un de type *p*, l'autre de type *n*, on réalise ce que l'on appelle une jonction p-n, que la figure page 24 représente schématiquement. Les électrons de la zone *n* tendent à se diriger vers la zone *p*, et les trous de la zone *p* vers la zone *n*. Un certain nombre de trous de la zone *p* sont « comblés » par apport d'un électron ; un certain nombre d'électrons de la zone *n* sont « neutralisés » par l'arrivée d'un trou. Dans ce processus, la zone *n* s'enrichit en charges positives (les « donneurs » qui ont perdu leur électron) et la zone *p* en charges négatives (« les accepteurs » qui ont perdu

leur trou). Les charges qui apparaissent ainsi freinent la progression des électrons et des trous et un équilibre s'établit avec un excès de charges positives dans la zone *n* et un excès de charges négatives dans la zone *p*. Une couche de barrage apparaît à la jonction. Si l'on relie la zone *n* au pôle — d'une pile et la zone *p* au pôle +, le champ électrique abaisse la barrière de potentiel que les porteurs majoritaires peuvent franchir pour que les électrons libres de *n* se combinent aux trous de *p*, remplacés au fur et à mesure par des électrons provenant de la pile ; un courant direct important traverse la jonction. Au contraire, si l'on inverse la pile, la barrière de potentiel est renforcée et le courant inverse est très faible. La jonction se comporte comme un *redresseur*.

On voit sur la figure page 24 la différence entre les courants direct et inverse.

A vrai dire, si la théorie des semi-conducteurs est relativement récente, leur utilisation est beaucoup plus ancienne. Ainsi les redresseurs cuproxydes et les sélénofers, dont le fonctionnement s'explique aujourd'hui aisément par la théorie des semi-conducteurs, sont employés depuis longtemps dans l'industrie électronique.

### Diodes au germanium et au silicium

En prenant un petit cristal de germanium type *n*, sur lequel on appuie une pointe très aiguë de tungstène ou de platine iridié, on constitue une *diode à pointe*. On la « forme » en faisant passer des impulsions de courant brèves mais intenses. Cette opération aboutit à l'inversion du semi-conducteur au voisinage de la pointe de tungstène, si bien que le système fonctionnera comme une jonction p-n.

La diode constituera, d'après ce que nous venons de voir, un redresseur apte à laisser passer un courant direct de quelques dizaines de milliampères. On pourra l'utiliser en haute fréquence, car la capacité entre électrodes est faible (de l'ordre de 3 picofarads).

Les diodes à pointe à silicium sont fabriquées d'un façon analogue, mais avec un cris-

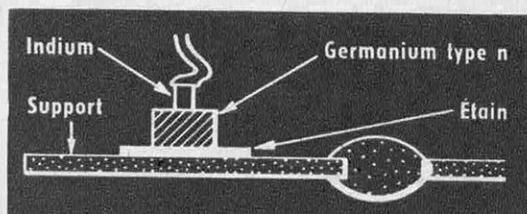


Schéma d'une diode à jonction.

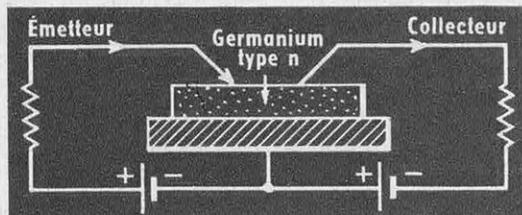


Schéma d'un transistor à pointes.

tal de silicium de type p ; après « formation » la jonction p-n se trouve en sens inverse. Comme la capacité entre électrodes est encore plus faible (moins de 1 pF), ces diodes sont utilisables à très haute fréquence.

La fabrication des diodes à pointe a été entreprise sur une grande échelle pendant la seconde guerre mondiale pour les dispositifs à hyperfréquences tels que le radar. Les diodes à jonction leur ont succédé.

Une diode à jonction au germanium s'obtient, par exemple, en prenant un très petit cristal de germanium type n qu'on dépose sur un support conducteur recouvert d'une pellicule d'étain ; on appuie sur le cristal un minuscule cube d'indium maintenu par une

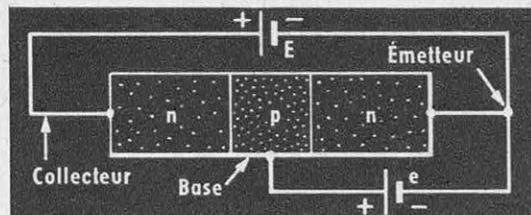
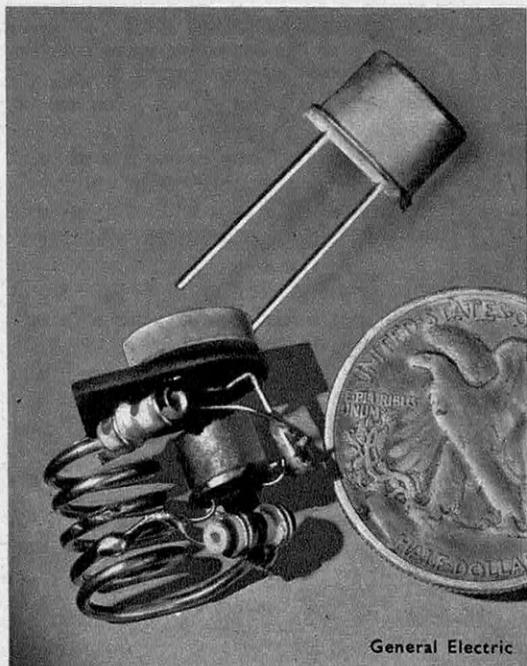


Schéma d'un transistor à jonction.

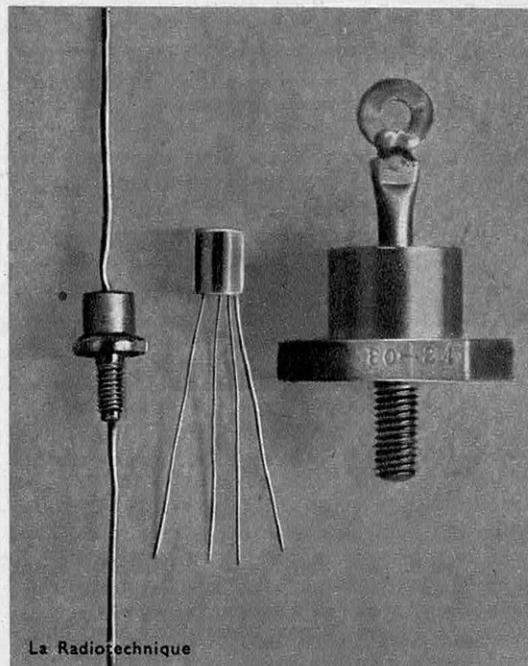
connexion électrique et on fait passer le courant. La connexion supérieure se soude ainsi à l'indium, l'étain fond et soude le cristal de germanium au support, et de plus l'indium diffuse dans le germanium et une jonction p-n apparaît. On a réalisé un redresseur capable de fournir quelques centaines de milliampères par cm<sup>2</sup> sous quelques centaines de volts.

Les diodes au silicium de ce type, encore plus récentes, ont l'avantage de pouvoir fonctionner à une température plus élevée que les diodes au germanium. L'industrie électronique peut ainsi, depuis quelques années, s'orienter vers le remplacement des redresseurs secs ou à gaz, par des diodes à semi-conducteurs moins encombrantes et plus durables.



General Electric

Une diode « tunnel » et, réalisé autour d'elle, un émetteur haute fréquence complet à trois condensateurs et une self de réglage, l'ensemble ayant la dimension d'une pièce américaine de 50 cents.



Quelques semi-conducteurs. De gauche à droite : diode redresseuse pour téléviseur, transistor haute fréquence et diode redresseuse à jonction de silicium destinée à des applications industrielles.

## Le transistor

Une autre révolution dans le développement de l'électronique a été l'apparition, en 1948, du transistor.

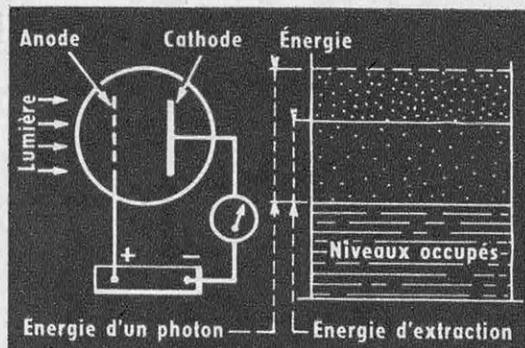
De même que les premières diodes à semi-conducteurs furent « à pointe », le premier transistor était constitué par une pastille de germanium de type n sur laquelle s'appuyaient deux pointes très aiguës de tungstène, distantes d'une centaine de microns seulement suivant le schéma de la page 26. L'électrode dite « collecteur » ne recueille, quand elle est seule, qu'un courant inverse négligeable. L'autre, dite « émetteur », est parcourue par un courant direct et injecte de nombreux trous qui, étant donné le rapprochement des électrodes, débloquent la diode germanium-collecteur, d'où une augmentation considérable du courant dans le circuit du collecteur. Quand on alimente l'émetteur par une tension variable, le courant dans le collecteur suit les variations en les amplifiant. Il n'y a pas de déphasage entre les courants dans l'émetteur et le collecteur, différence importante avec ce qui se passe dans les tubes à vide.

Par un procédé que nous ne décrirons pas, il a été possible de réaliser des transistors à jonction qui constituent un grand perfectionnement par rapport aux transistors à pointes. Une couche mince de type p est placée en sandwich entre deux couches plus épaisses de type n pour former un transistor à jonction de type n-p-n (le type p-n-p donne, dans l'ensemble, des résultats semblables). La zone centrale est appelée « base » et joue un rôle analogue à celui d'une grille dans une triode. L'une des zones n (« émetteur ») peut être considérée comme une cathode, et l'autre (« collecteur ») comme une anode. Les variations de tension appliquées à la base se retrouvent dans le circuit émetteur-collecteur; comme l'impédance d'entrée sur la base est faible par rapport à l'impédance de sortie sur le collecteur, on obtient, avec une forte résistance de charge, un gain élevé en tension.

Les principaux avantages du transistor tiennent à ses dimensions réduites, au fait qu'il consomme très peu, n'exige que des tensions faibles, dégage peu de chaleur et est très peu fragile. Son emploi permet une réduction spectaculaire de l'encombrement des appareils qui font appel à l'électronique, dans tous les domaines d'application.

## L'émission photoélectrique

La lumière, longtemps considérée comme de nature exclusivement ondulatoire, présente pour le physicien moderne un aspect



L'effet photoélectrique externe s'explique aisément à l'aide du schéma énergétique de droite. Quand l'énergie qu'un photon apporte à un électron est supérieure à l'énergie d'extraction du métal, cet électron est libéré et peut parvenir à l'anode.

corpusculaire. C'est grâce à lui qu'Einstein, en 1905, a expliqué l'effet photoélectrique externe que Hertz avait observé dès 1887. D'un point de vue très élémentaire, la lumière peut être considérée comme constituée par des grains d'énergie lumineuse ou *photons*. L'énergie d'un photon est d'autant plus grande que la longueur d'onde de la radiation est plus courte.

Le phénomène de base est le suivant : dans une ampoule vide d'air se trouve une électrode métallique plane jouant le rôle de cathode et une grille jouant celui d'anode. Lorsque la plaque est éclairée, des électrons passent de la cathode à l'anode.

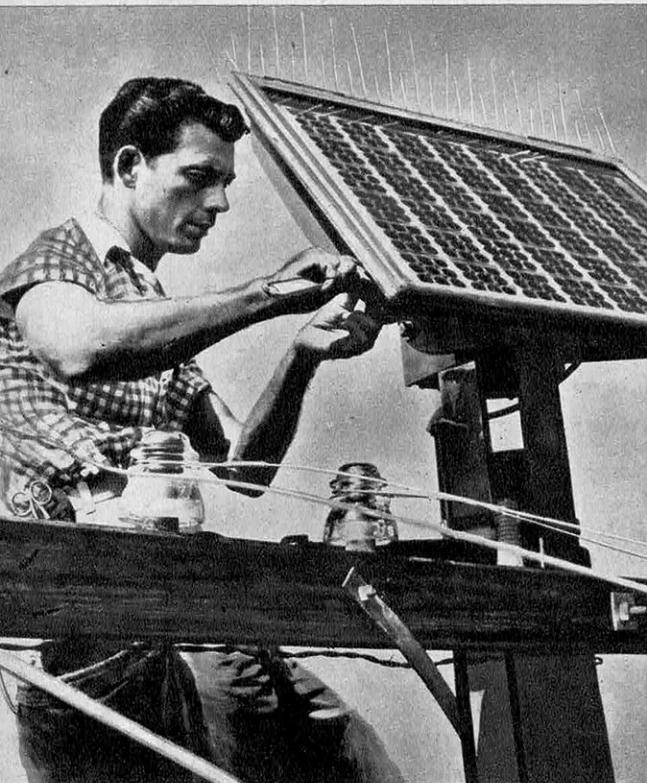
On peut, pour expliquer le phénomène, recourir au schéma énergétique ci-dessus où est figurée la bande supérieure. La lumière apporte des photons qui peuvent communiquer à des électrons superficiels une énergie supérieure à l'énergie d'extraction du métal de la cathode, d'où ils sont alors émis pour être attirés par l'anode. L'énergie d'extraction représente donc le minimum d'énergie que doit posséder un photon; il lui correspond une longueur d'onde maximum de la lumière pour que le phénomène puisse se manifester : c'est le seuil photoélectrique.

Les métaux alcalins et alcalino-terreux sont seuls sensibles à la lumière visible. Le cézium en particulier fournit une réponse très voisine de celle de l'œil humain. L'appellation d'« œil électrique » donnée aux cellules photoélectriques au cézium n'est donc pas injustifiée.

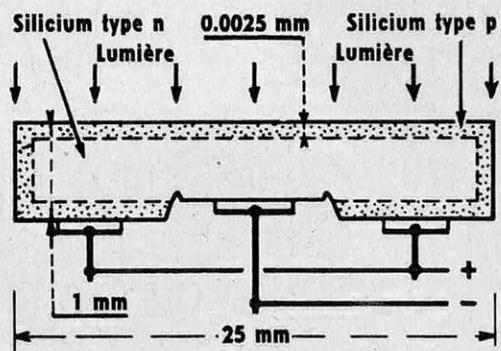
De même qu'il existe des tubes à vide et des tubes à gaz, il existe des cellules à vide et des cellules remplies d'un gaz inert dont l'émission d'électrons provoque l'ionisation

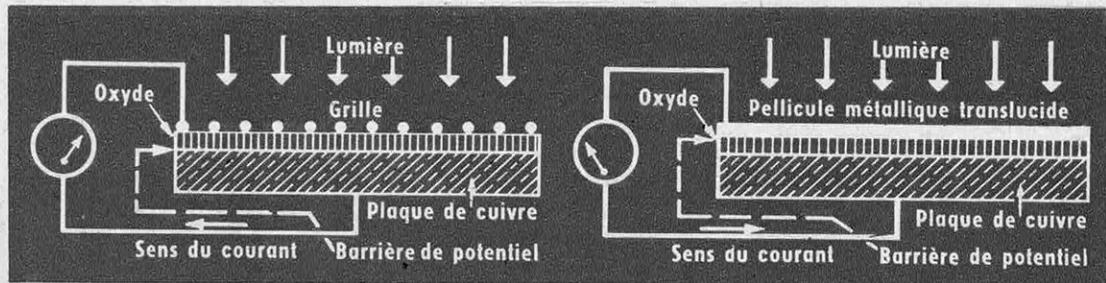


## Des semi-conducteurs qui captent l'énergie solaire



Les batteries de photopiles qu'ont mises au point les Bell Laboratories, bien qu'encore au stade expérimental, ont reçu de nombreuses applications, en particulier pour l'équipement des satellites artificiels. Leur rendement est très élevé puisqu'elles transforment en électricité 11% de l'énergie lumineuse qu'elles reçoivent. La batterie de 432 cellules que l'on voit à gauche et qui équipait une ligne téléphonique rurale, débitait 0,5 ampère sous 22 volts. Un élément (schéma ci-dessous) est essentiellement constitué par une fine pastille de silicium contenant une impureté (arsenic) soigneusement dosée pour constituer un semi-conducteur type n, et à la surface de laquelle on a introduit par diffusion du bore donnant le type p, d'où une jonction p-n. Ci-dessus, à gauche, le découpage des pastilles, à droite, la fixation des connexions sur les cellules élémentaires.





**Les deux types** de cellules photovoltaïques : à « effet arrière » à gauche et à « effet avant », à droite. Elles font toutes deux appel aux barrières de potentiel qui se manifestent entre un métal et un semi-conducteur. On notera que le sens du courant se trouve inversé d'un cas à l'autre.

lorsque la tension d'anode est suffisante et qui peuvent être alors traversées par un courant important. Il faut remarquer qu'avec un éclairage intermittent à haute fréquence, l'ionisation n'a plus le temps de s'amorcer de sorte que les cellules à gaz ne peuvent être utilisées à haute fréquence.

### La photoconduction

L'effet photoconductif, encore appelé effet photoélectrique interne, se manifeste lorsqu'on illumine un semi-conducteur.

Nous avons vu antérieurement qu'un semi-conducteur, par exemple le sulfure de cadmium, est un isolant à très basse température ; à la température ordinaire, il est encore très peu conducteur car la distance énergétique entre la bande saturée et la bande de conduction, vide à basse température, est ici assez grande pour que peu d'électrons atteignent cette bande à la température ordinaire. Si on illumine le semi-conducteur, certains photons cèdent leur énergie à des électrons qui franchissent la bande interdite et le semi-conducteur devient meilleur conducteur. Si on a disposé un générateur à ses bornes, le courant augmente quand on l'éclaire. On favorise encore ce processus à l'aide d'« impuretés » convenables qui abaissent le seuil photoélectrique.

### L'effet photovoltaïque

On distingue deux types de cellules photovoltaïques : les cellules à « effet arrière », et celles à « effet avant ».

On réalise une cellule du premier type en déposant une couche d'oxyde cuivreux (qui est un semi-conducteur) sur une plaque de cuivre et en la recouvrant d'une grille. Lorsqu'on éclaire l'oxyde cuivreux à travers la grille, on constate qu'un courant passe dans un circuit reliant la grille à la plaque de cuivre.

On explique ce phénomène en admettant qu'une barrière de potentiel se forme entre semi-conducteur et métal, s'opposant au passage des porteurs majoritaires du semi-conducteur, ici du type p, mais non des porteurs minoritaires libérés par les photons et qui sont des électrons et vont ainsi dans le sens oxyde-cuivre dans la cellule. C'est le sens inverse de celui qu'ils suivent dans un redresseur cuproxyde. La cellule est dite à effet arrière parce que la force électromotrice prend naissance derrière la couche exposée à la lumière.

Une cellule à effet avant est constituée à peu près comme la précédente, mais on y remplace la grille de contact avec l'oxyde de cuivre par une pellicule métallique translucide. Le courant obtenu lorsqu'on éclaire la cellule est de sens inverse de celui observé avec une cellule à effet arrière, ce qu'on explique en admettant que la barrière de potentiel s'établit non plus entre oxyde et cuivre, mais entre pellicule translucide et oxyde.

Les cellules photovoltaïques sont aussi appelées « photopiles » parce qu'elles n'ont besoin d'aucune source extérieure pour fonctionner. Ce sont de telles cellules qui équipent les posemètres employés en photographie.

Nous avons passé rapidement en revue les principes des organes les plus courants employés en électronique. Dans les chapitres suivants, le lecteur verra partout réapparaître les tubes à vide, les tubes à gaz, les semi-conducteurs et les cellules photoélectriques. Dans le domaine des hyperfréquences, il rencontrera d'autres organes, tels que les lampes à disques scellés, les magnétron et les klystrons, en télévision l'iconoscope de prise d'image et ses dérivés, le tube cathodique de réception. Mais les principes resteront les mêmes.

Robert FAURE  
Prof. d'Electronique à l'Institut Technique Professionnel.

# TÉLÉCOMMUNICATION

## Radio, télévision, radar abolissent les distances

UNE boule de 12 000 km de diamètre, comme c'est petit ! On en logerait plus de douze côté à côté dans l'espace qui sépare la Terre de la Lune, espace que les fusées franchissent maintenant allègrement. Dix fois plus petite que Jupiter, cent fois plus que le Soleil, notre planète est vraiment minuscule.

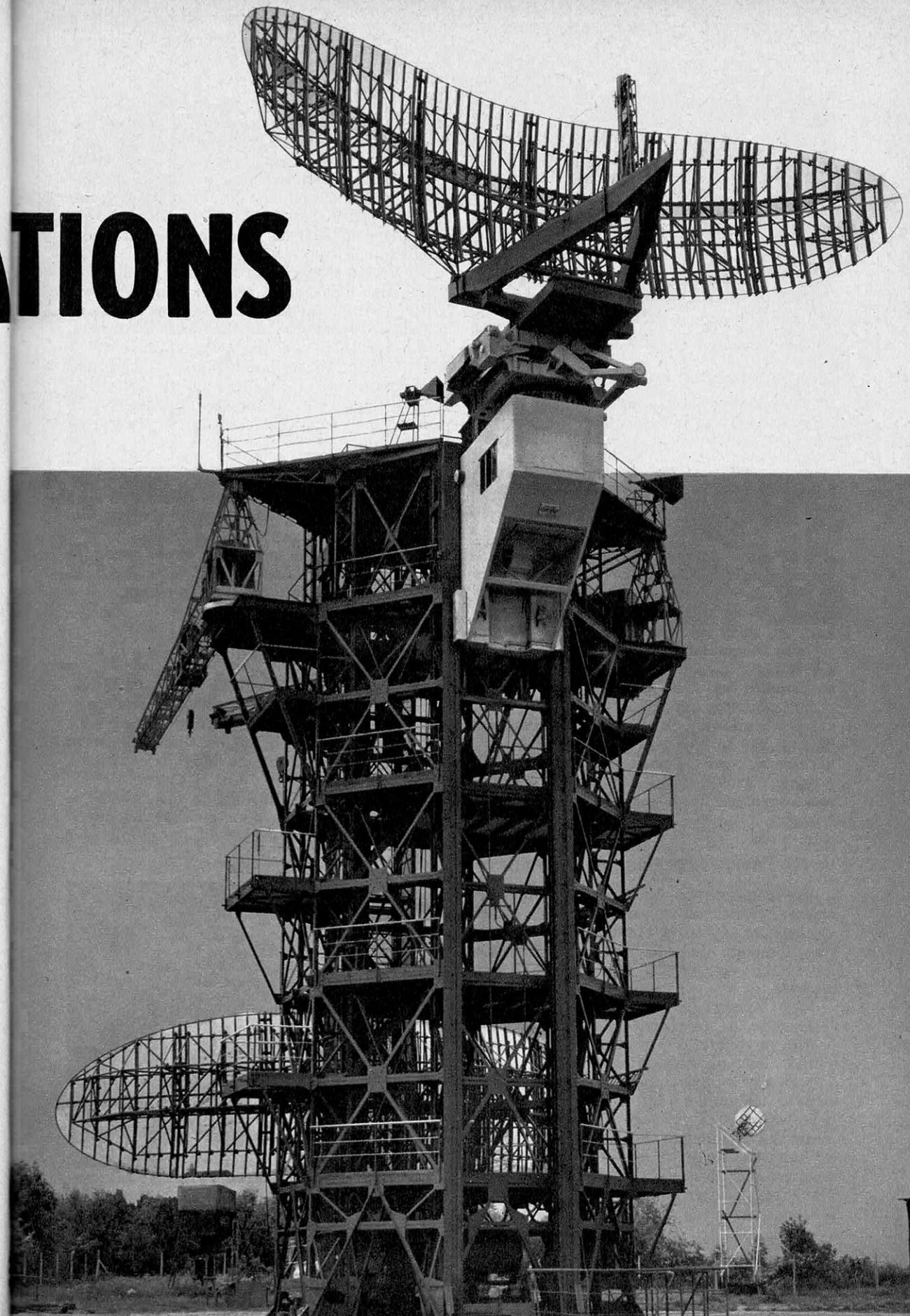
Oui, si l'on se réfère aux distances astrales, mais certainement non, si on la considère à l'échelle de l'Homme. Pour beaucoup d'entre nous, quelqu'un qui habite à Dakar, Yokohama ou San Francisco est aussi éloigné que s'il se trouvait sur la planète Mars. Nous nous trouvons ici pris entre deux nécessités tout aussi vitales l'une que l'autre : la dispersion de l'homme sur toute la surface de la planète et le besoin de compagnie qu'éprouve chacun. La nécessité d'un moyen de communiquer avec d'autres hommes situés très loin est fondamentale.

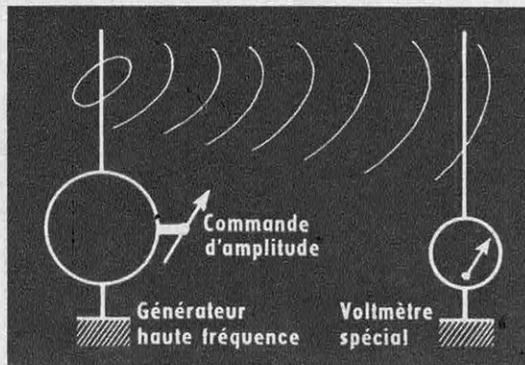
Aux temps préhistoriques, on n'envisageait que la voix. On s'aperçut vite que la portée était par trop limitée et qu'il fallait faire appel à autre chose. Le tambour, battu suivant un code très simplifié, portait déjà plus loin. Les feux allumés sur les collines poussèrent la portée jusqu'à plus de vingt kilomètres, mais le « codage » était tellement rudimentaire que l'on ne pouvait pas transmettre beaucoup de renseignements par cette méthode.

Chose curieuse, plusieurs millénaires s'écoulèrent pendant lesquels les hommes ses contentèrent pour leurs transmissions des messagers, puis du courrier postal. Ce n'est qu'au moment de la Révolution, en 1794 exactement, que les possibilités des télécommunications firent un bond énorme, grâce à l'invention de Chappe. Le télégraphe optique, qui équipa bientôt une ligne régulière entre Paris et Lille, permit aussitôt la transmission de messages complets en des temps relativement courts. Il fallait évidemment jalon-

**Antenne radar de 16 m d'envergure au centre d'essai de Cormeilles-en-Parisis →**

# TIONS





## Les radiocommunications

Un fil tendu en l'air rayonne sous forme d'ondes hertziennes l'énergie fournie par un générateur haute fréquence. Au loin, un autre fil recueille ces ondes. Le mouvement de l'aiguille du voltmètre qui mesure la tension induite reproduit celui de la commande d'amplitude de la tension de l'émetteur.

ner la ligne de postes relais, chacun situé en un lieu élevé pour qu'il pût facilement apercevoir le relais précédent et être vu du suivant. Il est curieux de constater que cette ligne de relais en vue directe optique parut bientôt tout à fait désuète pour ne revenir à la mode que ces dernières années, par suite de l'emploi des ondes très courtes.

Le principal inconvénient du système Chappe était qu'il fonctionnait difficilement de nuit, pas du tout dans le brouillard, et qu'il nécessitait à chaque relais l'intervention d'un homme. Celui-ci devait lire le message et le retransmettre. Il pouvait évidemment se tromper.

## Où l'électricité vient tout changer

En même temps que la télégraphie optique, l'électricité prenait son essor. C'est environ 80 ans après l'invention de Chappe que Graham Bell découvre le téléphone. La grande époque des télécommunications s'ouvre.

Déjà l'électricité avait été appliquée au télégraphe, et un réseau de fils commençait à couvrir différents pays. Le téléphone simplifiait les communications, mais ne permettait pas toujours une portée aussi grande que le télégraphe : les courants alternatifs correspondant à la voix humaine peuvent avoir des fréquences élevées, plus de 1 000 périodes par seconde, dans des composantes qu'il est nécessaire de transmettre pour assurer l'intelligibilité de la parole (nous ne parlons pas ici de fidélité de transmission).

Des phénomènes de self-induction et de capacité parasite perturbent gravement la transmission de telles fréquences sur des lignes quelque peu longues, alors qu'ils gênent beaucoup moins le passage d'un courant établi et coupé à un rythme lent (celui de l'alphabet Morse). Le fil s'avère donc un moyen imparfait de transmettre les courants téléphoniques.

C'est en 1873 que Maxwell publia son « Traité d'électricité et de magnétisme ». Partant d'une hypothèse faite pour expliquer certains paradoxes du théorème d'Ampère, il arrivait à la conclusion suivante :

— il doit exister un phénomène réciproque de l'induction, c'est-à-dire qu'on doit constater l'apparition d'un champ magnétique dans une région de l'espace où un champ électrique varie :

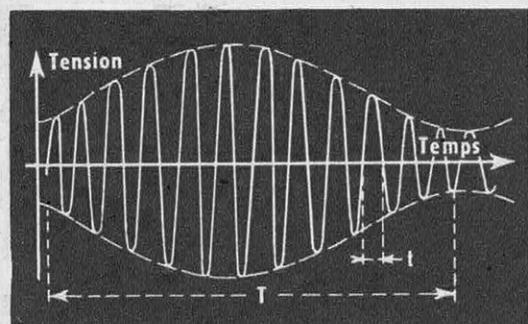
— les champs électriques et magnétiques ne se manifestent pas immédiatement à une certaine distance du phénomène qui leur a donné naissance, autrement dit il existe une vitesse de propagation de ces champs.

L'existence des ondes électromagnétiques était établie sur le papier. En 1887, Hertz en démontre expérimentalement la réalité.

### Une découverte « sans application pratique » !!!

Chose étrange, Hertz ne se doute pas de l'importance de sa découverte. Quand quelqu'un lui demande si ces ondes (qui vont immortaliser son nom) ont une application pratique quelconque, il répond un monstreux « non ».

Et pourtant, il suffisait de bien savoir se servir de ces ondes pour en tirer des applications stupéfiantes. Il suffisait qu'intervint

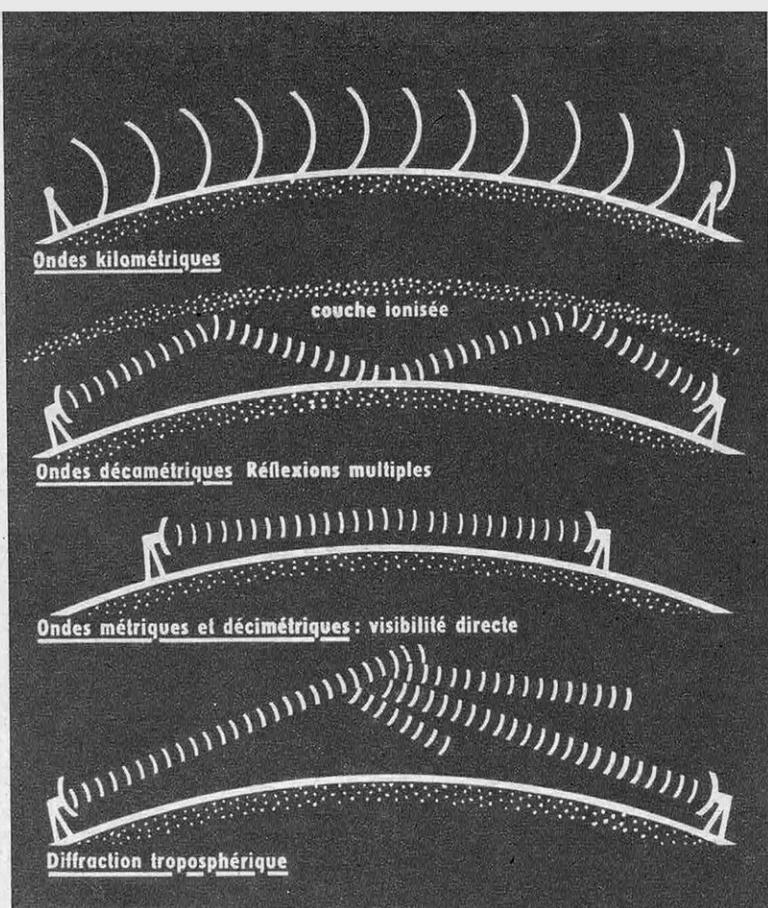


## Modulation d'amplitude

La tension du générateur haute fréquence (période  $t$ ) suit les variations plus lentes du message basse fréquence à transmettre (période  $T$ , beaucoup plus longue); l'amplitude de la tension est modulée.

## Différents modes de transmission

Suivant la longueur des ondes utilisées, le mode de propagation est différent. Les ondes kilométriques, seules employées à l'origine, suivent la courbure de la Terre et sont reçues à grande distance en propagation directe. Les ondes décamétriques dirigées parviennent au récepteur après des réflexions alternatives sur les couches ionisées de la haute atmosphère et sur la surface terrestre. Les ondes métriques et décimétriques s'utilisent en visibilité directe (câble hertzien). La diffraction troposphérique permet les liaisons trans-horizon par ondes de la gamme décimétrique.



une autre découverte, un organe capable de produire des courants de haute fréquence, de les amplifier et de les détecter. C'est Lee de Forest qui devait faire cette découverte en 1907, il y a seulement 52 ans.

Nous ne nous arrêterons pas sur l'histoire, pourtant passionnante, de l'évolution des télécommunications de 1907 à 1959; nous nous bornerons à signaler d'où elle est partie et où elle est arrivée de nos jours.

Les liaisons hertziennes de quelques kilomètres constituaient des records au début de ce siècle; nous venons d'en voir une à 600 000 kilomètres, entre un modeste émetteur logé dans la tête de la fusée « Pionnier 4 » et la Terre.

Mieux encore, nous avons réalisé la détection d'un écho radar sur la planète Vénus, soit un trajet aller et retour de 90 000 000 de km. Cela représentait évidemment un véritable tour de force pour « extraire » le signal du « bruit », mais n'oublions pas qu'il ne s'agit que d'une onde réfléchie par la planète, dispersée dans toutes les directions. Un émetteur de puissance modeste placé sur Vénus (cela viendra...) et dirigeant efficacement son rayonnement vers la Terre, serait reçu parfaitement sans faire appel à des techniques extraordinaires.

## L'utilisation des ondes

Il est à peine besoin de rappeler le principe des télécommunications par ondes hertziennes. Nos lecteurs savent tous qu'un fil isolé auquel on applique une tension alternative à fréquence élevée se comporte comme s'il présentait une fuite de courant vers la terre : un ampèremètre thermique placé dans le fil, près du générateur de haute fréquence, accuse le passage d'un courant qui peut atteindre plusieurs ampères alors que le circuit semble parfaitement ouvert. Ce phénomène s'explique par le fait que le fil rayonne de l'énergie sous forme d'ondes radioélectriques, ensemble de champs magnétiques et électriques.

Un fil analogue, placé éventuellement loin du premier, recevant ces ondes, est sujet à un phénomène d'induction : on voit une tension alternative se développer entre ce fil et la terre. Cette tension est faible, mais elle est à la même fréquence que celle du générateur émetteur d'onde, et son amplitude est proportionnelle à celle de la tension du générateur. Nous voyons tout de suite qu'en agissant convenablement sur l'amplitude de la tension de ce générateur, nous pourrons transmettre des signaux à distance, soit au



CSF

rythme du Morse, soit à celui des vibrations sonores, si la commande du générateur est suffisamment sensible.

Quelle fréquence allons-nous utiliser pour le générateur ? Cela dépend de la longueur d'onde que nous voulons obtenir. On appelle « longueur d'onde » la distance qui sépare deux points de l'espace, alignés avec l'émetteur, aussi proches que possible, où le champ électrique (par exemple) passe simultanément par un maximum. On ne peut mieux faire, pour préciser cette définition un peu abstraite, que de comparer cette longueur d'onde à la distance qui sépare les crêtes de deux vagues successives qui se propagent à partir du point de chute lorsqu'on jette une pierre dans une mare.

La longueur d'onde est aussi le chemin parcouru par l'onde pendant une oscillation complète du système émetteur d'onde. On obtiendra donc la longueur d'onde d'une émission en multipliant la vitesse de propagation des ondes (300 000 km/s) par la durée d'une période de haute fréquence; on peut aussi diviser 300 000 km par la fréquence, ou nombre de périodes par seconde.

C'est ainsi que l'onde du poste « Europe N° 1 », qui a une fréquence d'environ 182 000 périodes par seconde, vaut 1 647 m.

### Vers les ondes courtes

Si vous voulez écouter cette station (Europe N° 1) avec un récepteur fabriqué aux U.S.A., vous n'y arriverez pas, car aux

## Câble hertzien de secours

Ce multiplex à 3 voies est utilisable dans tous les cas où la mise en service de lignes radiotéléphoniques dans le minimum de temps est indispensable (inondations, réseaux mobiles d'alerte, incendies de forêts, etc.). Le matériel est robuste et très facilement transportable à pied d'œuvre; l'orientation du faisceau hertzien entre les émetteurs-récepteurs se fait rapidement à vue pour établir la liaison d'urgence requise.

U.S.A. il n'y a pratiquement pas d'émetteur de radiodiffusion utilisant les « ondes kilométriques ».

Voici quarante ans, on jugeait les ondes de moins de 500 m inutilisables et on les abandonnait aux amateurs. On s'était axé sur les ondes kilométriques en se fiant à une formule regrettable, dite formule d'Austin-Cohen qui montrait que, plus la longueur d'onde était élevée, meilleure était la réception. Cette formule, qui a beaucoup freiné le développement des télécommunications, ne tenait pas compte de deux faits :

1<sup>o</sup> Les ondes longues qui s'envolent vers le ciel sont perdues, absorbées ou transmises au-delà de la Terre; elles ne reviennent pas vers le récepteur;

2<sup>o</sup> On peut diriger des ondes, et cela d'autant plus facilement que leur longueur d'onde est faible par rapport à la dimension des éléments chargés de les diriger.

Les ondes kilométriques se propagent assez loin; une réception à 1 000 km de l'émetteur est courante, à condition que ce dernier rayonne une puissance considérable. Il n'est pas nécessaire qu'il y ait visibilité optique entre l'émetteur et le récepteur car les ondes longues sont diffractées par les obstacles et les contournent.

Mais, dès que les amateurs se sont mis à expérimenter sur les ondes courtes, de 100 m ou moins, ils se sont vite aperçus qu'ils réalisaient des liaisons à une distance considérable, 10 000 km ou plus, avec des puissances dérisoires. En effet, ces ondes rencontrent autour

de la Terre, à des altitudes variant entre 80 et 800 km, des zones ionisées qui jouent pour elles le rôle de miroirs réfléchissants. Le récepteur reçoit donc des ondes qui lui arrivent par plusieurs chemins (figure page 33), les ondes pouvant être réfléchies alternativement par ces couches ionisées et par la surface de la Terre.

L'intérêt des autorités pour ces ondes « inutilisables » se réveilla brusquement et elles s'empressèrent de chasser les amateurs d'un terrain qu'ils avaient défriché, ne leur laissant, hélas, que quelques bandes étroites.

Les techniciens américains, qui n'avaient pas tenu compte de la formule maléfique d'Austin-Cohen, avaient déjà orienté leur activité vers les ondes hectométriques, décimétriques et métriques, ce qui explique que, aux U.S.A., on ne trouve plus d'émetteurs de radiodiffusion dans la gamme « grandes ondes ».

### Vers les micro-ondes

Ne nous arrêtons donc pas. A nous, les ondes décimétriques, centimétriques, millimétriques...

Pas si vite ! D'abord il faut savoir les produire, ces ondes. Pour faire des ondes de 30 cm, il faut déjà disposer d'un générateur dont la fréquence soit de 1 milliard de périodes par seconde, et il n'y a pas si longtemps qu'on sait produire une telle oscillation avec une bonne puissance.

Ensuite, avec ces ondes, nous faisons connaissance de phénomènes nouveaux. La couche ionisée ne les réfléchit plus, il ne faut plus compter que sur l'onde directe. Ensuite, l'oxygène de l'air ainsi que la vapeur d'eau commencent à les absorber, ce qui est gênant.

Évidemment, plus les ondes sont courtes, mieux on peut les diriger. Pour des ondes de 10 cm, un réflecteur parabolique de 3 m de diamètre suffit à concentrer la quasi-totalité du faisceau dans un cône dont le demi-angle au sommet n'est que de 2°. Nous retrouverons les applications de cette technique dans le radar.

Entre les difficultés de production et de propagation croissantes et la facilité de concentration, également croissante, de ces ondes en fonctions de la fréquence, on établit un compromis. C'est ainsi qu'on utilise des ondes métriques ou décimétriques pour réaliser des « câbles hertziens ».

On appelle ainsi un faisceau d'ondes étroitement dirigées de l'émetteur vers le récepteur, si serré qu'on peut le comparer à un câble. Comme il ne faut compter que sur l'onde directe, l'émetteur et le récepteur doi-

vent être en visibilité optique directe. Curieux retour (courant dans la technique) aux nécessités du tout premier télégraphe issu du génie inventif de Chappe.

A côté de ces ondes décimétriques, les ondes décimétriques (de 10 à 99 m) et les ondes hectométriques (de 100 à 999 m) ont de belles années devant elles pour la radiodiffusion et les télécommunications. Elles sont parfaitement utilisables pour la transmission des sons et des messages.

Jusqu'ici, ne l'oublions pas, nous avons envisagé le message transmis par une variation de l'amplitude de l'onde. Le générateur haute fréquence nous délivrera donc une tension dont la variation dans le temps est représentée par la figure page 32. On voit que l'amplitude de l'oscillation haute fréquence est modulée par la basse fréquence. Il faut que la haute fréquence (onde porteuse) soit nettement supérieure à la basse fréquence (message porté) pour que chaque alternance de la basse fréquence soit bien définie par plusieurs alternances de la haute fréquence.

Si cette basse fréquence correspond à un son, c'est-à-dire qu'elle ne monte pas à plus de 15 kHz (ou 15 000 Hz, soit 15 000 périodes par seconde), il suffira que la haute fréquence soit supérieure à quelques centaines de kHz.

Mais si le signal à transmettre comprend des fréquences de plusieurs MHz (millions de périodes par seconde) — on ne peut plus parler de « basse fréquence » dans ce cas — il faudra que la haute fréquence soit de plusieurs centaines de MHz, et c'est ce qui arrive pour la télévision.

### L'encombrement de l'« éther »

La liaison schématisée au début était parfaite tant qu'il n'y avait qu'une émission à la fois. Mais, si l'on veut réaliser plusieurs liaisons simultanées, il faut pouvoir, dans le poste récepteur, séparer les différentes tensions produites par les ondes, donc que ces tensions diffèrent par une de leurs caractéristiques. En général, c'est la fréquence de l'onde porteuse qui diffère d'un émetteur à l'autre; des conférences internationales attribuent les longueurs d'ondes (autrement dit les fréquences) aux différents émetteurs. A l'entrée du récepteur, un filtre permet de ne recevoir qu'une seule oscillation haute fréquence.

Mais un filtre laisse toujours passer quelque peu les fréquences voisines de celle qu'il est chargé de sélectionner. On dit qu'il laisse passer une certaine bande de fréquences. Plus cette bande est étroite, plus le récepteur est sélectif, mieux il peut séparer une émission

de celle d'un autre émetteur de fréquence voisine.

Il semblerait donc qu'on ait intérêt à augmenter la sélectivité des récepteurs, en utilisant des filtres à bandes étroites et en multipliant ces filtres. En fait, on peut démontrer qu'une onde de fréquence  $F$  modulée par une basse fréquence  $f$  se comporte comme la somme de trois oscillations : — une oscillation à la fréquence  $F$  (onde porteuse); une oscillation à la fréquence  $F-f$  (bande latérale inférieure); une oscillation à la fréquence  $F+f$  (bande latérale supérieure).

Il faut que le récepteur reçoive ces trois oscillations pour qu'il puisse en extraire la fréquence  $f$  de modulation. Plus cette fréquence est élevée, plus il faut que la bande passante du récepteur soit large. Un récepteur très sélectif peut convenir pour une réception de signaux télégraphiques dont la fréquence de modulation est très faible, mais il ne convient pas pour les télécommunications, encore moins pour la radiodiffusion à haute fidélité.

Un émetteur modulé est donc «encombrant» dans la gamme des fréquences, d'autant plus que la fréquence de modulation est grande. Une convention internationale a limité les fréquences de modulation des émetteurs de radiodiffusion à 4 500 Hz, amputant ainsi la reproduction des aiguës particulièrement hautes sans toutefois que la qualité sonore en souffre trop. Parallèlement à cette limitation, il faut que les fréquences des porteuses de deux émetteurs diffèrent d'au moins 9 kHz pour que les bandes latérales ne se mélangent pas.

Du côté des ondes très courtes, l'éther est beaucoup moins encombré et l'on peut tolérer des fréquences de modulation plus grandes. C'est une des raisons qui autorisent à utiliser des porteuses à très grande fréquence. Dans les câbles hertziens, on transmet des fréquences de modulation considérables, envoyant par exemple des images de télévision et de très nombreuses conversations téléphoniques simultanées. Une image de télévision correspond à plus de 300 conversations téléphoniques, transmises selon le système du multiplex.

### Où les messages se superposent sans se mélanger

En effet, pour utiliser pleinement une liaison, on doit pouvoir transmettre de nombreuses conversations simultanées. Le système de la transposition de fréquence assure, en même temps que le secret des communications pour quiconque ne connaît pas le code

de mélange, la transmission simultanée de toutes les conversations. Évidemment, il faut pour cela disposer d'un canal de transmission qui puisse transmettre des fréquences très élevées. Le fil ordinaire y réussit mal, comme nous l'avons vu; on ne peut y arriver, dans le cas des liaisons non hertziennes, que par l'emploi du *câble coaxial*. Il s'agit d'un câble dont le conducteur central, entouré d'un excellent isolant à faibles pertes, est gainé par une tresse métallique. Moyennant des précautions lors de l'envoi et de la réception des signaux et la limitation de la longueur du câble, on peut ainsi transmettre des fréquences très élevées. C'est par de tels câbles que le signal d'image sort d'un studio de télévision pour aller jusqu'à l'émetteur.

Mais si l'on veut employer une liaison par coaxial, il faut d'abord poser le câble (il coûte cher au mètre) et prévoir de distance en distance des stations de *répéteurs* équipées de groupes qui renforcent le signal et corrigent les défauts introduits par les pertes.

En fin de compte, on montre qu'il est plus intéressant, dans ce cas, d'utiliser le câble hertzien qui fait appel aux faisceaux d'ondes dirigées.

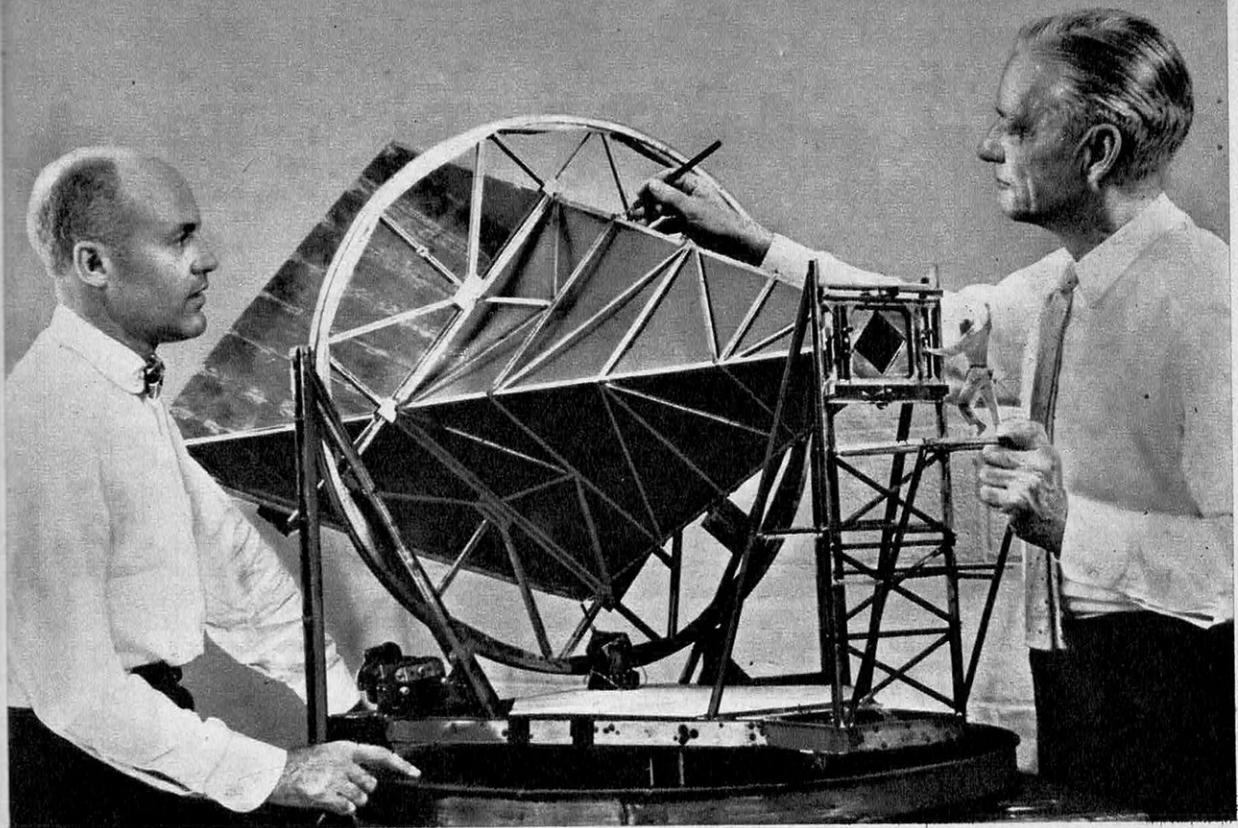
Si, pour une raison quelconque, le relais d'un faisceau hertzien ne peut pas être en vue directe d'un autre relais, on peut placer au sommet d'une montagne un réflecteur passif, formé d'un grillage ou d'un réseau de petits dipôles, qui renvoie l'onde vers le relais. Une telle construction est peu coûteuse et permet de placer le relais émetteur-récepteur en un endroit moins inaccessible, ce qui est toujours intéressant pour son entretien.

### La diffraction troposphérique

L'étude des faisceaux hertziens a montré que l'on recevait bien les ondes en un point parfaitement masqué optiquement par rapport à l'émetteur. C'est là un phénomène dont les applications sont tout à fait récentes.

Pour faire comprendre le phénomène, nous en donnerons une analogie optique. Quand vous arrivez de nuit en haut d'une côte, vous apercevez très nettement la lumière des phares de la voiture qui vient en face, de même que son conducteur voit celle de vos phares, et ceci bien avant que votre voiture et l'autre soient en vue directe. (C'est d'ailleurs à ce moment que les gens bien élevés passent en code). Ce phénomène, particulièrement visible par temps légèrement brumeux, est dû à la diffraction de la lumière des phares par les particules en suspension dans l'atmosphère.

Il en va de même pour les ondes radioélec-



## Télécommunications par satellites-relais

Voici la maquette de l'antenne-cornet géante qu'étudient les Bell Laboratories pour les télécommunications entre stations très éloignées sur la Terre, en utilisant comme relais un satellite artificiel. La figurine humaine, visible à droite, donne une idée de ses dimensions. Elle aura 15 m de long et l'ouverture 6 m de côté.

triques très courtes des faisceaux hertziens, et il semble qu'il y ait un grand avenir dans cette utilisation de la diffraction par la troposphère terrestre. On réalise déjà industriellement des émetteurs très puissants équipés de grands réflecteurs pour la liaison par diffraction. Cette liaison est appelée « trans-horizon » car elle peut se faire plus loin que la limite de l'horizon. De telles liaisons sont actuellement exploitées commercialement.

### Relais extra-terrestres

Ici, nous anticipons un peu. A peine : on a déjà réalisé des liaisons par l'intermédiaire de satellites artificiels : le satellite « Score » a permis la retransmission d'un message du Président Eisenhower. Mais il s'agit ici d'une simple ré-émission différée d'un message enregistré par une bande magnétique à bord du satellite.

Dans un avenir proche, on pourra lancer de nombreux satellites servant de relais pour les câbles hertziens. On pense dès maintenant à deux types principaux :

— les relais *passifs*, simples réflecteurs

renvoyant vers la Terre les ondes qu'ils reçoivent;

— les relais *actifs* comportant un récepteur, un amplificateur et un émetteur, ces derniers renvoyant vers la Terre plus d'énergie qu'ils n'en reçoivent.

La forme la plus simple de relais passif est un ballon à surface conductrice gonflé d'une toute petite quantité de gaz (n'oublions pas qu'il est dans le vide absolu). Même si cet engin tourne sur lui-même, son pouvoir réflecteur ne varie pas, mais reste faible, car une sphère renvoie des ondes dans toutes les directions.

Il serait évidemment plus intéressant de faire un relais passif comportant un réflecteur directif de l'espèce de ceux que l'on place sur des montagnes pour « couder » les câbles hertziens. Mais il faudra que le miroir en question garde une direction fixe par rapport à la Terre, et, dans l'état actuel des réalisations satellitaires, cela pose de grands problèmes.

Il y a bien un satellite très ancien qui garde une position presque invariable par rapport à la Terre : notre compagnie la Lune,

autrefois inaccessible, aujourd'hui cible n° 1 des astronautes. Elle a déjà été utilisée pour des relais, mais on n'a pas profité de son orientation invariable. Pour cela, il faudrait installer sur la Lune un réflecteur orienté. Ce n'est pas encore pour demain, mais on peut prévoir que cela se fera.

Pour un relais actif, il faut alimenter l'émetteur, ce qui suppose une source d'énergie à bord du satellite. On peut penser à l'utilisation de piles solaires, et de telles réalisations ont déjà vu le jour.

Si le satellite est près de la Terre, il bouclera son orbite en deux heures environ. Lancé à une altitude d'environ 36 000 km, sur une orbite circulaire dans le plan de l'équateur, il ferait un tour en 24 heures et pourrait ainsi rester pratiquement immobile par rapport à la Terre.

Il est à prévoir que de telles réalisations permettront à nos petits-enfants de téléphoner couramment de Paris à New York ou à Pékin par satellite-relais dans des conditions très économiques.

### Où l'on véhicule autre chose que la parole orale

On peut moduler une onde par bien d'autres choses que des courants de basse fréquence représentant une information sonore, par des impulsions codées, par exemple, système très en faveur actuellement,

Ces impulsions peuvent transmettre une information d'après leur largeur, leur position (par rapport à des impulsions repères) ou leur fréquence. Elles peuvent en particulier indiquer la valeur d'une grandeur que l'on désire connaître à distance : c'est la télémesure. Le « bip-bip-bip » bien connu des premiers « Spoutniks » était constitué par un train d'impulsions codées indiquant au sol différentes mesures effectuées par le satellite (température intérieure, température extérieure, rayonnement cosmique, etc.).

On peut aussi, par un code à cinq positions, envoyer une indication qui provoque la rotation d'une roue portant des lettres en relief : c'est le système du téléimprimeur qui est d'un usage très général de nos jours.

### Les émetteurs

Les systèmes de télécommunications font tous appel à des puissances d'émission relativement élevées et le tube électronique, chargé de fournir la puissance haute fréquence, s'est bien modifié depuis son ancêtre de 1907.

Souvent les émetteurs sont télécommandés :

il n'y a personne dans le bâtiment et l'on déclenche la mise en route depuis un poste de commande situé souvent très loin. Si vous vous trouvez par hasard dans un tel émetteur un peu avant l'entrée en service, vous entendriez brusquement claquer des relais ; une machine se met en route et les filaments chauffent. D'autres relais s'enclenchent et des tensions de plusieurs dizaines de milliers de volts sont appliquées aux tubes de puissance.

Ceux-ci sont de petites dimensions, plus rien de commun avec les tubes géants d'il y a vingt ans. Mais la puissance a augmenté pendant que les dimensions diminuaient : résultat, il faut évacuer énormément de chaleur sur les anodes. C'est pourquoi vous verriez autour de celles-ci, curieusement découpées en forme d'ananas de cuivre rouge, de l'eau se mettre à bouillir tumultueusement : c'est encore la meilleure façon d'évacuer la chaleur.

Au-dessus de vous, dans une immense nappe de fils, l'énergie haute fréquence se précipite dans l'espace. Imaginez-vous qu'il en part des centaines de kilowatts ? Cela fait plus que la puissance de plusieurs moteurs d'autobus marchant à plein régime : un immense torrent d'énergie s'écoule silencieusement dans les antennes pour qu'à des milliers de kilomètres de là un récepteur capte ces ondes et en extraie le message que l'émetteur y avait incorporé.

### L'onde passera-t-elle ?

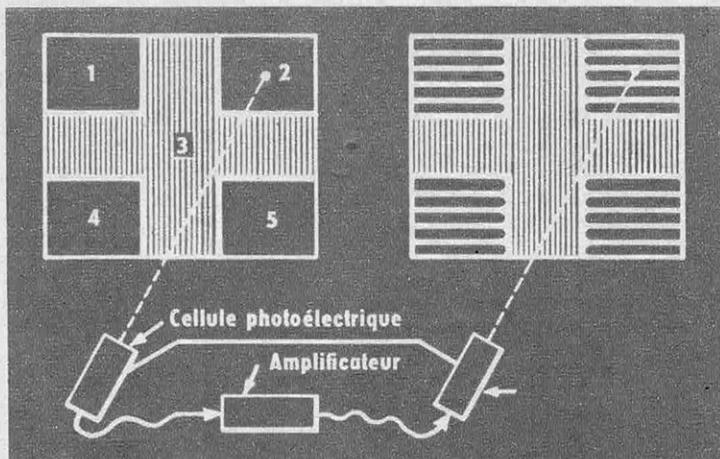
Les amateurs qui ont utilisé les ondes courtes savent à quel point leur propagation est capricieuse. Tel jour, les stations américaines sortent à plein du récepteur ; une heure après, plus rien du Nouveau Continent ; par contre, les émetteurs africains, inaudibles une heure avant, sortent « à tout casser ».

A quoi cela est-il dû ? A la couche ionisée. Cette couche (on devrait dire « ces couches » car il y en a plusieurs) n'est pas immobile, elle a son mouvement régulier, changeant énormément entre la nuit et le jour ; elle a aussi ses marées, ses vagues, même ses tempêtes.

On sait par expérience qu'à certaines heures des fréquences bien définies « passent » mieux dans une direction déterminée. Aussi, pour obtenir une sécurité de communication suffisante s'efforce-t-on d'exploiter les irrégularités mêmes de la couche ionisée. Pour cela, on l'exploré sans arrêt par des radars spéciaux et on réalise ainsi une véritable météorologie prévisionnelle de la couche ionisée, grâce à laquelle la sécurité des communications s'est accrue dans des proportions con-

## Schéma de principe de la télévision

Une cellule photoélectrique explore ligne par ligne une image à transmettre. Le flux lumineux qu'elle reçoit est traduit en variations de courant qui sont envoyées par l'amplificateur à la lampe du projecteur. Le mouvement de ce dernier est couplé à celui du tube de la cellule photoélectrique et le suit en synchronisme.



sidérables. Dès maintenant, sans relais satellitaires, on peut toucher pratiquement n'importe quel point de la planète à n'importe quelle heure ou presque avec une probabilité de réussite dépassant 95 %, ce qui représente un énorme progrès par rapport à l'avant-guerre.

### Et voici l'image

Il est déjà remarquable de transmettre un son, une mesure, une position, mais il est infiniment plus ardu de transmettre une image. En effet, dans une image, il y a infiniment plus de choses que dans un son. Les cybernéticiens diraient qu'une image contient énormément d'« information ».

La télévision opère comme le cinématographe, en transmettant des images fixes successives, suffisamment rapprochées pour que la persistance des impressions rétinienennes du spectateur les lie en une image mobile.

Le problème est donc le suivant : transmettre en quelques centièmes de seconde (quatre, exactement) une image aussi détaillée que possible.

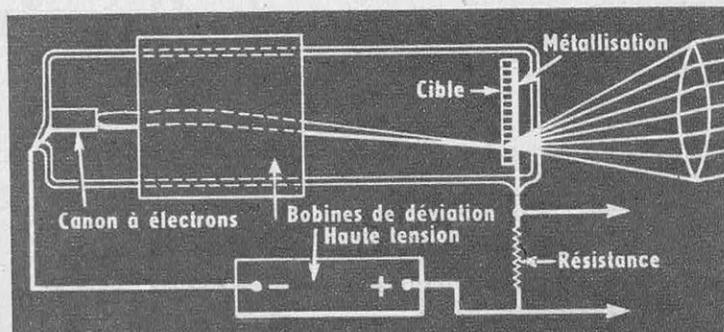
Nos lecteurs connaissent tous le principe de la transmission : on explore méthodiquement l'image à transmettre suivant des lignes parallèles horizontales, régulièrement espacées, en transmettant à chaque instant, par ondes, la luminosité, la « brillance » pour plus de précision, du point exploré mesurée par une cellule photoélectrique. A la réception, un système projecteur synchronisé envoie sur un écran une tache de luminosité correspondante.

Sur l'écran balayé par le faisceau du projecteur, on verra une reproduction d'autant plus fidèle que l'exploration se sera faite en plus de lignes, chaque ligne étant mieux définie. Il faudra, bien entendu, que le système focalisateur de la cellule soit bon et que la tache du projecteur soit petite, si possible d'un diamètre inférieur à la distance qui sépare deux lignes sur l'écran. Il faudra aussi que l'allumage et l'extinction de la lampe du projecteur suivent fidèlement les variations de la lumière reçue par la cellule.

En réalité, on ne verra une image sur l'écran que si la totalité de l'exploration est faite suffisamment vite, sinon on n'apercevra

## Principe du Vidicon

L'image est formée optiquement sur une cible photographique à travers une couche métallisée. Les parties éclairées deviennent conductrices et des charges passent sur la face arrière où le faisceau électronique de balayage vient les neutraliser successivement.



qu'un point lumineux qui se déplace en s'allumant et en s'éteignant. Dans ce cas, on peut remplacer l'écran par une plaque photographique qui sera développée après la fin de la retransmission de l'image : c'est le principe du bétinographe.

Ce système est la représentation exacte, quoique très simplifiée, de la transmission par télévision. Le projecteur est, en fait, un faisceau cathodique, dévié par des champs magnétiques le plus souvent (quelquefois aussi par des champs électrostatiques), ce procédé, abandonné il y a quelques années, tendant à redevenir d'actualité.

La cellule explorant la luminosité des différents points de l'image est remplacée le plus souvent par un tube de prise de vue. Un des plus utilisés est le tube « vidicon » dont on trouve un schéma page 39.

### Une « basse fréquence » de plusieurs MHz

Tout le drame de la télévision tient au fait que les images doivent être transmises très vite. Or une image comporte pas mal de lignes (819 dans le standard français actuel) et chaque ligne peut comporter pas mal de « points ».

Supposons que nous voulions retransmettre en  $1/25$  de seconde une image de 819 lignes et que l'une (ou plusieurs) de ces lignes comporte 600 points blancs séparés par 600 points noirs. Le calcul montre facilement qu'il faut, dans ce cas, que le spot du tube cathodique du récepteur s'allume et s'éteigne à la fréquence de 12 000 000 de périodes par seconde.

Nous sommes bien loin des 4 500 périodes par seconde de la radiodiffusion, et nous allons être obligés de transmettre les images de télévision sur des fréquences porteuses considérables et dans des bandes relativement peu encombrées. Heureusement (en un sens), les ondes correspondantes ne dépassent guère la portée optique, aussi risque-t-on moins de perturber une émission de télévision par une autre, issue d'un autre émetteur et opérant sur une fréquence porteuse peu différente.

La modulation de la lumière du spot ne

## Un robot à trois yeux →

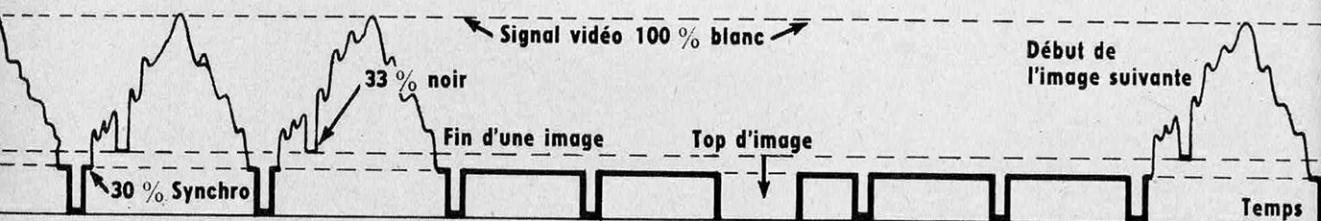
Ce robot a été mis au point par la Hughes Aircraft Co pour travailler dans des locaux exposés aux rayonnements nucléaires. Il peut s'y déplacer et s'orienter en tous sens, commandé à distance à partir d'un pupitre auquel il est relié par un câble long de 30 m, et surveillé par trois caméras. L'une d'elles donne une vue générale qui apparaît sur l'écran supérieur de la console de commande; les deux autres, montées sur les épaules du robot, donnent sur les écrans correspondants des premiers plans de ses « mains ».

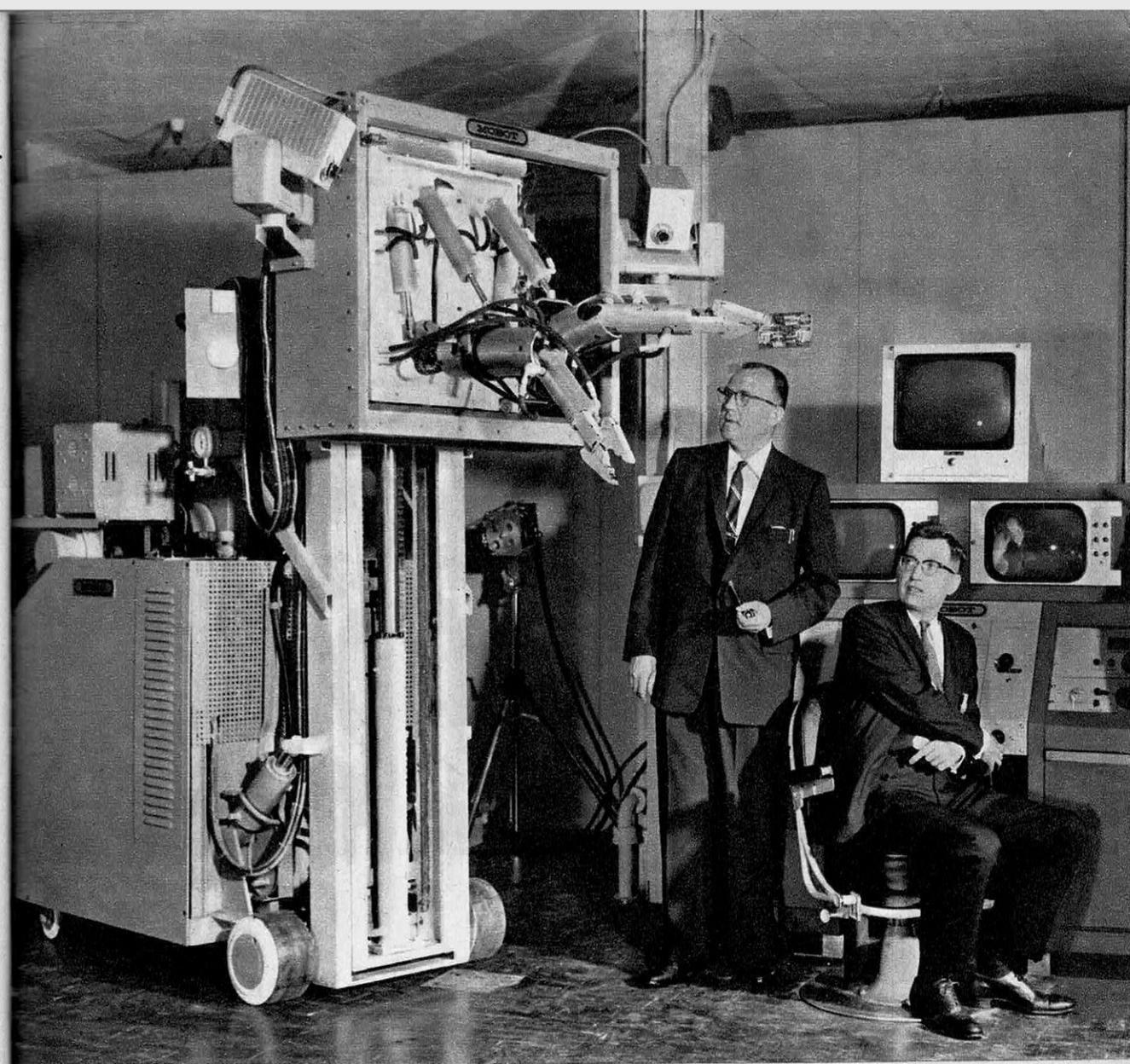
peut plus s'appeler de la « basse fréquence », nous l'appellerons de la « vidéofréquence ». Elle comporte cependant des fréquences très basses puisqu'en principe celles-ci vont jusqu'à zéro inclus, s'il s'agit d'une image de luminosité uniforme.

Alors qu'en radiodiffusion ou en télécommunication non multiplex on n'était obligé que de transmettre la variation au cours du temps d'une seule grandeur (la tension basse fréquence à envoyer, par exemple), en télévision il faut transmettre à chaque instant trois grandeurs : la brillance du point exploré et les coordonnées (abscisse et ordonnée) de ce point.

En pratique, on ne transmet pas d'une façon continue la position du point exploré. On se contente de définir son mouvement avec précision (mouvement uniforme le long de chaque ligne, celle-ci descendant d'un mouvement également uniforme beaucoup plus lent) et d'indiquer par des signaux brefs le moment où il passe par une position déterminée. On envoie donc des « tops » chaque fois que le point exploré arrive à l'extrémité droite de chaque ligne et des tops spéciaux lorsque la dernière ligne a été explorée.

Ces tops sont passés en même temps que le signal de commande de brillance du spot du récepteur. Il faut donc pouvoir les séparer facilement du signal image. On convient en général de considérer que le niveau du signal vidéofréquence ne dépasse jamais, au cours de l'image, une certaine valeur qui correspond au noir, et les tops sont transmis comme des signaux « plus noirs que le noir ».





Dans le standard français, on convient par exemple que l'onde haute fréquence, quand elle sera à son amplitude maximum (100 %) représentera le blanc le plus pur et que le noir correspondra, non à l'arrêt de l'onde, mais à une amplitude de 33 % du maximum. Les tops de repérage de la position du point exploré sont transmis par une coupure complète de l'onde pendant un temps bref; ce

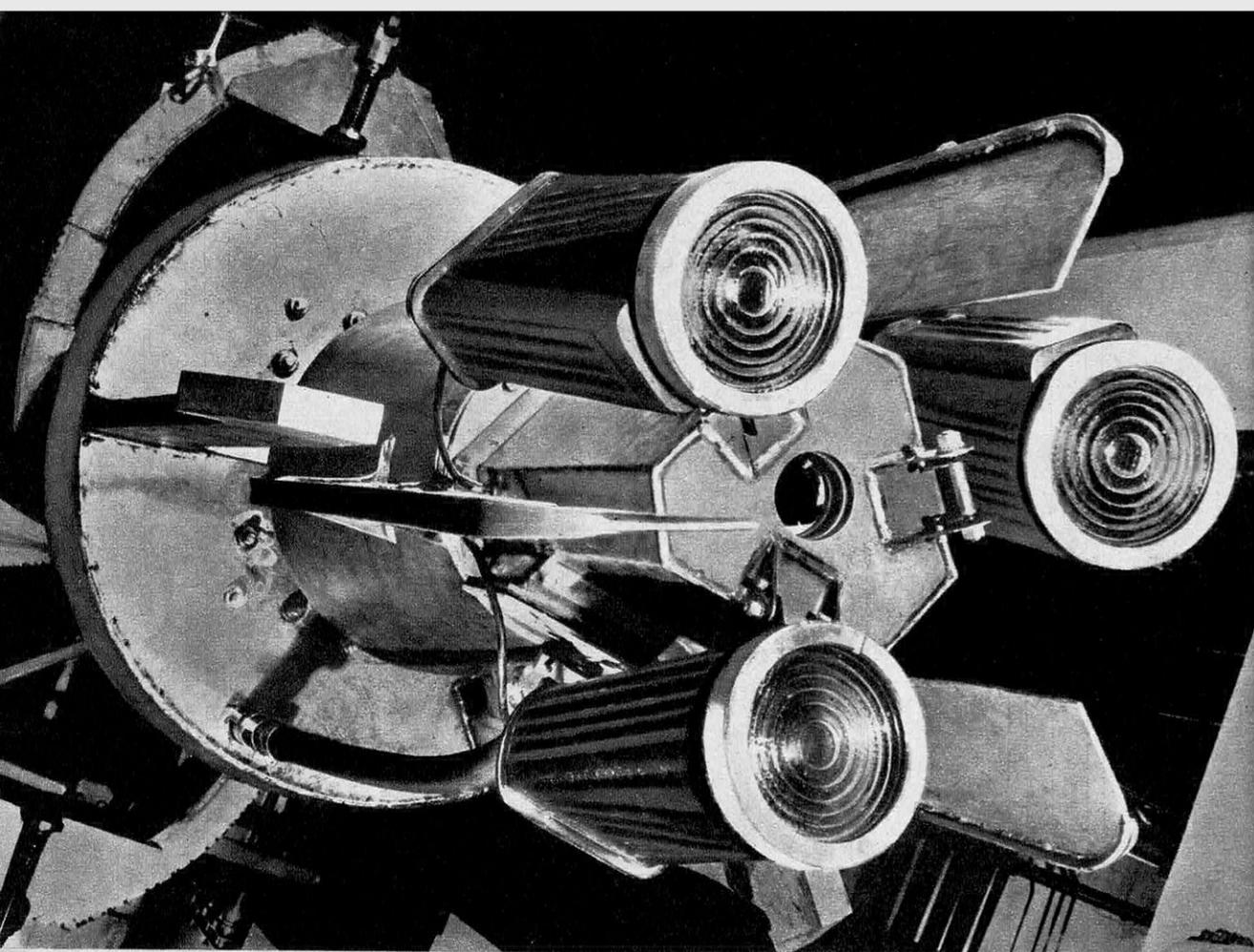
sont donc des «super-noirs», correspondant à des amplitudes de l'onde comprises en 30 % et 0 %.

On appelle ces signaux «tops de synchronisation», car ils ont pour but d'assurer un synchronisme rigoureux entre le mouvement du spot explorateur à l'émission et du spot formeur d'image à la réception. Cette synchronisation est la condition essentielle de reproduction correcte de l'image.

On pourrait penser qu'il serait possible aussi d'envoyer ces tops de synchronisation en «plus blanc que le blanc», mais, en fait, ce serait tout à fait contre-indiqué : à l'instant de la réception du top (à moins de prendre des précautions compliquées), le point lumineux qui forme l'image sur le récep-

## ← Un signal de télévision

Dans le système français, l'amplitude maximum correspond au blanc pur. A la fin d'une image, viennent quelques lignes noires, puis le «top» d'image suivi de noir pour éteindre le spot pendant son retour.



CFTH

teur (le spot cathodique) s'illuminerait énergiquement et un trait blanc très brillant apparaîtrait à droite de l'image. Pire encore, le spot serait brillamment illuminé pendant le mouvement de retour, délavant ainsi l'image.

Même en convenant de passer les tops de synchronisation en « hyper-noir », il faut décider si le noir correspond à une grande amplitude de la haute fréquence ou à une petite. En France, nous avons choisi la grande amplitude pour le blanc, autrement dit la « modulation positive », tandis qu'aux U.S.A. l'amplitude la plus faible correspond au blanc maximum, 70 % de l'amplitude maximum au noir et l'amplitude maximum aux tops de synchronisation.

Ce qui détermine surtout ce choix est la question des parasites. Un parasite se comporte comme une brusque augmentation de l'onde, puisqu'il s'agit d'un signal étranger qui vient se superposer à elle. Dans le système français, un parasite donnera un point très brillant sur l'écran, il se verra donc beaucoup, même sur les parties claires de l'image (car il correspond à un « super-

blanc »); par contre, on ne pourra le prendre pour un top de synchronisation et le balayage de l'image sera très stable. Dans le système américain, par contre, un parasite se traduira par un minuscule point noir, ce qui se voit à peine, mais il se comportera comme un top de synchronisation et pourra, de ce fait, compromettre la stabilité du balayage du récepteur.

C'est pourquoi les récepteurs de télévision américains utilisent presque tous un système de synchronisation des balayages par « asservissement en phase avec mémoire », très complexe, mais moins perturbable par les parasites.

### Où l'on se bat contre le bruit

Que nos lecteurs ne se méprennent pas : il ne s'agit pas de la répression du vacarme urbain. Le bruit dont nous voulons parler ne peut se supprimer par un arrêté : il est inhérent à la constitution de la matière.

Si nous réalisons un récepteur très sensible (de radio ou de télévision), nous constaterons

## ← Télévision dans l'usine atomique

Un des avantages principaux des caméras de télévision industrielle est de permettre, même dans les lieux les plus dangereux pour l'homme, une surveillance de tous les instants. Celle-ci, encadrée de trois projecteurs, est à Marcoule le seul œil du maître dans des endroits que la radioactivité a fait fermer depuis un certain temps déjà à tout accès humain.

que le signal qui en sort ne s'annule pas quand l'émission cesse. Ce signal résiduel comporte toutes les fréquences possibles en un spectre continu, il est dû à l'agitation thermique des électrons dans la matière. Cette agitation se produit de toutes les façons possibles; à un instant donné, elle se comporte comme s'il s'agissait d'une haute fréquence de 204,24 MHz, puis d'une haute fréquence de 17,14 MHz, puis d'une autre encore, le tout d'une façon parfaitement erratique. Plus la bande passante du récepteur est large, plus il y a de ces « pseudo-oscillations » qui sont reçues et provoquent un signal à la sortie. La puissance correspondante est proportionnelle à la bande passante et à la température absolue des éléments d'entrée du récepteur.

Dans un récepteur de télévision, pour transmettre l'image, il faut une très grande bande passante. Nous recueillerons donc une forte puissance de « souffle ». Précisons bien que ce souffle n'est pas audible, on ne le nomme ainsi que par analogie avec le cas de la radiodiffusion où le signal parasite, appliqué à un haut parleur, y produit un bruit rappelant celui d'un souffle. Dans un récepteur de télévision, il ne s'agit plus de souffle, mais de « neige » se manifestant par une scintillation continue et erratique de points blancs, gris et noirs sur l'image.

Le seul moyen pour lutter efficacement contre ce souffle est d'augmenter l'énergie haute fréquence reçue par le récepteur. On utilisera donc des émetteurs puissants, nombreux (pour que chacun d'eux soit proche du récepteur, cette proximité étant d'ailleurs rendue nécessaire par les ondes très courtes qui ne se propagent qu'en ligne droite), et on améliorera l'antenne réceptrice.

Évidemment, il faut que le récepteur n'a-

joute rien en souffle irréductible, mais il existe actuellement des montages (dont le « cascade », presque universellement utilisé sur les récepteurs de télévision) qui ont peu de souffle propre.

## Où va la télévision ?

Du point de vue technique, on assiste à une sorte de stabilisation. Le standard adopté en France, nécessitant des balayages de ligne extrêmement rapides et des ondes très courtes (de l'ordre de 2 m) a posé pendant longtemps des problèmes techniques très ardus. Maintenant, on peut dire qu'ils sont tous résolus et la meilleure preuve en est qu'un récepteur de télévision de 1959 ne diffère guère d'un modèle de 1955 que par des détails.

Ces « détails » sont évidemment très importants, ce sont eux qui font toute la différence entre un engin « acrobatique » tout le temps en panne et un appareil sans histoires.

## Caméra portative →

Cette caméra spéciale de télévision permet des reportages en direct sans aucun câble, donc en laissant une grande liberté à l'opérateur. Elle est utilisée par la R.T.F. et de nombreuses compagnies étrangères.



On parle évidemment de l'introduction des transistors dans la télévision. C'est un peu prématûr. Ces merveilleuses triodes et tétraodes à cristal ont compétitivement révolutionné le poste portatif, mais il leur faudra évoluer nettement avant que le téléviseur portatif soit plus qu'une curiosité ruineuse. Il en existe, certes, mais leur autonomie de marche est faible, quelques heures seulement, et il y a beaucoup à faire dans ce domaine avant que le téléviseur portable et autonome puisse vraiment être commercialisé.

Que dire du fameux « écran plat » dont la grande presse a trop parlé ? Que ce n'est pas encore pour demain, tant s'en faut. Certes, on peut envisager de transférer l'image par des réseaux de fils croisés sur un écran de très grande taille que l'on pourrait accrocher au mur. Nous pensons qu'il s'écoulera plus de dix ans avant que l'on voie les premiers dans le commerce.

Il existe des tubes cathodiques de forme presque plate ; ils sont encore à perfectionner. Par contre, les progrès faits par les tubes de grand angle sont encourageants. Autrefois on considérait comme remarquable de dévier un faisceau cathodique de  $70^\circ$  ( $\pm 35^\circ$  par rapport à l'axe). Le tube à  $90^\circ$  de déviation est devenu classique, et le tube à  $110^\circ$  est en passe de le devenir. Il s'ensuit une réduction extraordinaire de la profondeur du tube. Dans un modèle  $110^\circ$ , la profondeur hors tout du téléviseur est nettement inférieure à la largeur de l'image.

Si nous croyons peu à l'écran plat mural, nous attendons par contre plus du système à projection. Il ne s'agit en somme que de réaliser un tube cathodique extrêmement lumineux dont on projette l'image sur un écran. Les systèmes actuels pour l'usage domestique ont peu enthousiasmé le grand public car ils sont peu lumineux, comparés aux tubes cathodiques à vision directe. Mais nous pensons qu'il y aura bientôt plusieurs salles publiques où l'on pourra assister aux actualités *vraies*, c'est-à-dire au moment précis où elles se déroulent.

Et la couleur ? Le sujet est grave. Techniquement le système est au point ; commercialement il est hors de prix.

Il y a des émissions régulières en couleurs aux U.S.A. depuis plusieurs années, mais le nombre des récepteurs en service est insignifiant ; ils sont très chers, quoique vendus pratiquement à perte pour le prestige du fabricant.

En télévision industrielle, la couleur est parfaitement au point et d'emploi courant. Par contre, pour l'usage domestique, nous n'y croyons guère avant plusieurs années.

La télévision en relief est réalisable dès maintenant par l'emploi de systèmes anamorphoseurs à optiques cylindriques devant la caméra : on « comprime » l'image dans le sens de la hauteur, ce qui permet de passer la vue « œil gauche » en haut de l'écran et la vue « œil droit » en bas.

A la réception, un système analogue placé devant le tube cathodique redonne aux images les dimensions normales et les dirige chacune vers un œil de l'observateur. L'effet de relief est saisissant, mais la sujexion de se placer devant le système optique de restitution (ou de porter des lunettes) et la perte de définition des images (chacune n'utilisant que la moitié des lignes utiles) fait que l'on paye bien cher un petit perfectionnement.

En dehors de cas spéciaux (contrôles de télémanipulations) où le relief aide énormément, nous croyons peu à l'avenir de la télévision en relief. Mais nous croyons beaucoup à l'avenir de la télévision à « son stéréophonique » très facile à mettre au point sans aucune modification des récepteurs. Le relief sera suggéré par le déplacement apparent de la source sonore.

### Dans dix ans, la télévision mondiale

Par contre, ce qui est en progrès constant, c'est le réseau de liaisons intercontinentales de télévision. Les problèmes posés sont pourtant terribles car, indépendamment des longues distances, les standards des différents pays sont pratiquement tous différents du nôtre. On réalise cependant ce tour de force de recevoir une image anglaise sur 405 lignes et la diffuser sur notre réseau convertie en 819 lignes.

Le système actuel d'Eurovision est remarquable. Nous pensons que la télévision transocéanique arrivera bientôt. Nos lecteurs n'ont pas oublié la retransmission directe Alger-Paris le 14 juillet, par un relais aéroporté. Il s'agit là d'un début très encourageant.

Franchir l'Atlantique est certes une autre histoire que sauter la Méditerranée, mais avec un nombre suffisant de relais hertziens, en utilisant éventuellement la diffraction troposphérique, on doit y arriver. Il y aura sans doute d'ici peu des relais tournant autour de la Terre en orbite satellitaire, et cela aidera beaucoup à résoudre le problème.

Il semble logique de prévoir que, d'ici une dizaine d'années au plus, l'interconnexion mondiale des réseaux de télévision sera possible : on pourra dès lors assister à un événement au moment même où il se passe, quel que soit l'endroit où l'on se trouve et

l'endroit où se passe l'événement. Il y aura d'ailleurs certaines difficultés résultant du décalage d'heures entre les différents pays. Les téléspectateurs désirant assister à l'envol de la première fusée habitée pour Mars devront peut-être se lever à 3 heures du matin (heure locale du pays où se trouve le téléspectateur), mais ne trouvez-vous pas que le jeu en vaut la chandelle?...

### Le radar

De nombreuses personnes étaient, il y a seulement 20 ans, assez inquiètes quand elles entendaient parler du développement de la télévision. Elles disaient : « Mais alors, même quand on sera chez soi, on ne saura plus s'il n'y a pas quelqu'un qui vous regarde, avec cette invention diabolique. » Ces personnes ne concevaient pas la nécessité d'un émetteur sur place, tout au moins d'une caméra.

Nous pouvons cependant, de nos jours, envisager une transmission d'image sans, au départ, une caméra au sens habituel. Ainsi peut-on, par exemple, voir des photographies aériennes du port de New York, prises de très haut, par temps de brouillard et la nuit, grâce à un système installé dans un avion à très haute altitude. De l'avion, un passager n'aurait absolument rien vu de la ville.

Nos lecteurs l'ont deviné : il s'agit d'un système radar (les lettres sont les initiales de « Radio Detection And Ranging », détection et localisation radioélectrique).

Comme nos lecteurs le savent, la technique du radar consiste à repérer et à localiser un objet en utilisant la réflexion des ondes radioélectriques sur cet objet.

Nous avons déjà vu que les ondes peuvent se réfléchir sur les couches ionisées, sur la Terre, sur des réflecteurs appropriés, même sur la Lune. En fait, elles se réfléchissent sur tout corps dont le rapport du coefficient diélectrique à la perméabilité magnétique est différent de celui de l'air. Évidemment, on peut faire des surfaces anti-réfléchissantes pour les ondes, mais c'est assez difficile et cela nécessite en tout cas un revêtement de matériau absorbant d'une épaisseur non négligeable par rapport à la longueur d'onde que l'on veut absorber. C'est pourquoi les informations à sensation concernant les « peintures anti-radar » sont le plus souvent du domaine de la fantaisie.

Donc, une onde émise peut se réfléchir sur un objet. En mesurant le temps d'aller et retour de l'onde, on peut connaître la distance de l'objet, en cherchant la direction dans laquelle on reçoit le plus fort, on peut déterminer sa direction.

### La quatrième puissance de la distance

Mais il y a une ombre au tableau : le problème de l'énergie. Considérons un objet donné s'écartant progressivement de l'émetteur d'ondes et du récepteur d'échos, que nous supposerons près l'un de l'autre.

Les ondes se dispersent dès l'émission, aussi l'objet ne reçoit-il qu'une partie faible de l'énergie de l'émetteur, cette énergie décroissant en raison inverse du carré de la distance émetteur-objet, comme chacun sait.

L'objet re-rayonne cette énergie (ou plutôt une fraction que nous supposerons constante de cette énergie), mais il la rayonne en général dans toutes les directions. La partie de cette énergie re-rayonnée que reçoit le récepteur d'écho va aussi diminuer en raison inverse du carré de la distance objet-récepteur. Les coefficients d'affaiblissement se multiplient, et qu'arrive-t-il ? Le récepteur reçoit une énergie minuscule, inversement proportionnelle à la quatrième puissance de la distance objet-radar.

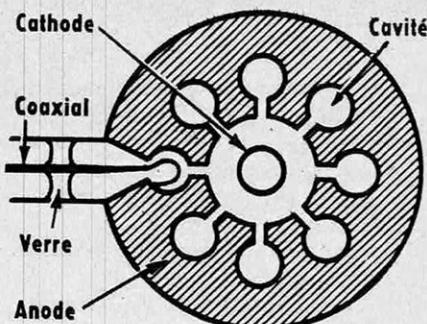
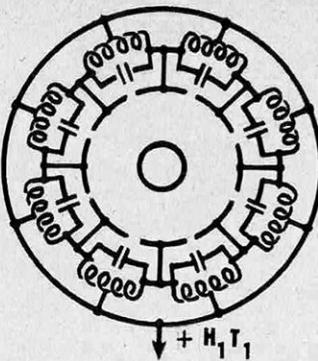
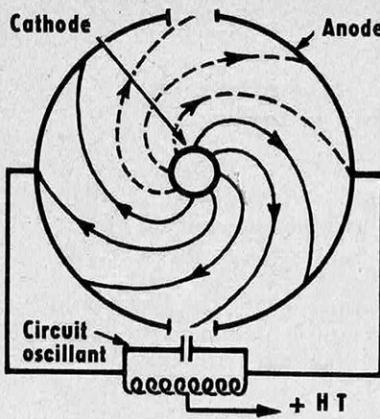
Autrement dit, si l'on reçoit une certaine puissance d'écho à 10 km de l'objet, on en recevra 10 000 fois moins si l'objet s'éloigne à 100 km du radar et 100 millions de fois moins si l'objet part à 1 000 km.

Alors, que faire ? La logique répond : augmenter la puissance de l'émetteur, augmenter la sensibilité du récepteur, mieux concentrer les ondes, et c'est ce que l'on fait.

### Les ondes très courtes

Nous avons vu que, pour obtenir un faisceau d'ondes bien dirigé, il fallait que les dimensions de l'organe producteur ou focilisateur d'ondes soient grandes par rapport à la longueur d'onde. Comme nous ne voulons pas faire des réflecteurs monstrueux, nous emploierons des ondes aussi courtes que possible en nous limitant toutefois à celles que l'atmosphère n'absorbe pas trop et que nous savons bien produire.

Comment les fabriquerons-nous ? La triode est dépassée pour cet usage ; elle commence à donner des signes d'essoufflement pour les ondes de 50 cm ; il faut des modèles tout à fait spéciaux pour arriver aux ondes de 10 cm. Pourquoi ? Parce que les électrons vont trop lentement entre la cathode et l'anode. Imaginez qu'ils se traînent seulement à des 10 000 km par seconde, peut-être même moins. Si l'on veut moduler le faisceau d'électrons par action sur le potentiel de la grille, le résultat ne se fait sentir sur l'anode qu'après un délai inadmissible.



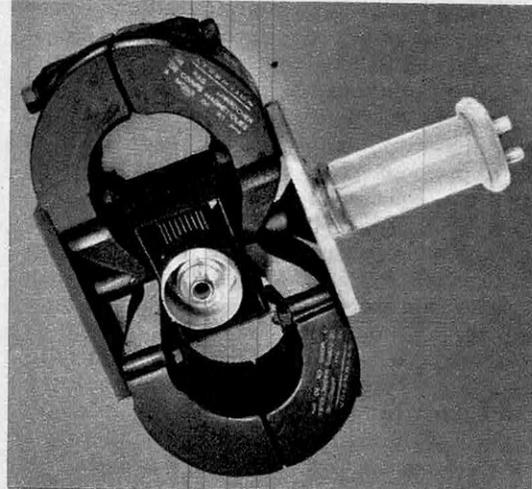
C S F

## Principe du magnétron

A gauche, schéma d'un magnétron à deux anodes. Un champ magnétique perpendiculaire au plan de la figure fait s'enrouler les trajectoires des électrons émis par la cathode. Le plus grand nombre d'entre eux part vers l'anode positive, mais ils la manquent et tombent sur l'autre anode, ce qui accentue le déséquilibre et entretient l'oscillation du circuit oscillant. A droite, schéma d'un magnétron à huit anodes de même principe et sa réalisation pratique où les circuits oscillants sont réalisés dans la masse sous forme de cavités résonnantes; dans l'une d'elles, une boucle de couplage préleve l'énergie hyperfréquence. Ci-contre, un magnétron de 1 200 kilowatts crête.

Donc, c'est l'inertie des électrons qui nous gêne. Qu'à cela ne tienne, nous allons l'utiliser. Prenons un tube tel que celui représenté en coupe ci-dessus; la cathode cylindrique chauffée est entourée d'un cylindre coaxial fendu en deux parties égales suivant deux génératrices diamétrale opposées. Un champ magnétique constant, parallèle à la cathode (donc perpendiculaire au plan de la figure) est appliqué à l'ensemble et les deux demi-cylindres sont alimentés par les deux extrémités d'un circuit oscillant au milieu duquel arrive la haute tension positive (le moins est relié à la cathode).

Supposons qu'à un moment donné le condensateur du circuit oscillant soit légèrement chargé de telle sorte que le demi-cylindre de droite, par exemple, soit momentanément plus positif que le demi-cylindre de gauche. Les électrons se précipiteront beaucoup plus volontiers sur le demi-cylindre de droite. Plus exactement, ils partiront vers la droite plus nombreux que vers la gauche. Mais le champ magnétique dévie leur trajectoire et, si sa valeur est correcte, c'est vers le demi-cylindre de gauche qu'arriveront les électrons partis vers la droite (les plus nombreux) tandis que ceux partis vers la gauche iront atterrir sur le demi-cylindre de droite.



Qu'en résulte-t-il ? Tout simplement que le seul déséquilibre initial des potentiels des deux demi-cylindres entraîne par là même un afflux d'électrons (négatifs) sur le demi-cylindre qui était justement moins positif que l'autre. Le déséquilibre aura donc tendance à s'accentuer, ce qui est la condition essentielle pour qu'un système susceptible d'osciller (en raison de la présence du circuit oscillant) entre en oscillation et s'y maintienne.

Ce « magnétron » est d'un type très simple. On préfère utiliser non pas 2 anodes, mais 8 ou 10 reliées entre elles par des chaînes de circuits oscillants accordés tous sur la même fréquence, en simplifiant d'ailleurs encore l'appareil comme on le voit ci-dessus. Les circuits oscillants ont l'air d'avoir disparu; en fait, leurs bobinages sont simplement constitués par le cuivre entourant les événements cylindriques, tandis que les condensateurs sont remplacés par les faces en regard des fentes qui conduisent de ces événements à l'espace central où se trouve la cathode. C'est le magnétron à anode segmentée.

Les circuits oscillants constitués par ces « cavités résonnantes » ont des fréquences propres de 3 000, 10 000 MHz ou plus. L'oscillation y est entretenue par l'inertie des électrons qui, comme tout à l'heure, manquent les électrodes les plus positives pour arriver sur celles qui le sont le moins.

Les anodes, c'est-à-dire les parties de la face interne du bloc de cuivre séparées les unes des autres par les fentes des cavités, sont alternativement plus ou moins positives que le potentiel moyen du bloc de cuivre. Le tout fonctionne un peu à la façon d'un moteur asynchrone à plusieurs pôles.

Dans une des cavités, une boucle de couplage préleve de la tension hyperfréquence (on ne peut même plus parler de « haute fréquence » seulement) et l'envoie à l'extérieur par un coaxial dont le conducteur central traverse un scellement dans le verre, pour empêcher l'air de rentrer dans le magnétron. Il ne faut pas oublier, en effet, que l'espace central et toutes les cavités sont entièrement vides d'air pour laisser le passage libre aux électrons.

### La course aux millions de watts

Ces magnétrons fonctionnent parfaitement. Leur technique a subi un développement considérable pendant la guerre 1939-1945 et maintenant il en existe de très nombreux modèles fonctionnant dans les gammes de 23 cm, 10 cm, 5 cm, 3 cm et 8 mm qui sont les longueurs d'ondes les plus courantes en technique radar. Leur puissance de sortie atteint plusieurs centaines de watts en moyenne.

Mais c'est encore peu quand on sait que l'on ne va récolter comme puissance d'écho que le milliardième du milliardième de l'énergie envoyée. Si l'on veut que cet écho ne soit pas couvert par le bruit de souffle dont nous avons parlé, il faut que la puissance de l'émission soit énorme.

C'est là que vient à notre secours la technique dite « des impulsions ». Elle consiste à laisser le système émetteur se reposer pendant 99,9 % du temps et à ne lui demander de fonctionner que pendant 1/1 000 du temps, mais avec une puissance de crête gigantesque. Évidemment, le tube doit être construit spécialement pour cet emploi. On prévoit les champs magnétiques et les écartements des différentes électrodes pour qu'il fonctionne sous des tensions énormes (20 000 V ou plus) avec des courants d'électrons auxquels l'électronique ne nous a pas habitués : 100 ampères est une valeur courante.

Nous avons sous les yeux les caractéristi-

ques d'un magnétron qui disent : tension anodique : 30 000 V; courant anodique : 70 A; puissance de sortie : 1 000 kW.

Vous avez bien lu : 1 000 kilowatts, ou un mégawatt, soit 1 030 ch. Mais précisons bien qu'il s'agit de valeurs de crête. Le magnétron ne fonctionne à ce régime que pendant une microseconde, après quoi on lui laisse 1 000 microsecondes pour se remettre, sinon il serait volatilisé.

Cette émission en impulsions est d'ailleurs fort intéressante à un autre titre : elle permet de bien situer l'instant du départ de l'onde, donc de mieux mesurer le temps d'aller et retour de cette onde.

La technique actuelle ne s'arrête d'ailleurs plus au mégawatt de crête. On réalise couramment des tubes qui peuvent donner plus de 30 MW de crête. Il paraît qu'à l'étranger on trouve des tubes de 100 MW de crête, ceci sous toutes réserves.

En général, ces tubes d'énorme puissance ne sont plus des magnétrons auto-oscillateurs, mais des « klystrons » amplificateurs. Un klystron est un tube utilisant l'effet de variation de vitesse des électrons en fonction de la différence de potentiel appliquée entre deux grilles voisines. Si on laisse parcourir un certain espace aux électrons, ceux qui vont plus vite rattrapperont ceux qui vont moins vite, il en résultera un regroupement en paquets d'où l'on pourra extraire de l'énergie.

### Envoyons l'onde bien où il faut

Ainsi nous savons produire des puissances énormes. Encore faut-il l'envoyer aussi bien que possible vers l'objet à répéter. Nous allons donc faire appel à une antenne directive.

Il y a plusieurs moyens de diriger les ondes. On peut utiliser une source rayonnante (dite source primaire) qui envoie des ondes sphériques et placer cette source primaire au foyer d'un focaliseur, constitué souvent par un miroir en forme de paraboloïde.

On peut également utiliser pour concentrer les ondes des lentilles, par exemple en une matière isolante taillée correctement, dans laquelle les phénomènes de réfraction agissent comme en optique. La lentille en question peut d'ailleurs avoir un aspect fort bizarre, réalisé par un assemblage de tuyaux à section rectangulaire ou carrée, dont les trous sont dans la direction de propagation des ondes et dont les longueurs varient du centre de la lentille vers les bords.

Il y a d'autres moyens pour diriger les ondes. Par exemple, on les rayonne par tout un réseau d'antennes émettant toutes en phase:

dans la direction perpendiculaire au plan du réseau, les différentes émissions se renforcent tandis que, dans d'autres directions, les oscillations se détruisent du fait de leur différence de phase. Ce sont des réseaux de ce genre qui ont servi dans le célèbre SCR 268 qui a sauvé l'Angleterre en 1940.

Chose étrange, il semble qu'on revienne à ce système de nos jours. Il présente l'intérêt suivant : on peut modifier la direction dans laquelle le faisceau est focalisé sans avoir à déplacer un organe mécanique. En effet, on peut faire varier les phases respectives des oscillations des différentes antennes, par exemple en les attaquant par des systèmes déphasateurs commandés par un champ magnétique. Il existe des corps de la famille des « ferrites » qui sont utilisés dans ce sens. Si on place un bâton d'une de ces ferrites dans un guide d'ondes, il introduit sur l'onde qui chemine dans le guide un déphasage qui est fonction du champ magnétique auquel le bâton est soumis.

Un tel réseau permettra donc de faire varier presque instantanément la direction du faisceau émis, ce qui ne saurait évidemment être réalisé avec les systèmes de réflecteurs ou de lentilles classiques dont les poids peuvent atteindre la tonne. On peut envisager qu'un radar pourra suivre à la fois un grand nombre d'avions en n'envoyant que quelques impulsions à chacun, les indications de position étant stockées dans une « mémoire » magnétique reliée à un programmeur contrôlant tout le fonctionnement du radar.

### Les radars panoramiques

On utilise, en effet, aujourd'hui des radars panoramiques fournissant un faisceau plat, étiré dans le sens de la hauteur (bien focalisé en gisement, très peu focalisé en site) et tournant autour d'un axe vertical. Ils repèrent les avions « au vol », au moment où le faisceau passe dessus, indiquant leur gisement,

## Radar de contrôle régional d'Orly

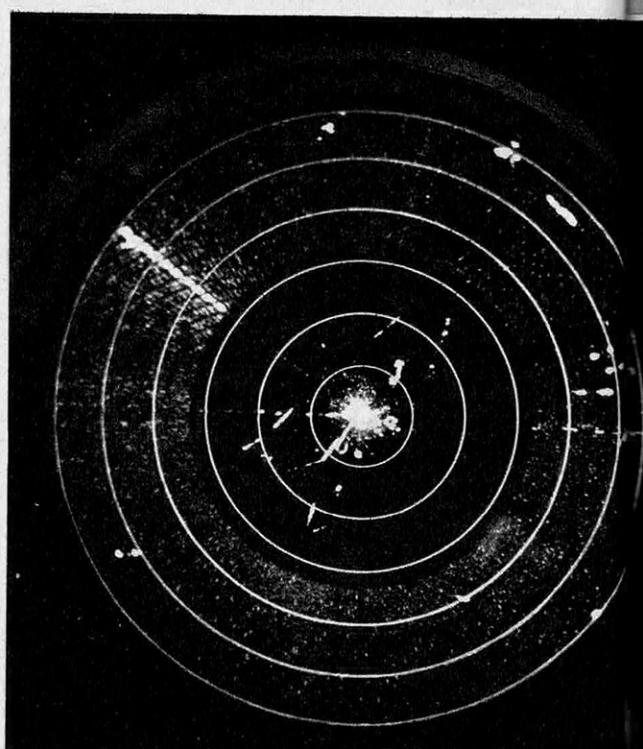
Ce radar, un des plus grands d'Europe, a à sa charge l'un des carrefours aériens les plus actifs du monde. Capable de détecter un bi-moteur moyen jusqu'à 150 km et à une altitude de 12 000 m, il permet de connaître les positions relatives des appareils, d'éviter leur collision et de réduire leur attente. Pour faciliter les lectures, les écrans comportent, comme on peut le voir ci-contre, une élimination des échos fixes sur 80 km : les cercles vont de 25 en 25 km.

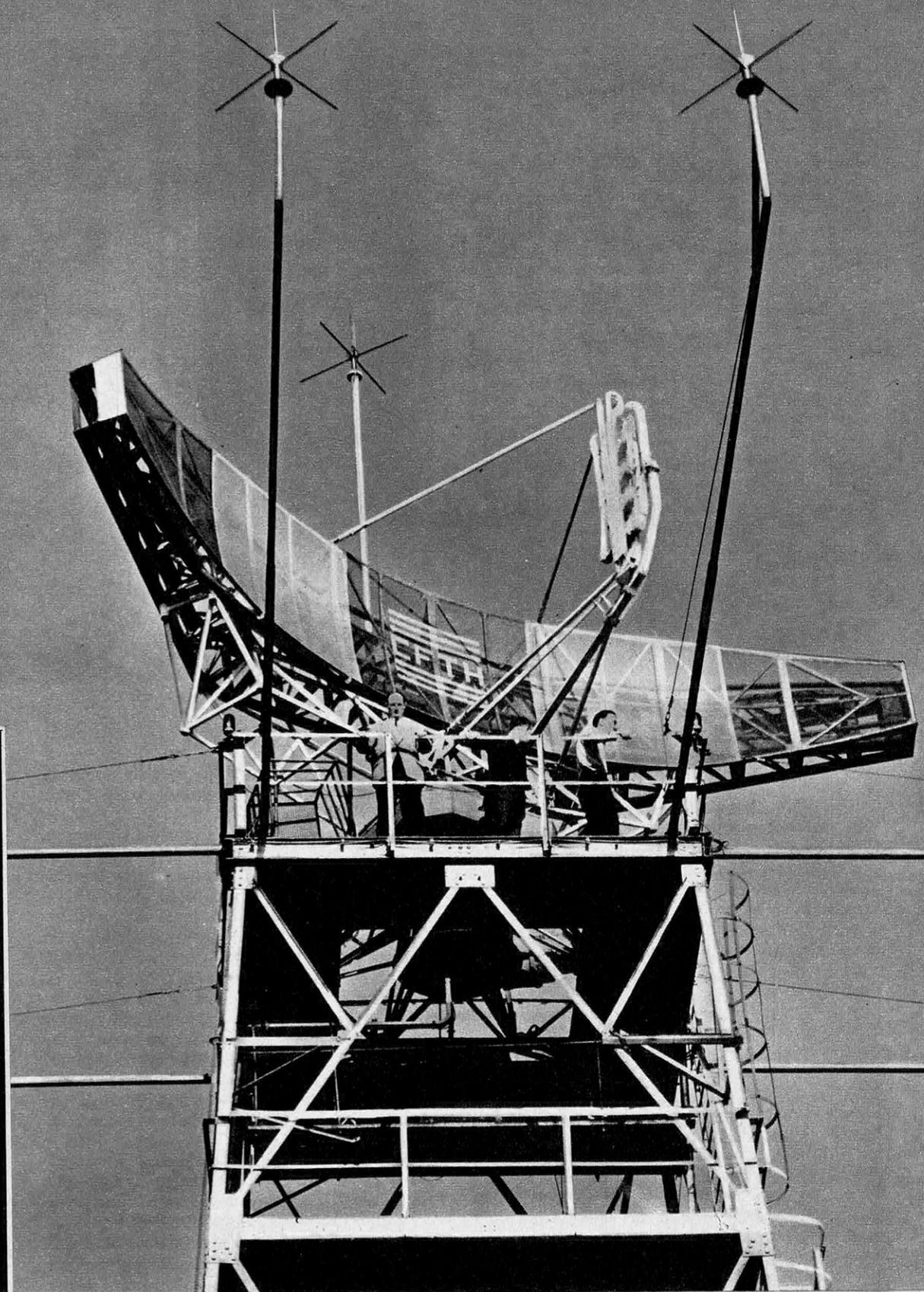
mais non leur site, et perdant de la portée puisque la concentration en site est (intentionnellement) réduite. Un radar à faisceau fin a, toutes choses égales d'ailleurs, une portée plus grande, mais il ne se prête pas à la recherche des avions. On ne peut explorer tout le ciel avec un faisceau fin, de même que l'on ne peut peindre un mur avec un petit pinceau bien effilé : il faut utiliser un pinceau plat que l'on déplace perpendiculairement à sa largeur.

C'est pourquoi les radars à faisceau fin sont en général spécialisés dans la « conduite de tir » : ils restent pointés sur l'avion (ou le bateau) à repérer, l'objectif leur ayant été désigné par un radar panoramique. Ce dernier « dit » en quelque sorte, aux radars de conduite de tir : « Il y a un avion dans le gisement G, à la distance D, à un site inconnu ».

Le radar de conduite de tir explore alors le gisement correspondant et trouve l'avion, qu'il identifie en général grâce à sa distance. Il se met alors à fonctionner en « poursuite », c'est-à-dire qu'il fait appel à des servo-mécanismes qui maintiennent son faisceau pointé sur l'avion. En même temps, il dirige les canons de D.C.A. ou les systèmes de télécommande des engins sol-air anti-avions.

Un tel radar ne peut actuellement suivre qu'un avion à la fois. Si l'on peut réaliser





## De l'image radar → à l'image télévisée

Le problème est de reprendre en télévision l'image qui apparaît sur un écran radar pour la rendre plus lisible et la diffuser à tous les intéressés. Il est de première importance pour l'exploitation des ports maritimes (nous en verrons un exemple plus loin) et des grands aérodromes. On voit ici l'expérimentation à Indianapolis du transformateur d'images conçu pour la navigation aérienne et le tube spécial à mémoire qui en est un des principaux éléments.

le système de poursuite multiple, le potentiel de défense d'une station radar se trouve extrêmement multiplié. L'application de ce système à l'aviation civile permettrait de multiplier par un facteur considérable la capacité de trafic d'un aérodrome.

### Réflexions sur... la réflexion des ondes

Voilà donc notre onde partie. Elle a été émise avec une puissance de crête gigantesque et, à 300 000 km/s, elle fonce sur l'objectif. Celui-ci va la renvoyer dans toutes les directions, en général. Si l'objet (ou plutôt celui qui est dedans) désire être bien suivi par le radar, il a tout intérêt à ce que son écho soit bien net sur le récepteur radar. Il cherche donc à être « bon réflecteur ». Il y a d'excellents moyens pour cela.

D'abord, il peut utiliser des trièdres.

Un trièdre trirectangle constitue un réflecteur qui renvoie une onde dans la direction d'où elle vient, quelle que soit cette direction par rapport à ses arêtes.

Ensuite, il est possible d'augmenter l'intensité du signal renvoyé au radar en utilisant à bord de l'avion un « répondeur ». C'est un ensemble qui comporte un récepteur, recevant le signal émis par le radar, un amplificateur qui le renforce et un tube émetteur qui renvoie au radar une énergie très supérieure à celle que l'avion a reçue.

Ce répondeur peut d'ailleurs émettre un autre signal que celui qu'il a reçu, s'il a un émetteur autonome. La réponse peut, par exemple, se faire sur une longueur d'onde légèrement différente de celle du signal émis par le radar. Ce dernier distinguera immédiatement la réponse de l'avion des échos simples, ce qui est bien agréable. Le répondeur peut même renvoyer au radar, non pas une impulsion, mais plusieurs à chaque fois, leurs positions respectives constituant un code qui permet à l'avion d'envoyer des infor-



mations au sol. Réciproquement, l'émission du radar peut, elle aussi, être codée, permettant l'envoi de messages du sol à l'avion.

Par contre, si l'avion est en territoire ennemi, il fera tout pour ne pas être repéré. Les revêtements antiréfléchissants sont en général lourds et relativement incompatibles avec les performances aérodynamiques des avions. L'avion essaiera donc de se maintenir hors d'atteinte du radar, ou de le brouiller.

Pour se maintenir hors d'atteinte, il y a le vol en « rase-mottes ». Les échos de sol gêneront le radar et il y aura même cécité complète de ce dernier si l'avion et le radar se trouvent de part et d'autre d'une colline. Mais ce vol est peu économique pour un avion supersonique qui n'a son plein rayon d'action qu'à une altitude définie et en général très élevée.

C'est donc dans le brouillage qu'il mettra tout son espoir. Il existe actuellement des tubes émetteurs qui peuvent fournir une puissance hyperfréquence assez notable et surtout changer de fréquence d'oscillation très rapidement : ce sont les tubes à ondes régressives ou « Carcinotrons » (C.S.F.). Avec un tel tube,



C S F

un émetteur peut balayer près d'un million de fois par seconde toute la gamme de fréquence d'une certaine catégorie de radars, perturbant gravement leur fonctionnement.

### Brouillages, anti-brouillages, contre-anti-brouillages

Fort heureusement pour les radaristes (nous dirons même pour tout le monde, car le radar est essentiellement une arme de défense et nous apprécions beaucoup que les armes de défense soient le plus efficaces possible), on peut se défendre contre le brouillage. Les moyens sont multiples. On peut utiliser plusieurs radars fonctionnant en même temps sur des fréquences différentes : le brouilleur ne peut pas les brouiller tous en même temps et toute impulsion qui n'est pas présente sur tous les radars simultanément peut alors être considérée comme un faux écho, dû aux brouilleurs. On peut également repérer par goniométrie la position du brouilleur et procéder à l'anti-brouillage « par voie de fait » en envoyant une fusée chargée de quelques kilogrammes d'explosif qui se dirige d'elle-

même vers le brouilleur. L'effet est radical.

Pour ne pas mettre le brouilleur sur un avion (qui attirerait par là même le feu de tous les « destructeurs de brouilleurs »), on envisage de le parachuter avant le raid. Mais les systèmes que nous avons indiqués peuvent lutter efficacement jusqu'à ce qu'on l'ait localisé et détruit.

Pour bien se défendre contre un radar, il faut maintenant quelque chose de plus subtil que le brouilleur, si le radar est du type anti-brouilleur. Il est possible d'envisager un avion qui renvoie au radar des échos intentionnellement retardés, ce retard étant erratiquement variable : c'est le système de contre-anti-brouilleur. Mais alors il n'est pas exclu de réaliser un radar anti-contre-anti-brouilleur qui opère grâce à des systèmes d'extrapolation et de comparaison entre plusieurs radars anti-brouilleurs. Ne continuons pas : même si le brouilleur contre-anti-brouilleur ne réussit pas à faire échapper l'avion au repérage radar, il nécessite un tel déploiement de technique du côté de la défense que le pays attaqué risque la disparition de ses ingénieurs par méningite généralisée.

La meilleure façon de se défendre contre un radar est de ne lui offrir qu'une faible surface. On compte les cibles en « surface équivalente », telle cible renvoyant autant d'énergie qu'une feuille de métal d'un certain nombre de mètres carrés placée au même endroit.

Un bombardier moyen vu de côté peut faire plus de 200 m<sup>2</sup> de surface équivalente (repérage très facile). Par l'avant, cela peut descendre à une dizaine de mètres carrés. Un chasseur à réaction vu de l'avant représente moins d'un mètre carré, il devient difficile à repérer. Enfin, une tête de fusée intercontinentale (I.C.B.M.) peut ne représenter qu'un dixième de mètre carré ou moins, rendant le repérage acrobatique, surtout si l'on pense à la distance à laquelle il faut la voir pour se défendre efficacement contre elle (elle peut d'ailleurs être recouverte d'absorbant).

### La mesure de la distance

Nous avons dit que c'est en mesurant le temps d'aller et retour de l'onde que l'on détermine la distance. Il s'agit de temps très courts : cela va vite, une onde. On ne compte pas en secondes, mais en microsecondes. Imagine-t-on ce qu'est une microseconde (ou millionième de seconde) ? Pendant cet intervalle de temps, une automobile rapide (110 km/h) ne parcourt que 1/36 de mm et les satellites artificiels, Spoutnik et autres Explorer ne se déplacent que de 8 mm !

Et pourtant, en une microseconde, les ondes parcourent 300 m; c'est donc le temps d'aller et retour pour une cible située à 150 m du radar. Nous voyons arriver l'égalité bien connue des radaristes : 1 km = 6,66.

Ce n'est évidemment pas avec un chronomètre à poussoirs que nous mesurerons cela. L'électronique a, fort heureusement, des ressources quasi-illimitées pour ces mesures de temps courts.

Nous mesurerons ce temps, par exemple, à l'aide de ce rayon sans inertie que constitue le faisceau de l'oscilloscope cathodique. Nous appliquerons au système de déviation horizontale du faisceau un signal en dents-de-scie, comme dans la télévision; le spot va donc partir de la gauche et nous nous arrangerons pour qu'il parte exactement en même temps que l'onde part de l'émetteur. La sortie du récepteur sera connectée au système de déviation verticale du faisceau, tout signal se traduisant donc par une sorte de pointe. Suivant que le temps d'aller et retour de l'onde a été plus ou moins grand, cette pointe se produira plus ou moins loin du début de la trace. On peut graduer le tube en distances.

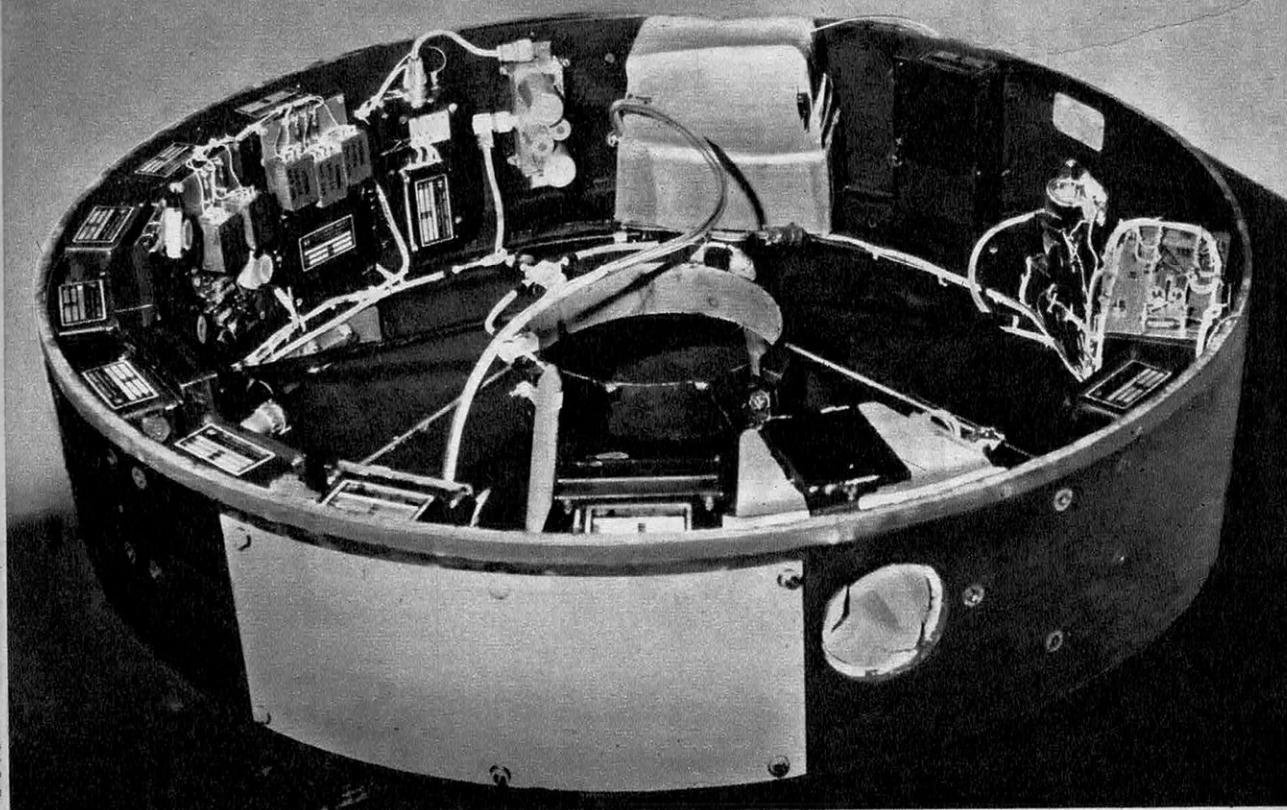


## Instrumentation

La compacité est la règle pour tout l'appareillage électronique qui est confié aux satellites artificiels et aux fusées cosmiques. Diodes à semi-conducteurs

C'est d'ailleurs sur ce tube que nous allons voir apparaître le pire ennemi du radar : le souffle. Nous avons dit que l'énergie de l'écho, tout au moins la partie qu'en capte l'antenne réceptrice, est minuscule. Or, quand un signal est trop faible, il se perd dans la tension erratique créée par l'agitation aléatoire des charges électriques dans les conducteurs, ce que nous avons appelé le souffle (augmenté d'ailleurs du souffle propre du récepteur). Évidemment, ce « souffle » ne s'entend pas, il apparaît sur le tube cathodique comme une suite irrégulière de petits traits fins, verticaux, en général verts car les tubes cathodiques ont souvent des écrans à fluorescence verte. Cela explique le nom très évocateur que les radaristes donnent à ces traits : l'herbe.

Quand un écho est noyé dans l'herbe, on ne le voit plus. Heureusement, on peut faire agir des servo-mécanismes qui, par leur lenteur de réponse elle-même, arrivent à « voir » un écho dans l'herbe. En effet, d'une émis-



## transistorisée pour satellites et fusées lunaires

et transistors jouent là un rôle de plus en plus important, n'exigeant que des courants faibles et permettant une miniaturisation poussée. A droite,

une partie de l'équipement du dernier étage d'une fusée Pioneer; à gauche, un émetteur pour satellite réalisé par Philco et entièrement transistorisé.

sion à l'autre, la position de l'écho ne change pas ou très peu, tandis que les brins d'herbe, dont la distribution est erratique, ne se retrouvent pas à la même place d'une émission à l'autre. Si l'on fait en quelque sorte la « moyenne » de plusieurs réceptions, les signaux d'échos relatifs aux différentes réceptions s'ajoutent plus efficacement que les signaux de souffle et l'on voit le signal « sortir » du souffle. C'est en perfectionnant les applications de cette remarque que l'on a créé les techniques dites d'« autocorrélation », permettant d'accroître la sensibilité des radars.

La lecture de distance sur le tube cathodique est une méthode aujourd'hui dépassée : dans tous les radars, le tube cathodique ne sert plus qu'à montrer l'aspect de l'écho et à permettre la « prise en poursuite distance ».

Cette poursuite en distance réalise l'asservissement à l'écho d'une impulsion fabriquée dans les circuits du radar, dite impulsion de télémétrie, dont le retard par rapport à l'impulsion d'émission est rigoureusement connu.

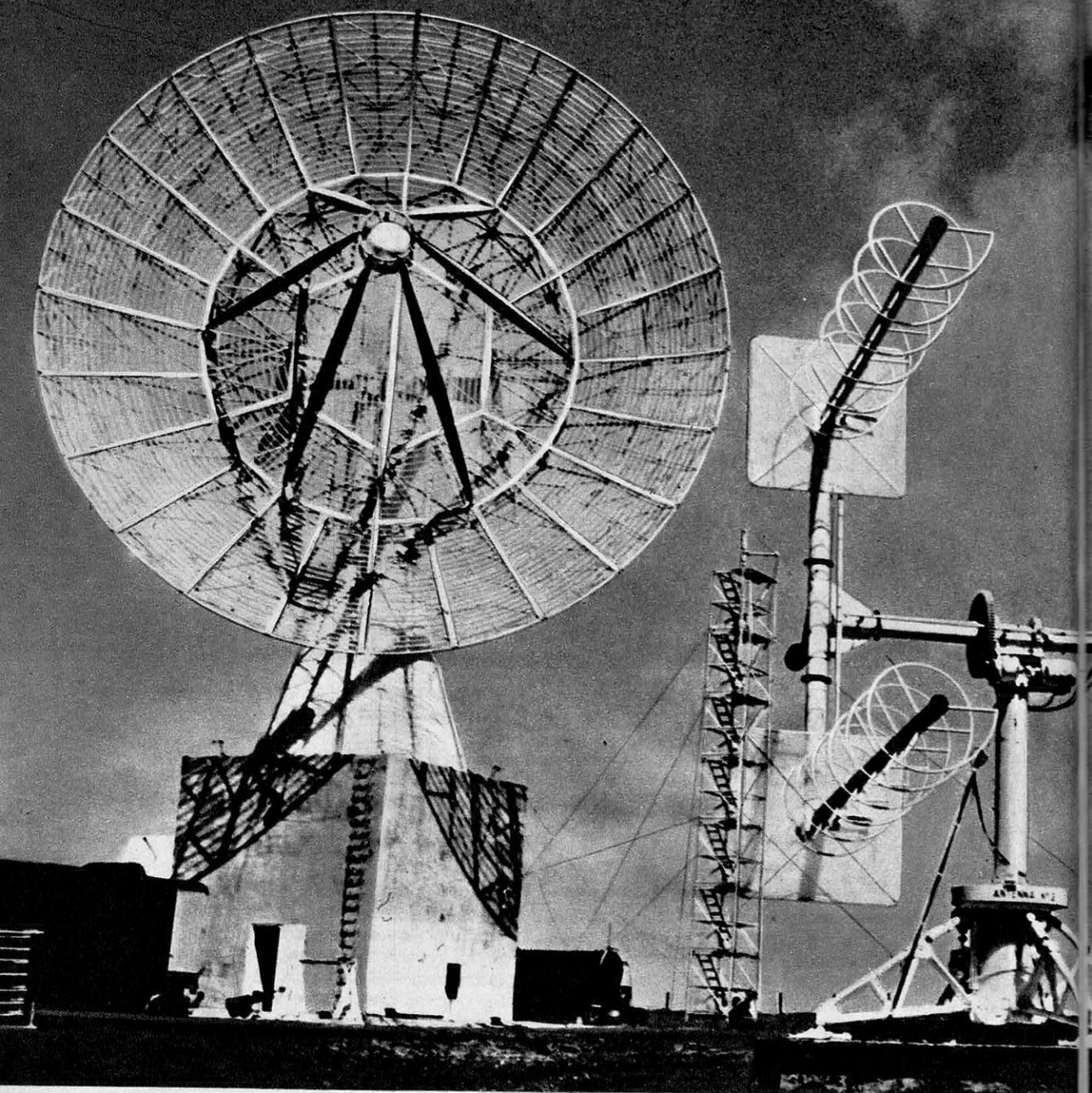
Quand nous disons « rigoureusement », nous n'exagérons pas. Un radar permet de déterminer les distances de plus de 100 km à un mètre près soit 1/100 000, ce qui place le radar parmi les appareils de haute précision.

Le radar est en général équipé de systèmes de recopie de distance (le plus souvent des synchro-transmetteurs ou des encodeurs arithmétiques) qui permettent de transmettre l'indication distance à des tables traçantes ou à des calculateurs.

### Les radars géants

Nous avons dit que la portée d'un radar était limitée par le plus petit signal que le récepteur peut distinguer du souffle. Si l'on veut porter très loin, sur des objets très petits (fusées), il faut faire appel à de véritables monstres.

Le radar anti-I.C.B.M. construit aux U.S.A. a un réflecteur de près de 30 m de diamètre, sa puissance se compte en dizaines de mégawatts.



USIS

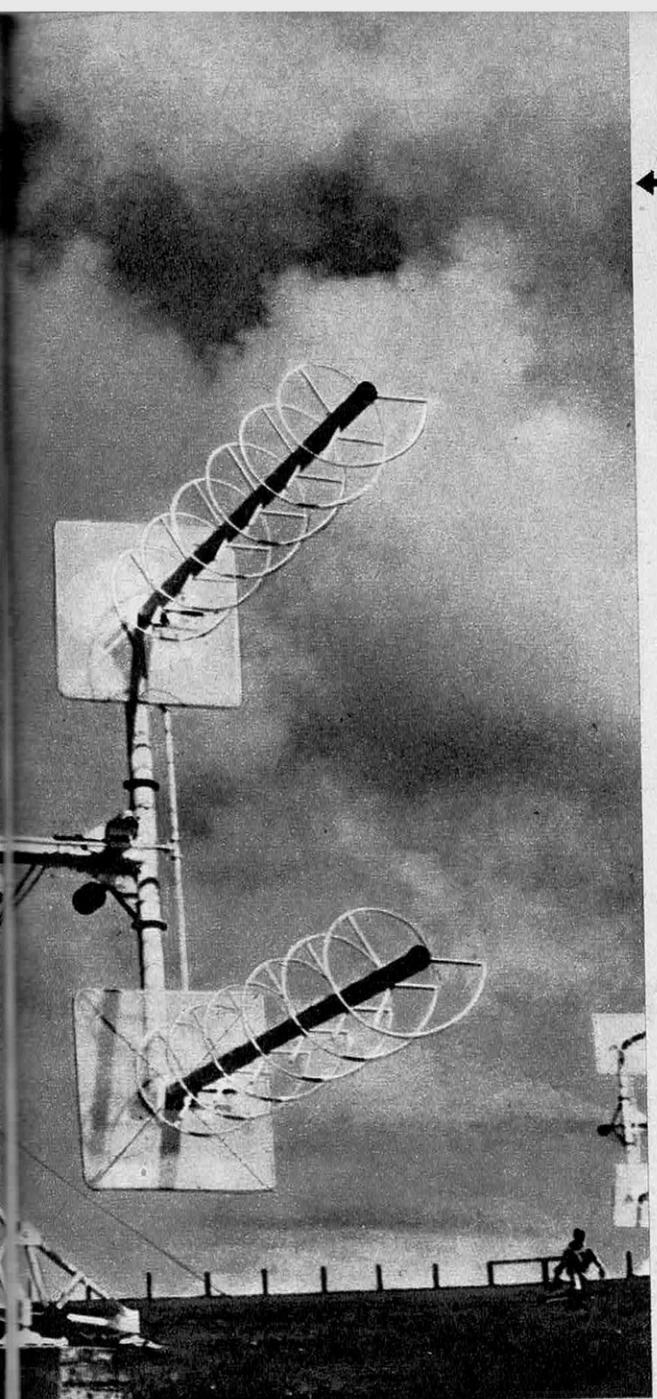
watts, son récepteur bénéficie de toutes les dernières nouveautés techniques susceptibles d'augmenter le gain.

Il y a en effet des nouveautés pleines de promesses dans ce domaine, en particulier l'amplificateur paramétrique apparu tout récemment.

Il est constitué par deux circuits oscillants, accordés sur la même fréquence et couplés par un condensateur très spécial qui est, en fait, une diode à jonction entre deux semi-

conducteurs. Celle-ci se comporte un peu comme un condensateur si elle est bloquée, et on peut en faire varier la capacité apparente en modifiant la tension appliquée à ses bornes.

L'expérience montre (ainsi que des calculs effrayants) qu'en appliquant une certaine énergie haute fréquence à l'un des circuits on en tire une plus grande de l'autre si l'on s'arrange pour modifier périodiquement, à une fréquence double, la capacité du condensateur de couplage. Le dispositif est donc ampli-



## ← Station de liaison pour fusées lunaires

Cette station hawaïenne est l'une des stations spécialement équipées par les U.S.A. pour suivre les fusées lunaires, leur envoyer des ordres et en recevoir les messages. On distingue le radar parabolique de poursuite de 18 m de diamètre ainsi que les 4 antennes hélicoïdales de commande. C'est à l'aide de stations analogues que les Russes ont pu tenir le contact avec Lunik III pendant plusieurs semaines et en recevoir l'image de la face inconnue de la Lune.

### L'avenir du radar

Le radar va certainement, dans les années à venir, modifier profondément notre vie. La possibilité de repérer exactement un avion où qu'il soit permettra d'augmenter la sécurité aérienne dans d'énormes proportions. La simplification des constituants des radars permettra sans doute bientôt d'en équiper les automobiles, comme système d'alarme d'abord, puis ensuite d'anti-collision automatique.

La navigation aérienne et encore plus l'astronautique ne se conçoivent plus sans le radar.

Si quelques fous criminels veulent déchaîner sur le monde la fureur de l'énergie thermonucléaire, le salut de l'Humanité ne pourra venir que du radar. Souhaitons qu'il n'ait jamais à jouer ce rôle : même s'il le remplit, la Terre a tout à perdre à une telle folie.

Si nos yeux pouvaient voir les ondes, le ciel serait un éblouissement permanent, zébré d'éclairs incessants portant des messages d'un horizon à l'autre. Certains s'interrogent pour savoir si c'est une bonne chose, nous affirmons que oui.

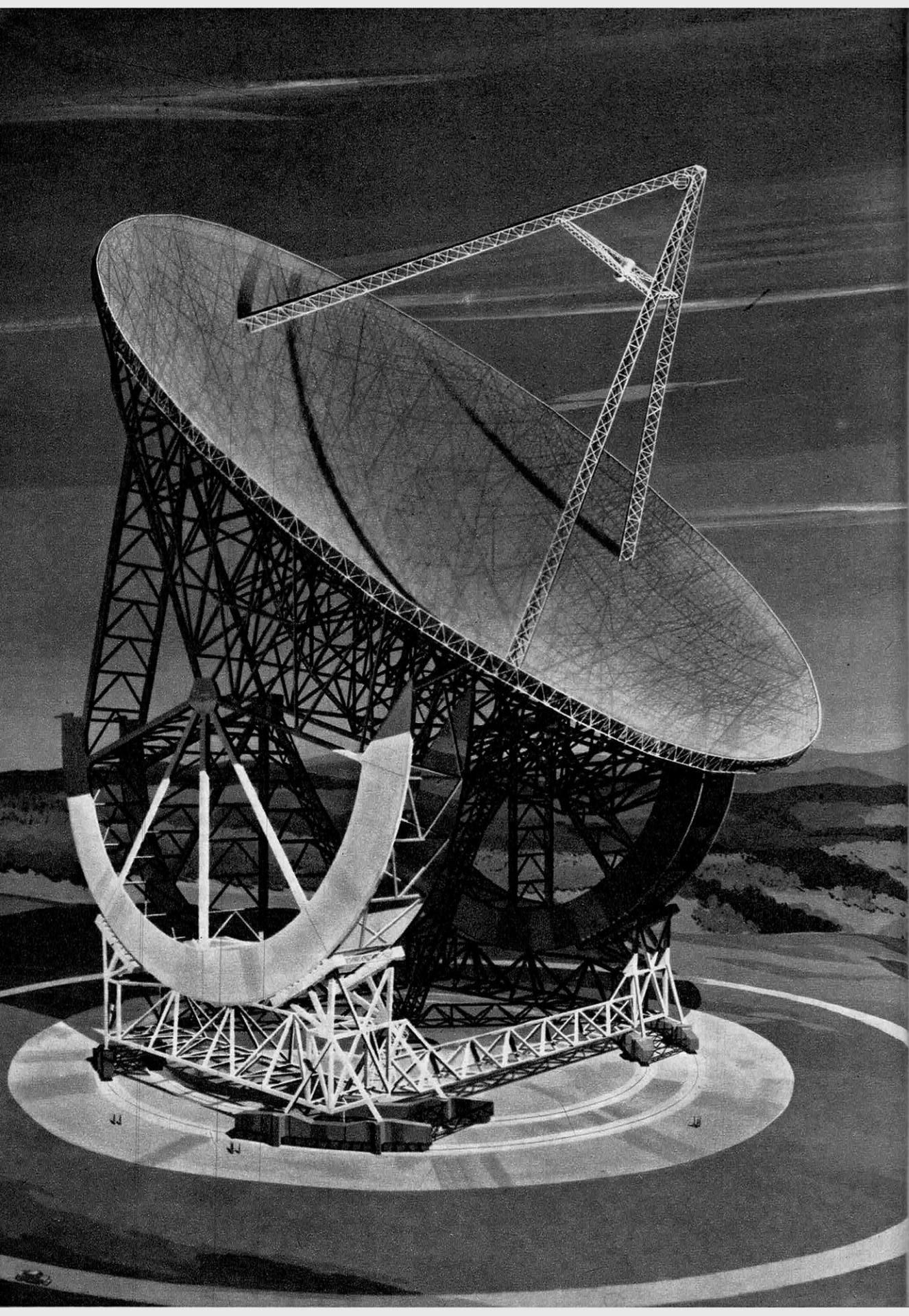
Si un jour l'Homme prend conscience du fait qu'il est un Terrien et qu'il doit raisonner comme tel, il le devra en grande partie à cet immense filet invisible qui passe silencieusement au-dessus de nos têtes, abolissant les distances et liant les uns aux autres les petits bipèdes que nous sommes, étalés sur toute la surface de notre planète et nous ignorant les uns les autres.

Nous pensons sincèrement que l'utilisation de toutes ces ondes aura un bilan positif. Il est banal de dire qu'elles ont déjà sauvé des vies et qu'elles en sauveront encore beaucoup, mais nous avons la certitude qu'elles feront beaucoup plus que cela.

ficateur. Mais, fait particulièrement intéressant, c'est un amplificateur *sans souffle* ou peu s'en faut, ce qui justifie amplement l'enthousiasme des techniciens.

En appliquant tout cela à des radars à miroirs géants, comme le radio-télescope de Jodrell Bank, on arrive à des portées ahurissantes, on poursuit aisément les satellites artificiels de la Terre, on arrive même à obtenir un écho radar sur la planète Vénus ou sur le Soleil.

J. P. OEHMICHEN  
Ingénieur E. P. C. I.



**Pour la recherche,  
l'électronique devient**

# **L'OUTIL UNIVERSEL DU SAVANT**

**O**N peut dire que toutes les disciplines scientifiques utilisent actuellement l'électronique sous une forme ou sous une autre : dans certaines, sa place est encore restreinte, dans d'autres, comme la physique nucléaire, elle a pris une extension considérable; la radioastronomie, enfin, ne pourrait exister sans elle.

Étant donné l'extrême diversité des applications scientifiques de l'électronique, nous les avons classées pour plus de clarté en fonction des propriétés de l'électron qu'elles mettent en jeu, l'électron en tant que projectile, l'électron et son onde associée (optique électronique), enfin l'électron dans les radiotubes.

### **L'électron projectile**

La première utilisation des électrons accélérés a été la production de rayons X par bombardement d'une cible de tungstène. La médecine, la métallographie, les réactions photonucléaires exigent des rayons X de très grande énergie. Les physiciens nucléaires réclament eux aussi des électrons de plus en plus énergiques; en effet, plus l'énergie d'un électron est grande, plus il peut s'approcher du noyau des atomes et en révéler les détails : dimension et forme du noyau, distribution des charges à l'intérieur de celui-ci... On conçoit donc facilement la course aux grandes énergies qui, des modestes tubes à rayons X, a conduit aux accélérateurs géants d'aujourd'hui.

← Le plus grand radiotélescope du monde en construction à Sugar Grove (U.S.A.).

L'énergie des électrons se mesure en électronvolts. L'électronvolt (eV) est l'énergie acquise par un électron quand il traverse une différence de potentiel de 1 volt. On utilise couramment ses multiples, le kiloélectronvolt (keV) qui vaut 1 000 eV, le mégaelectronvolt (MeV) qui en vaut un million et le béváélectronvolt (BeV) qui en vaut un milliard.

Les techniques utilisées pour accélérer les électrons sont très variées, et il est intéressant de passer en revue les principaux types d'accélérateurs (les mêmes techniques électroniques sont également utilisées pour accélérer des particules lourdes : protons, ions...).

### Générateurs à haute tension

La première manière d'accélérer des électrons consiste à établir une différence de potentiel entre une source (filament, canon à électrons) et une électrode convenable, toutes deux contenues dans un tube maintenu sous vide. Pour obtenir une haute tension, on a d'abord eu recours à des ensembles transformateur-redresseur, des générateurs en cascade (multiplicateurs de tension) et des générateurs de chocs utilisant des batteries de condensateurs chargés en parallèle et déchargés en série par des éclateurs à boules.

Le générateur électrostatische Van de Graaff, d'un emploi plus commode, se compose d'une sphère métallique supportée par une ou plusieurs colonnes isolantes. Une courroie isolante circule devant un peigne de charge placé au bas de la colonne : ce peigne, alimenté par une haute tension continue, dépose des charges sur la courroie grâce au pouvoir des pointes, qui ont la particularité de laisser s'écouler l'électricité. La courroie transporte des charges dans la sphère où elles sont recueillies par un peigne de décharge. Le potentiel de la sphère augmente ainsi jusqu'à une limite déterminée par les pertes le long des isolants et la décharge par effet Corona.

Cet appareil permet d'atteindre une tension de l'ordre de 5 millions de volts, s'il est enfermé dans une enceinte sous pression.

### Le bétatron

Cet appareil comporte essentiellement une enceinte vide d'air, en forme de tore, placée dans l'entrefer d'un électroaimant. La trajectoire d'un électron circulant dans cette enceinte peut être assimilée au secondaire d'un transformateur, le primaire étant le bobinage de l'électroaimant alimenté par une tension alternative. Pendant le quart de période où le

flux magnétique dans l'entrefer passe de zéro à sa valeur maximum, le courant augmente dans le secondaire, ce qui revient à dire que l'électron subit une accélération. A n'importe quel moment du cycle d'accélération on peut, par une brusque augmentation du flux, provoquer une augmentation du rayon de l'orbite. On extrait ainsi un faisceau d'électrons d'énergie facilement contrôlable qui est généralement envoyé sur une cible de tungstène pour produire des rayons X.

### Le synchrotron

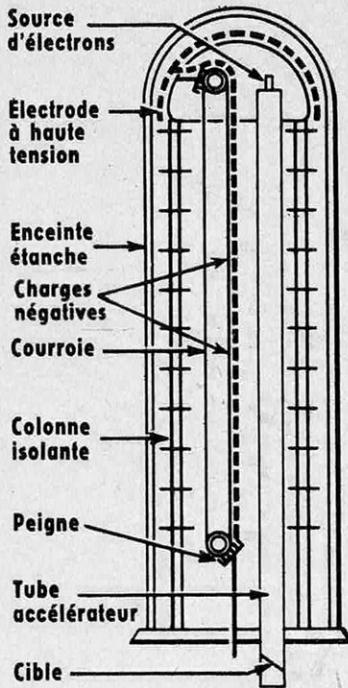
On trouve encore ici un tore dans lequel l'électron circule à une vitesse très proche de celle de la lumière (la vitesse d'un électron de 2 MeV ne diffère déjà plus que de quelques pour cent de celle de la lumière). Ce tore est placé dans un champ magnétique qui a pour but de maintenir l'électron sur son orbite, tandis qu'un champ électrique haute fréquence, égale à celle de l'électron sur son orbite et ayant pour direction la tangente à l'orbite, est produit en un point déterminé. Si l'injection de l'électron se fait à un moment correct par rapport à la variation du champ électrique haute fréquence, son énergie augmentera à chaque passage.

Dans certains appareils, un canon à électrons pulsés fournit des électrons d'environ 100 keV par paquets très brefs. Ces paquets sont accélérés jusqu'à une énergie de plusieurs millions d'électronvolts en faisant fonctionner l'appareil en bétatron. On démarre ensuite le champ haute fréquence pour fonctionner en synchrotron. Plusieurs de ces appareils atteignent 300 MeV.

On peut atteindre des énergies plus grandes en injectant dans le synchrotron des électrons préalablement accélérés par un générateur Van de Graaff qui fournit un faisceau d'énergie bien déterminée : à l'Université Cornell et à l'Institut de Technologie de Californie, des synchrotrons de ce type fournissent des électrons de 1,5 BeV. Un appareil de 6 BeV est en projet à Cambridge (USA).

### L'accélérateur linéaire

Cet appareil utilise la technique du radar et se compose d'un « guide d'onde », tube métallique muni de rétrécissements ou « iris » en des endroits déterminés. Une onde électromagnétique à très haute fréquence, d'environ 3 000 mégacycles s'y propage à une vitesse déterminée par la position des iris, de telle manière que sa vitesse croisse depuis celle d'injection des électrons jusqu'à la vitesse de la lumière.



## L'accélérateur Van de Graaff

Cet accélérateur est celui de 6 millions d'électronvolts construit pour la Columbia University de New York. Le croquis ci-dessus montre le principe de ce genre d'appareils. Dans une enceinte sous pression, une courroie isolante transporte des charges qui vont s'accumuler sur la sphère supérieure; celle-ci se trouve portée progressivement à un potentiel très élevé. Les électrons sont accélérés dans le tube vertical et vont frapper la cible placée à la partie inférieure.



U.S.I.S.

L'onde électromagnétique possédant une composante électrique longitudinale susceptible d'accélérer des électrons, une grande partie des électrons injectés dans l'axe du tube seront accélérés et groupés en paquets qui voyageront à la même vitesse que l'onde jusqu'à l'autre bout du guide.

Un appareil destiné à atteindre un milliard d'électronvolts a été construit à Stanford, aux États-Unis; il fonctionne actuellement à

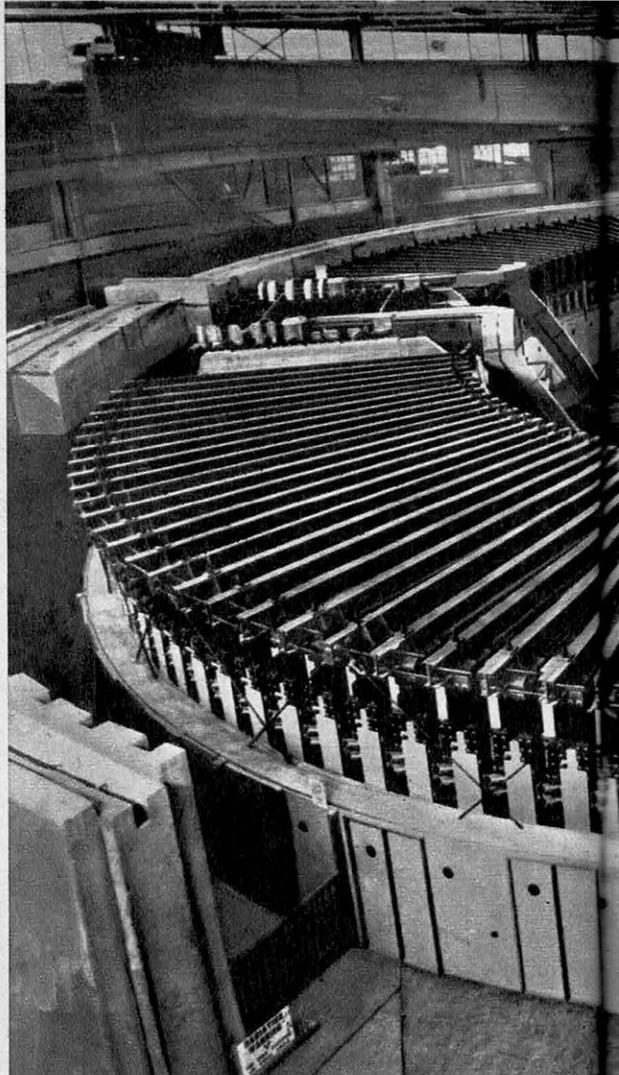
630 MeV par suite de difficultés avec les klystrons. Un autre accélérateur de 1 BeV est actuellement en construction en France, à Orsay. La première section de cet appareil a déjà fonctionné à environ 200 MeV.

### La détection des électrons

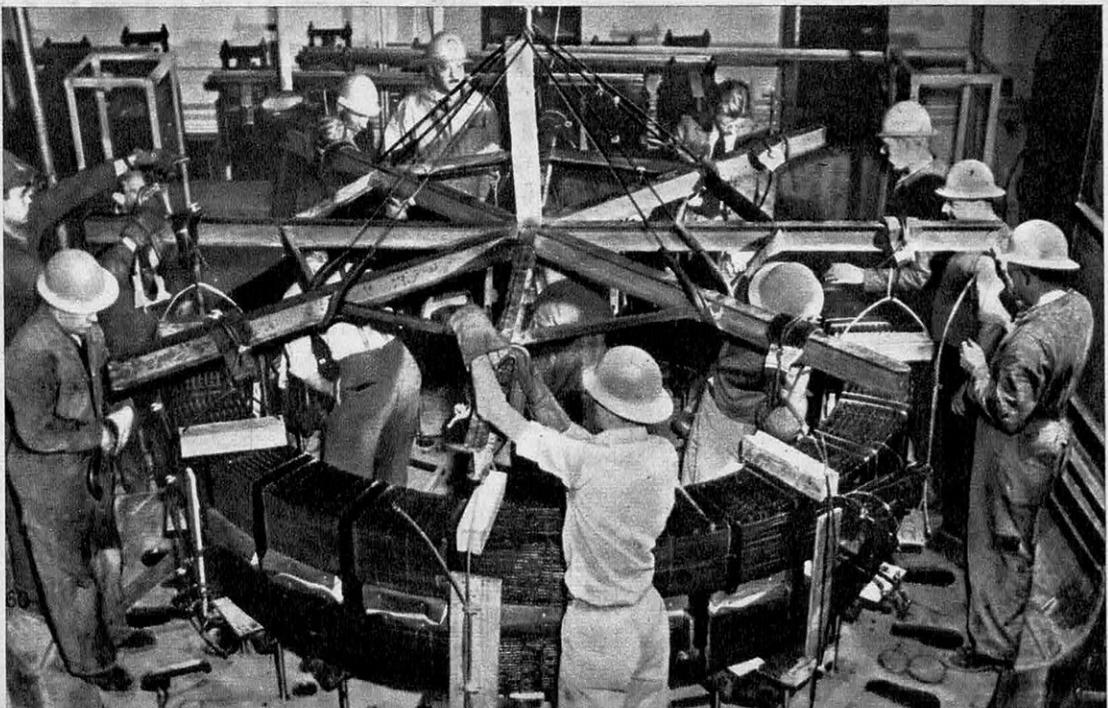
Dans toutes les expériences où l'on étudie les faisceaux d'électrons des accélérateurs

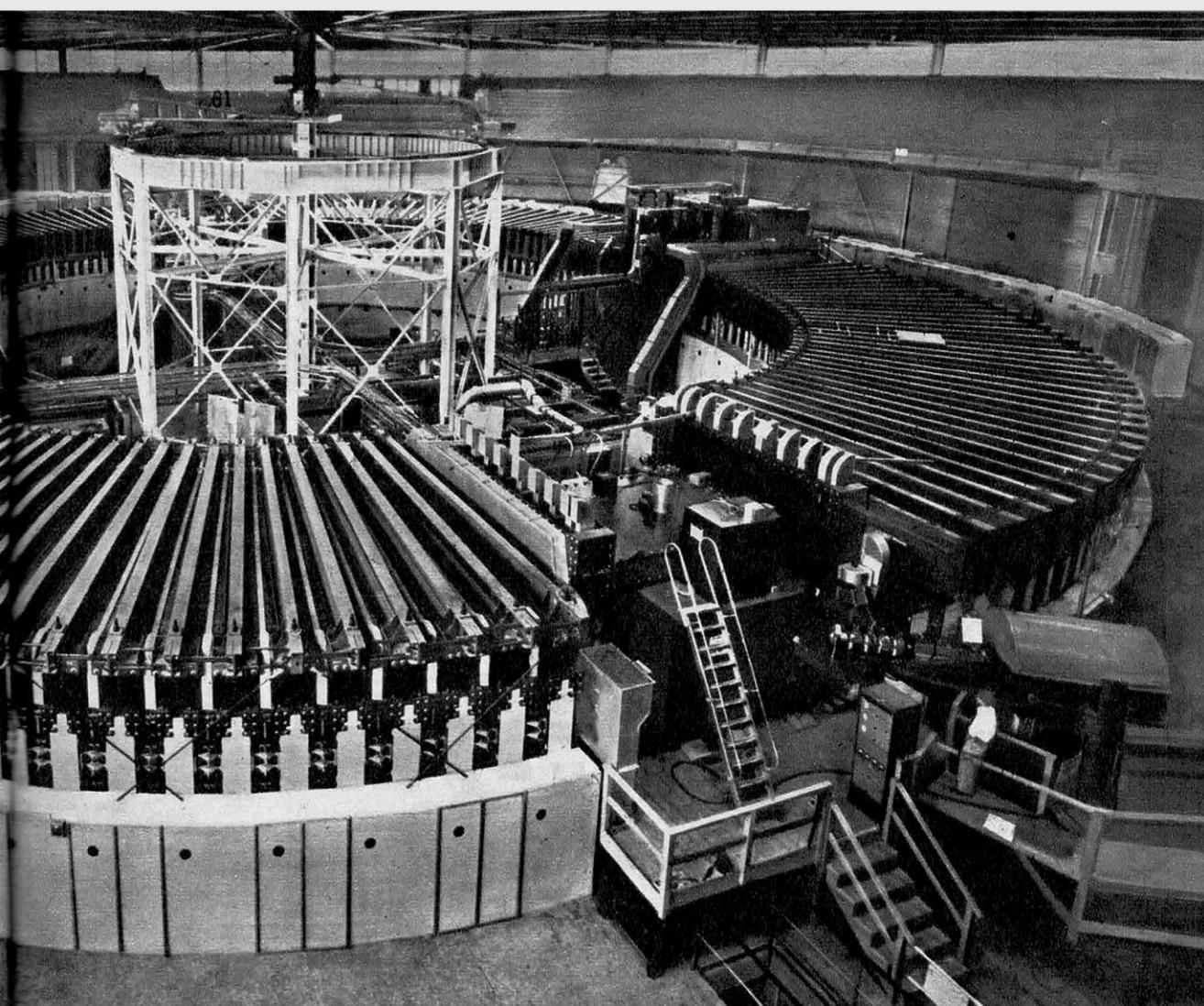
# Deux sortes de synchrotrons : à électrons et à protons

Ces deux synchrotrons sont destinés à accélérer, celui de Cornell des électrons, celui de Californie des protons. Dans ces deux appareils, les particules se déplacent dans le champ d'un électroaimant, sur une orbite fixe ou peu variable, et sont accélérées à chaque tour par le passage dans un champ électrique haute fréquence. La masse du proton étant 1 840 fois supérieure à celle de l'électron, et le rayon de l'orbite d'une particule étant proportionnel à sa masse, on comprend l'énorme différence de dimensions entre le synchrotron de Cornell et celui de Californie dont le diamètre atteint 37 mètres environ et dont l'électroaimant pèse 10 000 tonnes. On distingue l'extrémité de l'accélérateur linéaire utilisé comme injecteur de protons, en bas, à droite, près du minuscule personnage qui donne l'échelle de ce monstre. Son nom de Bévatron vient du fait que son énergie est de l'ordre du bêvlectronvolt, soit du milliard d'électronvolts, 6 dans le cas présent. Le synchrotron est d'ailleurs le premier accélérateur qui ait permis de dépasser le milliard d'électron-volts. Ces engins ouvrent à la recherche fondamentale des domaines jusqu'ici inaccessibles, tels que la possibilité de créer expérimentalement des particules comme celles que l'on rencontrait seulement dans le rayonnement cosmique.



Synchrotron de 300 MeV de l'Université de Cornell.





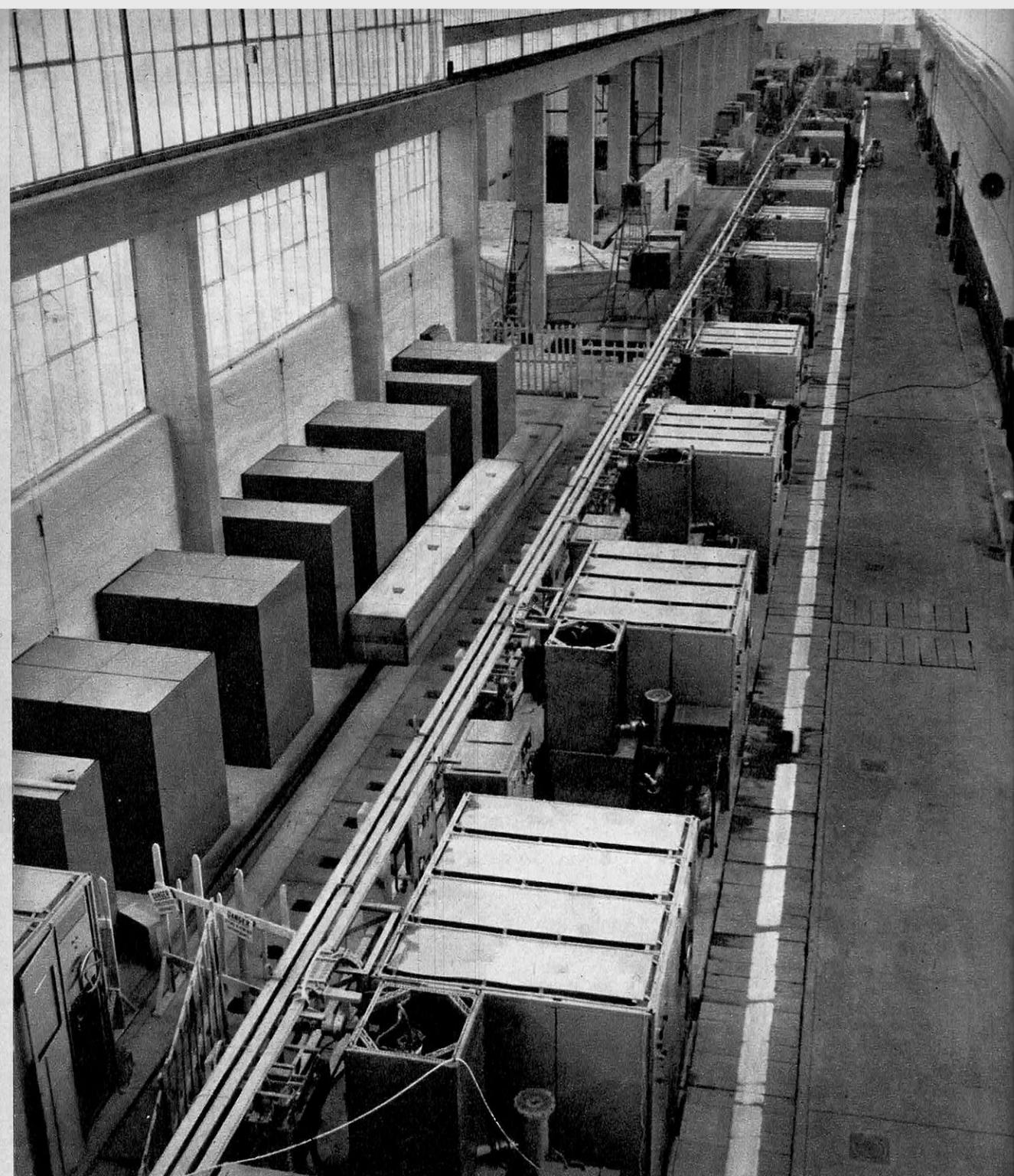
Bévatron de 6 BeV de l'Université de Californie.

(électrons directs ou diffusés par une cible) ou ceux émis par les coups radioactifs (rayons bêta), il est nécessaire de connaître le nombre de particules possédant une énergie donnée en un point donné. La meilleure façon d'effectuer la sélection en énergie est d'utiliser un analyseur magnétique ou spectromètre bêta. Un détecteur sensible aux électrons (compteur Geiger-Müller, compteur à scintillation, compteur Cerenkov, plaque photographique) enregistre ensuite le passage de chaque particule, ce qui permet leur comptage.

Il existe de nombreux types de spectromètres bêta. Dans tous ces appareils, un champ magnétique courbe d'autant plus les trajectoires des électrons que ceux-ci sont moins énergétiques. Des diaphragmes placés en des endroits choisis permettent de sélectionner un certain nombre de trajectoires seulement, correspondant à une étroite bande d'énergie.

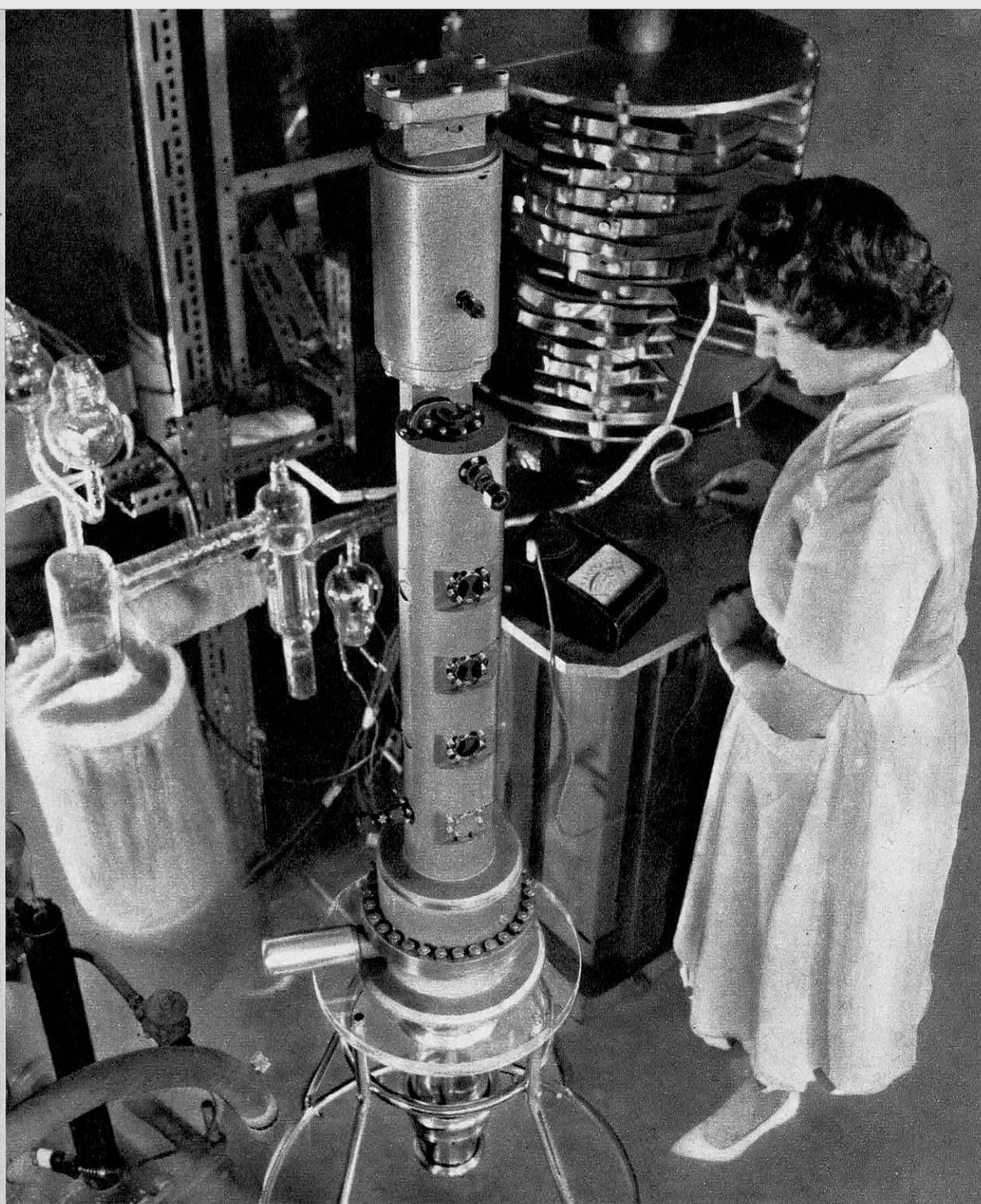
On peut explorer ainsi tout le domaine d'énergie en faisant varier le champ magnétique.

Dans un compteur Geiger-Müller, un fil très fin est tendu dans l'axe d'un cylindre métallique dont il est isolé électriquement. Le compteur est rempli d'un mélange d'alcool et d'argon et le fil est porté à une tension positive d'environ 1 000 volts par rapport à la coque. Un électron traversant le compteur ionise le mélange gazeux, c'est-à-dire, qu'il arrache un électron périphérique à un certain nombre d'atomes. Ces électrons sont attirés vers le fil et sont bientôt suffisamment accélérés pour ioniser à leur tour d'autres atomes. Une « avalanche» d'électrons arrive ainsi sur le fil. Les impulsions données par un compteur Geiger-Müller ont toutes la même taille quelle que soit l'énergie des électrons comptés.



## L'accélérateur linéaire d'Orsay

Cet accélérateur linéaire, qui vient d'être installé au Centre de Recherches d'Orsay où le Professeur Joliot-Curie avait installé ses laboratoires du Collège de France devenus trop étroits est, avec celui de l'Université de Standford aux États-Unis, l'un des plus puissants qui existent. La première section de l'accélérateur, qui était prévue pour 250 millions d'électronvolts, a déjà été testée à près de 200 MeV. L'énergie néces-



## à 1 milliard d'électronvolts (1 BeV)

taire à l'accélération des électrons envoyés dans le guide d'onde par un canon à électrons est fournie par plusieurs klystrons synchronisés de 20 000 kW. Sur la photo de gauche on distingue les emplacements de ces klystrons qui équipent les modulateurs tout le long de l'accélérateur. Sur la photo de droite, on voit l'un de ces klystrons au banc d'essai dans les laboratoires de la C.S.F. qui a conçu et équipé l'accélérateur.

On peut aussi détecter les rayonnements grâce à la lumière qu'ils produisent en traversant un cristal (scintillateur) convenablement choisi. Les photons produits sont reçus par la photocathode d'un multiplicateur d'électrons (décrir plus loin). On obtient sur l'anode une impulsion de tension dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie du rayonnement détecté.

Lorsque des électrons ont une vitesse très voisine de celle de la lumière et pénètrent dans une substance d'indice de réfraction supérieur à 1 (plexiglas par exemple), ils provoquent une émission lumineuse, dite rayonnement de Cerenkov. Comme pour le compteur précédent, un multiplicateur d'électrons transforme cette lumière en une impulsion de tension.

Les plaques photographiques peuvent enfin déceler, au moyen de très longues pauses, des nombres extrêmement faibles d'électrons et permettent d'enregistrer en une seule fois tout un spectre de radiations bêta.

### L'optique électronique

Faire de l'optique électronique consiste à appliquer à la propagation des électrons les lois générales qui gouvernent la propagation des ondes lumineuses. Il peut sembler étonnant d'appliquer à un corpuscule tel que

## Microscope électronique →

Le microscope électronique à transmission est le type le plus courant; l'appareil schématisé ci-contre utilise des lentilles électrostatiques, mais il existe aussi de nombreux microscopes équipés de lentilles magnétiques. Le faisceau d'électrons accélérés traverse l'objet à étudier qui doit être très mince; les électrons diffusés sont arrêtés par un diaphragme et le faisceau restant est agrandi par un système de lentilles électroniques et projeté sur un écran fluorescent.

l'électron ces lois basées sur la nature ondatoire de la lumière. L'analogie est cependant justifiée, car Louis de Broglie a montré qu'à tout corpuscule est associée une onde dont la longueur est d'autant plus petite que la vitesse du corpuscule est plus grande.

Nos connaissances en optique électronique nous permettent actuellement de réaliser des lentilles électroniques, statiques ou magnétiques, analogues aux lentilles optiques; il est ainsi possible de créer des équivalents électroniques de tous les instruments habituels de l'optique.

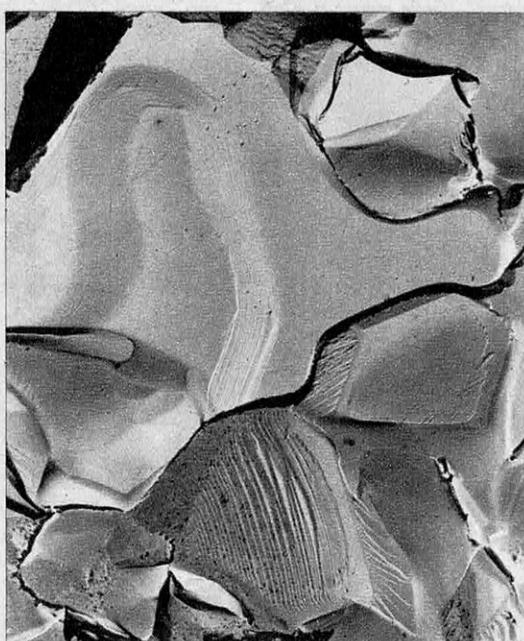
### Le microscope électronique

On sait que le microscope optique possède un pouvoir séparateur limité par la diffraction de la lumière. Plus courte est la longueur d'onde de la lumière utilisée, meilleur est le pouvoir séparateur qui exprime la distance entre les points les plus rapprochés que l'on puisse distinguer l'un de l'autre dans l'instrument. En lumière visible, il est limité à environ 0,4 micron (millième de millimètre), le grossissement maximum étant de l'ordre de 1 500. En lumière ultraviolette, on peut améliorer un peu ce résultat (grossissement environ 4 000).

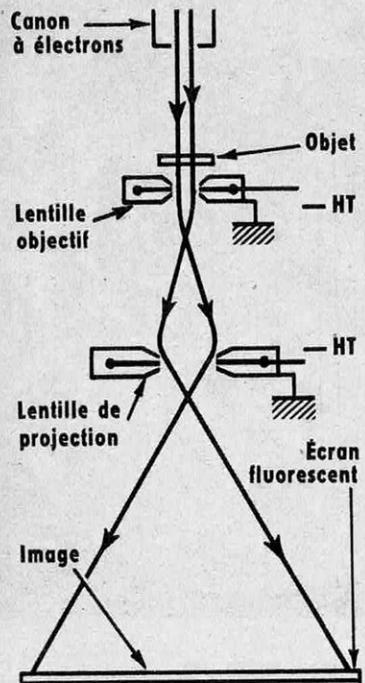
Quand l'existence de l'onde associée aux électrons a été connue, on a pensé à l'utiliser en microscopie. La longueur de l'onde associée à des électrons accélérés sous 75 000 volts, par exemple, est de 0,05 angström (dix millionième de micron) alors que la longueur d'onde de la lumière visible est de l'ordre de 6 000 angströms. Le pouvoir séparateur devient ainsi de 2 angströms.

De nombreux microscopes électroniques ont été réalisés : les meilleurs permettent de séparer deux points distants de 15 angströms. Il y a donc une amélioration d'un facteur 250 par rapport au meilleur microscope à lumière visible, et les grossissements utilisés peuvent atteindre plusieurs centaines de mille !

NOMBREUSES SONT LES DISCIPLINES SCIENTIFI-



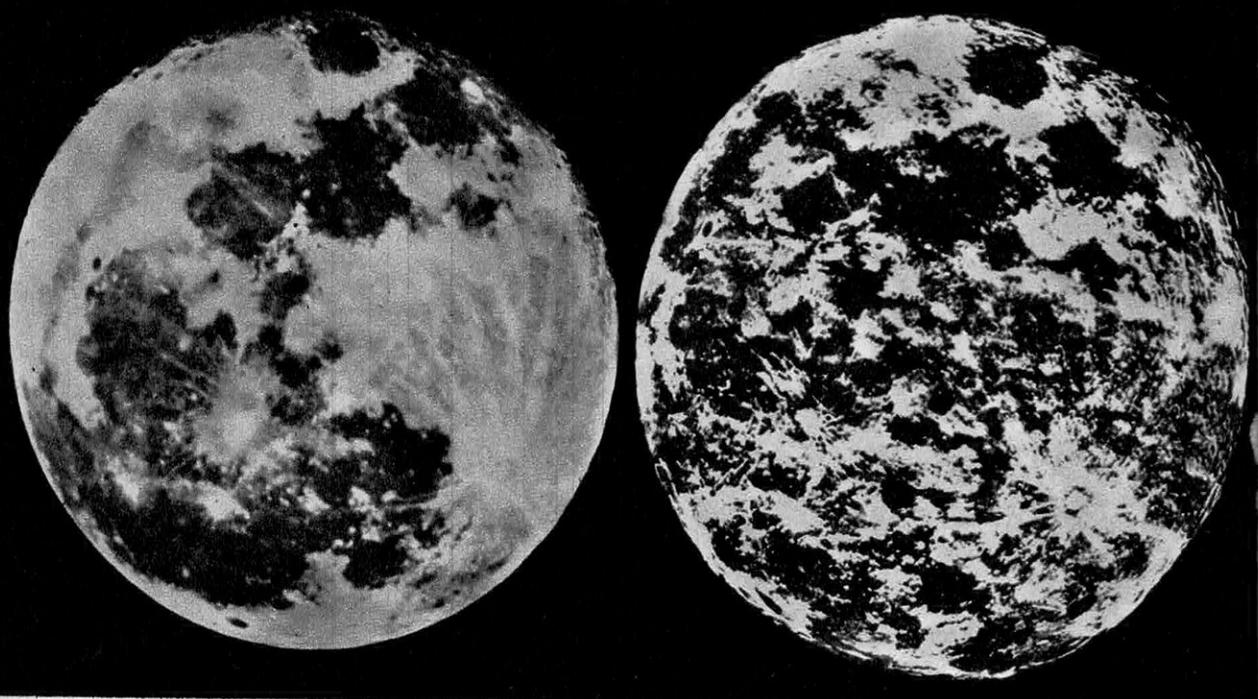
Structure d'un alliage fer-nickel vu au microscope électronique.



Microscope électronique Philips. ↓

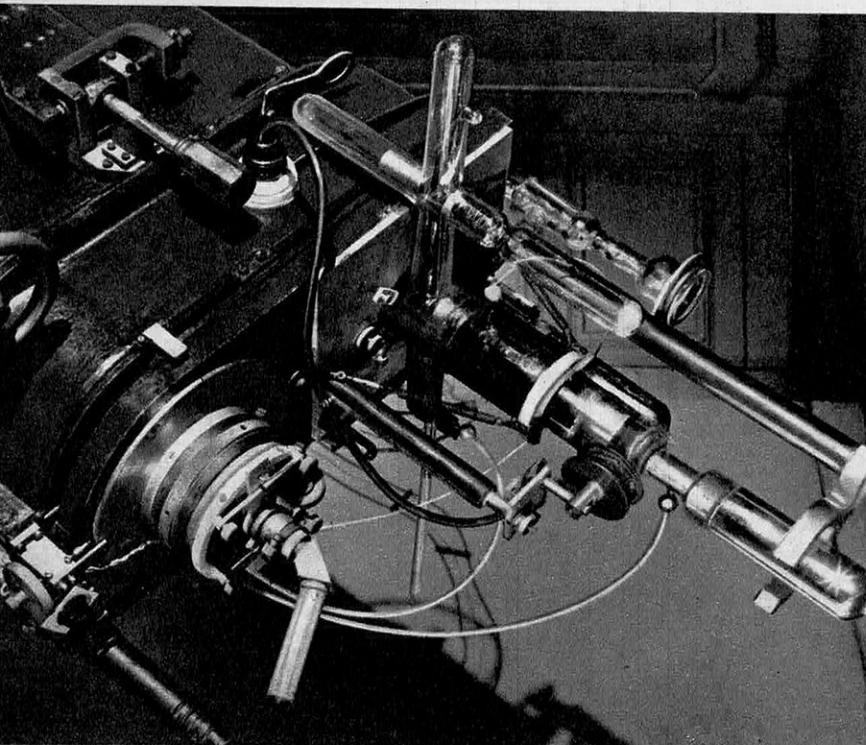
Microscope RCA d'un grossissement de 200 000. ↑





## Une photo électronique de la Lune

Le Wright Air Development Center de Dayton, aux États-Unis, a réalisé pour l'observatoire de Springfield un système optico-électronique apparenté à une caméra de télévision et qui, adapté à un télescope, permet d'obtenir avec une grande sensibilité des photographies des astres proches. On voit les différences de contraste que fournit ce dispositif par rapport à une photographie classique dans le cas de la surface de la Lune.



## Télescope électronique du Pr. A. Lallemand

L'image lumineuse fournie par un télescope est reçue sur une photocathode refroidie à l'air liquide qui devient une source d'électrons. A l'aide d'une optique électronique, on forme l'image de cette source sur une plaque sensible aux électrons. Le premier dispositif sur ce principe a été réalisé par A. Lallemand en 1936 à l'observatoire de Strasbourg; après la guerre, la mise au point a été reprise en collaboration avec M. Duchesne à l'observatoire de Paris. Muni d'un tel équipement, un télescope avec un diamètre d'objectif de 50 cm a même sensibilité que celui de 5 m du Mont Palomar utilisant les plaques photographiques les plus sensibles. Les temps de pose sont cent fois plus courts que pour la photographie classique.

fiques utilisant le microscope électronique : parmi les principales, citons la biologie et la recherche métallurgique.

### La photographie électronique

On sait que la lumière peut être considérée comme formée de petits grains appelés photons. Les objets célestes très éloignés que l'on étudie en astronomie nous envoient extrêmement peu de lumière, et nous aurons sur eux des informations d'autant plus précises que nous aurons la possibilité de recueillir un nombre plus grand des photons qu'ils nous envoient.

Il est équivalent à ce point de vue d'augmenter l'ouverture de l'instrument astronomique (ce qui est très coûteux) ou le temps consacré à l'observation, si l'on admet que le récepteur utilisé enregistre tous les photons, quel que soit leur rythme d'arrivée. On utilise généralement comme récepteur de photons la plaque photographique. Celle-ci possède malheureusement un « seuil », c'est-à-dire, qu'au-dessous d'un nombre minimum de photons par seconde, elle n'enregistre rien ; même au-dessus de ce seuil, sa sensibilité est très réduite lorsque l'on a affaire à de faibles éclaircements. Ainsi, malgré des temps de pose très longs, certains objets très peu lumineux ne peuvent être étudiés.

A. Lallemand, de l'Observatoire de Paris, a étudié un récepteur constitué d'une photocathode et d'une optique électronique. Une photocathode est une surface métallique semi-transparente qui possède la propriété d'émettre des électrons quand elle est frappée par des photons. Elle possède un rendement inférieur à 1 (0,2 environ) ; cependant il n'y a pas de seuil, c'est-à-dire que, quel que soit le rythme d'arrivée des photons, un sur cinq en moyenne provoquera l'arrachement d'un électron. Les électrons sont concentrés par l'optique électronique sur une plaque photographique à électrons, qui ne possède pas de seuil.

Cet appareil est déjà beaucoup plus sensible que la plaque photographique ordinaire pour des éclaircements faibles : temps de pose pour Saturne : 1/5 de seconde, contre dix secondes avec les meilleures plaques photographiques. Bien qu'encore imparfait, il permet d'entrevoir le jour où l'astronomie pourra explorer l'Univers jusqu'à ses limites ultimes.

### Le transformateur d'images

Cet appareil est utilisé dans le microscope à lumière ultraviolette pour permettre l'obser-

vation visuelle de l'image. Il permet de rendre visibles et très lumineuses les images radiographiques fournies par les rayons X. Enfin, sensible à la lumière visible, il permet d'augmenter la brillance des images.

L'image de l'objet à examiner est formée sur une photocathode sensible, selon les cas, à la lumière infrarouge, à la lumière visible, à la lumière ultraviolette ou aux rayons X. Les électrons produits sont accélérés, puis concentrés par une optique électronique et vont produire, sur un écran fluorescent, une image visible de l'objet.

### Le multiplicateur d'électrons

Ici les électrons émis par une photocathode sont concentrés par une optique électronique sur une électrode appelée « dynode », portée à un potentiel positif par rapport à la photocathode et recouverte d'une couche émettant facilement des électrons secondaires. Chaque électron frappant cette dynode provoque l'arrachement d'environ quatre électrons secondaires : ceux-ci vont frapper une seconde dynode, provoquant ainsi l'arrachement de 16 électrons, etc... Une anode collecte finalement les électrons produits par la dernière dynode.

Les tubes actuels à 14 dynodes ont des gains de l'ordre de 100 millions : à un électron quittant la photocathode correspondra une avalanche de 100 millions d'électrons sur l'anode. Cet appareil, qui permet la détection et la mesure de très faibles quantités de lumière, est utilisé de façon intensive en physique nucléaire dans les compteurs à scintillation.

### Le tube cathodique

Les électrons sont émis par une cathode chauffée dont le débit est contrôlé par un cylindre percé d'un trou (le « Wehnelt »), porté à une tension négative par rapport à la cathode, jouant le rôle d'un diaphragme ou de la grille d'une lampe. Deux anodes cylindriques, portées à des potentiels positifs croissants, forment lentille électronique et concentrent le faisceau. L'ensemble constitue le « canon à électrons ». Le faisceau va frapper un écran fluorescent, placé en face du canon, en produisant une petite tache lumineuse appelée « spot ». On règle la brillance du spot en agissant sur le Wehnelt, sa finesse en agissant sur les anodes cylindriques de la lentille électronique.

On peut dévier le faisceau, entre le canon à électrons et l'écran, soit par un champ magnétique (tube à déviation magnétique),

soit par un champ électrique (tube à déviation électrostatique). Dans ce dernier cas, une paire de plaques horizontales dévie le faisceau dans un plan vertical, une paire de plaques, perpendiculaires aux précédentes, le dévie dans un plan horizontal.

Dans l'appareil appelé oscilloscophe cathodique, on applique à la première paire de plaques le signal électrique à étudier, à la seconde paire une tension variant avec le temps (balayage en dent-de-scie). On matérialise de la sorte sur l'écran la courbe représentant la variation du phénomène étudié en fonction du temps.

Outre l'oscilloscophe, de très nombreux appareils utilisent le tube cathodique.

### L'électron dans les radio-tubes

Cette branche de l'électronique paraît plus familière au grand public que celles étudiées dans les deux paragraphes précédents : en effet, les microscopes électroniques et les accélérateurs de particules ne courrent pas les rues et peu de gens ont eu l'occasion d'en voir de près, alors que chaque famille possède un appareil de radio, souvent un appareil de télévision.

On peut dire qu'il n'existe pratiquement pas de laboratoire moderne où on ne puisse trouver, dans tel ou tel appareil, un ou plusieurs tubes électroniques remplissant des fonctions plus ou moins spécialisées. Nous ne pouvons ici qu'en évoquer quelques-unes.

Nombre de laboratoires utilisent des techniques d'impulsions assez proches de celles de la télévision. Ainsi la physique nucléaire, celle des rayons cosmiques, la cristallographie et la métallographie, la biologie (indicateurs radioactifs), l'archéologie (datation par le carbone 14), etc..., tirent leurs informations de la détection de rayonnements variés : alpha, bêta, X et gamma, neutrons... La majorité des détecteurs actuels fournissent des impulsions de tension, plus ou moins brèves, dont l'amplitude est généralement proportionnelle à l'énergie du rayonnement.

**LE TUBE CATHODIQUE** ici schématisé est à déviation électrostatique. Le faisceau d'électrons contrôlé par le « Wehnelt » est focalisé sur l'écran fluorescent par les deux anodes formant lentille et y produit une tache lumineuse ou « spot ». On déplace ce spot en appliquant des tensions aux plaques de déflexion (dont on n'a représenté qu'une paire) pour étudier, par exemple, la variation d'un phénomène en fonction du temps.

Cette amplitude est presque toujours insuffisante pour actionner directement un système de comptage ; il est donc nécessaire d'amplifier les impulsions, et les amplificateurs mis en œuvre doivent fournir un gain élevé tout en étant très stables.

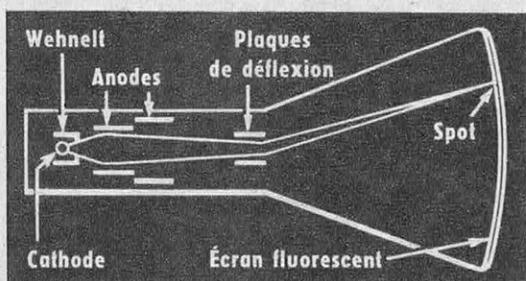
Comme on a généralement besoin de connaître le nombre de particules d'une énergie donnée, il faut trier les impulsions à l'aide de sélecteurs constitués souvent de circuits discriminateurs qui, employés en nombre suffisant, permettent d'analyser en une seule fois tout un spectre d'impulsions, même très étendu.

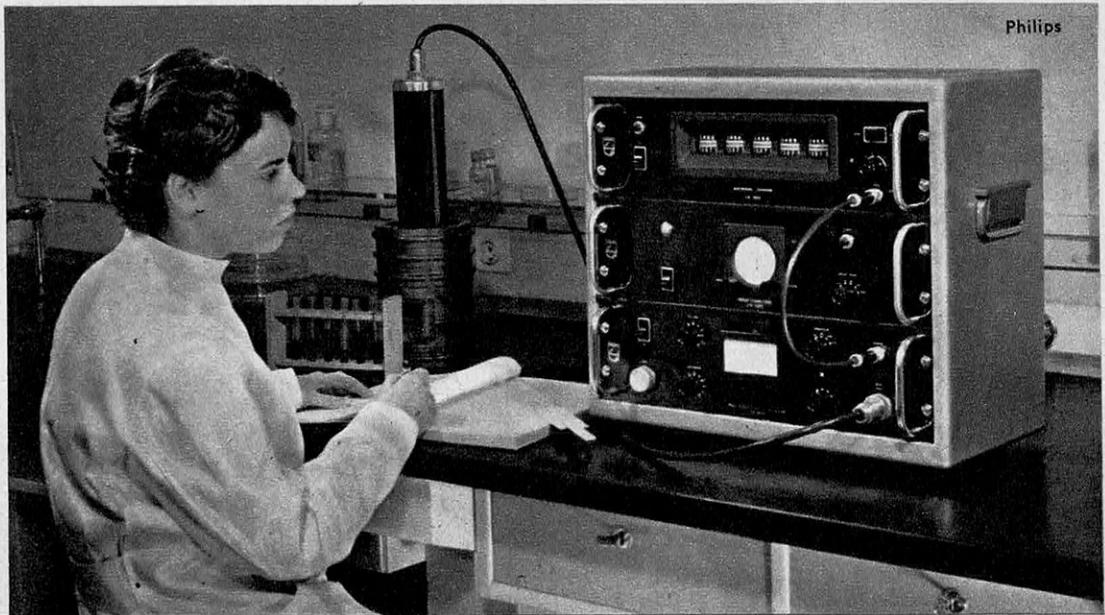
Il est nécessaire enfin d'enregistrer des nombres d'impulsions par seconde généralement très supérieurs aux possibilités d'un numérateur mécanique ; les « échelles électroniques » interviennent alors pour ne laisser passer sur le numérateur mécanique qu'une seule impulsion quand elles en reçoivent, par exemple, mille ou dix mille.

Parfois, il faut connaître aussi la répartition des rayonnements dans le temps ; on veut savoir, par exemple, combien de temps s'écoule entre l'émission, par un noyau radioactif, de deux rayonnements successifs ; on fait alors appel aux « lignes à retard » et aux circuits de « coïncidence » dont les temps de résolution sont de l'ordre du dix-millionième de seconde ; des montages permettront même de mesurer des décalages en temps de l'ordre du milliardième de seconde.

### Le radiotélescope

La radioastronomie est une science nouvelle née depuis quelques années seulement et qui fournit l'exemple d'une discipline scientifique utilisant exclusivement pour ses recherches des appareils électroniques. Pour bien mesurer les possibilités d'avenir de cette branche en plein essor, il convient de remarquer que, jusqu'à ces dernières années, toutes les connaissances astronomiques que nous possédions avaient été obtenues par des méthodes optiques, c'est-à-dire en utilisant une étroite zone de transparence de l'atmosphère





**COMPTAGE A SCINTILLATIONS.** Dans cet ensemble, on trouve, à gauche, la sonde contenant le cristal scintillateur et le tube photomultiplicateur. Ce dernier est placé dans un « château de plomb » qui permet d'éliminer les rayonnements autres que ceux étudiés qui pourraient fausser les mesures. À droite sont groupés, dans un même bloc, la haute tension, l'amplificateur et une échelle de comptage des impulsions recueillies.

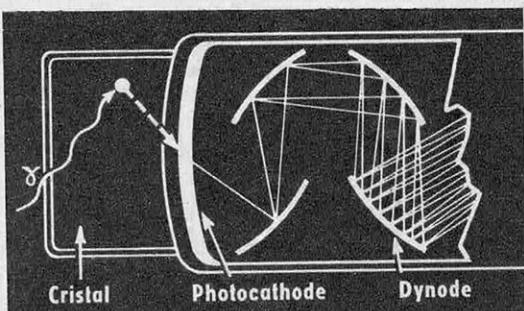
**SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT** d'un comp- → teur à scintillations. Le rayon qui traverse le cristal scintillateur provoque l'émission de photons qui viennent frapper une photocathode. Ils y déclenchent le départ d'électrons dont le nombre se multiplie chaque fois qu'ils rencontrent une électrode spéciale, « dynode » émettant des électrons secondaires.

terrestre, située entre l'infrarouge et l'ultraviolet. La radioastronomie utilise une seconde zone de transparence située dans le domaine des ondes hertziennes, depuis les longueurs d'onde de quelques centimètres qui ne sont plus absorbées par l'atmosphère, jusqu'à celles d'environ 30 mètres pour lesquelles l'ionosphère commence à jouer un rôle d'écran.

Un radiotélescope est analogue à un récepteur de radar, avec son antenne placée au centre d'un « miroir » en grillage métallique qui réfléchit et focalise les ondes hertziennes de provenance extra-terrestre de manière à localiser leur point d'émission ou « radio-source ».

De nombreux résultats nouveaux ont été obtenus par cette méthode, que l'astronomie optique ne pouvait fournir (répartition de la matière interstellaire, mouvement des bras de notre galaxie, essaims diurnes de météorites).

Nous arrêterons là cette rapide revue des applications scientifiques de l'électronique,



sans dissimuler qu'il en existe bien d'autres, telle l'étude de la résonance nucléaire et moléculaire, l'alimentation des accélérateurs de particules lourdes, la commande à distance et la régulation automatique des réacteurs nucléaires, etc... Encore ne prenons-nous le mot « électronique » que dans le sens étroit de science de l'électron libre. Mais pensons-y : la lumière est produite par les transitions d'électrons entre les différentes couches atomiques; ce sont les électrons qui sont responsables des liaisons chimiques; sans eux la matière n'existerait pas telle que nous la connaissons. L'Électronique au sens large, c'est la Science tout entière.

Michel VERGNE  
Docteur ès Sciences

# L'électronique synonyme de confort



A LA MAISON, la fluorescence remplace la lumière du jour et participe au décor.



**A LA PLAGE, les photopiles suffisent à l'alimentation d'un poste transistor.**

**S**i l'on excepte la radio et la télévision, l'Électronique n'occupe pas dans la vie domestique une place comparable à celle de l'Électricité : nous n'en sommes pas encore au stade du robot téléguidé remplaçant une domesticité défaillante. L'Électronique apporte cependant son concours à la résolution de nombreux problèmes, et elle en résoudra vraisemblablement beaucoup d'autres car, si l'électricité met sa force à notre disposition, avec l'électronique, nous disposons d'organes de surveillance et de commande.

### L'œil électrique

Protéger maisons et coffres-forts des cambrioleurs représente une des plus importantes missions des cellules photoélectriques. Dans ce cas, ce n'est pas un faisceau lumineux visible, mais des rayons infrarouges qui impressionnent une cellule sensible à ce rayonnement. On en conçoit tout l'intérêt, car le mal-faiteur ne se méfie pas et, sans s'en rendre compte, coupe le faisceau et déclenche le signal d'alarme.

La protection contre l'incendie constitue une autre application des cellules qui peuvent détecter les fumées d'un début d'incendie.

La cellule photoélectrique se prête merveilleusement aux commandes à distance. En braquant le faisceau lumineux d'une lampe pistolet sur une cellule, on peut actionner un relais qui ouvre ou ferme un circuit. Ainsi on déclenchera un flash électronique que l'opérateur désire orienter dans une direction différente de celle où il se trouve avec son appareil photographique.

La commande automatique de la mise sous tension d'un circuit d'éclairage

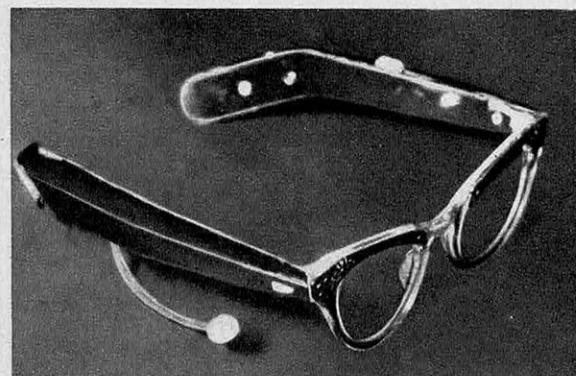


Doc. Schneider. Ph. Marie-France

Sonneclair



**Le plus petit combiné pick-up-radio, 6 lampes, à tonalité réglable et tourne-disque 4 vitesses. C'est le benjamin d'une gamme très riche où l'on retrouve la sobriété et l'élégance dans la présentation.**



← **Le plus petit poste radio du monde à trois transistors : les batteries d'alimentation elles-mêmes sont installées dans les branches des lunettes ; le minuscule écouteur s'adapte au creux de l'oreille.**

← La commande à distance de l'image et du son d'un récepteur de télévision permet d'effectuer les réglages sans avoir à se déplacer pour tourner aucun des boutons.

Démontable en deux secondes, ce poste offre une facilité d'accès incomparable aux circuits et aux tubes. Les boutons de réglage sont placés à la partie supérieure sous une trappe qui les met à l'abri des mains des enfants.

à la tombée du jour n'est encore répandue que dans l'éclairage public. Pourquoi ne pas l'étendre à l'éclairage domestique, en particulier à celui du hall d'entrée et des escaliers des immeubles ? Pour la nuit, on pourrait envisager d'installer dans l'entrée une cellule et un faisceau lumineux qui, coupé par le passage d'une personne, mettrait en circuit une minuterie.

Une autre application à des cellules photoélectriques est celle du contrôle automatique du contraste des images télévisées en fonction de l'éclairage ambiant.

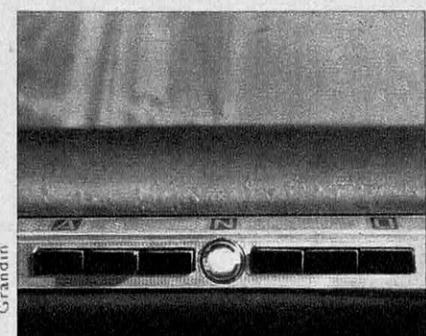
### Énergie solaire et semi-conducteurs

Les posemètres nous fournissent un exemple de transformation d'énergie lumineuse en énergie électrique. Le rendement est faible, mais on sait maintenant obtenir avec des semi-conducteurs des éléments fournissant des courants appréciables.

Il existe des piles constituées de cellules à couche d'arrêt au sélénium donnant environ 1 milliampère pour un éclairage de 1 000 lux. Étant donné que l'éclairage correspondant à la lumière solaire varie entre 10 000 et 100 000 lux (cette dernière valeur relevée à midi en été), on peut obtenir des intensités



Sonneclair



Grandin

L'œil électronique, simple cellule photoélectrique, indiqué par la flèche, est chargé ici de régler automatiquement la luminosité de l'image suivant l'éclairage ambiant.

supérieures à la dizaine de milliampères nécessaire à l'alimentation d'un récepteur radio à transistors.

### Les panneaux luminescents

C'est aussi le développement des semi-conducteurs qui a permis d'envisager l'emploi de panneaux luminescents.

Ces plaques, dont l'épaisseur est de quelques millimètres, s'apparentent aux condensateurs; dans leur diélectrique on incorpore des microcristaux d'une substance capable de s'illuminer sous l'action d'un champ électrique et une de leurs électrodes est transparente. Il en résulte un éclairage uniforme, non éblouissant, sans l'appareillage d'alimentation nécessaire aux lampes fluorescentes. La luminescence est cependant dans une certaine mesure fonction de la tension appliquée et de la fréquence, c'est pourquoi ces panneaux exigent, afin de ne pas augmenter la tension au-dessus de 300 V, des courants alternatifs de fréquence comprise entre 500 et 2 000 cycles par seconde. Les convertisseurs utilisés pour l'alimentation de ces plaques sont équipés de transistors.

### Le froid par les semi-conducteurs

Lorsque l'on fait circuler un courant continu à travers un circuit constitué de deux métaux, différents reliés par des soudures, l'une de ces soudures s'échauffe et l'autre se refroidit suivant le sens du courant. Ce phénomène peut donc servir à obtenir du froid

comme du chaud. C'est l'effet Peltier découvert dès 1834 et demeuré pratiquement sans application. Les écarts de température ne sont en effet devenus sensibles qu'avec les jonctions de semi-conducteurs.

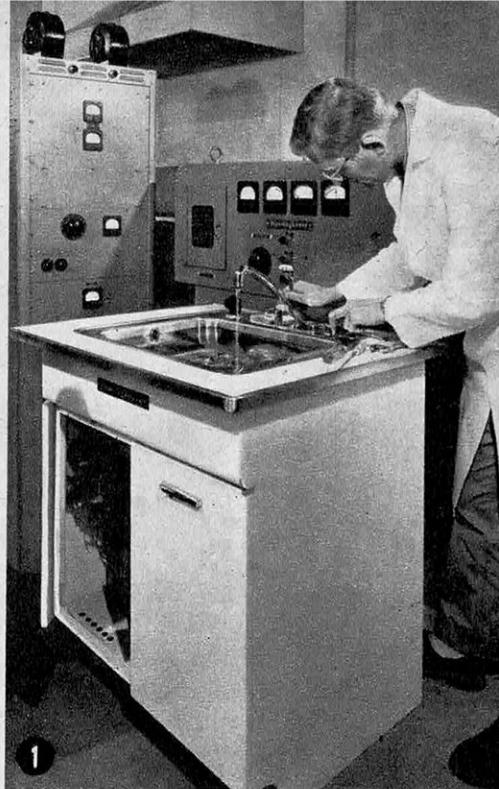
Différentes difficultés pratiques et les prix encore élevés des semi-conducteurs font que la réfrigération par effet Peltier est peu sortie du stade expérimental. Aux U.S.A. pourtant, on a réalisé sur ce principe des réfrigérateurs. On peut en fabriquer d'un volume très réduit, impossible à obtenir avec les machines à compression ou à absorption.

### La mesure du temps

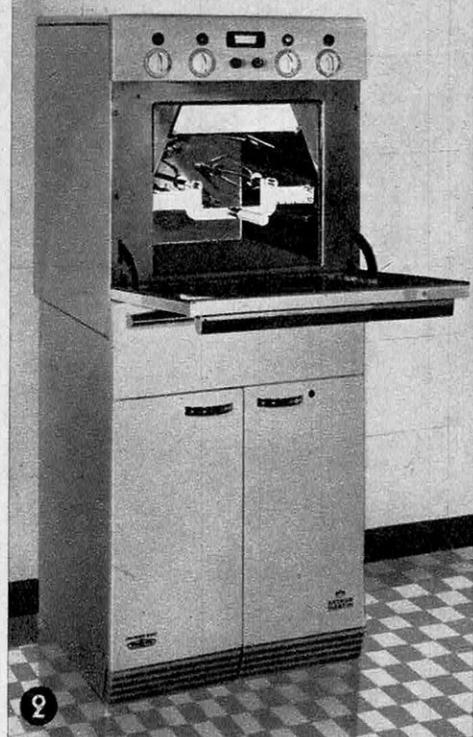
Les horloges électriques ont été considérablement améliorées par l'adjonction d'un transistor permettant de réaliser une commutation sans contact. Le mécanisme d'horlogerie se trouve réduit à un simple compteur démultiplicateur.

Ce perfectionnement est-il tout ce que l'on peut espérer de l'électronique dans la mesure du temps ? Verrons-nous disparaître les mécanismes individuels des montres, celles-ci étant toutes commandées par des impulsions de grande précision émises par une station centrale et reçues par chaque montre qui pour cela serait munie d'un cadre comme le sont les récepteurs radio ?

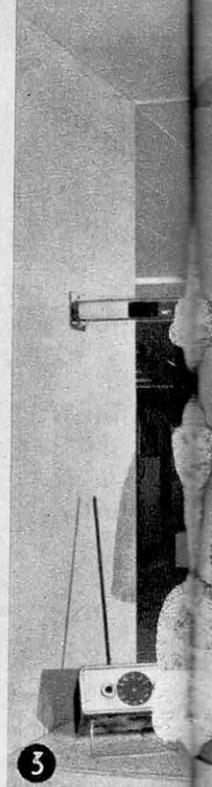
On parle aussi d'une montre électronique dont le lancement sur le marché serait prévu pour 1960. Fonctionnant sur transistors, elle n'aura ni ressort, ni balancier, et ne pèsera pas plus qu'une montre ordinaire.



1



2



3

**DANS LA CUISINE**, après avoir fait son apparition sous forme de générateurs d'ultrasons qui servent à laver la vaisselle dans l'évier où ils sont directement installés (1. Westinghouse), et sous forme de courants haute-fréquence qui cuisent les poulets en quelques minutes par pertes diélectriques (2. Arthur Martin), l'électronique pourra

prendre bientôt des aspects nouveaux. Le « Walkie-cookie » permettra à la ménagère attardée hors de chez elle de mettre son four en marche à distance, à l'aide d'un petit émetteur personnel (3. Westinghouse); c'est une application de la télécommande par radio qui risque de ne pas avoir l'agrément des administrations chargées des télécom-

### Les « nurses » électroniques

On a proposé en Amérique différents systèmes pour la surveillance des enfants à distance, comprenant un émetteur de faible puissance qui transmet tous les bruits de la pièce qui leur est réservée à un récepteur très simple accordé sur l'émission et placé dans une pièce éloignée. Ainsi la surveillance peut être exercée par un voisin, habitant le même immeuble, par exemple. Entre pièces rapprochées, une installation par fils utilisant l'amplificateur basse-fréquence d'un récepteur ou d'un électrophone remplit le même usage pour une dépense beaucoup moindre.

Une surveillance plus complète peut être obtenue avec une petite caméra de télévision alimentant un récepteur par câble.

### Fours électroniques

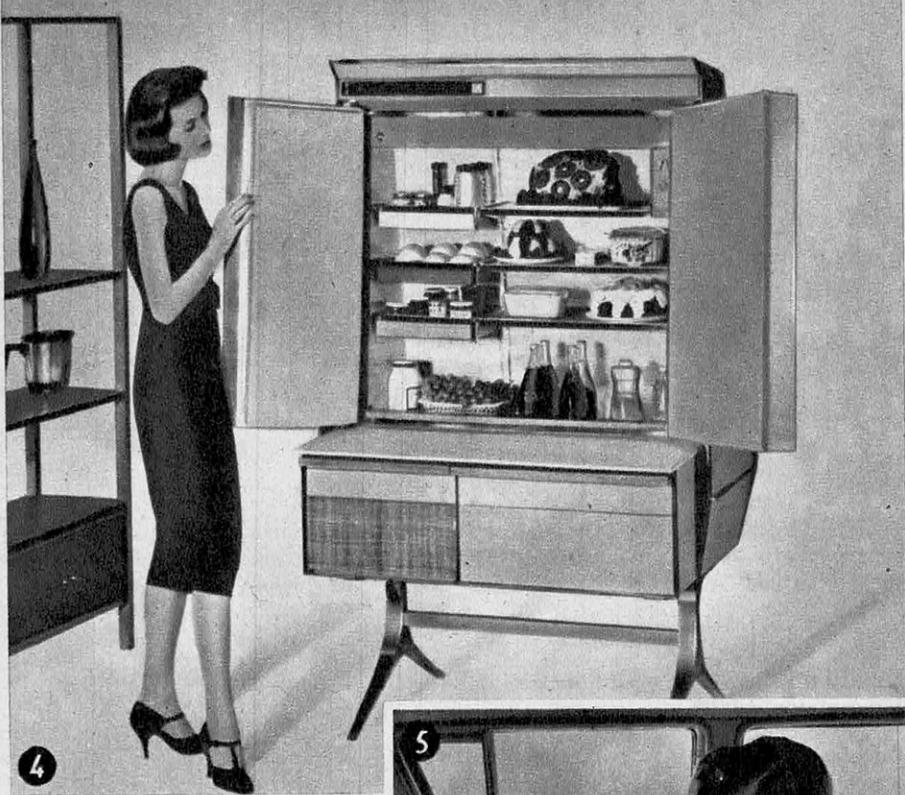
Cuire en quelques minutes ce qui, avec un four normal, exige une heure, voilà ce qu'apporte le four électronique.

La cuisson dite par pertes diélectriques est à la base du fonctionnement des cuisinières électroniques. On utilise des courants de fréquences très élevées, du même ordre que celles des transmissions radio sur ondes très courtes, mais, au lieu d'être rayonnée, l'énergie est appliquée à deux électrodes entre lesquelles est placé l'aliment à cuire. La cuisson s'effectue en profondeur, ce qui est parfait pour un poulet mais convient moins bien pour un rôti de bœuf qui doit rester saignant. Avec ce four il suffit de trois minutes pour cuire un poisson, quatre minutes pour un poulet et quatorze minutes pour une choucroute.

A défaut de fours électroniques les ménagères peuvent trouver des cuisinières électroniques à réglage électronique automatique de chauffe grâce à l'emploi d'un thyatron.

### Les messages privés

Il s'agit d'une application plus industrielle que domestique, mais la transmission de messages entre personnes d'une même famille,



4

munications. D'un avenir beaucoup plus sûr est le réfrigérateur d'encombrement réduit qui fonctionnera par effet Peltier et non par compression ou absorption; cet effet étant réversible, un biberon qui aura été gardé au froid pourra être réchauffé à bonne température au dernier moment par la simple inversion du courant (4. et 5. Westinghouse).

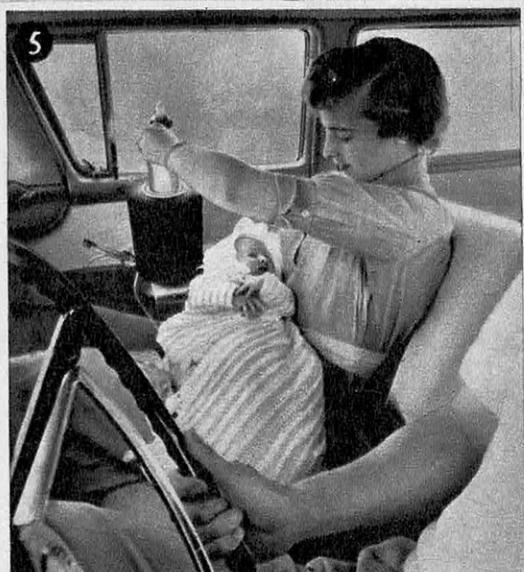
retenues par leurs occupations à des étages différents, n'est pas sans intérêt.

La méthode classique est le transmetteur d'ordre ou interphone composé de postes comprenant un haut-parleur faisant également fonction de microphone. Ces différents postes sont reliés par fils et des systèmes de communication permettent d'appeler le poste secondaire désiré en partant du poste principal, où se trouve l'amplificateur. Ce système permet, entre autres, de converser avec un visiteur avant d'ouvrir la porte.

On peut penser qu'il serait préférable, au lieu d'avoir des fils et des postes fixes, de faire des liaisons par radio en utilisant un petit émetteur à ondes courtes.

Malheureusement, ce mode de transmission utilisé à l'étranger n'est pas admis en France par les P.T.T. Il existe cependant un autre système de transmission sans fil dont la technique est assez différente.

Rappelons que si l'on fait circuler un courant alternatif dans un enroulement, il crée un champ magnétique produisant, dans une bo-

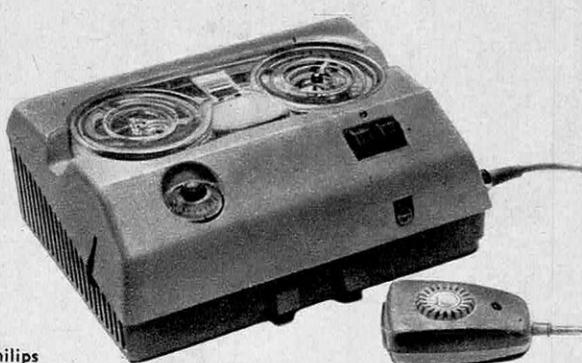


bine voisine, un courant induit qui suit les mêmes variations que le courant inducteur. Dans le mode de transmission dont il est question, l'enroulement inducteur est constitué par une grande boucle, dite boucle magnétique, formée d'une ou plusieurs spires qui entourent l'espace où l'on désire transmettre un message. Les deux extrémités de cette boucle sont reliées à un amplificateur basse-fréquence classique dont le circuit d'entrée est réuni à un microphone.

L'enroulement où se développe les courants induits est une petite bobine à grand nombre de spires et noyau en ferrite ; il est



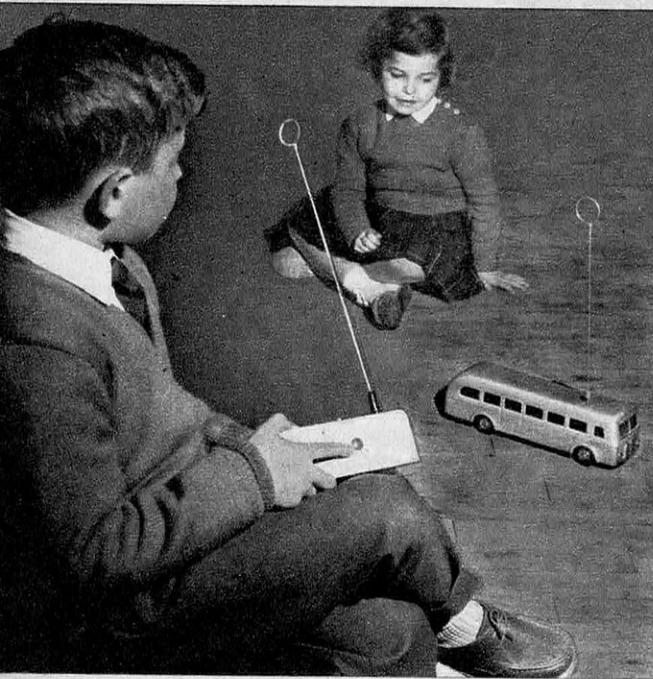
Butoba



Philips

**DANS LES BUREAUX**, l'électronique intervient naturellement dans les interphones et les appareils comme le « Dialaphone » pour appeler automatiquement certains correspondants. Le magnétophone, souvent transistorisé, est utilisé comme machine à dicter, parfois sous des formes spécialisées à chargeur amovible.

suivi d'un minuscule amplificateur équipé de transistors et alimenté par pile ou par accumulateur cadmium-nickel. L'ensemble forme un récepteur de poche comportant un écouteur téléphonique ou un petit haut-parleur. Avec 40 W il est possible d'avoir une réception correcte dans un immeuble de six étages de dimensions moyennes. C'est ce système qui est actuellement utilisé par Air France à l'aéro-gare des Invalides.



Un jeu électronique type avec télécommande d'un véhicule par ondes radio.

### L'électronique au bureau

Un magnétophone classique peut servir à dicter du courrier et permettre de laisser des instructions à une personne momentanément absente. Pour le bureau, il existe cependant des machines à dicter étudiées spécialement pour cet usage, car on n'a pas besoin de la même fidélité que pour un magnétophone destiné à la musique ; il suffit de reproduire les paroles avec une parfaite intelligibilité. Pour cette raison, on admet des vitesses de défilement de la bande beaucoup plus faibles (2,4 et 4,75 cm/s), ce qui permet, soit de faire des enregistrements de plus longue durée, soit de réduire le format des bobines, car, pour une machine à dicter, il est indispensable que l'encombrement soit aussi réduit que possible. D'autre part, ces machines sont prévues avec des dispositifs pour un travail aisément rapide : télécommande, indexage automatique, arrêt et retour en arrière rapides, verrouillage convenable pour éviter toutes fausses manœuvres et plus particulièrement l'effacement accidentel des textes enregistrés. Certaines de ces machines reçoivent les messages téléphoniques.

Dans certaines machines à dicter, le support a le format d'un papier commercial, ou encore la forme d'un disque en papier ou en matière plastique. Ces supports peuvent être pliés et envoyés par la poste comme une lettre que le correspondant, qui obligatoirement doit posséder la même machine, écoutera au lieu de lire.

### Les ultrasons

Au-dessus des fréquences supérieures du spectre sonore, c'est-à-dire des sons audibles se trouvent les ultrasons. Leurs propriétés



**Le magnétophone classique trouve un emploi dans l'animation de maquettes : sur ce réseau miniature, il règle la marche des trains, fait les annonces en gare, etc.**

leur ont fait trouver des applications dans des domaines très variés.

Leur propagation facile dans les liquides et leur action décapante et émulsifiante particulièrement efficace sont utilisées avec succès pour le nettoyage et le dégraissage de petites pièces métalliques, notamment dans l'horlogerie. Pourquoi ne pas étendre leur action au lavage de la vaisselle ?

On envisage une autre application des ultrasons dans la vie domestique, d'un genre bien différent. Il existe déjà des sifflets à ultrasons pour rappeler les chiens ; ici, il s'agit de mettre en fuite des animaux nuisibles comme les rats, les corbeaux...

### Les jeux électroniques

Les jouets eux-mêmes deviennent électriques. La télécommande sans fil par un petit émetteur de faible puissance des modèles réduits (avions ou bateaux) était une distraction

plutôt réservée aux adultes ; maintenant les jouets d'enfants sont aussi télécommandés.

Cette télécommande sans fil peut s'effectuer par le son, par les ultrasons ou encore par un faisceau lumineux qui influence différentes cellules photoélectriques commandant les moteurs électriques qui assurent la propulsion et la direction. Les jouets deviennent ainsi une application de la cybernétique dans sa forme la plus élémentaire. On trouve naturellement aussi des jeux commandés par radio.

Un jour prochain, car à notre époque les progrès sont rapides, l'électronique jouera donc dans la vie des petits comme des grands un rôle important. Quoique les applications que nous avons examinées n'aient pas encore franchi le seuil de beaucoup de foyers, on voit que l'électronique est déjà capable de contribuer à notre bien-être après avoir agrémenté nos loisirs avec la radio et la télévision.

M. DOURIAU

## "PUSH BUTTON BERTHA"

LYRIC BY  
JACK OWENS

MUSIC BY  
DATATRON

2222222222  
00000071927  
RANDOM NUMBERS  
USED FOR MUSIC

MATHEMATIANS  
DR. MARTIN KLEIN  
DR. DOUGLAS BOLITHO

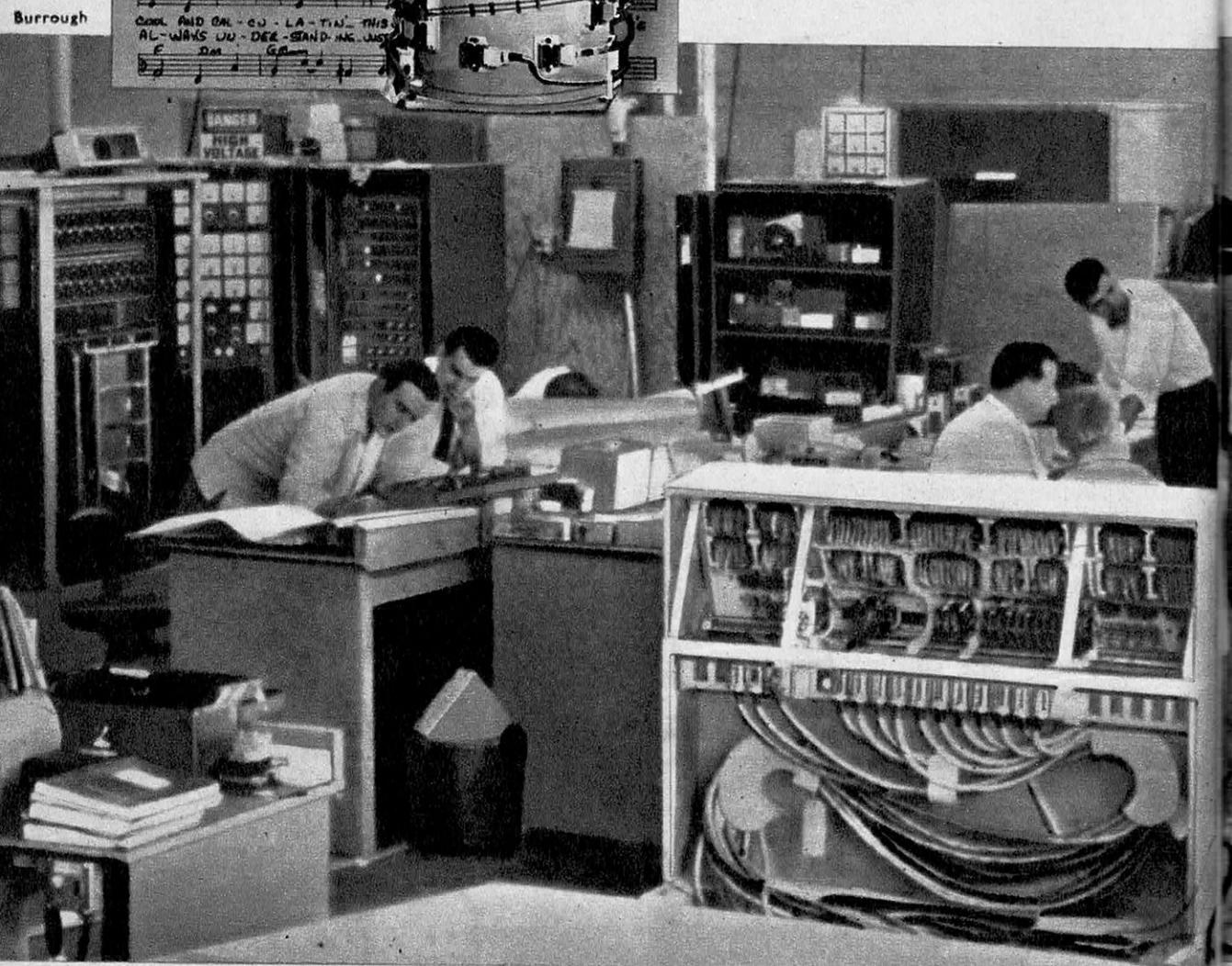
Moderate Bright Tempo



Burroughs  
HIGH VOLTAGE

# LA MUSIQUE

## UNE SOURCE INÉpuisable



L'ensemble du Datatron, en haut un élément de sa mémoire magnétique et sa première

# QUE ÉLECTRONIQUE

## épuisable de jeux sonores inédits



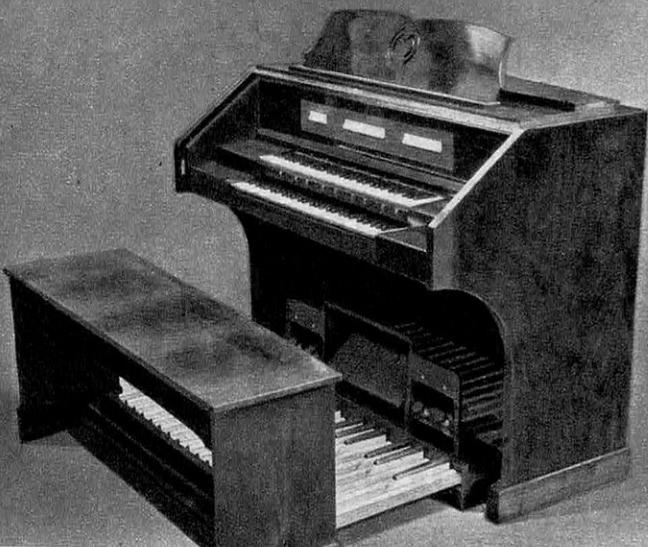
Le 15 juillet 1956, une singulière création avait lieu devant les caméras de la télévision dans les studios de la station K.A.B.C. de Los Angeles. Un compositeur inconnu, mais doué (assuraient ses « managers ») d'une inspiration intarissable, allait improviser en quelques minutes une chanson originale dans la meilleure tradition de la musique folklorique américaine. Sur des paroles de Jacques Owens, une mélodie fut, en effet, composée, curieusement baptisée « Pushbutton Bertha » (« Bertha presse-bouton »). Après la surprise, l'inquiétude, M. Petrillo, grand maître de la société des auteurs, se demandait quelle révolution allait bouleverser les classiques méthodes de répartition des droits face à ce cerveau insensé, capable, à ses heures de repos, de cracher de la musique populaire à pleins paniers.

D'autant que ce génie n'avait ni visage, ni signature, tout juste un corps : 7 tonnes de métal; un nom : Datatron, et une mémoire active, prodigieuse, pouvant emmagasiner 40 800 chiffres ou 20 400 caractères alphabétiques. Née à Pasadena (Californie), cette chambre électronique n'était pas destinée à conquérir les Arts. Elle s'apparentait aux calculateurs géants électroniques.

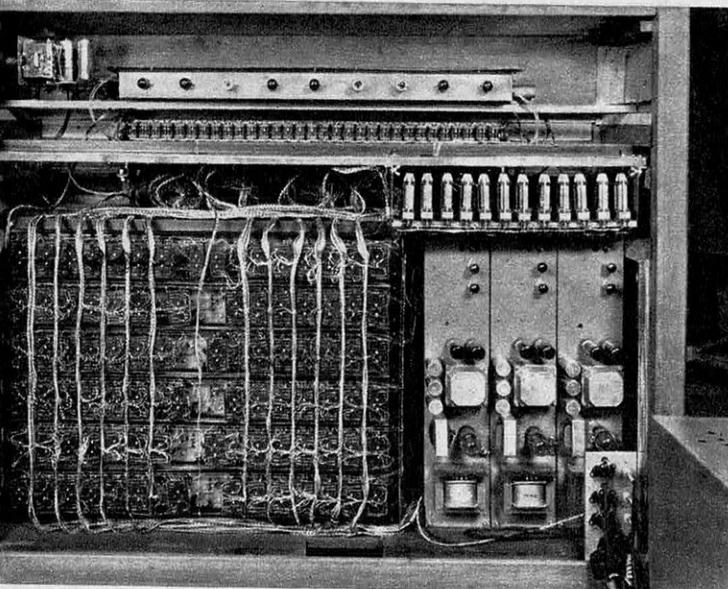
Mais le traitement de l'information peut revêtir d'autres formes que celles requises par l'automation des travaux comptables et scientifiques. Dans la mesure où la composition musicale peut être précisément assimilée à des règles comptables et scientifiques, la machine pouvait fort bien être capable de résoudre aussi ce problème, bien qu'elle ne put inventer seule le be-bop ou le calypso.

Pour donner une « éducation musicale » à Datatron, deux jeunes électroniciens américains, Douglas Bolitho et le Dr Martin Klein, soumirent à la machine un « programme » dont le code précisait les règles d'harmonie recherchées. La part d'inspiration demeurait celle du hasard. Datatron pouvait jongler avec plusieurs milliers de notes possibles, mais son calculateur central, obéissant aux instructions codifiées,

← LE DATATRON est une machine électronique géante à traiter l'information, destinée en particulier à assurer la gestion d'importantes entreprises commerciales. Les ingénieurs chargés de son étude ont eu l'idée de dresser pour elle un « programme » sur bande perforée qui lui a permis de composer des mélodies suivant les canons de la musique américaine, le hasard guidant l'élaboration des thèmes.



L'orgue Constant Martin et ses circuits



## Les orgues électroniques

Utilisé avec succès dans le domaine de la musique légère, il semble bien que, grâce aux travaux de l'ingénieur français Constant Martin, l'orgue électronique puisse rivaliser désormais avec le grand orgue classique. La technique employée utilise la propriété d'un circuit passif, alimenté sous faible tension, de pouvoir délivrer des ondes rectangulaires décomposables en un fondamental et une série d'harmoniques impairs. Les harmoniques pairs et les différentes octaves sont obtenus par des opérations simples de division et de multiplication. Tous les jeux d'un orgue classique peuvent ainsi être créés avec une remarquable précision par un procédé d'analyse et non de synthèse, chaque circuit électronique n'étant mis en service que lorsque l'exécutant appuie sur une touche du clavier. Il y a autant de canaux que l'instrument comporte de jeux, tous les jeux venant s'ajouter les uns aux autres comme dans un orgue à tuyaux. Les canaux sont groupés par familles et reliés à des amplificateurs de très haute fidélité et à des enceintes acoustiques spéciales. Lors de la finition de l'orgue, un artiste spécialisé donne la « voix » à chaque jeu et l'harmonise à son goût, la souplesse des circuits électroniques facilitant beaucoup cette opération.

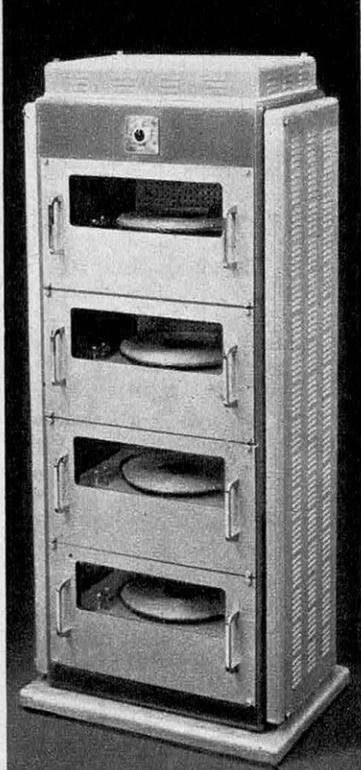
préalablement enregistrées dans le système, devait automatiquement rejeter toute consonance de notes qui ne répondrait pas aux lois qui lui avaient été imposées. Or, la musique populaire américaine est particulièrement facile à codifier. Ses règles générales d'harmonie sont simples et précises : on sait, par exemple, que le thème mélodique comporte 32 mesures, que le motif essentiel de ce thème se compose de 6 notes au maximum, que la partie centrale est modulée dans le ton sous-dominant, que d'une note à l'autre il ne peut y avoir plus d'une octave, ou bien encore qu'une quinte descendante se résoud par une quarte.

Ces bases mélodiques sont transcrives dans le langage alphabétique compris par la ma-

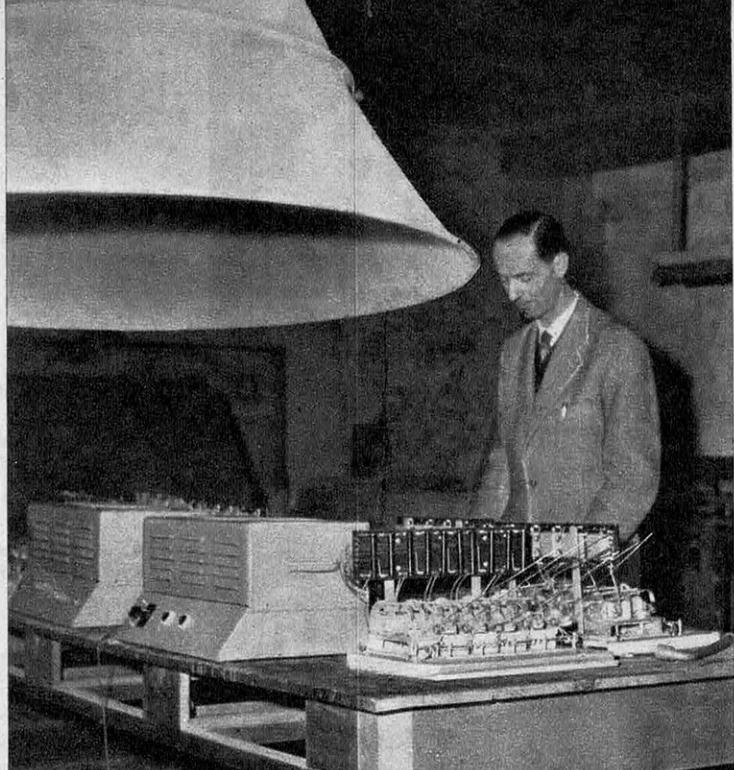
chine. Comparant, analysant, triant les accords obtenus en fonction des instructions reçues, la machine fera apparaître dans ses voyants lumineux une solution possible de l'équation musicale.

Jusque là ce n'était qu'un divertissement, un jeu d'électronicien. Qu'un calculateur de cette taille pût composer de la musique légère, orchestrer ses propres rythmes, écrire même pour des chorales à quatre temps, cela n'avait rien que de très naturel. N'était-elle pas capable de repérer en quelques secondes, parmi 20 000 individus dont elle gardait les fiches dans ses mémoires auxiliaires, celui qui avait, par exemple, l'œil bleu, le cheveu châtain et parlait suédois ?

Mais on devait aller plus loin. Puisque un



Le carillon de Calais



Au premier plan, les âmes vibrantes

## Cloches et carillons

L'âme vibrante de la cloche électronique est une pièce en acier spécialement traité qui est heurtée par un marteau métallique ou « battant ». Accordée et façonnée par un maître modeleur, chaque cloche a ainsi une personnalité comparable à celle d'une cloche classique de bronze ou d'airain. Une installation complète comprend, en plus des organes vibrants et du dispositif électronique chargé d'en traduire et reproduire les vibrations, un appareil de commande permettant de sonner les cloches suivant tous les modes : tintements, volées, etc., et un ensemble de disques à tétons qui actionnent les son-

neries rituelles. Ces cloches sont légères, extrêmement robustes et très faciles à installer : une installation équivalant à 3 ou 4 cloches de bronze de plusieurs tonnes ne pèse que quelques dizaines de kg et ne coûte que le prix d'une modeste cloche de 600 kg. Elles équipent déjà de nombreux clochers en France (Saint-Philippe-du-Roule) et à l'étranger (Canada, Pérou, Brésil). Sur le même principe de grands carillons ont pu être réalisés : Hôtel de ville de Calais, Palais des Télécommunications de Madrid, Pampelune... Le Grand Carillon du pavillon de la France à Bruxelles reçut une médaille d'or.

tel cerveau doit, pour composer un morceau, assimiler les lois fondamentales qui en commandent la création, ne serait-il pas capable de résoudre l'opération inverse ? En d'autres termes, cette machine pourrait-elle, à la lecture d'une œuvre musicale, analyser et découvrir les relations fondamentales existant entre les sons, en bref, établir les lois d'harmonie d'une œuvre donnée ?

Des études furent entreprises dans ce sens à l'université de l'Illinois, puis à Harvard, enfin à l'institut de mathématiques pratiques de l'université de Darmstadt. Des calculateurs eurent à charge l'analyse de 26 chants d'église composés par Palestrina, au XVI<sup>e</sup> s.; et afin de prouver que la leçon était bien apprise, ces mêmes cerveaux durent, à leur

tour, composer selon la même technique, « pasticher » en somme Palestrina.

On ne sait quels fruits produira ce mariage inattendu entre l'électronique et la musique. Mais, si l'aspect esthétique peut être discuté, le côté mathématique demeure captivant. Que la mise en équation de l'expression artistique apparaisse dégradante pour le génie humain, n'en discutons point : cela fait partie de la science cybernétique.

L'étude de l'homme a besoin de l'électronique pour dépasser le stade de nos connaissances actuelles. On ne peut, en effet, tenter d'explorer les mécanismes créateurs de l'esprit humain que par analogie. On devait déjà à Mozart une analyse élémentaire de la création musicale. Il proposait, en effet, une



← LE CLAVIOLINE permet de disposer de tous les instruments : violon, violoncelle, flûte, haut-bois, etc., au total 22 registres ; une tirette de transposition étend le clavier à 7 octaves. Souvent utilisé en liaison avec le piano, cet instrument est employé ci-contre par John Howlett comme enrichissement du célèbre orgue de cinéma de l'Odeon Leicester Square.

méthode de composition des valses basée sur l'emploi du jeu de dés. Le hasard commandait un choix de mesures « préfabriquées » mises au bout les unes des autres au gré du sort. La machine a perfectionné ces exercices de virtuosité intellectuelle qui consistait, chez Mozart, à échafauder une mélodie en conformité avec les règles de la valse. Mais elle apporte davantage : l'appréciation critique d'une composition musicale qui paraissait réservée au seul esprit humain. La machine à penser ne se contente pas de contrôler, dans sa création (toute sommaire qu'elle soit encore), la conformité aux règles d'harmonie : elle tente, en fait, de démêler toutes les lois de comptabilité qui régissent la pensée humaine lors de son appréciation, de son jugement.

En reconstruisant le réel par approximations successives, la machine électronique explore certains mécanismes créateurs qui, sans prétendre à recouvrir toutes les opérations de la pensée, conduisent cependant à les mieux saisir.

### Musique électronique et musique concrète

L'électronique contribue encore à faire évoluer le langage musical en apportant au compositeur de nouvelles possibilités d'expression. L'un des principes fondamentaux

de la musique électronique, depuis 20 ans, était de créer de nouveaux timbres, de nouvelles « couleurs sonores » à partir de circuits oscillants fournis par des groupes de générateurs et décomposables en sons élémentaires et en de nombreux harmoniques. L'électronique apportait ainsi le moyen de varier à l'infini le caractère des sons, chaque type d'oscillateur présentant, au gré de l'inventeur, des plages plus ou moins grandes de variations de fréquences, des courants sinusoïdaux ou bien chargés d'harmoniques, en même temps que s'offrait la possibilité de modifier le spectre harmonique des courants obtenus. Le sifflement d'hétérodyne des anciens postes de T.S.F. produit par la rencontre de deux ondes de haute fréquence répondait déjà à cette définition du « son électronique ». Il suffisait en somme de discipliner les phénomènes de résonance obtenus par les circuits oscillants, de disposer d'organes de manœuvre sélectionnant les harmoniques et d'un système d'amplification pour faire contenir dans une boîte tout l'arsenal d'un orchestre. Quelques lampes, un haut-parleur, un clavier ou une manette : voici jetées les bases d'un instrument polyphonique complexe.

L'industrie a commercialisé un assez grand nombre d'appareils de ce genre, principalement des orgues, faisant appel, de préférence, à un nombre assez élevé de générateurs indépendants et produisant, à partir de ces derniers, des jeux réellement distincts les uns des autres (procédé Constant Martin).

Different dans son principe est l'orgue « électrostatique » qui utilise les enregistrements des tuyaux de l'orgue classique. Il s'agit d'une machine parlante originale qui a nécessité un gros travail de mise au point et qui, dans sa version « Recording-Organ » est exclusivement destinée aux églises. La lecture des enregistrements est électrostatique, ce qui élimine tout risque d'usure et permet le rétablissement des transitoires d'attaque et d'extinction des tuyaux. De ce fait, cet instrument se distingue fondamentalement des orgues électroniques.

Mais le progrès va vite. Si les « Ondioline », « Clavioline » et tous autres instru-



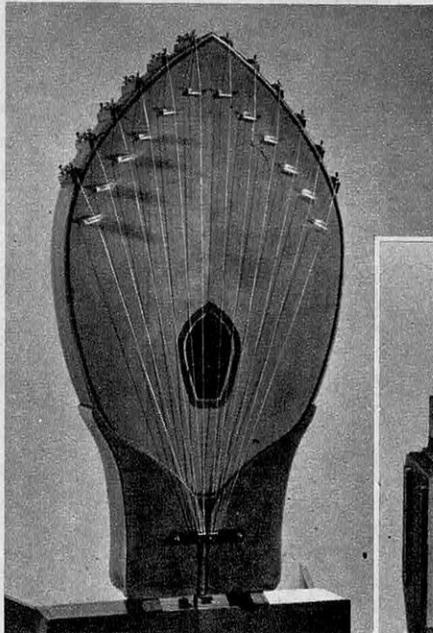
**ORCHESTRE ROBOT** composé d'une ondioline spéciale et d'un magnétophone à 8 pistes, présenté par Georges Jenny, l'inventeur de l'ondioline. Avec cet orchestre, le compositeur devient à la fois chef d'orchestre et musicien, enregistrant ligne par ligne la symphonie qu'il a conçue avec les nuances et les timbres infinis de l'ondioline. Il peut effacer, corriger, renforcer, jusqu'à ce que l'exécution corresponde exactement à sa pensée créatrice imitant en cela le peintre qui peut à chaque instant juger l'effet de ses retouches.

ments de musique électronique tendaient surtout à permettre au premier venu de tirer des effets mélodieux sans apprentissage, la musique électronique a beaucoup évolué. La «musique concrète» procède, elle aussi, de la technique électronique. Puisqu'un générateur de fréquences peut produire des sons de hauteur quelconque, autant faire disparaître la bonne vieille gamme classique. C'est en partant de ces bases que l'école allemande de «musique concrète» du Dr Herbert Eimert fait de la musique avec des quarts, des huitièmes et jusqu'à des douzièmes de ton. Leur notation est une courbe qui donne à chaque moment la hauteur et l'intensité du son. D'autre part, les sons enregistrés sur magnétophone peuvent être aisément découpés, recollés, déformés (en timbre, en durée et en intensité) : il y a également là une richesse potentielle de suite de sons exploitable par un compositeur.

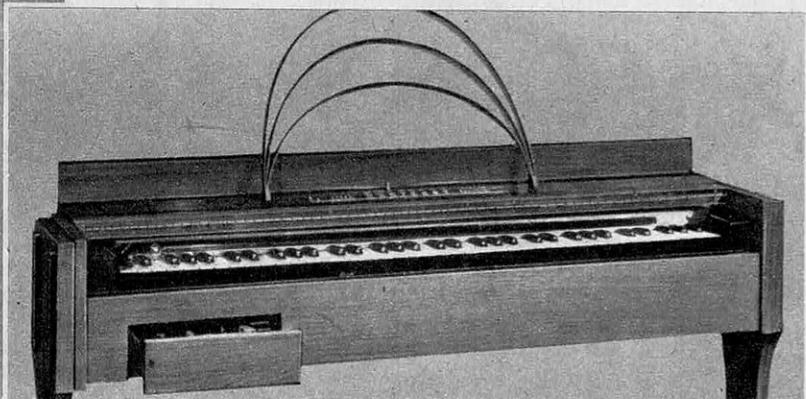
Ces sons, en somme très complexes puisque émanant de toute source de bruit disponible — en principe naturelle, «concrète» — fournissent une matière première infinie à qui sait la tisser.

### Haute fidélité et stéréophonie

Enfin, l'électronique propose aujourd'hui des techniques parfaitement au point dans le domaine de l'enregistrement, de la transmission et de la reproduction des sons. L'amélioration des microphones, des amplificateurs, des haut-parleurs, la qualité des enregistrements magnétiques et des disques micro-sillons permettent de reproduire la musique avec le spectre original, pratiquement sans bruit perturbateur et sans que certaines plages de fréquence soient renforcées ou affaiblies par rapport au niveau général. Une chaîne «haute fidélité» respecte, sans les déformer, toutes les fréquences audibles, en passant, sans distorsion, les pointes de modulation reproduites correctement dans les enregistrements modernes. Ce résultat — évidemment fonction d'un bon appareillage — n'a été rendu possible que par la création de têtes de lecture électromagnétiques (qui permettent de rejeter la résonance au-delà du spectre audible) d'enceintes acoustiques anti-résonnantes, de haut-parleurs capables d'amortir la réflexion des ondes. Mais aussi perfec-



**LE MARTENOT** et son diffuseur caractéristique. Cet instrument monodique comporte deux formes de jeu : le clavier expressif permettant le vibrato et le jeu au ruban, plus proche de l'expression vocale. Une manette permet de transposer le son d'une octave et une touche de « nuances » autorise du pianissimo au fortissimo comme la plus grande variété d'attaque des sons.



tionnés soient-ils, ces équipements ne sauraient, à eux seuls, faire oublier qu'il existe une différence entre la musique d'un ensemble réel et celle qu'ils reproduisent. En effet, dans la reproduction de plusieurs instruments de musique, la configuration spatiale joue un rôle aussi déterminant. L'une des caractéristiques de l'ouïe est de « fusionner » deux sons en une seule image sonore dont l'emplacement est déterminé par des différences de temps et d'intensité des deux sons. Un auditeur, dans une salle de concert, situe l'emplacement sur l'estrade de tel instrumentiste, par exemple à droite, parce que le son atteint l'oreille droite avant l'oreille gauche. L'effet directionnel est dû à ce décalage de temps (les physiciens disent « déphasage ») de l'ordre de quelques millisecondes. C'est surtout vrai pour les fréquences voisines de 1 000 périodes par seconde. Pour les sons de plus haute fréquence, l'effet directionnel sera davantage apporté par les différences d'intensité dans la perception du son d'une oreille à l'autre. Il se produit des phénomènes de diffraction sonore provoqués par l'obstacle que constitue la tête de l'auditeur et qui entraînent des différences de pression entre les deux oreilles.

Pour recréer ces phénomènes de perception sonore, le compromis le plus pratique consiste à capter les sons à l'aide de deux microphones qui seraient placés dans les mêmes conditions que les deux oreilles de l'auditeur. A chacun de ces microphones correspond une chaîne distincte d'enregistrement. Le

disque comportera donc deux pistes sonores et le matériel de reproduction deux chaînes indépendantes avec sa propre amplification et chacune son ou ses haut-parleurs. Voici donc posé le problème de la stéréophonie. On peut bien entendu jouer avec l'effet stéréophonique. Par exemple, on peut exagérer le décalage entre les deux sources sonores. Si le déphasage normal est de 3 millisecondes et qu'on le porte à 30 ou 50 millisecondes, le premier son arrivant déterminera la direction et le son retardé contribuera à la force sonore tout en créant une plus grande impression spatiale. Toutefois, au-delà de 50 millisecondes, le son retardé peut provoquer un écho perturbateur.

Simple d'apparence sur le plan théorique, le problème était moins facile à résoudre dans la pratique. Il fallait tenir compte d'une possibilité offerte à l'usager de convertir une installation existante en installation stéréophonique. Il était également nécessaire de retenir du disque microsillon classique les qualités de longue durée. Il eût été sans lendemain qu'une tête de lecture stéréophonique ne pût servir à la reproduction des disques classiques.

La solution adoptée consiste à obtenir sur le disque une gravure unique s'inscrivant en largeur et en profondeur sur les deux pentes à 90 degrés d'un même sillon. Une seule aiguille traduit donc simultanément les impulsions fournies par les deux chaînes d'enregistrement. Le sillon du disque ne présente donc pas une gamme séparée pour chacune

des deux pentes. C'est un sillon complexe, qui traduit la modulation composite des deux versions sonores. A la reproduction, un saphir unique, mais sollicitant deux cellules de lecture indépendantes (quoique réunies dans un même étui), capable de se déplacer à la fois dans un plan horizontal et vertical, descendra plus ou moins profondément au creux du sillon et transmettra à chacune des deux voies de reproduction sonore les vibrations qui lui sont destinées. En réunissant électriquement les deux éléments de lecture, la tête stéréophonique se comportera comme une tête monophonique et servira donc à la lecture des microsillons ordinaires.

### Le relief sonore dans les salles

Les mêmes phénomènes de perception sonore qui ont conduit à réaliser des dispositifs de reproduction stéréophonique trouvent aujourd'hui un prolongement dans les techniques nouvelles utilisées pour améliorer l'acoustique des salles. Le jour est arrivé où des musiciens de valeur n'admettent pas seulement la présence, dans les salles de concert, de haut-parleurs et de chaînes d'amplification, mais qu'ils imposent eux-mêmes ces appareils pour donner à leurs productions le relief que la salle ne saurait, à elle seule, leur assurer.

De telles installations ont fait leur entrée dans de nombreuses salles de spectacle, comme la Scala de Milan et le Théâtre national populaire du palais de Chaillot à Paris.

Dans une salle, les auditeurs ne reçoivent le son directement de la source que pour une très faible part. Il parvient surtout par l'intermédiaire de réflexions multiples aux parois, au plafond, au plancher, aux sièges,



**ELECTROPHONE STÉRÉOPHONIQUE** Teppaz à 6 haut-parleurs et 4 vitesses. Suivant la place relative que l'on donne aux haut-parleurs, il est possible d'accroître ou de réduire l'effet stéréophonique.

etc. Le son direct est seul à provoquer la sensation stéréophonique de ce qui se passe sur la scène ou sur l'estrade d'orchestre. Le son réfléchi, indirect et diffus, donne par son retard une impression de la grandeur de la salle (on a vu que la configuration spatiale était due à ce retard). L'impression auditive d'ensemble sera donc fonction, pour le spectateur, des rapports existant entre le son direct et le son réfléchi et diffus et déterminés par les propriétés propres de la salle. En augmentant à l'aide de haut-parleurs l'intensité du son direct et en la concentrant dans la direction des auditeurs, on modifie ce rapport.

On peut également faire l'inverse : des haut-parleurs disséminés dans la salle et ayant pour tâche de fournir un son diffus plus ou moins retardé suggéreront aux auditeurs une salle de plus grandes dimensions. Un choix judicieux des retards du son indirect et du rapport du son direct au son indirect permet d'adapter aux circonstances la grandeur apparente de la salle, et la distance apparente de la source sonore aux auditeurs — le relief. On peut ainsi créer dans une même salle les conditions les plus avantageuses requises soit par la parole, la musique, etc.

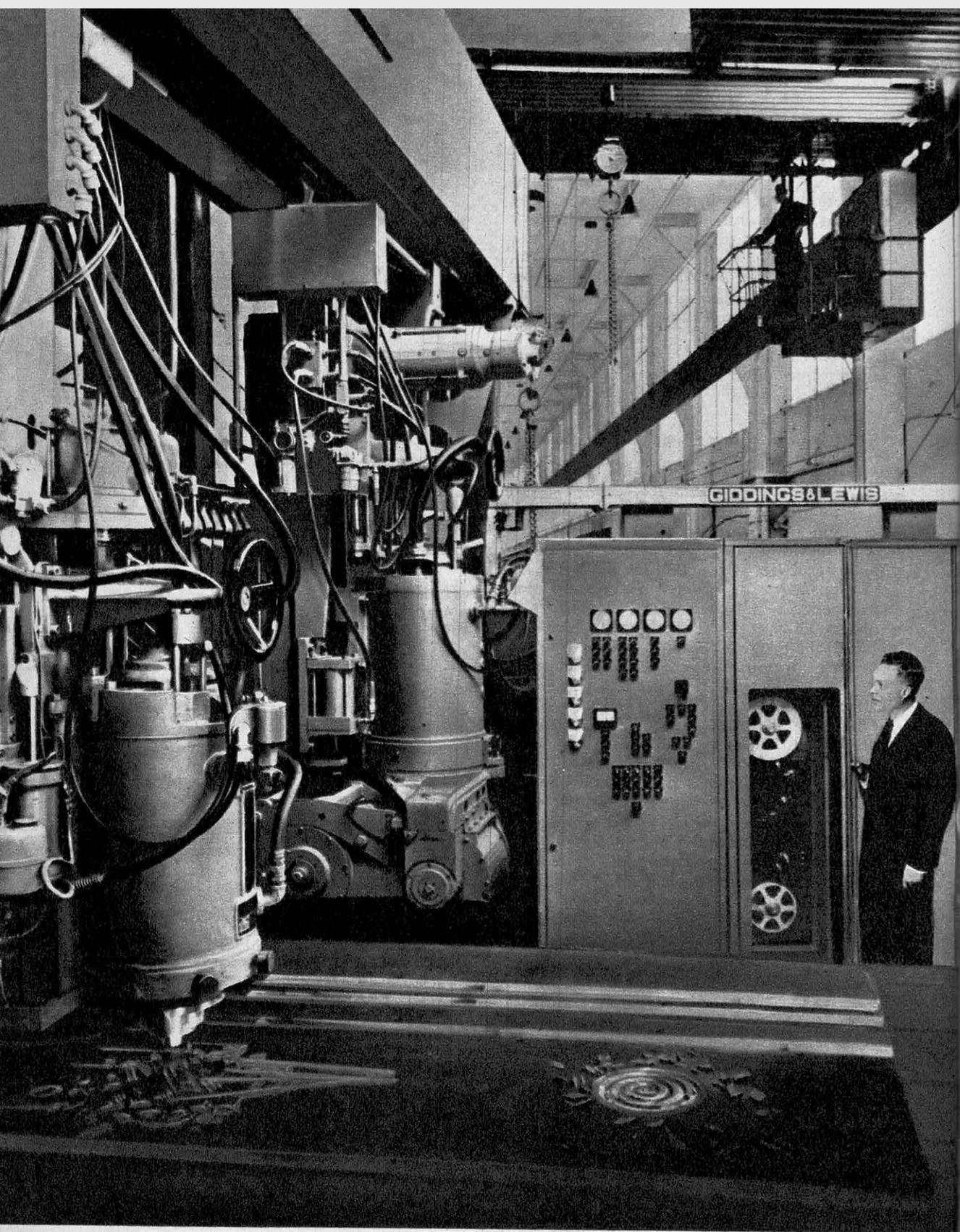
La combinaison des installations électro-acoustiques régit ainsi totalement l'acoustique des salles et permet d'améliorer la présentation de concerts ou d'opéras.

Une victoire de plus à inscrire à l'actif de l'électronique.

Luc FELLOT



**DISQUE STÉRÉOPHONIQUE** de démonstration montrant comment il est possible d'enregistrer deux sons sur un même sillon, l'un en profondeur, l'autre en largeur. Une aiguille unique les lira.



**Plus d'ouvrier : cette fraiseuse suit le programme inscrit sur un ruban magnétique**

## **TECHNIQUES NOUVELLES, AUTOMATION :**

# **L'usine adopte l'électronique**

**S**i, peu avant la dernière guerre, ayant à traiter des tendances futures de l'industrie, un conférencier avait annoncé qu'avant deux décades l'Électronique rendrait les plus grands services dans nombre d'usines et de bureaux, il aurait vraisemblablement perdu beaucoup de son crédit auprès de l'auditoire. Comment, à cette époque, un industriel soucieux de la robustesse et du rendement de ses installations aurait-il pu envisager l'emploi de matériels électroniques réputés fragiles et susceptibles de pannes imprévisibles ? Pour lui, d'ailleurs, la question de leur emploi ne se posait même pas, puisque les procédés « classiques » lui suffisaient parfaitement.

Aujourd'hui, toutes les préventions sont tombées, et le développement de ce que les Anglo-Saxons appellent « automation » impose le recours à l'électronique.

### **L'électronique, base de l'automation**

Certes l'automatisme n'était pas inconnu il y a vingt ans, mais il ne faisait guère appel qu'à des procédés électromécaniques. Le tour automatique et la machine-transfert en constituent des exemples typiques, toujours valables pour des fabrications de grandes séries. Mais l'extension de l'automatisme à des productions de petites séries ou même à l'unité demande beaucoup plus de souplesse. Et ce sont ces exigences nouvelles dans toutes les branches industrielles qui ont donné naissance à un ensemble de techniques, originales dans leur essence ou leur application, rassemblées sous le vocable d'« automation » ou d'« automatique », pour user d'un terme français plus académique.

Les fonctionnements comparés d'une machine transfert et d'une machine-outil moderne à « commande numérique » permettent d'illustrer l'évolution qui s'est produite. En effet, une machine transfert est construite pour que ses outils, de dimensions appropriées, se présentent aux points voulus des pièces à exécuter, toutes identiques; ses moteurs de broches ou d'avances

tournent toujours aux mêmes vitesses et les contrôles, effectués automatiquement sur la machine, ne changent pas. Le problème est très différent pour une machine-outil à « commande numérique» qui doit exécuter des pièces de formes quelconques sans intervention d'opérateurs. L'introduction facile des cotes, des vitesses de coupe et d'avances, l'asservissement de tous les mouvements à la mesure effective de ces cotes et de ces vitesses ne peuvent plus être résolus économiquement au moyen de remaniements mécaniques des machines, de la confection de cames ou gabarits ou d'autres moyens « classiques ». L'électronique a apporté des solutions rentables à de difficiles problèmes de cette nature et joue maintenant un rôle industriel de premier plan.

### Au dixième de micron

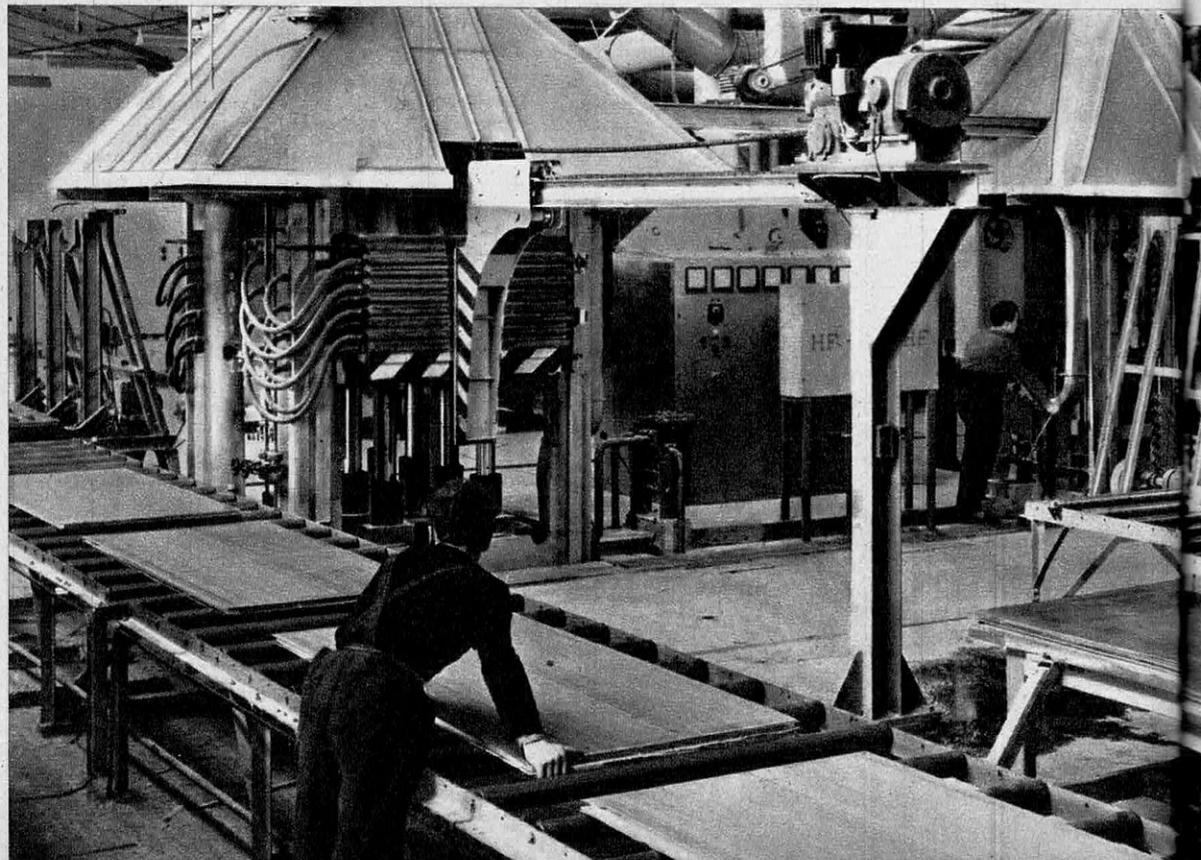
L'électronique met à la disposition de l'industrie des appareils robustes, susceptibles de mesurer des tensions et des intensités très faibles (microvolts et micro-microampères), des fréquences extraordinairement basses ou élevées (correspondant à des périodes allant de quelques minutes à des fractions de millième de millionième de seconde ou moins encore), des puissances insignifiantes (micro-watts). Or toutes les grandeurs physiques se

traduisent assez commodément en variables électriques.

La mesure de faibles déplacements au moyen de condensateurs à armatures mobiles ou de transformateurs différentiels associés à des amplificateurs permet d'apprecier le micron ou même le dixième de micron. Les opérations de rectification peuvent ainsi être suivies avec précision ou déclenchées automatiquement en fin d'opération. La même technique permet le contrôle rapide de nombreuses cotes sur des pièces produites en série.

Des transformateurs différentiels, comportant des entrefers où peuvent être engagées des bandes métalliques en défilement, mesurent les épaisseurs à quelques % près. Des jauge à rayons X ou à rayonnement radioactif étendent cette possibilité à des produits très divers (tôles, papier, etc.).

La mesure automatique des cotes avec précision (0,01 mm) sur des longueurs de l'ordre du mètre constitue l'un des problèmes les plus importants de la machine-outil moderne. Plusieurs dispositifs existent dès à présent qui font appel soit à des règles ou des réseaux optiques lus par des cellules photoélectriques, soit à des règles magnétiques devant lesquelles se déplacent des « palpeurs » également magnétiques. Sans l'électronique, ces problèmes demeureraient sans solution.



Les efforts et les poids qui entraînent des déformations ou des contraintes mécaniques donnent lieu à des mesures précises et rapides grâce aux jauge de contrainte et aux cristaux piézoélectriques. Les accélérations peuvent être mesurées au moyen de capteurs spéciaux. D'autres capteurs, assez voisins des pick-up de tourne-disques, donnent des mesures d'états de surface et de rugosité.

Parmi les grandeurs physiques qui intéressent les appareils électroniques et qu'il ne peut être question d'énumérer toutes (humidité, degré de vide, pH...), les flux lumineux méritent une mention spéciale à cause de l'importance de leurs applications :

- surveillance de flammes (brûleurs à mazout par exemple);
- dispositifs de sécurité (actionnés par l'occultation de faisceaux lumineux, en particulier, pour la protection d'opérateurs conduisant des presses);
- comptage et tri d'objets au défilé (en association avec des compteurs);
- mesure de la puissance lumineuse (pour l'asservissement de dispositifs de copiage photoélectrique).

### Des asservissements très souples

L'automatisme demande souvent qu'un dispositif maintienne une grandeur constante

ou la fasse évoluer très précisément suivant un programme donné. Le procédé de « contre-réaction » ou de « feed-back » répond à ce besoin. Un tel équipement est essentiellement auto-correcteur; il exécute un travail d'après un programme en évaluant les écarts qui se produisent inévitablement entre ce programme à remplir et le résultat effectivement obtenu, et réagit de lui-même en vue de minimiser les écarts.

Régulateurs et servomécanismes ne datent pas de l'introduction de l'électronique dans l'industrie, mais il faut cependant reconnaître qu'elles leur a fait accomplir des progrès décisifs par la facilité avec laquelle elle procède à des mesures précises, amplifie fidèlement et économiquement, sans introduire de retard ni d'inertie notables, et aussi par la possibilité qu'elle offre de lutter efficacement contre l'écueil que constitue, pour les systèmes asservis, l'instabilité, cause d'oscillations qu'il faut absolument éliminer (« pompage » des régulateurs).

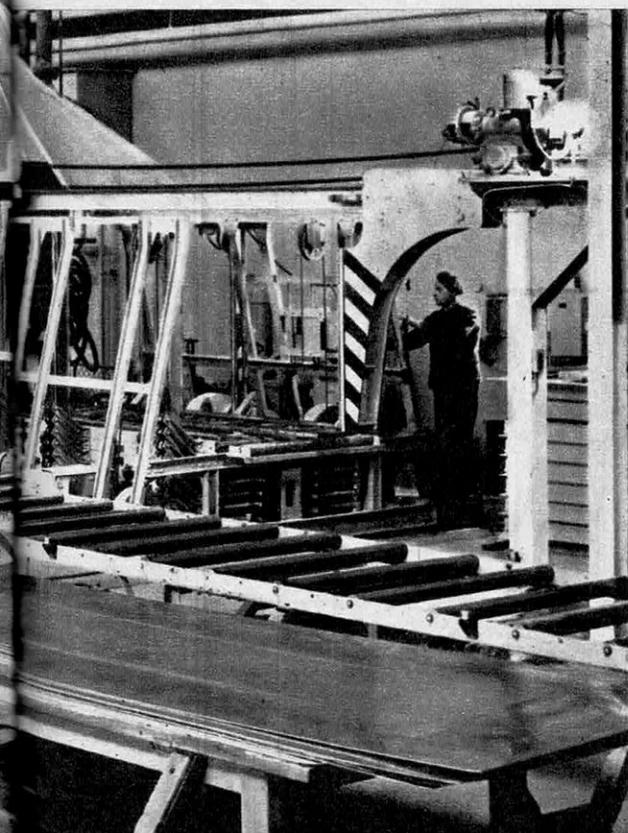
Toutes les applications où des vitesses ou des déplacements doivent être assurés avec une précision déterminée, et notamment celles où les évolutions suivent des programmes complexes, sont justifiables de cette technique.

Nous citerons parmi de très nombreuses applications : l'entraînement de machines à papier, de métiers type « Cotton », de trains à fils, de moteurs d'avances de machines-outils..., et, par ailleurs, des asservissements différents, soit de température (fours), soit de combustion (réglage de chauffe)...

### Programmages sur ruban magnétique

Le passage d'une opération à la suivante est encore obtenu, dans la généralité des cas, au moyen de contacteurs ou de relais électromagnétiques. L'agencement de ces organes constitue une sorte de « mémoire ». L'électronique apporte dans ce domaine des possibilités diverses.

C'est ainsi que les transistors et les amplificateurs magnétiques, qui jouissent d'une très grande robustesse et d'une longévité presque sans limite, remplacent les relais



## ← Chauffage électronique

La haute fréquence permet le chauffage des isolants dans la masse par pertes diélectriques. Ainsi sont fabriqués ici, sous presses visibles à l'arrière-plan, des panneaux en déchets de bois agglomérés. Le temps de chauffage ne dépasse pas une minute.

## Télévision à l'usine →

Dans cette aciéries du Pays de Galles, un seul opérateur surveille l'acheminement des lingots sur plus de 200 m depuis les fosses de coulée jusqu'à la sortie des trains de laminaires. Quinze écrans de télévision lui permettent de parer à tout incident.

classiques quand la sécurité s'avère primordiale ou encore dans des domaines particuliers, par exemple en atmosphères dangereuses. Des « centraux » téléphoniques expérimentaux ont même été construits, qui ne comprennent ainsi que des éléments statiques ne réclamant pas d'entretien et d'une sécurité de service remarquable.

D'autre part, l'électronique a permis de construire des dispositifs assez variés susceptibles de « stocker de l'information » (lignes à retard, tores, tambours et rubans magnétiques...) très employés dans les calculatrices. Dans l'industrie, c'est surtout l'enregistrement sur ruban magnétique qui semble offrir le plus de possibilités. Par exemple, au moyen d'un magnétophone, en principe semblable à ceux du commerce, toutes les opérations d'un usinage exécuté une fois à la manière habituelle, sur une machine-outil équipée de dispositifs d'asservissement des avances et des broches, peuvent être automatiquement répétées. Ce procédé très souple peut s'étendre à des domaines variés.

De nouveaux éléments de température sont apparus avec les « timers » électroniques capables de mesurer des temps très courts. Ils sont maintenant d'une utilisation universelle sur les soudeuses, où, pour les tôles minces, la succession des temps d'accostage, de passage du courant, etc., doivent être déterminés à une fraction de centième de seconde près. Indiquons d'ailleurs que le passage des courants intenses de soudage n'est pas déterminé par le jeu de contacteurs mécaniques, mais au moyen de thyratrons ou d'ignitrons qui, seuls, peuvent assurer sans défaillance des milliers de manœuvres quotidiennes.

### Chauffage par haute fréquence

La haute fréquence trouve d'importantes applications pour le chauffage industriel par induction et par pertes diélectriques.

Le chauffage par induction intéresse les pièces métalliques où la forme particulière des « inducteurs » crée des courants intenses aux seuls endroits à chauffer. Cette localisation permet d'effectuer des trempes superficielles



Marconi Wireless Tel. C

(traitement des flancs d'engrenages) ou des brasures spéciales (pastilles d'outils).

Le chauffage par pertes diélectriques concerne, au contraire, les isolants et permet un chauffage dans la masse; le collage du contreplaqué, la cuisson du pain... sont des applications actuelles ou à venir de cet élégant procédé.

### Machines-outils à commande numérique

Nous indiquerons brièvement une des possibilités de cette technique spectaculaire.

Un « programmateur » prend les dessins des pièces à usiner, choisit les outils à utiliser et fixe la succession des opérations; puis il détermine quels mouvements doivent être demandés à la machine pour l'usinage souhaité. En particulier, il décompose les mouvements d'avances suivant des portions de droites ou de cercles en portant en clair, sur une feuille-programme, les cotations des points extrêmes. Une fois établi, l'ensemble du programme est dactylographié sur une machine genre télétype qui perfore en code un ruban de papier. C'est ce ruban, placé dans un lecteur



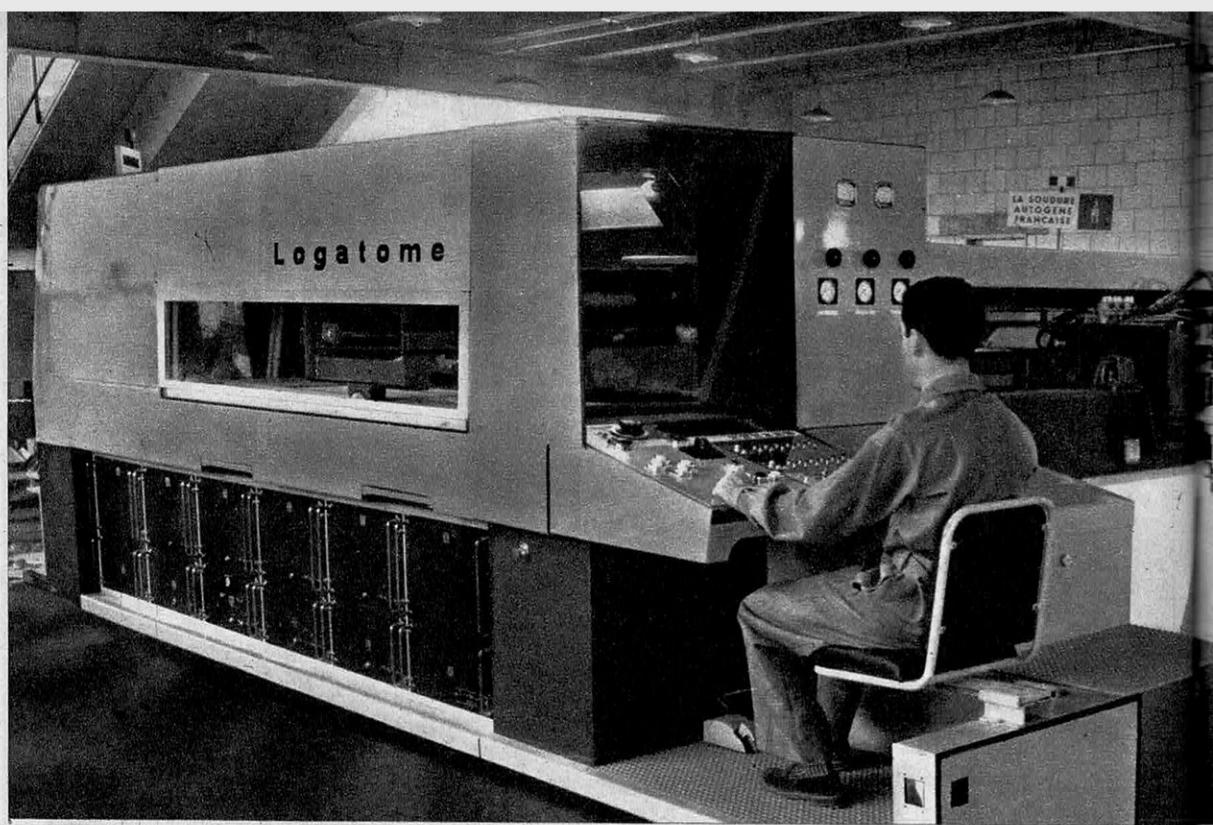
teur faisant partie de l'appareillage de la machine-outil, qui déterminera l'évolution des différentes avances et la rotation des broches pour conduire l'ébauche bridée sur la table à la pièce finie désirée, sans autre intervention humaine.

Ce résultat est obtenu au moyen d'une « interpolatrice » qui fait également partie de l'appareillage et qui, entre les points définis par le programme, assure à l'outil une trajectoire rectiligne ou circulaire. Cette trajectoire est donnée sous la forme de tensions proportionnelles aux déplacements voulus; des servomécanismes de position comparent à chaque instant ces tensions à celles que donnent des dispositifs mesurant les cotes réelles atteintes.

Des équipements de ce genre permettent l'usinage de pièces présentant des formes extrêmement complexes (pour l'aéronautique ou l'astronautique, par exemple); ils évitent, grâce à leur souplesse, les montages et démontages de pièces et les changements de machines; ils éliminent les rebuts. Malgré un investissement jugé encore très élevé, des machines-outils munies de ces appareillages perfectionnés donnent, pour nombre d'usinages, des prix de revient compétitifs.

### L'asservissement des laminoirs

Parmi les réalisations électroniques dans le domaine des industries transformatrices de métaux, nous prendrons comme exemple la commande de laminoirs à froid pour feuilles minces d'aluminium. Sur un dérouleur est placée une bobine pesant environ une tonne et demie, constituée par une feuille d'aluminium de 10 microns; celle-ci doit passer au laminoir pour y subir une réduction d'épaisseur de moitié environ et être formée aussitôt en bobine sur un enrouleur. La vitesse de laminage, de l'ordre de quelques centaines de mètres par minute, doit compenser toutes les irrégularités d'épaisseur à l'entrée pour satisfaire les tolérances étroites sur le produit fini. Il faut donc que cette vitesse soit constamment ajustée en fonction de l'épaisseur, mesurée au défilé, et que celles du dérouleur et de l'enrouleur soient maintenues malgré ces variations et le changement progressif du diamètre des bobines. Les effets de l'inertie des bobines doivent être compensés pour que la tension sur la feuille très fragile demeure constante. La solution de ce difficile problème est fournie par l'asservissement électronique



des moteurs à courant continu de plusieurs centaines de chevaux aux signaux de mesure d'épaisseur et aux tensions de dynamos tachymétriques.

### Le copage d'après dessins

Le découpage des tôles au chalumeau oxyacétylénique n'est pas susceptible d'une précision supérieure à 0,1 mm; aussi l'idée est-elle venue tout naturellement de remplacer les gabarits coûteux précédemment employés par de simples dessins qu'il est possible, moyennant certains soins, d'exécuter avec une précision de cet ordre.

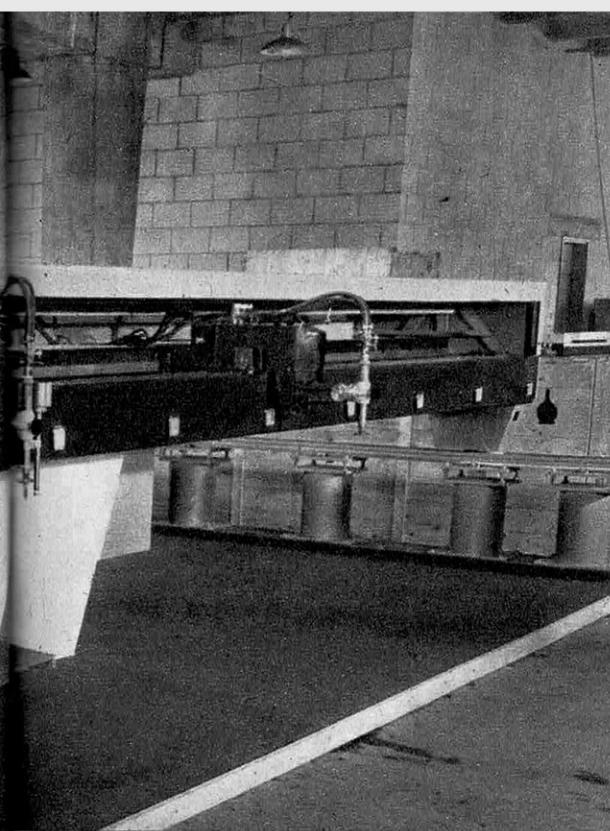
L'électronique en a apporté la possibilité grâce aux cellules photoélectriques et à la sensibilité de ses amplificateurs. Si la tête de lecture d'un dispositif de copage d'après dessins se trouve, en effet, correctement positionnée à cheval exactement au-dessus du trait du dessin, le flux lumineux reçu prend une valeur moyenne; un écart de positionnement se manifeste par la diminution ou l'augmentation de ce flux. L'asservissement convenable des moteurs d'entraînement du dispositif à ce flux lumineux permet la description exacte du dessin à la vitesse désirée, compatible, dans l'exemple choisi, avec l'épaisseur des tôles à découper.

On voit ci-dessus une machine d'oxycoupe récente, d'un poids de 5 tonnes environ,

capable de traiter des tôles de 15 m de long sur 3,5 m de large avec une précision de l'ordre de 1 mm, les dessins étant alors exécutés à l'échelle du dixième.

### L'« optimisation » des processus industriels

Dans la plupart des activités industrielles, la complexité des opérations, la multitude des données, le temps nécessaire à les connaître..., empêchent les responsables de prendre les mesures qui seraient les meilleures et d'assurer la production la plus parfaite et la plus économique. Le cas se présente, par exemple, dans l'industrie chimique où la conduite des processus continus d'élaboration exige la connaissance des analyses des différents composants, de leurs températures, de leurs pressions... La mise en œuvre d'appareils de mesure affichant toutes ces données améliore sans doute la situation des exploitants en face de leurs difficiles problèmes; mais elle ne leur permet pas encore d'atteindre les résultats les meilleurs. En effet, pendant le temps matériellement nécessaire pour modifier les réglages en fonction des indications des appareils de contrôle, ces grandeurs ont déjà varié et les réglages sont ainsi devenus caducs. Des opérateurs humains, si habiles soient-ils, se trouvent dépassés par l'ampleur de la question, et la conduite des opérations doit être



L'Air Liquide

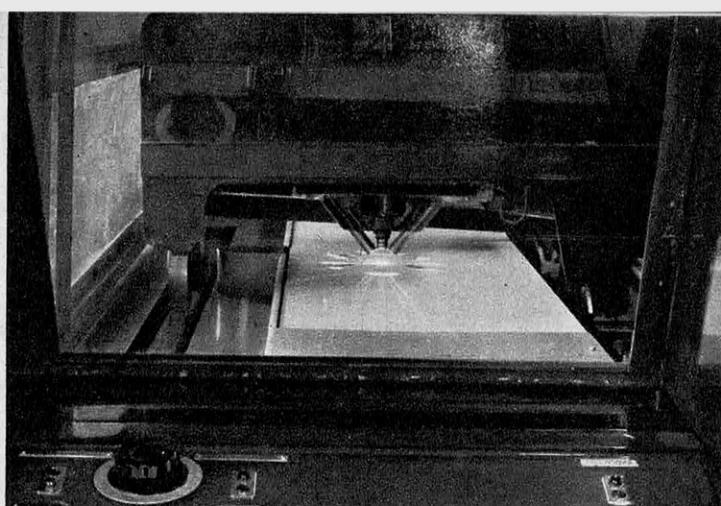
confié à ce qu'on est convenu d'appeler, avec grandiloquence, un « cerveau électronique ».

En effet, la répercussion d'un facteur déterminé sur une production répond à des règles plus ou moins complexes, mais qu'il est possible de déterminer. La « mise en équations » de l'ensemble du processus considéré permet alors à une calculatrice électronique recevant à chaque instant les informations intéressantes, de donner en temps utile les points de réglage les plus convenables aux servomécanismes commandant l'évolution de la production.

Des usines ainsi « pilotées » au moyen d'appareils de mesure, de calculatrices et d'organes d'exécution asservis existent déjà ou sont en projet. Une firme française construit actuellement un tel appareillage destiné à une raffinerie de pétrole dont la mise en exploitation est prévue pour l'année prochaine : 120 points de mesure y sont prévus, réagissant sur 12 dispositifs de réglage.

Une installation assez analogue doit permettre la surveillance de ruptures éventuelles de gaines à la centrale nucléaire de Chinon; cette surveillance doit s'exercer sur 1 200 canaux de refroidissement et intéresser ainsi quelque 2 000 électro-vannes.

Ces derniers exemples, comme ceux qu'on peut donner à propos de la gestion automatique des stocks ou le calcul maintenant classique de la paie du personnel dans les



## L'œil électrique lit les dessins

Cette machine découpe automatiquement au châlumeau une ou plusieurs épaisseurs de tôles de grandes dimensions d'après un dessin au 1/10 sur calque, lu par cellule photoélectrique (ci-dessus). La vitesse de coupe peut varier de 5 à 40 m/h.

usines, ont accrédié le point de vue que l'ère du « presse-bouton » est arrivée.

Il n'en va pas encore tout à fait ainsi, sans doute, car les possibilités offertes par l'électronique et les techniques apparentées ne se trouvent réellement exploitées que lorsqu'elles sont rentables... Et c'est là, pour le moment — il faut bien le reconnaître — un frein puissant au développement de l'automatisme. Un tel état de choses n'est d'ailleurs pas à déplorer, car une extension brutale et anarchique de ces nouvelles techniques ne conduirait peut-être pas aux meilleures solutions et pourrait poser certains problèmes sociaux (chômage, reconversion trop rapide de la main-d'œuvre) qu'un développement plus lent et plus harmonieux n'aura aucune peine à éviter.

Les craintes dans ce domaine sont vaines; l'homme ne se trouvera pas supplanté par les robots, une machine n'ayant pas pouvoir de création et ne faisant jamais que remplir le rôle qui lui a été dévolu. Au contraire, c'est l'évolution technique, dont le développement de l'électronique et de l'automatisme ne constitue qu'un des aspects, qui améliore le niveau de vie et qui augmente les possibilités de bonheur des hommes.

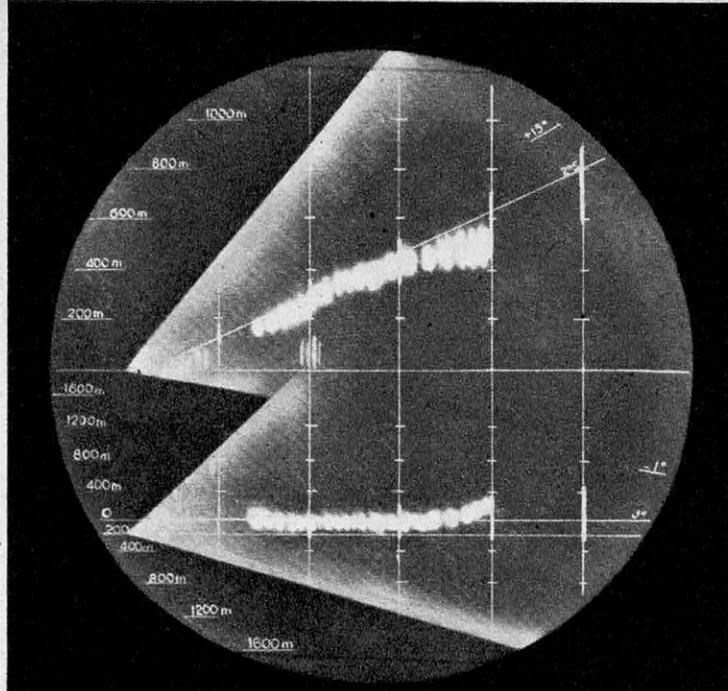
R. BOLANT

Ingénieur I.E.G. - Licencié ès-Sciences  
Professeur à l'Institut Supérieur des Matériaux  
et de la Construction Mécanique



## Atterrissage radar

Cette photographie d'un écran radar prise au cours d'un atterrissage réel montre, en haut, le placement de l'appareil sur la ligne de descente prévue, en bas, sa mise sur l'axe de la piste sur laquelle il pourra se poser.



CFTH

**Sur route et sur rail,  
sur mer et dans l'air,**

# SÉCURITÉ ACCRUE

**S**I nous nous déplaçons de plus en plus vite à la surface de notre globe, nous le devons en grande partie à l'électronique qui, dans tous les domaines des transports, améliore le rendement et le confort des véhicules et, surtout, contribue efficacement à leur sécurité.

En ce qui concerne l'automobile, par exemple, on sera surpris de voir quel rôle joue déjà l'électronique dans son équipement, mis à part les radiorécepteurs maintenant classiques et les téléviseurs qui sont encore exceptionnels. Grâce à la mise au

point pratique des éléments à semi-conducteurs, l'emprise de l'électronique ne peut que s'accroître dans ce domaine.

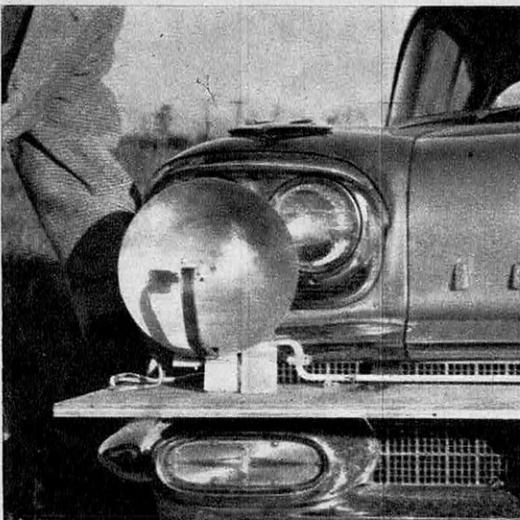
### Changements de vitesse électroniques

Les embrayages électromagnétiques, dont il existe plusieurs modèles, ne permettent pas l'automatisation complète des manœuvres. Les montages électroniques à transistors peuvent apporter des solutions élégantes, parmi lesquelles nous citerons les études françaises de M. Guiot, inventeur également d'un appareil d'allumage électronique.

Dans le système qu'il propose, la boîte de vitesse n'est pas modifiée. On lui adjoint simplement une combinaison de relais commandés automatiquement et qui actionnent les sélecteurs mécaniques classiques à la place du conducteur. On trouve sur l'arbre de trans-

## ← Le radar surveille la route

Le dépistage des excès de vitesse par radar se généralise sur les routes américaines où le plus fréquemment l'allure maximum est strictement limitée. Le matériel portatif de l'Automatic Signal Division permet à la fois la lecture directe et l'enregistrement.



## Radar anticollision

La General Motors a étudié ce radar prototype dont on voit un réflecteur et ses guides d'onde. Sur la nouvelle voiture expérimentale, de tels radars sous radomes plastiques sont montés sur les ailes.

mission une poulie entraînant un petit alternateur; la fréquence du signal qu'il fournit varie suivant la vitesse de la voiture, et des filtres électriques, réglés sur des fréquences déterminées, assurent la commande de changements de vitesse dans des conditions fixées à l'avance. Un relais actionne l'embrayage électrique, un autre actionne le sélecteur, un troisième agit sur l'accélérateur.

Le conducteur n'a qu'à accélérer pour obtenir le démarrage progressif et le passage des vitesses. En cas de ralentissement, celles-ci rétrogradent automatiquement; l'arrêt est obtenu en freinant, le débrayage étant automatique. Un relais supplémentaire permet de modifier le passage des vitesses suivant que l'on désire une conduite « sportive » ou s'adapter à la circulation urbaine.

## Le rétroviseur

L'éblouissement pouvant provenir d'un faisceau de phare qui se réfléchit dans le rétroviseur, ce dernier est monté à deux positions. Tout rayon lumineux qui le frappe, alors qu'il est à sa position normale, agit sur une cellule photoélectrique : le contact d'un circuit est fermé, tandis qu'un électroaimant attire le miroir, déviant les rayons réfléchis de l'œil du conducteur.

Ce système exige peu d'énergie et peut, en principe, être adapté sur une voiture de petite puissance déjà construite; ce n'est encore qu'un prototype et d'autres montages du même genre sont à l'étude.

## L'allumage électronique

Les défauts de l'allumage par batterie et bobine ou par magnéto sont bien connus : vis platinées qui s'affolent aux grandes vitesses; étincelle insuffisamment chaude aux hauts ou bas régimes.

Les systèmes électroniques permettent d'obtenir une ouverture et une fermeture des circuits dans des temps beaucoup plus réduits puisqu'ils ne mettent en jeu aucune force d'inertie.

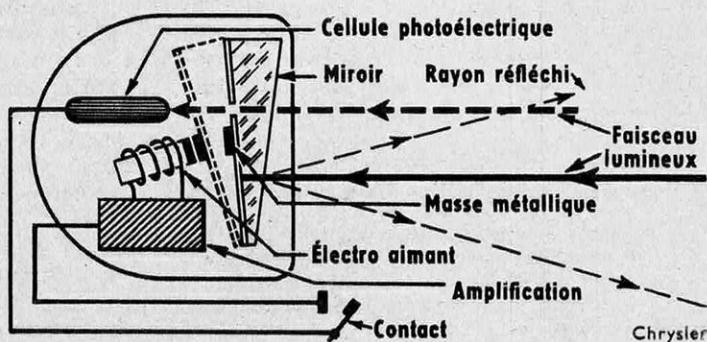
Avec un transistor capable de fonctionner sur une puissance de quelques watts et une fréquence dépassant 100 000 périodes par seconde, on peut, par l'intermédiaire d'un transformateur élévateur de tension, obtenir une tension de plusieurs dizaines de milliers de volts qui assurera la production d'une étincelle très chaude, quel que soit le régime.

En dehors du distributeur, l'ensemble ne comporte aucun élément soumis à l'usure ou au frottement, et la puissance d'alimentation exigée de la batterie est infime, de l'ordre de 1 W par mille tours seulement.

Il n'est plus nécessaire que les bougies comportent deux pointes métalliques rapprochées; le résultat paraît meilleur avec deux électrodes circulaires concentriques permettant à l'étincelle de se déplacer constamment. On obtient ainsi une surface de décharge qui assure un allumage plus efficace.

## La dynamo devient insuffisante

Pour alimenter la petite usine électrique que constitue l'automobile, on utilise normalement une dynamo à courant continu qui recharge constamment une batterie d'accumulateurs. Mais le nombre des éléments élec-



triques et des accessoires de la voiture ne cesse d'augmenter.

Il faut environ 1 ampère pour l'éclairage des appareils de bord, 0,3 A pour une montre électrique, 2 à 4 A pour un poste radio, 3 à 6 A pour l'essuie-glaces, 2,5 à 3 A pour un phare orientable, 15 à 20 A pour les avertisseurs, 10 à 12 A pour un allume-cigarettes, 6 à 10 A pour le dégivrage et le chauffage. Sur les voitures américaines, les dispositifs de commande automatique des glaces, de réglage des sièges et de décapotage exigent 20 à 25 A chacun; il y a même des conditionneurs d'air nécessitant 12 à 20 A.

On ne prévoyait en 1925 que des générateurs d'une puissance maximum de 85 W. Désormais, il faut bien souvent envisager plus de 600 W. La capacité des batteries a donc été plus que triplée. Mais c'est encore insuffisant d'autant qu'actuellement, dans le trafic urbain, le moteur tourne souvent au ralenti, les batteries ne sont plus suffisamment rechargées, elles se détériorent, et l'installation électrique n'est pas alimentée convenablement.

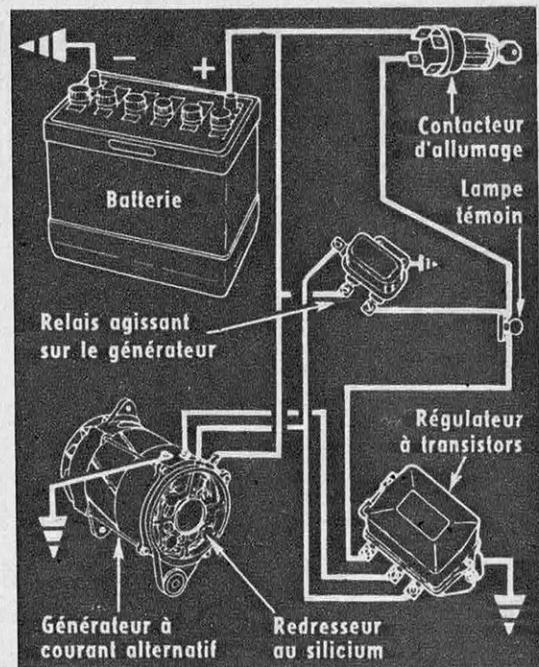
De là l'idée de remplacer la dynamo par un alternateur, appareil très robuste et sans balais, capable de fonctionner sans aucun trouble pendant une durée de service qui peut correspondre à des trajets de 160 000 à 300 000 km.

Un tel alternateur peut assurer directement l'alimentation des appareils d'éclairage. Pour la recharge de la batterie, il faut redresser le courant fourni au moyen d'un système robuste et de faible encombrement. Autrefois impossible à résoudre, ce problème a trouvé aujourd'hui sa solution avec les éléments redresseurs au silicium, de petites dimensions.

Les alternateurs actuels, qui peuvent fournir des courants intenses de 20 à 60 A, et assurent de bons résultats même à vitesse réduite, ne sont guère plus encombrants que les dynamos habituelles et comportent des redresseurs incorporés. Ils sont déjà montés normalement sur certaines voitures de série américaines, Ford en particulier.

Le système électromécanique qui doit interrompre le passage du courant entre la dynamo ou le générateur qui la remplace et la batterie pour un certain minimum de courant, peut être remplacé par une diode à jonction au germanium ou au silicium. Lorsque le courant devient trop faible pour une raison ou pour une autre, cet élément introduit dans le circuit une résistance très élevée et joue ainsi le rôle d'un disjoncteur.

On peut de même remplacer les relais de commande de la tension et du courant des



Delco-Rémy

## Générateur alternatif

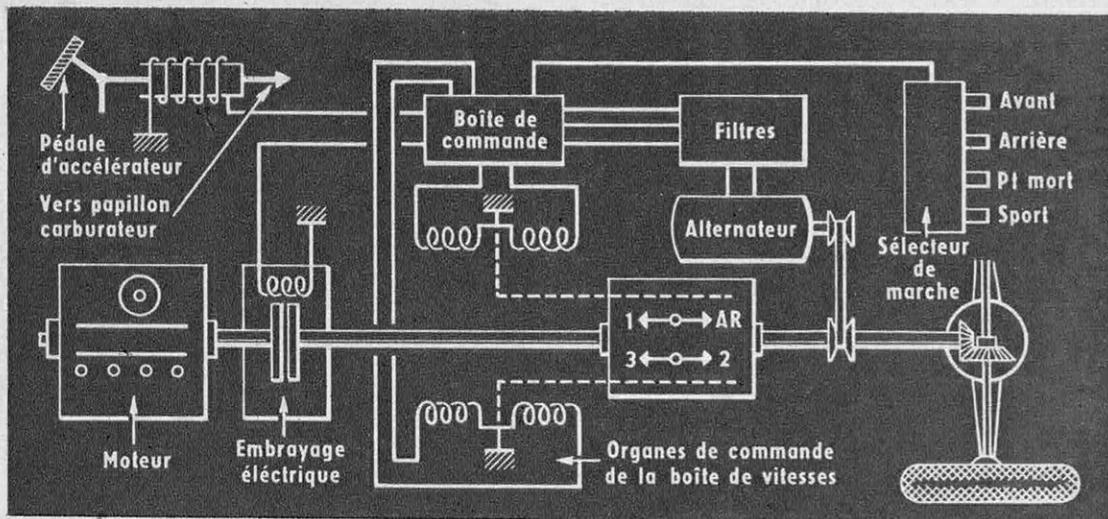
Schéma général de l'installation sur une voiture d'un alternateur avec régulateur à transistors, au lieu de la dynamo classique. Ce type de générateur présente plusieurs avantages, entre autres de livrer une puissance appréciable aux faibles régimes du moteur.

régulateurs électro-mécaniques classiques par un dispositif de régularisation à transistors, qui permet de maintenir la tension constante à 0,1 V près, et présente de nombreux avantages. Ce montage limite le courant envoyé dans la batterie et évite sa surcharge, en particulier pour la marche sur route.

## Le volant de direction peut-il disparaître ?

L'électronique permet d'aller plus loin que le simple remplacement des quelques organes que nous venons de voir et d'envisager une conduite plus ou moins automatique. C'est ce que réalise le curieux dispositif électronique « Unicontrol » proposé par la General Motors sur le Firebird III, qui joue à la fois le rôle du volant de direction et des pédales de frein et d'accélérateur.

Figurons-nous un levier de commande monté sur rotule à la manière des « manches à balai » d'avions. Pour aller vers la droite ou vers la gauche, il suffit au conducteur de déplacer latéralement le levier à droite ou à gauche, tandis que les déplacements en avant



## Changement de vitesses électronique

L'alternateur qui est relié à l'arbre de transmission produit un courant de fréquence variable suivant la vitesse de rotation des roues, ce qui détermine la mise en action, par l'intermédiaire de relais spéciaux, des organes de commande de la boîte de vitesses ainsi que de l'embrayage associé à une commande de l'accélérateur. Le bouton « sport » permet, en modifiant les réglages, une conduite sportive.

et en arrière commandent l'accélération et le freinage. Des déplacements obliques assurent des degrés divers de freinage et d'accélération, lorsque la voiture tourne. Une rotation du levier autour de son axe vertical donne la marche arrière.

Le conducteur ne fait aucun effort. Les déplacements du levier agissent sur des dispositifs électroniques qui, à leur tour, commandent les mouvements de différents organes de la voiture, en toute sécurité, évitant toute fausse manœuvre et, en particulier, le blocage des freins.

On trouve aussi sur cette voiture-laboratoire un dispositif qui maintient automatiquement la vitesse de la voiture à une valeur choisie à l'avance. Un système électronique actionne une soupape de contrôle qui agit sur l'accélérateur suivant les accidents de la route, côtes ou descentes.

### La sécurité par le guidage

Le contrôle électronique du trafic routier peut assurer la même régularité que celle des réseaux ferroviaires.

On enterrer dans le sol de la route une série de boucles de fils conducteurs dont le fonctionnement est combiné avec celui d'appareils lumineux placés le long des talus. Les boucles sont placées à des distances légèrement plus grandes que la longueur moyenne

d'une automobile; elles sont traversées par un courant alternatif d'une fréquence de 300 000 périodes à la seconde sous tension de 1 V. Lorsqu'une voiture passe sur la boucle, elle détermine dans celle-ci la production d'un signal électrique, utilisé après transformation pour mettre en marche les appareils lumineux des talus.

Chaque voiture est ainsi suivie automatiquement d'une sorte de « queue » lumineuse d'une longueur de 120 m, ou même davantage, qui constitue, le jour et surtout la nuit, un avertissement efficace pour les conducteurs des voitures suivieuses.

En cas de visibilité insuffisante, des appareils émetteurs d'ondes hertziennes peuvent être mis en marche de la même manière, et informer le conducteur sur les mouvements des voitures qui le précèdent. Sur la voiture, les récepteurs mettent en action des ampoules lumineuses d'alarme, des appareils sonores, ou même actionnent directement les freins.

Pour éviter les collisions, on peut aussi utiliser un petit radar. L'antenne projette devant elle un faisceau étroit qui se réfléchit sur les obstacles. Les signaux reçus sont envoyés à un calculateur, qui détermine si la sécurité de marche est assurée; dans le cas contraire, le conducteur est averti, ou même la voiture est stoppée automatiquement.

## **Les rails invisibles**

Dans les premiers âges de l'automobile, on avait songé à établir de véritables trains routiers; désormais, on peut envisager des dispositifs guidant automatiquement chaque voiture comme sur des rails invisibles, et l'arrêtant en cas de risque de collision.

Les techniciens de la Radio Corporation of America travaillent à cette question sous la direction de l'ingénieur Zworykin. Un câble de guidage enterré sur l'axe de la route est parcouru par des courants haute fréquence tandis que des bobinages détecteurs fixés à l'avant de la voiture encadrent ce câble de guidage. Dès que la voiture dévie à droite ou à gauche, les signaux reçus par les deux bobinages ne sont plus les mêmes, un signal d'alarme avertit le conducteur, ou bien un servo-moteur est actionné automatiquement par un calculateur électronique.

## **La commande automatique des phares**

La nuit, de nombreux accidents sont dus à des erreurs de manœuvre des phares. Ce danger devrait disparaître grâce aux appareils qui assurent le passage automatique en code lorsque le faisceau lumineux d'une voiture venant en sens inverse vient frapper une cellule photoélectrique placée à l'avant du capot. Des voitures américaines sont déjà ainsi équipées. Certaines cellules sont même sensibles à la lumière rouge des feux arrière.

Dans ce même ordre d'idée, il existe déjà sur les voitures Chrysler un appareil à cellule photoélectrique qui assure le changement de position du rétroviseur pour éviter l'éblouissement.

De jour, les miroirs rétroviseurs habituels ne permettent pas, en général, l'observation complète du champ utile. Ces appareils simples, mais imparfaits, pourraient être remplacés avantageusement par une caméra électronique montée à l'arrière de la voiture, et équipée d'un objectif grand angulaire fournit un champ de vision beaucoup plus étendu. Une image fidèle de la route derrière la voiture s'inscrirait sur un écran placé sur le tableau de bord.

## **Plus d'excès de vitesse**

L'électronique pourrait dans un avenir proche, comme nous l'avons vu, assurer la sécurité du trafic routier. Mais il existe déjà depuis une dizaine d'années des appareils de radar au service de la police de la route. 2 000 dispositifs de contrôle radar, au moins,

sont en service le long des routes américaines.

En France, des vitesses limites ont été récemment fixées, tout au moins à titre d'essai, et pendant certains jours de la semaine. Aux États-Unis, les vitesses sont constamment limitées sur la plupart des itinéraires. Pour en assurer le contrôle, les policiers disposent d'un projecteur d'ondes courtes balayant la route à la façon d'un radar. Si la vitesse limite est dépassée, la voiture délinquante est signalée par radio à un poste de barrage.

## **Au service des chemins de fer**

L'emploi généralisé des liaisons radiotéléphoniques a déjà donné des résultats probants dans plus de quarante gares de triage; des équipements de télévision industrielle assurent la surveillance des passages à niveau, et un équipement radiotéléphonique, en service sur le réseau du Nord, permet aux voyageurs de communiquer téléphoniquement d'un train avec les abonnés du réseau général des P.T.T.

Tout ceci permet de juger la grande partie prise par l'électronique dans la modernisation des chemins de fer, mais il y a beaucoup plus.

Une opération particulièrement compliquée est le triage des wagons de marchandises pour les acheminer dans les moindres délais et aux moindres frais vers leurs destinations finales. Les trains formés doivent être composés dans l'ordre inverse des stations à desservir, pour éviter toute manœuvre superflue.

La manœuvre est bien connue dans son principe. Le train à trier, dont les wagons sont détachés, est poussé lentement par des locomotives sur une voie ascendante; chaque wagon redescend par son propre poids de l'autre côté de la butte, et doit être envoyé sur la voie convenable par des aiguillages. Le problème est d'opérer ces aiguillages dans l'ordre voulu et cela au moment précis où le wagon les aborde. On utilise aux États-Unis un système électronique perfectionné. Dès qu'un train entre en gare, un employé lit au passage les indications portées sur les wagons et les enregistre sur magnétophone, en même temps qu'il les transmet à une cabine centrale d'où sont dirigées toutes les manœuvres. Sans s'arrêter, les wagons passent sur une bascule électronique qui calcule automatiquement la vitesse qu'ils prendront lorsqu'ils rouleront sur la voie descendante. Il ne reste plus au chef de mouvement que d'appuyer sur une des touches d'un tableau,



**POUR LES MANŒUVRES,** ce poste portatif de radiotéléphonie à courte distance, adopté par la S.N.C.F., remplace avantageusement les signaux à bras classiques parfois peu visibles.

un cerveau électronique déterminant la combinaison d'aiguillages nécessaire pour envoier tel ou tel wagon sur telle ou telle voie.

En France, un progrès important dans ce domaine a consisté dans la télécommande par ondes hertziennes d'une locomotive électrique de manœuvre. Ce tracteur sans conducteur se déplace suivant un programme établi à l'avance avec plus de sûreté que sous la conduite d'un mécanicien habile.

#### La sécurité par l'électronique

Les installations de sécurité constituent un champ d'application remarquable pour les procédés d'automatisme les plus modernes. Déjà, depuis assez longtemps, les postes d'aiguillage importants de la S.N.C.F. n'étaient plus mécaniques, mais électro-mécaniques, et commandaient au moyen d'un seul levier le fonctionnement d'un ensemble d'aiguilles déterminant les trajets des trains sur les voies, c'est-à-dire des «itinéraires». Il n'y avait plus à manœuvrer individuellement chaque aiguille ou signal.

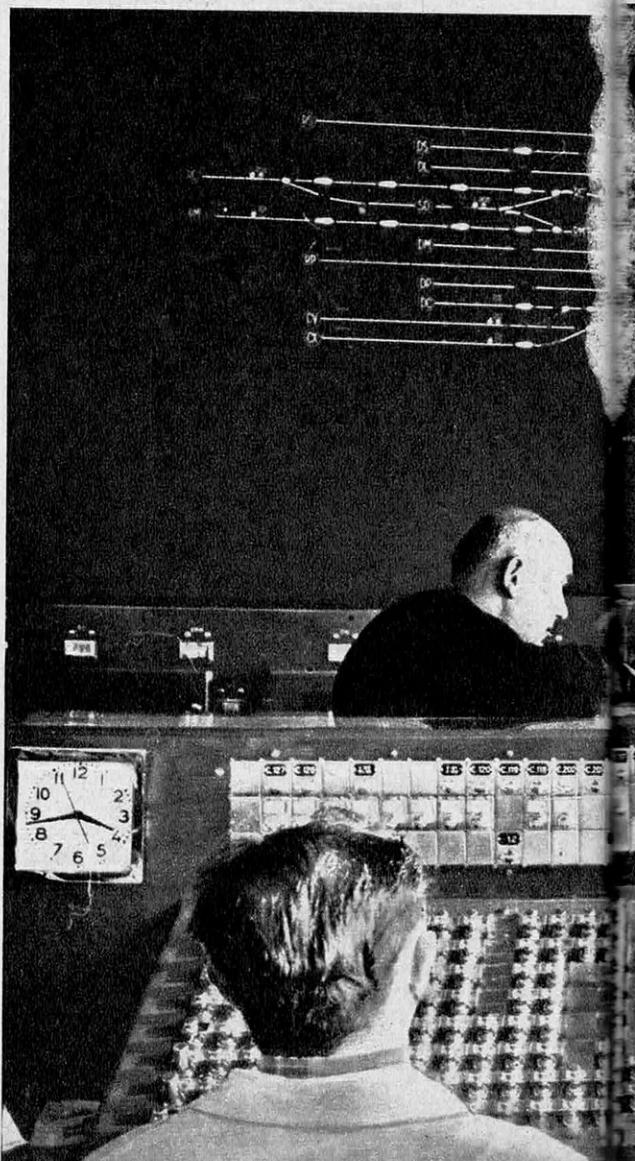
La concentration des commandes a été

obtenue en utilisant un simple bouton à la place d'un levier. Les postes de ce genre, appelés «postes tous relais» ou «presse-boutons», constituent une réalisation importante dans le domaine de la sécurité. La commande d'un itinéraire qui assure le passage d'un convoi est obtenue en appuyant ou en tirant sur le bouton suivant le sens de la marche; chaque bouton comporte sur sa platine des couleurs conventionnelles indiquant la qualité des itinéraires.

Les organes de sécurité assurent, suivant les ordres de l'aiguilleur, les commandes individuelles, la manœuvre, l'enclanchement et le contrôle des appareils de voie et des signaux.

L'élément le plus spectaculaire, sans doute,

#### Clavier à 315 boutons-pous



est constitué par le tableau lumineux qui renseigne constamment l'aiguilleur sur la circulation des trains, et reproduit le plan des voies de toute la gare.

Seuls les itinéraires effectivement commandés apparaissent sous forme de tracés lumineux; les mouvements se traduisent par un changement de couleur du blanc au rouge; une zone occupée reste éclairée en rouge même après suppression de l'itinéraire, et un bouton spécial permet à l'aiguilleur de vérifier la position d'une aiguille en provoquant l'éclairage général du tableau.

Le dernier en date des postes automatiques d'aiguillage a été mis récemment en service à la gare du Nord. Il comporte une table de commande permettant de tracer 490 itinéraires,

mettant en jeu 102 aiguilles, et 61 panneaux de signalisation lumineuse desservis par deux agents; il remplace deux anciens postes qui exigeaient 8 aiguilleurs.

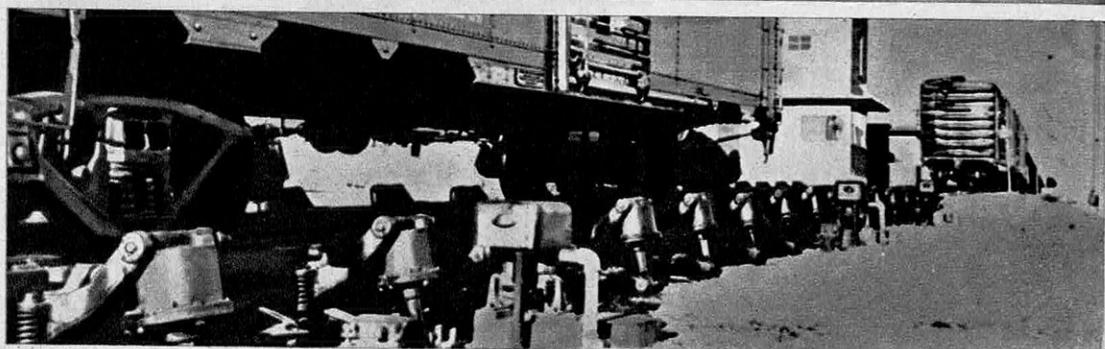
La S.N.C.F. possède maintenant 80 postes similaires, en particulier celui de Marseille-Saint-Charles comptant 475 itinéraires, qui a permis de réduire le nombre des agents spécialisés de 67 unités.

On peut aller plus loin dans l'automatisation et aboutir à de véritables commandes centralisées; il en est ainsi au bureau de Dijon où un opérateur, de son bureau, peut actionner les aiguilles et les signaux de toute une section.

L'électronique s'introduit peu à peu dans la commande des itinéraires et le contrôle à

## Les soirs du poste d'aiguillage de la gare du Nord





distance de tous les appareils, aiguilles et signaux. Cette distance n'a cessé de croître, étant donné la possibilité de transmettre simultanément sur deux fils une grande variété de commandes par impulsions codées, sans aucun trouble ou interférence.

### **La navigation maritime**

La navigation ne se conçoit plus sans l'aide du radar. Grâce aux montages électroniques récents et à l'utilisation d'écrans cathodiques panoramiques, on peut obtenir des images dont la lecture est aussi aisée que celle de simples cartes marines. L'interprétation de ces images est encore facilitée par des dispositifs qui permettent d'augmenter les pouvoirs de réflexion de certaines bouées signalant des obstacles dangereux.

On peut distinguer, en principe, deux catégories de radars maritimes; les uns, installés à bord des navires, sont des appareils « de navigation », et les autres, montés à terre, sont appelés « radars de surveillance ».

Les radars de bord comprennent une antenne qui explore l'horizon à l'aide d'un faisceau très fin, dont la portée optique varie, en général, entre 25 et 50 milles nautiques. L'image obtenue par le navigateur sur l'écran du poste de pilotage a pour centre le navire lui-même. Malgré les progrès de la technique, elle est plus ou moins facile à interpréter et nécessite un certain entraînement.

L'emploi d'éléments nouveaux, tels que les balises répondeuses, convenablement placées, permet d'identifier l'écho, de trouver les points d'atterrissement, et d'éviter certains passages dangereux. Des groupes de « cor-

## ← Triage électronique

La mise en service de ce système automatique à la gare de triage de Hamlet, aux Etats-Unis, a réduit des deux tiers le temps nécessaire à la formation des trains. La commande par boutons est associée à un « cerveau » électronique qui règle l'action des freins de voie (en bas) sur la descente de la butte.

## Passages à niveau télévisés →

A certains passages à niveau particulièrement dangereux ou mal situés, la S.N.C.F. a adopté la télévision industrielle pour que la garde-barrière puisse en surveiller les abords avant de faire une manœuvre.

nets» réflecteurs faisant apparaître des figures géométriques régulières sur l'image, donnent aussi la possibilité de reconnaître certains points particuliers, dans des chenaux par exemple, et d'améliorer l'efficacité du radar. Même par temps de brume, il est possible d'éviter les obstacles, et les collisions sont devenues heureusement peu fréquentes.

Mais le radar de bord ne peut assurer à lui seul la sécurité aux alentours des côtes, d'où l'installation des radars de surveillance.

Ces radars de surveillance, auxquels on a de plus en plus recours, permettent de surveiller les points de grand passage : toute déviation du trajet d'un navire pouvant déterminer un danger est détectée et signalée aux navigateurs.

Les radars de ports ont un autre rôle : les opérateurs locaux connaissent les dangers et les difficultés d'accès des lieux et peuvent utilement guider les navigateurs lors des atterrissages ou lors de la rencontre avec un bateau pilote à l'entrée ou à la sortie des chenaux.

Les services des ports peuvent aussi contrôler en permanence la position des navires, les systèmes de balisage, localiser les accidents, surveiller les bateaux-pilotes, les bateaux-feux et les dragueurs.

On a même réalisé la retransmission des images portuaires aux navires par télévision, ce qui existe pour le port du Havre.

### Le sondage sous-marin

La sécurité de la navigation exige aussi que l'on soit renseigné sur les obstacles sous-marins : récifs, bancs de sable, épaves, sinon des sous-marins même en temps de paix. On sait, par ailleurs, que certains icebergs ont une masse sous-marine beaucoup plus importante et plus dangereuse que leur partie émergée. D'autre part, la connaissance exacte de la profondeur des mers est très importante



pour la navigation et la pêche, études océanographiques mises à part. Pour cela on utilise des sondeurs ultrasonores à écho, dont les premiers modèles ont été utilisés pour la première fois pendant la guerre de 1914-1918 pour la détection des sous-marins, grâce aux études des savants français Langevin et Chilowski. C'est sur leur principe qu'ont été mis au point pendant la dernière guerre l'« Asdic » et le « Sonar » qui ont rendu de grands services. La portée maximum des sondeurs ultrasonores est couramment de plusieurs kilomètres; la portée minimum est de l'ordre de 1 m, et peut même s'abaisser davantage. Tous les navires de quelque importance sont désormais équipés avec des sondeurs de ce genre.

### La navigation aérienne

Les radars, qu'ils soient de bord ou de surveillance au sol, permettent d'assurer la sécurité de la navigation aérienne comme celle de la navigation maritime, mais il a fallu

# L'avion moderne, véritable laboratoire

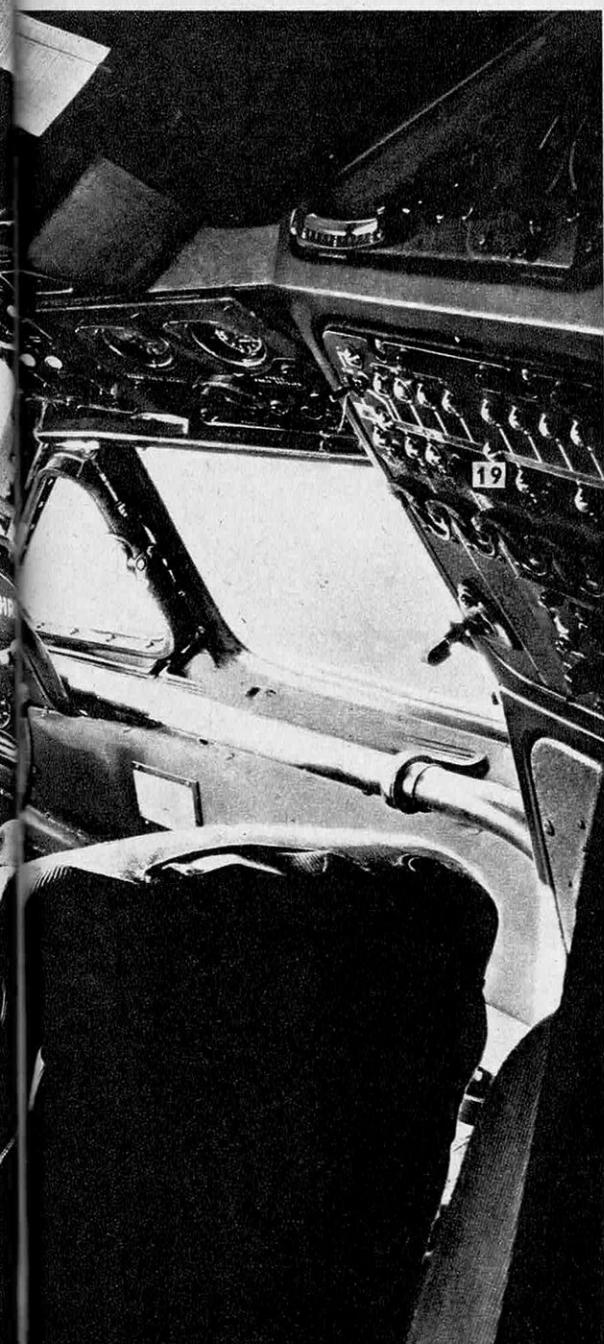
Ce tableau de bord d'une des premières Caravelle permet de se rendre compte de la complexité de l'équipement électronique d'un avion moderne. Mais on ne voit ici que les commandes, la plupart des appareils émetteurs, récepteurs ou calculateurs se trouvant dans des compartiments spéciaux. D'après leur nombre, on comprend l'intérêt de la transistorisation qui permet de gagner de la place, du poids, de consommer moins de

courant et, dégageant moins de chaleur, d'avoir moins à se soucier de la ventilation. Parmi les organes essentiels à la navigation, à côté des anémomètres (1), horizons (2), variomètres (3), altimètres (7) et indicateurs de virage (8), nous trouvons : le contrôleur de vol, véritable calculateur électronique qui groupe les cadrans 4, 5 et 6, 5 donnant entre autres les indications du radio compas; le gyrocompas (9) qui permet de remplacer la



# électronique volant

boussole dans les vols arctiques; le pilote automatique (10), autre calculateur électronique. En haut ce sont les commandes du radar de vol (11), celles de deux radiocompas (13 et 17), celles des liaisons radio VHF 1 (12), VHF 2 (16), HF (15), enfin celles des deux systèmes de navigation VOR 1 et 2 (14). En 18 nous avons les haut-parleurs de cabine; en 19 le tableau de génération électrique. Les cadrans du centre ont rapport aux réacteurs.



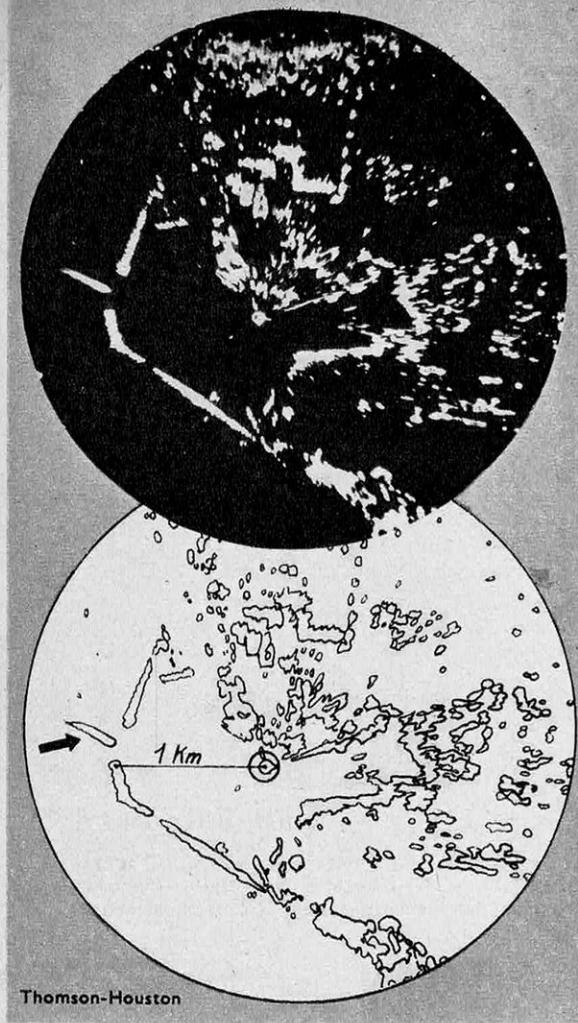
Radar de bord

Sur les appareils commerciaux, comme ce Super-Constellation d'Air France, le radar de bord permet de déceler les formations orageuses et de les éviter.



Traceur de route

Sur un avion de l'Aéropostale, le traceur de route Decca donne graphiquement la position de l'appareil, évitant le report des observations sur une carte.



## Le télé-radar de port

Ce radar, installé sur le sémaphore du Havre, permet la surveillance des allées et venues de ce grand port, mais donne en outre aux grands paquebots la possibilité de s'y voir évoluer. A cet effet, une caméra de télévision reprend l'image de l'écran radar et l'envoie aux navires qui peuvent ainsi se situer par rapport aux obstacles. A gauche, le paquebot United States se voit franchir les jetées.

faire plus. Il a fallu établir une signalisation aérienne analogue à la signalisation ferroviaire. Elle consiste en ondes de guidage généralement hertziennes, émises à partir du sol, qui donnent au pilote toutes les indications utiles, même lorsque la visibilité est nulle ou insuffisante.

Par visibilité normale, un vol s'effectue à vue, à l'aide du compas et de la montre, mais aussi beaucoup plus généralement avec des dispositifs de radionavigation, radiogoniomètres, radiophares, et radars de bord combinés avec des dispositifs de radio-atterrissement.

Toutes les routes aériennes sont balisées régulièrement par des stations à très hautes fréquences.

Les systèmes de guidage par radiophares sont établis suivant plusieurs procédés, tels que le Loran (Long Range Navigation), c'est-à-dire navigation à grande distance), le Decca et le Consol. Le radar donnant une image de la zone survolée complète le système.

## Le radio-atterrissage

La phase la plus délicate et la plus dangereuse du vol est sans doute l'atterrissement, d'où la nécessité d'appareils spécialisés destinés à guider l'avion dès que la visibilité n'est pas parfaite. Ils font apparaître le mouvement de l'appareil par rapport à la ligne médiane de la piste et la ligne idéale de descente. Les données sont fournies, suivant le procédé employé, soit au pilote qui fait lui-même les corrections, soit à un opérateur au sol qui signale au pilote, par liaison radio-phonique, les corrections à faire.

Le plus répandu des dispositifs de radio-atterrissage est du second type avec le G.C.A. (Ground Controlled Approach). Son avantage est de permettre l'approche et l'atterrissement sans visibilité de tout avion équipé avec un poste radiorécepteur téléphonique.

Sur l'aérodrome même on trouve un radar d'exploration à grande portée, mais à faible pouvoir séparateur, destiné à faire connaître

## Sondeur ultrasonore →

Ici le sondeur ultrasonore, dont on distingue la bande d'enregistrement, est monté sur une unité de pêche. Son but particulier est la détection des bancs de poissons que les ultrasons vont révéler en se réfléchissant sur eux comme sur tout obstacle.

à l'observateur terrestre tous les avions qui doivent atterrir, mais sans indiquer exactement leur position. Cet appareil est complété par un radar de précision, dont la portée correspond à la zone d'attente de l'avion qui doit atterrir. Le pilote est ainsi guidé avec une précision de 2 m en distance, 6 m en altitude et 15 m en azimuth. C'est alors qu'intervient éventuellement le G.C.A.

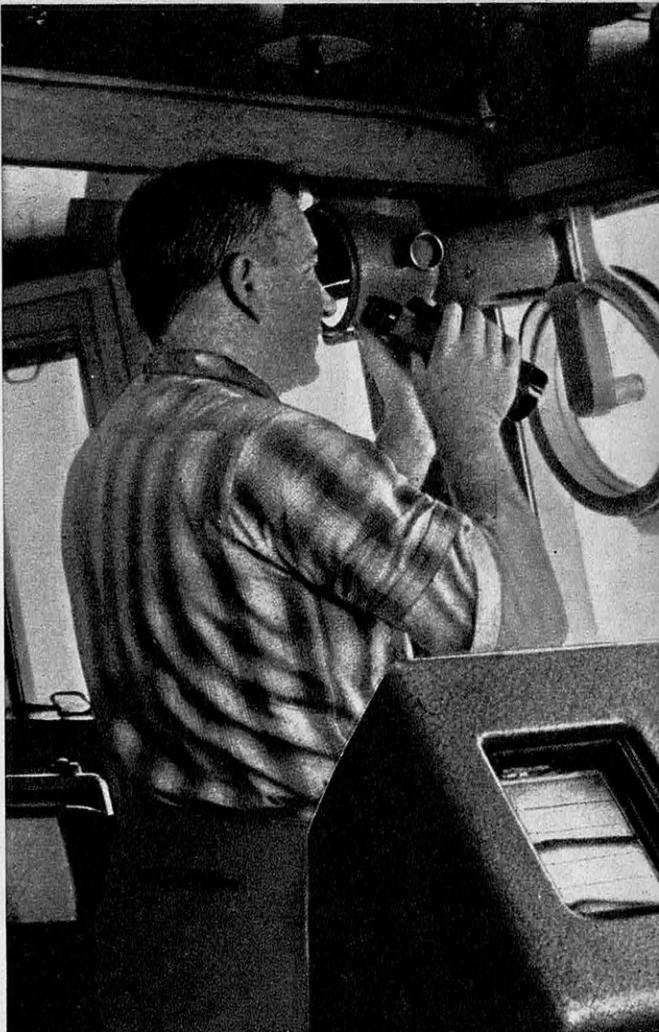
### Les transistors et l'aviation

A bord des avions modernes, véritables laboratoires volants où les appareils électriques se multiplient, il est indispensable de n'admettre que des équipements aussi réduits et aussi légers que possible, d'où l'intérêt des matériels « miniaturisés » et « transistorisés ». Les éléments à semi-conducteurs ont en outre la propriété intéressante de dissiper peu de chaleur, de sorte que l'on peut simplifier les installations en évitant de les fractionner en ensembles logés à une certaine distance les uns des autres.

Ainsi en est-il, par exemple, des « radio-compas » qui permettent aux pilotes de déterminer facilement la position de l'avion, en mesurant l'angle que fait l'axe de l'appareil avec la direction de postes émetteurs placés au sol, et qui sont actuellement transistorisés dans leur récente version.

Il en va de même du *radio-altimètre* qui permet de connaître la hauteur réelle de l'avion au-dessus du sol, quelles que soient les conditions météorologiques. Cet appareil envoie vers le sol une onde électromagnétique qui s'y réfléchit et revient vers l'avion. Un dispositif mesure le temps mis par l'onde pour aller et revenir et en déduit l'altitude cherchée. Les appareils les plus récents signalent la hauteur d'alerte.

Dès à présent, le calculateur électronique peut donner immédiatement au pilote, sans que celui-ci ait à consulter de nombreux cadrons et à effectuer de calcul, les indications indispensables pour assurer le pilotage, telles que la vitesse réelle, l'altitude, le cap suivi, etc. Il peut aussi remplacer entièrement le pilote; il reçoit alors constamment, sous forme de signaux, les informations qui lui parviennent des instruments de mesure élec-

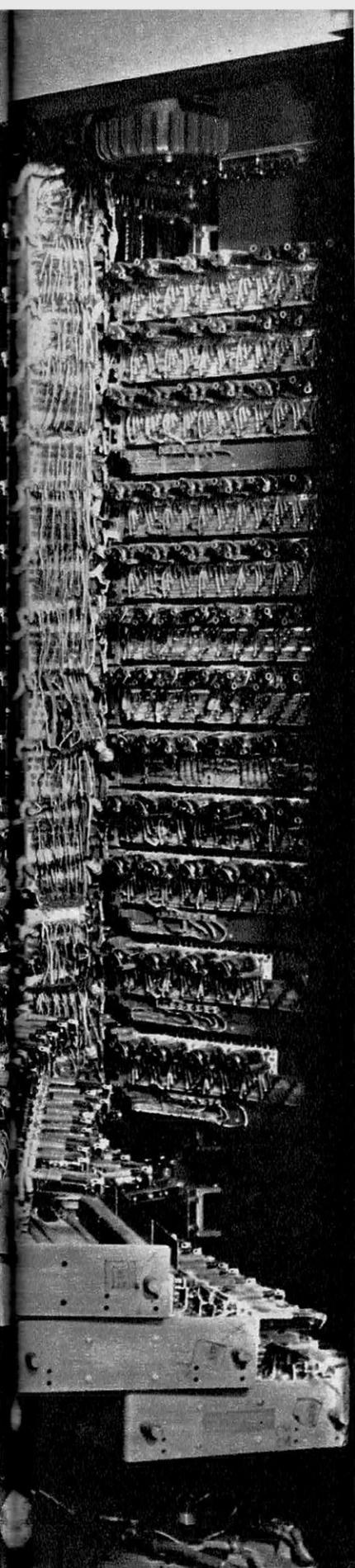


troniques ou électroniques et, d'après eux, il détermine immédiatement les manœuvres à effectuer pour conserver une ligne de vol dans une direction, à une vitesse et à une altitude données. De nouveaux signaux sont transmis à des relais qui commandent les organes correspondants.

Le « programme » ayant été tracé à l'avance par le pilote, le rôle de ce dernier se trouve ainsi réduit au minimum. C'est là le résultat général vers lequel on semble se diriger à échéance plus ou moins lointaine, aussi bien dans la circulation automobile que dans les chemins de fer, la navigation maritime ou aérienne. Les machines, une fois placées sur la route, sur la voie, une fois sorties du port ou de l'aérodrome, pourront se guider automatiquement vers leur destination sans intervention d'un conducteur humain, qui demeurera cependant nécessaire pour jouer le rôle d'observateur et de contrôleur, en cas de défaillance du matériel.

P. HEMARDINQUER

# MACHINES A TRAITER L'INFORMATION



# Machines ultra-rapides auxquelles on a appris à calculer et raisonner

**I**l n'y a guère plus d'une quinzaine d'années que sont apparues pour la première fois dans la presse ces expressions surprenantes : « cerveaux électroniques », « machines qui pensent ».

Depuis lors, l'usage a quelque peu atténué l'anthropomorphisme outrancier de ces métaphores. Le mieux serait qu'elles disparaissent complètement et avec elles les dangereuses confusions qu'elles provoquent. Mais les spécialistes ne savent pas s'il faut les appeler calculateurs ou calculatrices électroniques. Pourquoi d'ailleurs vouloir garder la racine « calcul », quand le calcul n'est que l'une des nombreuses fonctions dont sont capables ces machines ? On a lancé récemment le nom « ordinateur » dont la fortune n'est pas universelle. Préférant à des termes trop neufs, inexacts ou désuets, une locution plus précise, la presse spécialisée emploie couramment des deux côtés de l'Atlantique l'expression « machine à traiter l'information » qui possède, à défaut d'élégance, le mérite de la rigueur.

Traiter l'information ? En quoi consiste ce traitement ? Quel est le produit fini ? Que fait l'électronique en cette affaire ?

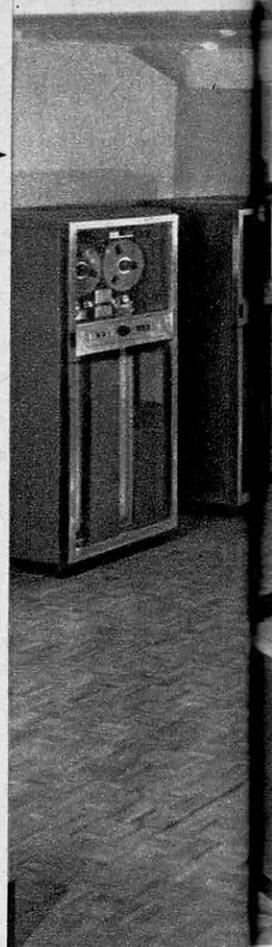
Et d'abord, que faut-il entendre par information ?

Pour nous, c'est le contenu des mots, des phrases, des nombres. Le théoricien dit qu'un message contient une certaine quantité d'information, et il l'évalue en la rattachant à une notion relative de la thermodynamique :

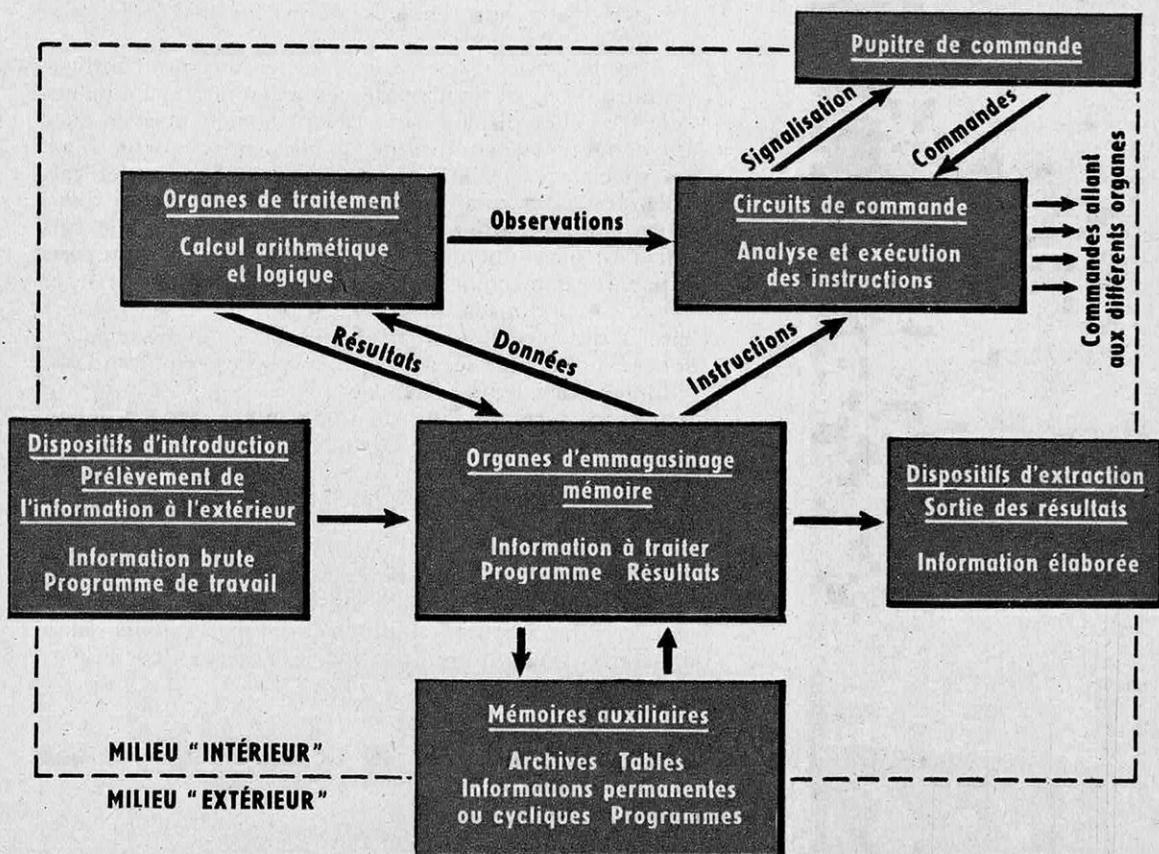
l'entropie. Nous ne le suivrons pas, et nous nous contenterons de l'intuition que nous pouvons en avoir. Un exemple va nous montrer comment un traitement approprié permet d'élaborer de nouvelles informations à partir d'informations brutes.

Prenons le cas du recensement : les renseignements fournis de façon anonyme par chaque individu sur lui-même sont consignés sur une fiche. L'ensemble des fiches réunies par les enquêteurs contient l'information brute. Sous cette forme, que peut-on tirer ? Sans moyens de traitement, rien. On pourra seulement reprendre au hasard telle ou telle fiche, apprenant ainsi qu'il existe à Paris un dessinateur de trente ans qui a trois enfants, ou à Nîmes un architecte célibataire de quarante ans. Nous n'avons que faire de ces renseignements. Mais si on classe ces fiches, si on les trie selon des critères définis : l'âge, la profession, la résidence..., si on les compte par catégories, si on fait des statistiques en un mot, on obtiendra la répartition de la population en population rurale ou urbaine, active ou super-active, et bien d'autres renseignements démographiques sur lesquels se pencheront avec intérêt les économistes. Ainsi le traitement d'informations brutes (les fiches individuelles) donne comme produit fini d'autres informations. Mais ce n'est pas tout :

**Ordinateur IBM 705** en service au siège du Crédit Industriel et Commercial à Paris. Au centre, le pupitre de commande. A l'arrière-plan, 10 mémoires à ruban magnétique. A droite, une partie de l'unité centrale arithmétique et logique est suivie d'un lecteur de cartes perforées, d'une autre mémoire à ruban et d'une unité de contrôle.



**Le traitement de l'information** dans une machine numérique suit ce schéma fonctionnel. Le pointillé sépare les milieux « intérieur » et « extérieur ». Certaines mémoires ont un support amovible (ruban magnétique, par exemple) et offrent une possibilité de communication supplémentaire entre les deux milieux,





ces résultats vont servir à leur tour de données de base aux industriels, aux commerçants. En confrontant les statistiques démographiques et leurs statistiques de vente, appliquant les méthodes scientifiques de la « recherche opérationnelle », le commerçant, l'industriel, vont déterminer dans quel sens et de quelle façon il est opportun de modifier les caractéristiques de leurs produits, leurs réseaux de distribution, pour étendre leur marché.

Tour à tour matière première, produit brut, produit fini, l'information arrive grâce à des traitements successifs à des formes de plus en plus élaborées, concentrées et, si l'on peut dire, efficaces.

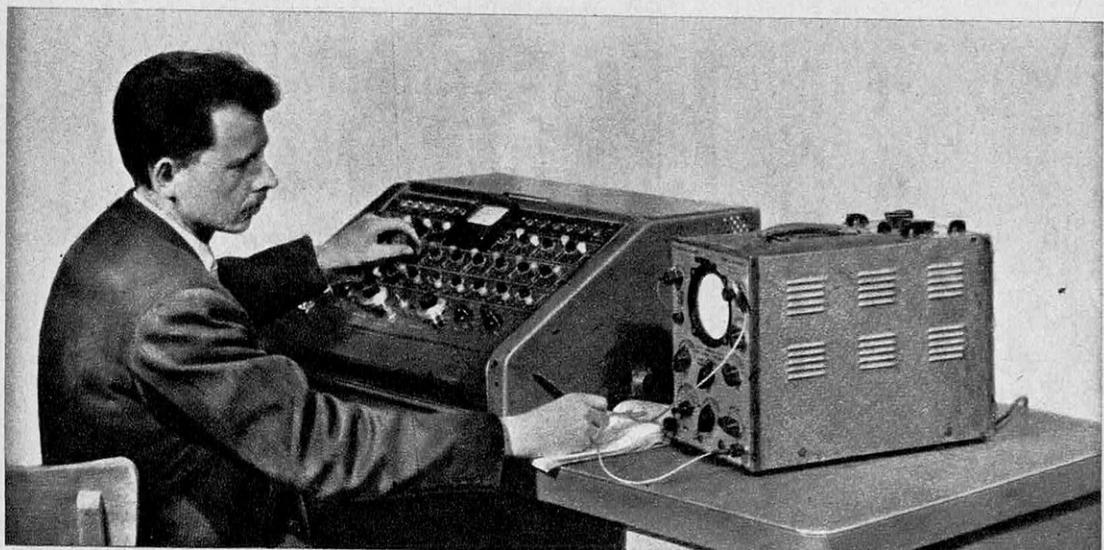
Un autre exemple, la comptabilité, fait apparaître un aspect cyclique de l'information. Prenons le cas d'une « comptabilité matière »; l'information de base se compose d'une part de l'ancien état des stocks, et d'autre part de tous les mouvements journaliers : sorties de pièces, retours, livraisons des fournisseurs. La comptabilité fournit comme résultat, d'une part les bons de réapprovisionnement, les ordres de relance des fournisseurs, d'autre part le nouvel état des stocks qui servira de base le lendemain, et ainsi de suite.

### Une véritable usine

Déjà, sur ces bases, nous pouvons imaginer le « schéma fonctionnel » d'une machine à traiter l'information. Dans un ordre logique nous y trouverons :

- des dispositifs d'introduction de l'information;
- des dispositifs de stockage;
- des circuits de traitement;
- des dispositifs de sortie ou d'extraction des résultats.

Les dispositifs d'introduction peuvent être très variés; la carte perforée, la bande perforée sont les plus anciens; la bande magnétique, le papier imprimé à l'encre magnétique sont plus récents; et l'on cherche aujourd'hui à perfectionner et à simplifier des dispositifs permettant la lecture directe des caractères imprimés, et même manuscrits ! Le rôle de tous ces organes est de transmettre à la machine, dans son propre code, chaque lettre, chaque chiffre prélevé à l'extérieur. On « entre » ainsi dans la machine les données nouvelles, l'information brute, et aussi le programme de travail correspondant au traitement désiré.



**Calculateur analogique répétitif de la SEA.** D'un encombrement très réduit et d'une faible consommation, grâce à son équipement de transistors, il permet de résoudre un grand nombre de problèmes scientifiques, techniques et autres, dont les solutions sont observées sur un oscilloscopie à tube rémanent.

L'information introduite doit être emmagasinée dans le « milieu intérieur » de la machine pour rester disponible pendant toute la durée du traitement. Cette fonction est dévolue à des dispositifs que l'on appelle improprement « mémoires ». Mais le terme fait image et nous le garderons. La position privilégiée de cette mémoire dans le schéma fonctionnel lui vaut généralement d'être qualifiée de « centrale ».

Il arrive assez souvent que la capacité de stockage de la mémoire centrale soit insuffi-

NOMBRES DÉCIMAUX	NOMBRES BINAIRES ÉQUIVALENTS
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1 000
9	1 001
10	1 010
11	1 011
12	1 100
16	10 000
32	100 000
100	1 100 100
1 000	1 111 101 000

Un même nombre exige environ trois fois plus de chiffres en système binaire qu'en système décimal, mais on emploie seulement des 1 et des 0.

sante. Elle est alors complétée par des mémoires de plus grande capacité, mais ayant un temps d'accès plus long, dans lesquelles on enregistre les informations permanentes (tables, barèmes) ou cycliques.

Les circuits de calcul, ou opérateurs, sont ceux où s'exécute véritablement le traitement de l'information. Ils sont généralement capables d'exécuter les quatre opérations arithmétiques, des comparaisons entre des nombres ou des libellés alphabétiques, et un certain nombre d'opérations logiques. Ils prélevent dans la mémoire centrale les données sur lesquelles ils travaillent et y renvoient les résultats.

Les dispositifs de sortie ou d'extraction produisent à l'extérieur les informations élaborées par le traitement et qu'ils prennent dans la mémoire centrale. On trouve là des machines imprimantes, des perforateurs de cartes ou de bande, des traceurs de courbes automatiques, etc.

Enfin, des circuits de commande et d'interprétation du programme prélevent les unes après les autres les « instructions » qui ont été enregistrées dans la mémoire centrale et les font exécuter en envoyant aux différents organes ou dispositifs de la machine des signaux de commande appropriés. Ces circuits reçoivent en outre des circuits opérateurs des informations qualitatives telles que le signe des nombres, les résultats de comparaisons... qui peuvent modifier le déroulement du programme. Ils sont par ailleurs en relation

constante avec le pupitre de commande d'où l'on dirige et contrôle le fonctionnement de la machine.

Tel est, dans ses grandes lignes, le schéma fonctionnel que l'on retrouve à quelques variantes près dans toutes les machines modernes. Nous avons opposé le milieu extérieur au milieu intérieur constitué par les circuits propres de la machine; la distinction est assez intuitive. Bien des différences existent entre les deux, à commencer par la représentation de l'information. Comment y sont représentés les nombres et l'alphabet?

### Deux grandes classes de machines

Quand il s'agit d'informations purement numériques, on peut songer à représenter les grandeurs (les nombres) apparaissant dans le calcul par des grandeurs analogues (tensions, courants, rotations...) variant de la même façon; les machines fonctionnant sur ce principe sont dites *analogiques*.

Nous nous bornerons à mentionner ici ce premier type de machines, sans entrer dans leur description. Ce n'est pas qu'il s'agisse de décider de leur infériorité intrinsèque par rapport aux machines de l'autre type, car il est des domaines où elles sont irremplaçables. Mais un calculateur analogique est en général construit en vue d'une classe d'applications déterminée et clairement limitée. Au contraire, les machines dites « numériques » peuvent traiter des problèmes extrêmement divers et il ne fait pas de doute qu'actuellement, ce sont elles qui semblent ouvrir la voie aux développements les plus audacieux, ce qui justifie la place que nous leur consacrons.

Dès que le volume des informations numériques augmente dans de grandes proportions, dès qu'on s'intéresse à des informations alphabétiques ou que l'on exige une précision accrue, les machines dites *numériques* s'imposent. Dans cette catégorie de machines, chaque caractère conserve son individualité; il est représenté par un code, ou combinaison de symboles plus simples. Tout le monde

<b>215 s'écrit</b>	<b>Binaire pur:</b> -----11010111 <b>Décimal codé:</b> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>0010</td> <td>0001</td> <td>0101</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Centaines</td> <td>Dizaine</td> <td>Unités</td> </tr> </table>			0010	0001	0101	2	1	5	Centaines	Dizaine	Unités
0010	0001	0101										
2	1	5										
Centaines	Dizaine	Unités										

Deux façons de « coder » un même nombre.

connaît, au moins de réputation, l'alphabet Morse dans lequel lettres et chiffres sont figurés par des combinaisons de traits et de points. Les machines qui nous intéressent utilisent des phénomènes ne présentant généralement que deux états stables définis. Par exemple, un contact est ouvert ou fermé, un courant passe ou ne passe pas, une matière magnétique est aimantée dans un sens ou dans l'autre. Il fallait donc chercher un mode d'expression par tout ou rien. Les machines arithmétiques ne connaissent que deux chiffres : le zéro (rien) et le un (tout), et elles ont tout d'abord travaillé en *numération binaire*.

### Une numération millénaire

C'est assurément la plus simple qui se puisse imaginer. Dans la numération décimale, qui est la nôtre, quand nous avons compté jusqu'à neuf, nous énonçons ensuite une « dizaine », c'est-à-dire une unité de l'ordre suivant. De même, en binaire, nous écrivons : 1 pour un, 10 pour deux (une paire, une unité de l'ordre suivant), 11 pour trois (une paire et une unité), 100 pour quatre (une paire de paires, comme cent est une dizaine de dizaines), 101 pour cinq (une paire de paires et une unité), etc. Evidemment, l'énoncé des nombres binaires présente des difficultés de vocabulaire, mais elles n'arrêtent pas les machines.

Certaines calculent en numération binaire pure, c'est-à-dire que les nombres décimaux sont à leur introduction intégralement convertis en nombres binaires; et l'opération symétrique a lieu à la sortie. Mais pour des travaux comptables, ou des applications nécessitant le traitement de libellés alphabétiques, on préfère coder individuellement chaque caractère; par exemple, les chiffres de 0 à 9 seront représentés isolément par les combinaisons : 0000, 0001, 0010, ... 1001, et les lettres par les combinaisons 100001, 100010, 100011, 100100, ...

Comment l'adoption du système binaire, comment l'emploi des codes permettent-ils à la machine de calculer ?

#### TABLE D'ADDITION

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 10 \text{ report}$$

#### TABLE DE MULTIPLICATION

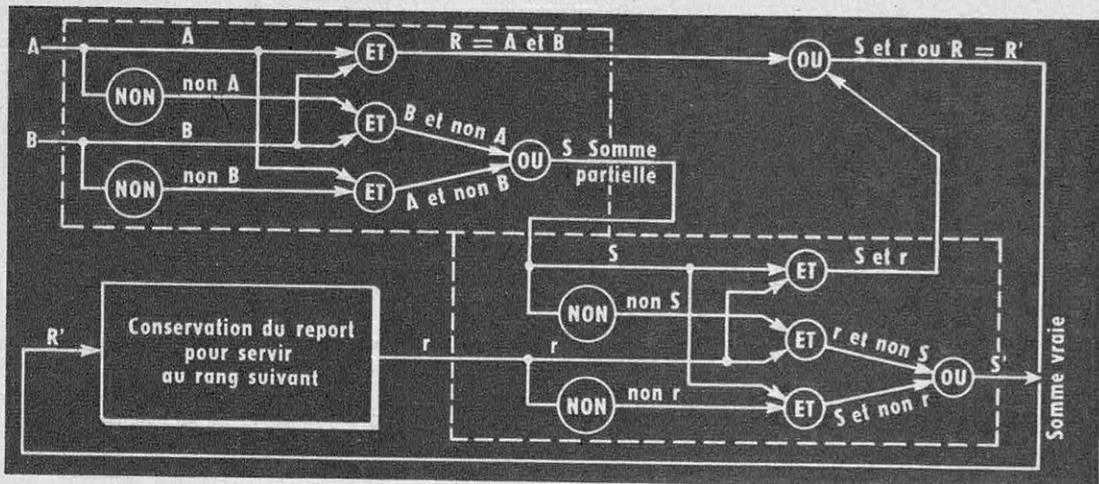
$$0 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

La simplicité de la numération binaire éclate ici à l'évidence. De quoi faire rêver tous les écoliers.



**L'addition de deux chiffres binaires**, opération arithmétique la plus simple, apparaît ici décomposée en fonctions logiques élémentaires : NON, ET, OU. Les deux rectangles en pointillé entourent deux groupements qui présentent exactement la même structure logique. Chacun d'eux constitue ce qu'on appelle un demi-additeur. La somme vraie apparaît et le report est mis en réserve pour servir au rang suivant.

### L'addition ? Un problème de logique !

Prenons le cas de l'addition. Il y a si longtemps que nous savons la faire qu'elle nous paraît une opération simple. Ce n'est qu'une illusion : l'addition se décompose en plusieurs « opérations logiques » élémentaires qui s'expriment par les mots : NON, ET, OU. L'opération NON associe à une expression son contraire. L'opération ET associe à deux expressions une troisième qui n'est vraie que si les deux premières le sont simultanément. L'opération OU associe à deux expressions une troisième qui est vraie pourvu que l'une au moins des deux autres soit vraie.

Considérons la table d'addition binaire et deux termes à additionner, A et B. Nous dirons que l'on a « A » si A vaut 1 et « non A » si A vaut zéro, et de même pour les autres lettres. La table d'addition nous apprend :

- On a la somme « S » si l'on a : « A » ET « NON B », ou « NON A » ET « B ».
- On a le report « R » si l'on a : « A » ET « B » simultanément.

Mais cette somme n'est qu'une somme partielle, et le report n'est qu'un report partiel. Il faut ajouter le report qui peut provenir du rang précédent, donc recommencer une addition :

- On a la somme vraie « S' » si l'on a : « S » ET « NON r » OU « NON S » et « r ».
- On a le report « R » si l'on a : « S » ET « r » ou « R ».

La figure ci-dessus donne le « schéma logique » d'un additionneur binaire complet

conforme à la théorie que nous venons d'en faire. Si l'on suppose maintenant que l'on envoie toutes les microsecondes à la place de A et B les chiffres successifs, zéros ou uns, de deux nombres binaires, on obtiendra en S', toutes les microsecondes, les chiffres successifs de leur somme.

Que le lecteur veuille bien nous pardonner l'aridité de ces raisonnements ; mais il nous a paru nécessaire de montrer avec un exemple comment les opérations demandées aux machines peuvent être analysées, réduites, décomposées en opérations logiques élémentaires.

La soustraction possède un schéma logique très voisin de celui de l'addition. La multiplication est une opération plus complexe, mais se ramène au fond à effectuer un très grand nombre d'additions.

Résumons-nous. Ce que l'on appelle « traitement de l'information » se ramène à des opérations simples : les opérations arithmétiques, addition, soustraction, multiplication, division ; des opérations de comparaisons ; des transmissions d'information d'un point à un autre d'une machine ; et c'est tout.

Ces opérations simples se ramènent elles-mêmes à des fonctions logiques élémentaires : ET, NON, OU. Les logiciens démontrent que ces trois fonctions sont suffisantes pour décomposer les raisonnements les plus compliqués. (On peut même se contenter de la fonction NON et de l'une des deux autres, mais le raisonnement prend alors un tour plus « alambiqué ».)

Maintenant seulement nous pouvons nous

tourner vers l'électronique et lui demander quels outils elle met à notre disposition pour faire de la logique.

### Avant l'électronique: l'électromécanique

Le premier constituant sur lequel nous porterons notre attention n'a que des rapports lointains avec l'électronique, mais son examen est fort instructif car c'est un outil complet : c'est tout simplement le relais électromécanique.

Son principe est bien connu : un électroaimant attire, lorsqu'il est parcouru par un courant, une palette mobile qui actionne des contacts. Grâce à ce dispositif, un signal de peu d'énergie peut commander le passage d'un courant beaucoup plus intense. Un relais peut actionner deux sortes de contacts : il y a les contacts qui ne se ferment que lorsque le relais est excité; on les appelle contacts « travail »; il y a les contacts qui sont fermés lorsque le relais n'est pas excité, mais qui s'ouvrent dès qu'il est excité; on les appelle contacts « repos ». Or cette deuxième catégorie de contacts réalise la fonction logique NON. Si on excite la bobine d'un relais par un signal A, un contact repos laissera passer un courant tant que l'on n'aura pas A, et ne laissera plus rien passer dans le cas contraire. C'est bien la fonction « NON A ». Poursuivons : mettons en série, l'un derrière l'autre, les contacts travail de deux relais excités l'un par A l'autre par B. Le courant ne peut passer à travers les contacts que si A et B sont présents à la fois. C'est ainsi que nous avons réalisé la fonction « ET ». Mettons maintenant les deux contacts travail en parallèle, l'un à côté de l'autre. Le cou-

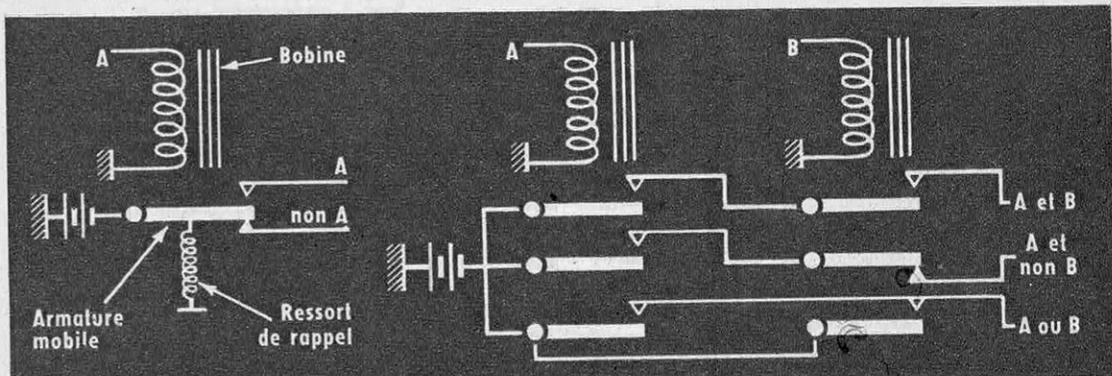
	<u>A LA MAIN</u>	<u>PAR LA MACHINE</u>
357		357 --- 1 fois
$\times 243$	+ 357 --- 2 fois	+ 357 --- 3 fois
1071	+ 3570 --- 1 fois	+ 3570 --- 2 fois
1428	+ 3570 --- 3 fois	+ 3570 --- 4 fois
714	décalage + 35700 --1 fois	+ 35700 --2 fois
86751	= 86750 -- 243 fois	

La multiplication est ramenée ici à une série d'additions. Les machines les plus rapides opèrent parfois différemment; certaines utilisent même la table de Pythagore, avec des circuits complexes.

rant passera pourvu que A ou B soit présent.

Le courant qui traverse les contacts ou les combinaisons de contacts des relais « fait donc de la logique » ! Il peut à son tour aller exciter les bobines d'autres relais, ce qui permet de combiner entre elles les fonctions logiques; on peut même commander le courant excitant la bobine d'un relais par les propres contacts de ce relais : on obtient ainsi, avec un branchement correct, un circuit à maintien possédant une propriété très intéressante : c'est qu'il « se souvient »; il reste dans l'état où on l'a mis jusqu'à ce qu'on décide le contraire; il conserve une information élémentaire; il constitue ce que les logiciens appellent « une mémoire unitaire ». On dira, par exemple, qu'il conserve un 1 s'il est excité et un 0 s'il ne l'est pas.

C'est la raison pour laquelle il est possible de construire des machines uniquement avec des relais, sans autres servitudes que les ali-



Le relais électromagnétique peut assurer les fonctions logiques. A gauche, la fonction NON à l'aide d'un contact « repos ». A droite, chacun des relais excités par A ou B actionne les contacts placés sous lui. On voit comment des combinaisons appropriées de contacts peuvent réaliser des fonctions logiques diverses.

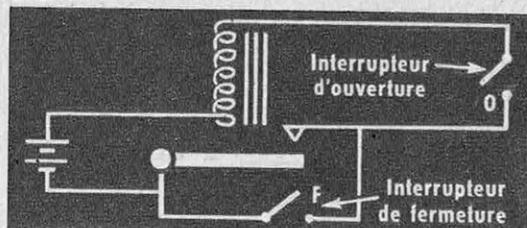
mentations en courant et les dispositifs d'introduction ou d'extraction. C'est une technique de construction sûre, économique, bien au point. On fabrique aujourd'hui des relais de types très divers, adaptés à toutes les fonctions que l'on peut leur confier; on en fait qui fonctionnent en une milliseconde et même moins, c'est-à-dire qu'il faut à peine une milliseconde à la palette pour passer de la position travail à la position repos ou vice versa. Malgré tout, ces performances ne permettent pas des vitesses de calcul très élevées; aussi cette technique reste-t-elle limitée aux machines de petite taille qui ne sont pas les moins nombreuses ni les moins utiles.

Mais aucun frein ne pouvait retenir l'imagination des utilisateurs, et le volume des problèmes posés a très vite dépassé les possibilités de l'électromécanique. Très vite il a fallu se tourner vers l'électronique qui mettait à la disposition des créateurs de machines une technique éprouvée : les tubes.

### Où l'électronique apparaît pour de bon

Dès 1945 fonctionnait aux U.S.A. une machine entièrement équipée de tubes : l'ENIAC, qui n'en comptait pas moins de 18 000. Comme le relais, le tube à vide est un outil logique complet. Un tel tube est, on le sait, essentiellement constitué d'une « anode » (positive) par où arrive le courant, d'une « cathode » par où il repart, et d'une ou plusieurs « grilles » qui en commandent le débit. On sait aussi que, dans un tel tube, le courant ne passe pas lorsque la grille de commande est négative, tandis qu'il passe, et même est amplifié, lorsqu'elle est positive. La fonction logique dont la réalisation est la plus immédiate est la fonction « ET ». Supposons en effet que l'on ait placé dans un tube deux grilles de commande : le courant ne pourra passer de l'anode à la cathode que si les grilles sont positives l'une ET l'autre. Prenons maintenant un tube à une seule grille, une triode, et insérons une résistance dans la connexion d'anode; si le potentiel de la grille est négatif, aucun courant ne traverse le tube, et l'anode est à un potentiel élevé; au contraire, si le potentiel de la grille est élevé, un courant traverse le tube et produit dans la résistance une chute de tension qui abaisse le potentiel de l'anode; les signaux apparaissant sur la grille et sur l'anode sont bien le contraire l'un de l'autre; on a réalisé ainsi la fonction « NON ». Mettons enfin deux triodes en parallèle comme sur la figure page 117, et nous avons la fonction « OU ».

Pour que le parallèle avec les relais soit



**Une mémoire à relais.** O étant fermé, la palette se soulève quand F se ferme; et reste, même F rouvert, jusqu'à ce que O coupe le courant. Les deux états du circuit peuvent représenter 0 et 1.

complet, il faut encore trouver l'équivalent du circuit à maintien, du circuit « mémoire ». Or un tel circuit est connu depuis longtemps. Prenons deux triodes et relions en croix la grille de l'une à l'anode de l'autre; nous réalisons un circuit qui possède deux états stables dans lesquels l'un des tubes laisse passer un courant et pas l'autre. On dit que l'un est bloqué pendant que l'autre est passant. Il suffit d'envoyer un signal sur l'une des grilles pour rendre passant le tube correspondant. Un tel circuit est appelé « bascule ». Voilà donc la fonction « mémoire » qui nous manquait. Nous avons tous les composants des circuits logiques des machines.

Tandis que les relais électromécaniques demandaient un temps de l'ordre de quelques millisecondes pour changer d'état, les tubes électroniques changent d'état en quelques fractions de microsecondes. Ils sont donc de 1 000 à 10 000 fois plus rapides. L'emploi des tubes présente encore d'autres avantages. Les circuits dans lesquels est transmise l'information ne sont pas parfaits : ils dissipent l'énergie des signaux qu'ils transmettent. Aussi faut-il redonner de l'énergie à ces signaux, les amplifier; or nous avons vu que les tubes sont capables d'amplifier les courants. On gagne donc sur deux tableaux : on fait de la logique avec les signaux, et on les amplifie avec les mêmes organes.

Malheureusement les tubes électroniques ne sont pas sans reproches ; la puissance dissipée par le chauffage des cathodes est considérable et entraîne la nécessité d'installations de ventilation importantes. La dimension des tubes ne peut pas être largement diminuée sans nuire à leurs qualités. L'encombrement des tubes et des servitudes d'alimentations et de refroidissement impose la taille des machines : les distances à parcourir étant plus grandes, les temps de parcours s'allongent, donc la rapidité de travail diminue. Mais, surtout, la durée de vie des tubes est trop brève, même pour les meilleurs.

Admettons que la durée de vie moyenne des tubes soit de 5 000 heures. Cela signifie qu'au bout de 5 000 heures de fonctionnement un tube n'a plus qu'une chance sur deux d'être encore en vie. Si de tels tubes sont montés sur un récepteur radio qui n'en compte que 5 ou 6, on peut raisonnablement s'attendre à 1 000 heures au moins de fonctionnement sans panne. C'est acceptable. Mais sur une machine qui en comporte 5 000, cela peut faire une panne toutes les heures, ce qui est inadmissible.

En fait, nos chiffres sont trop pessimistes. Il faut bien dire que l'on a construit des machines à tubes qui ont donné satisfaction. Elles fonctionnent toujours, et l'on en construit encore. Mais la durée de vie des tubes est l'un des facteurs qui limitent leur emploi dans les machines à calculer électroniques. Celles-ci plafonneraient dans des voies sans issues si, discrets mais efficaces, les semi-conducteurs n'avaient pas fait leur apparition.

### Les semi-conducteurs

La première application des semi-conducteurs (du germanium, d'abord, puis du silicium) fut la diode, ou redresseur, ainsi appelée parce qu'elle ne laisse passer le courant que dans un seul sens. Jusqu'ici, les redresseurs connus présentaient de sérieux inconvénients pour l'usage que nous voulons en faire : les uns ne peuvent fonctionner qu'à basse fré-

quence, les autres, des tubes à vide, se prêtent aux reproches du paragraphe précédent ; tous sont relativement encombrants.

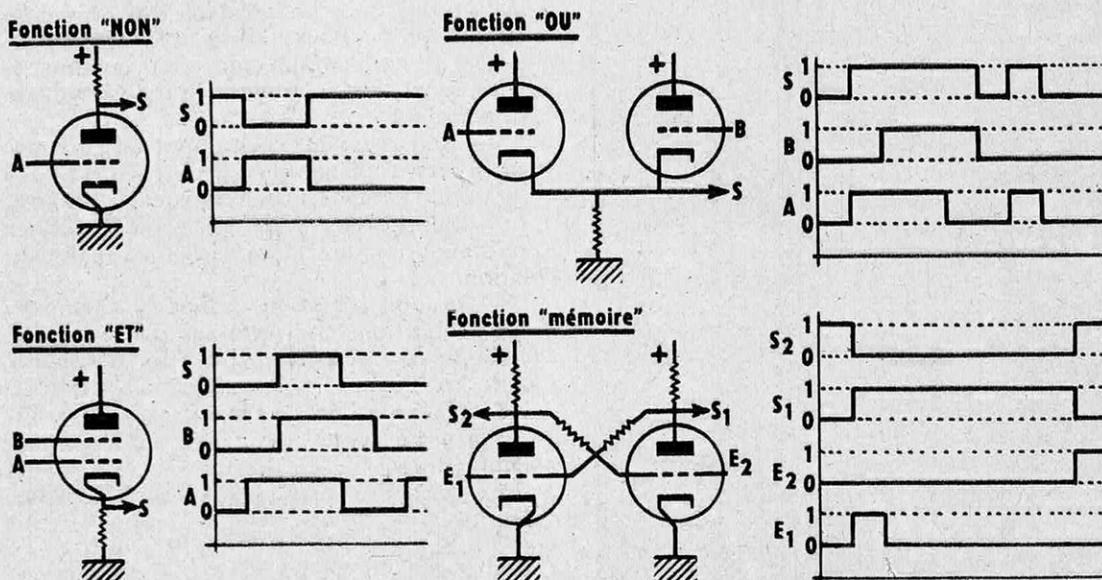
La diode au germanium s'est révélée d'emblée capable de travailler aux fréquences les plus élevées employées dans les calculateurs et elle présente un encombrement considérablement réduit.

Comment fait-on de la logique avec des diodes ? C'est ce que montre la figure page 118. Le premier schéma répond à la définition de la fonction « OU » ; on a S si l'on a A OU B. Le deuxième réalise la fonction « ET ».

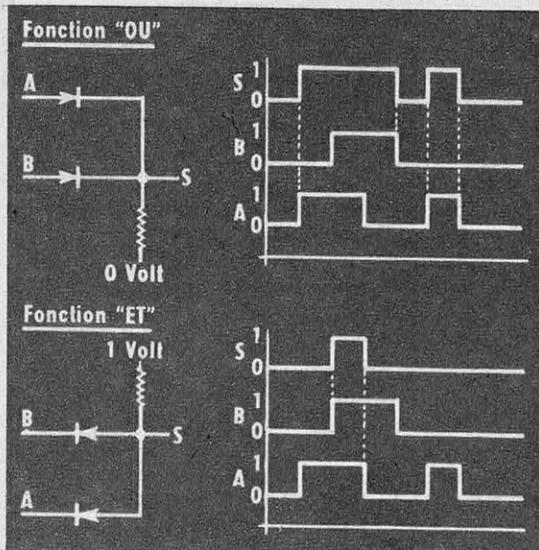
Remarquons que rien n'empêche de mettre plus de deux diodes en parallèle. C'est un moyen commode et élégant de réaliser des fonctions portant sur plus de deux variables. Ainsi peut-on avoir A ET B ET C... ou encore A OU B OU C... ; il était relativement plus difficile de multiplier le nombre de grilles de commande dans les tubes.

Autre remarque : on peut « empiler » les circuits à diodes ; le point de sortie de l'un est tout simplement relié à l'entrée de l'autre. On réalise ainsi de véritables réseaux logiques à diodes matérialisant des raisonnements complexes avec une grande souplesse.

Deux inconvénients subsistent au passif des diodes. D'abord, elles sont incapables de réaliser à elles seules la fonction « NON ». Ensuite elles ne sont pas parfaites, donc elles dissipent l'énergie des signaux transmis, et sont incapables de les amplifier. Qu'à cela



Les tubes à vide, suivant leur montage, assurent les fonctions logiques élémentaires. Les diagrammes montrent les signaux de sortie obtenus en fonction des signaux d'entrée. On convient que le niveau inférieur des tensions représente le 0, et le niveau supérieur le 1. Le circuit mémoire est appelé « bascule ».



← Deux circuits à diodes assurant par des montages très simples les fonctions logiques élémentaires OU et ET. Le courant ne peut passer que dans le sens indiqué par les flèches qui figurent les diodes.

ne tienne ! on les associe avec des tubes. Aux diodes on confie les fonctions logiques, la commutation; aux tubes la fonction d'amplification qui va de pair avec la fonction logique « NON ». C'est un assez heureux compromis grâce auquel on a pu construire des machines à calculer électroniques en série. L'accroissement de sécurité dû à l'emploi des diodes au germanium a permis à ces machines, en France du moins, de sortir des laboratoires. Mais les semi-conducteurs n'avaient pas dit leur dernier mot.

### Le transistor

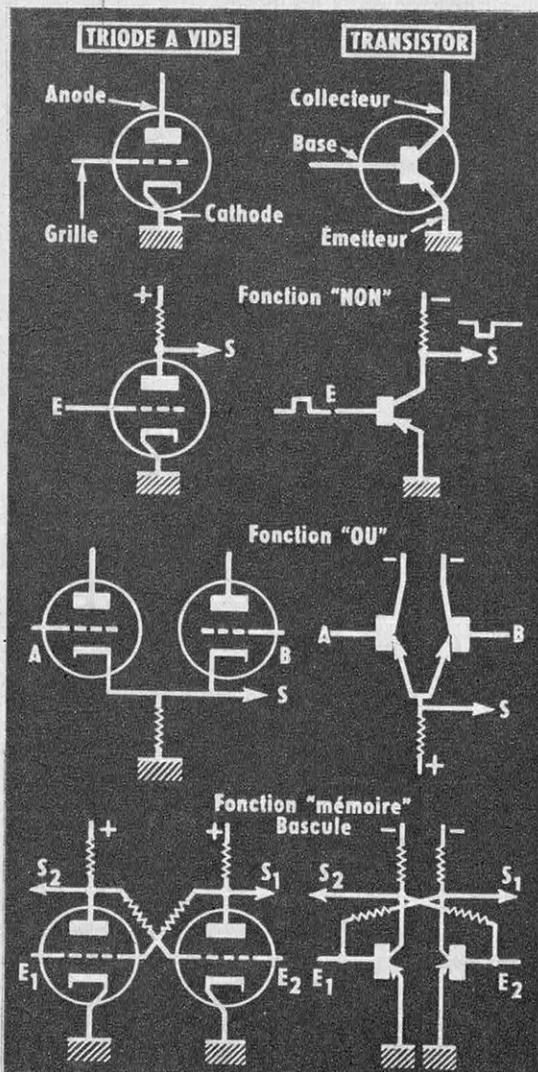
L'apparition du transistor marque l'avènement définitif des semi-conducteurs. L'amplification n'est plus désormais l'apanage des tubes à vide car le transistor est un amplificateur. Comme une triode, un transistor a trois électrodes qui n'ont pas les mêmes noms, mais remplissent les mêmes fonctions : l'« émetteur » peut jouer le rôle de la cathode, le « collecteur » celui de l'anode, la « base » celui de la grille. Ce que nous avons dit des propriétés logiques des tubes à vide s'applique donc aussi aux transistors. On peut faire des circuits logiques uniquement avec des transistors. On peut aussi associer diodes et transistors. Pour l'emploi que nous voulons en faire, les transistors présentent trois avantages principaux :

— Réduction de l'encombrement : un transistor est à peine plus gros qu'une diode (pour les faibles puissances tout au moins).

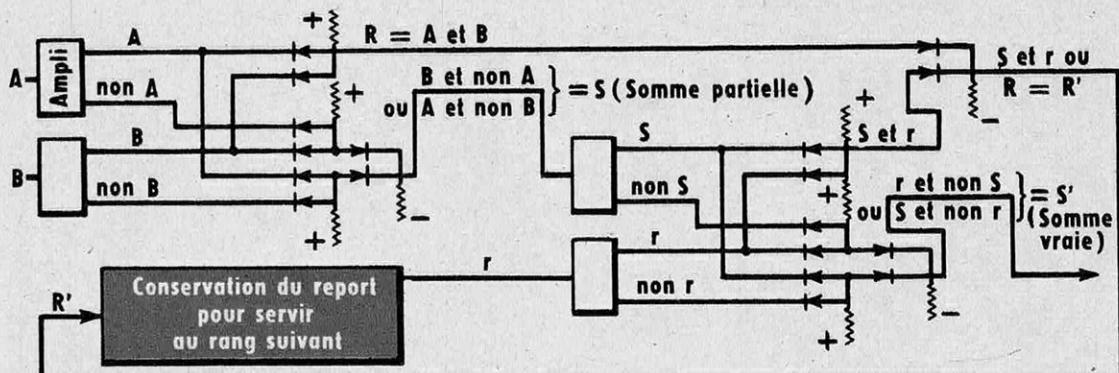
— Suppression de la tension de chauffage et diminution des autres tensions d'alimentation.

— Augmentation de la durée de vie dans des proportions considérables. Nous n'avancerons pas de chiffres précis : les transistors sont trop jeunes ! Un constructeur interrogé sur ce sujet pourrait répondre : « Un transistor usé ? Je ne sais pas à quoi ça ressemble ! »

Ce dernier avantage prime tous les autres.



← Tubes et transistors ont des organes qui jouent des rôles semblables : cathode et émetteur, anode et collecteur, grille de commande et base. Le sens des tensions est inversé dans le cas des transistors.



Réalisé avec des diodes, on retrouve ici l'additeur dont on a vu le schéma logique page 114. Les rectangles symbolisent les amplificateurs qui sont chargés de fournir le signal d'entrée amplifié et son complément.

Il est significatif de noter que les plus grosses machines qui sortent aujourd'hui ou vont sortir dans un proche avenir sont entièrement équipées de transistors. La légèreté des pièces détachées, leur faible encombrement, les basses températures de fonctionnement favorisent l'emploi poussé de la technique des circuits imprimés; donc la fabrication des machines à calculer s'automatise de plus en plus. Il y aurait beaucoup à dire sur cette automatisation. Actuellement déjà, les ingénieurs dessinent les schémas logiques; mais leurs schémas sont aussitôt transcrits et enregistrés dans d'autres machines à calculer qui déterminent elles-mêmes les schémas réels, et vont jusqu'à fournir le dessin des circuits imprimés à utiliser; il n'y a rien d'extraordinaire en cela. La machine applique sim-

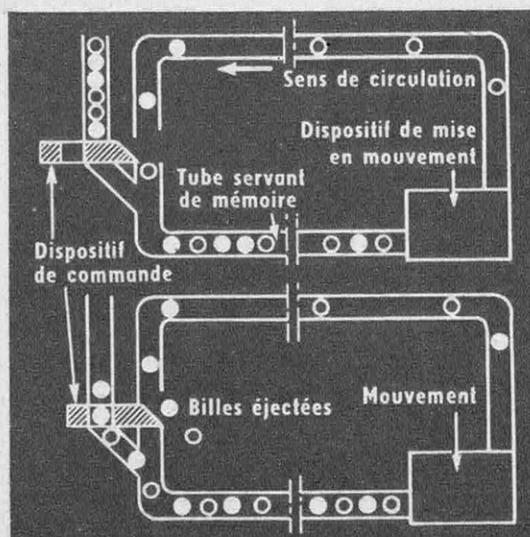
plement les méthodes de travail que l'homme aurait appliquées et qu'il lui a imposées. Mais nous n'en sommes pas encore à la machine qui se fabrique elle-même. Il y a toujours de nombreux cas particuliers, de nombreux points critiques où l'intervention de l'homme peut seule sauver la situation et rétablir l'ordre.

Nous arrêterons ici notre tour d'horizon des techniques utilisées jusqu'à cette date dans les circuits logiques des machines à calculer. Il nous faut examiner à présent une fonction essentielle : la mémoire.

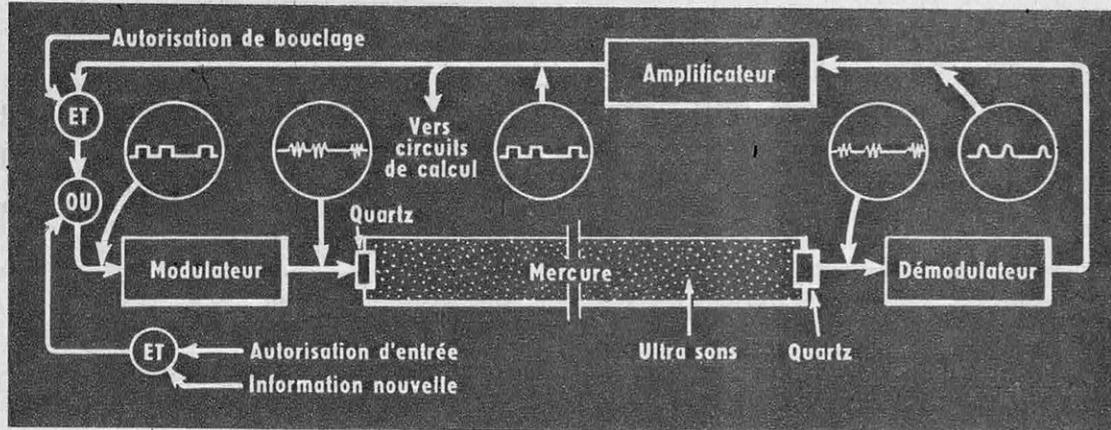
### Les mémoires

On a dit que les machines à calculer étaient douées de mémoire. C'est un regrettable abus de langage. Une machine n'a pas plus de mémoire qu'un tableau noir ou un magnétophone. Cette expression est passée dans les mœurs, et faute d'un terme spécifique, nous la garderons; mais qu'on ne s'y méprenne pas : la mémoire de la machine est tout simplement un dispositif d'enregistrement dans lequel on peut « inscrire » les informations codées pour les « relire » plus tard et les effacer pour en mettre d'autres à la place.

Nous avons déjà signalé au passage comment il est possible d'employer des relais, des tubes ou des transistors pour réaliser une mémoire. Mais les circuits connus exigent deux éléments pour « mémoriser » un 1 ou un 0. C'est très coûteux. Or les problèmes



← Principe d'une mémoire à circulation, où l'information est matérialisée par la succession des billes noires et blanches dans la boucle fermée. En bas, le dispositif de commande « efface » une information périmée en éjectant les billes et introduit une information nouvelle en laissant entrer d'autres billes.



**Boucle de mémoire à ligne à mercure.** Les circuits logiques commandent la conservation, l'effacement et l'introduction des informations. Les oscillogrammes montrent l'allure des signaux en cinq points différents.

posés nécessitent des capacités de mémoire toujours plus élevées :

- une page dactylographiée contient de 300 à 500 caractères;
- un livre de taille moyenne en contient facilement un million;
- si l'on veut traduire un texte d'une langue dans une autre, il faut enregistrer le dictionnaire de chacune des deux langues et leurs grammaires : 10 millions de caractères ne suffisent plus;
- pour enregistrer 500 000 polices d'assurances, à raison de 200 caractères par police, une compagnie demanderait à sa machine une capacité de 100 millions de caractères.

Il était impensable de réaliser de telles capacités avec deux transistors par chiffre binaire. On connaissait plus économique.

### Mémoires à ultrasons

L'idée de départ est fort simple. Les nombres ou les mots codés sont représentés par des suites de signaux qui se suivent à intervalles de temps réguliers, toutes les microsecondes par exemple. Chaque microseconde, s'il y a un signal, cela signifie UN, et s'il n'y en a pas, cela signifie ZÉRO. Imaginons un exemple : des billes qui se suivent toutes les secondes, une bille blanche voulant dire 0, une bille noire voulant dire 1. Billes blanches et noires alternent dans l'ordre voulu pour respecter le code. Enfilons dans l'ordre toutes les billes représentant un nombre ou un mot par une extrémité d'un tube cylindrique étroit. Nous avons constitué une mémoire. Pour relire le nombre ainsi conservé, il suffit d'ouvrir l'autre extrémité du tube et de laisser les

billes s'échapper une à une, seconde par seconde. Si l'on veut pouvoir recommencer l'opération, il suffit de « boucler » le système pour ramener à l'entrée les billes qui s'échappent à la sortie, en fermant le tube sur lui-même. On peut imaginer alors que les billes tournent en permanence, et qu'un chronomètre marque le début de chaque tour. Il faut supposer, bien sûr, qu'un dispositif quelconque entretient le mouvement des billes. Ajoutons à cela un « portillon » qui nous permettra de faire sortir du circuit des billes devenues inutiles (effacement) pour en mettre de nouvelles à la place, en se basant sur les indications du chronomètre, et nous aurons réalisé l'image très exacte d'une mémoire à circulation (page 119). Il ne faut évidemment pas lui demander une grande vitesse.

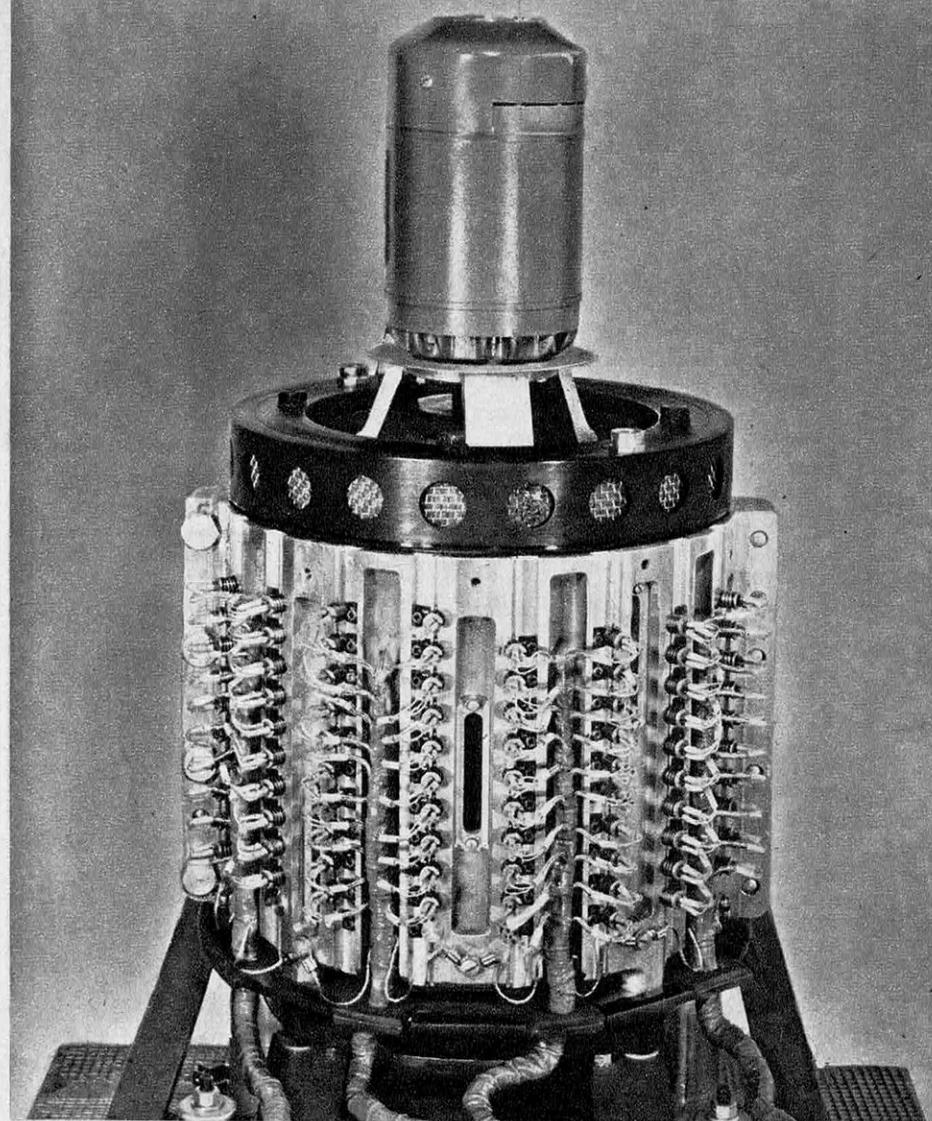
Dans la machine, les signaux employés sont des signaux électriques qui vont théoriquement à la vitesse de la lumière. Si l'on veut pouvoir loger dans une boucle 1 000 signaux à 1 microseconde, il faut une boucle parcourue en 1 milliseconde : à la vitesse de la lumière, cela fait 300 km. C'est encombrant.

On connaît, bien sûr, des circuits capables de ralentir la vitesse de propagation des signaux électriques. On les appelle des « lignes à retard » ; ces lignes sont composées de bobines d'induction et de condensateurs. On les a effectivement utilisées, pour de petites capacités, avec un réel succès. Mais ce n'est pas la seule solution.

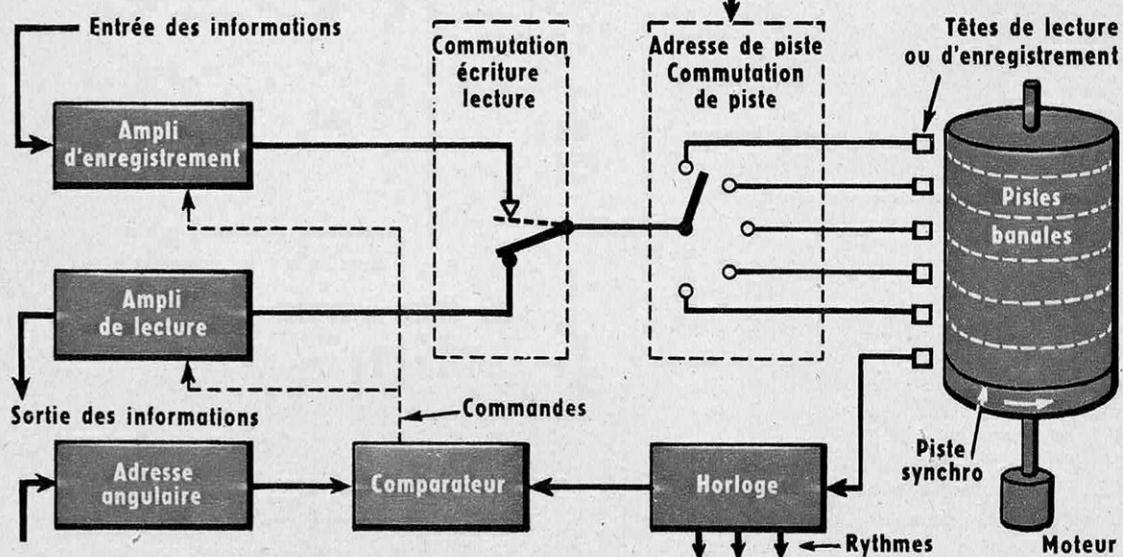
Entre la lenteur des billes et la vitesse de la lumière, il y a la vitesse du son. Dans les solides ou les liquides, il parcourt environ 1 000 m à la seconde, soit 1 m en 1 milliseconde : c'est tout à fait ce qu'il nous faut. Reste à trouver le moyen de transformer un

## Mémoire à tambour magnétique

Le tambour magnétique est enfermé dans un cylindre qui porte les têtes chargées de la lecture et de l'enregistrement des informations. Le schéma général de la mémoire montre comment un mot est repéré sur le tambour par son « adresse » de piste et son « adresse » angulaire. L'adresse de piste commande la manœuvre d'un commutateur de piste. Quant à l'adresse angulaire, qui fixe la position du mot sur la piste choisie, elle est comparée aux indications d'une « horloge » pilotée par la piste spéciale de synchronisation qui est lue en permanence sur le tambour; le comparateur délivre la commande de fonctionnement aux amplificateurs de lecture ou d'enregistrement.



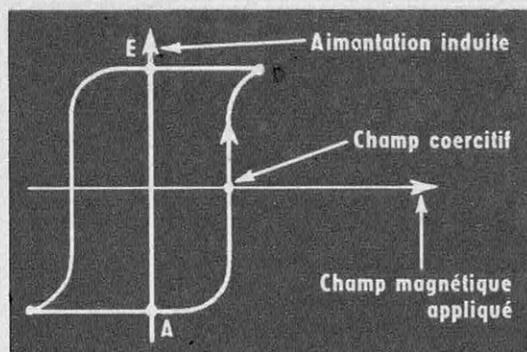
Bull



signal électrique en signal sonore (ou ultrasonore) et réciproquement.

Deux moyens principaux sont à notre disposition, dont l'un, connu depuis longtemps, est aujourd'hui très largement répandu : la piezoélectricité. Un cristal de quartz convenablement taillé qui vibre sous l'action d'un son développe entre deux de ses faces une tension électrique qui vibre de la même façon. Inversement, si l'on applique entre ses deux faces une tension électrique variable, il se déforme mécaniquement de la même façon. Fixons alors à chaque extrémité d'un tube d'un mètre de long environ, un tel cristal de quartz, et remplissons le tube avec un liquide : du mercure, par exemple. Excitons l'un des quartz par le signal représentant un mot. Il va produire un son (plus exactement un ultrason, étant donné la fréquence à laquelle on opère). Cet ultrason va se propager dans le mercure, et au bout d'une milliseconde environ, va atteindre l'autre quartz qu'il va faire vibrer. Ce quartz récepteur va transformer l'ultrason reçu en un signal électrique identique à celui qui avait excité le premier quartz. On l'amplifie, et on le réinjecte à l'entrée du dispositif : la mémoire est constituée. Nous avons encore un autre moyen pour convertir l'un dans l'autre un signal électrique et un signal sonore : la magnétostriction. Cet effet est très analogue au précédent ; au lieu de quartz, prenons un morceau de nickel ; au lieu de tension électrique, un champ magnétique. Engageons l'extrémité d'un fil de nickel dans une bobine. Si l'on fait passer un bref courant dans la bobine, le champ magnétique créé provoque une rapide contraction du nickel, véritable choc qui va se propager tout le long du fil jusqu'à l'autre extrémité, à la vitesse du son. A l'autre bout du fil est montée une bobine semblable, au voisinage d'un aimant permanent. Lorsque l'ébranlement atteint la partie du fil de nickel qui est dans la bobine, le métal se contracte et laisse passer un champ magnétique plus intense, ce qui induit un courant dans la bobine réceptrice. Ce courant, convenablement amplifié, est ramené dans la bobine émettrice et la boucle est ainsi fermée.

On a d'abord employé des lignes à mercure. Une ligne peut contenir, suivant sa longueur et suivant la fréquence de fonctionnement, de quelques chiffres à plusieurs centaines de chiffres. La fréquence de fonctionnement est malgré tout assez étroitement limitée : de 1 à 2 mégacycles en général ; ce qui fait un chiffre toutes les microsecondes ou toutes les demi-micro-secondes. Pour augmenter la capacité d'une ligne, c'est-à-dire le nombre



Un cycle d'hystérésis rectangulaire : l'aimantation induite ne peut prendre que deux valeurs opposées. Pour passer de A à E, par exemple, il faut appliquer un champ supérieur au champ coercitif.

de chiffres qu'elle contient, on ne peut qu'augmenter sa longueur. Mais alors la durée totale d'un tour augmente en proportion et il faut attendre plus longtemps pour « avoir accès » à une information quelconque de la mémoire (ce temps est en moyenne la durée d'un demi-tour). Nous voyons apparaître ici dans sa forme la plus simple le dilemme capacité-temps d'accès : si l'on veut enregistrer un grand nombre d'informations, on les obtient moins vite ; si l'on veut les obtenir vite, il faut en enregistrer moins. La nécessité d'un tel compromis se retrouve dans presque tous les systèmes de mémoires.

Les lignes à mercure sont d'une fabrication et d'un entretien délicats. Elles sont en outre très sensibles aux variations de température (la vitesse du son varie avec la température). C'est pourquoi elles sont toujours enfermées dans une enceinte maintenue à température constante.

Les lignes à nickel, qui ont été mises au point un peu plus tard, conduisent à des capacités du même ordre, avec des fréquences de fonctionnement comparables ou un peu plus faibles. Leur fabrication et leur entretien sont plus aisés. Elles sont un peu moins sensibles à la température ; pas assez cependant pour qu'on puisse se dispenser de toute précaution. Elles posent le dilemme capacité-temps d'accès de la même façon que les lignes à mercure.

Les unes et les autres ne sont plus utilisées actuellement que sur des machines de conception relativement ancienne (5 ans, c'est déjà vieux, pour une machine à calculer !). Elles ont été progressivement abandonnées, malgré une sécurité de fonctionnement satisfaisante, au profit des procédés d'enregistrement magnétiques, plus économiques et plus souples.

## La notion d'adresse

Avant de fermer le chapitre des mémoires à circulation, répondons encore à une question : comment repérer l'information dans une ligne ? A propos du modèle à billes, nous avons parlé d'un chronomètre qui marquait le début de chaque tour. Il y a effectivement dans toute machine un système que l'on appelle « horloge » ou « base de temps » qui joue le rôle de chronomètre. Les signaux de temps qu'il délivre s'appellent des « rythmes ». Il y a un rythme rapide qui marque la cadence des impulsions représentant les chiffres : toutes les microsecondes, par exemple. Un rythme lent marque les tours de boucle : toutes les millisecondes. Entre les deux, un rythme intermédiaire marque des intervalles sous-multiples du tour de boucle. Ces intervalles de temps correspondent à la longueur normale d'un nombre ou d'un mot. Une ligne contient donc un certain nombre entier de mots ou de nombres. Chacun d'eux est repéré par un numéro qui est simplement l'ordre dans lequel les mots défileront à l'entrée de la mémoire. Chaque ligne a reçu elle aussi un numéro, s'il y en a plusieurs. On pourra dire ainsi : « le troisième mot de la cinquième ligne ». L'ensemble de ces deux numéros constitue l'« adresse » du mot : ici l'adresse 53. Dans une machine, une adresse est un peu comme un numéro de téléphone. Quand on compose un numéro sur le cadran d'un appareil, des circuits sélecteurs mettent automatiquement l'abonné en communication avec son correspondant. Dans nos machines également, on trouve des circuits sélecteurs capables de mettre en communication la case de mémoire dont on leur précise l'adresse, avec les circuits de calcul. Le téléphone automatique est suffisamment connu de tous aujourd'hui pour que nous puissions nous dispenser d'insister sur ces dispositifs.

## Les mémoires magnétiques

Le ruban magnétique qui sert à enregistrer de la musique ou des discours peut aussi bien enregistrer des tops successifs. Convenons que les tops représentent les « 1 » et l'absence de tops les « 0 ». Sur les bandes employées dans les machines à calculer, on enregistre couramment sur 7, 8, 10 pistes, parfois plus. Pour cela on juxtapose autant de « têtes » d'enregistrement ou de lecture qu'il y a de pistes. L'une de ces pistes porte un signal régulier, une série de tops où pas un ne manque, et qui sert de référence. On appelle cette piste la piste de « synchronisation ».

Elle sert à marquer les emplacements où l'on peut enregistrer les combinaisons de 1 et de 0 formant les caractères. Il est ainsi possible de constater, au droit de chaque signal de synchronisation, la présence ou l'absence de tops, lors de la lecture.

L'appareil utilisé dans les machines a la même structure que les magnétophones, en plus perfectionné. La bande est portée par deux bobines, entre lesquelles se trouve le groupe de têtes de lecture et d'enregistrement. Elle défile devant les têtes à une vitesse qui doit être aussi constante que possible et assez élevée : ordinairement 1 à 2 mètres par seconde. Un rebobinage rapide permet le réenroulement à une vitesse de 10 à 15 mètres par seconde. Les bandes utilisées ont une longueur de 800 à 2 000 mètres en moyenne, selon les modèles. Il est pratiquement impossible de fonctionner en enregistrement ou en lecture continu, parce que la durée de traitement de l'information est variable, et pour bien d'autres raisons. La machine procède un peu comme une dactylo qui écoute sur son magnétophone une phrase dictée, l'arrête, et tape alors ce qu'elle a entendu, puis recommence. En procédant ainsi, elle risque de couper le début ou la fin des phrases, à moins que les intervalles entre phrases ne soient assez longs. De toutes façons, la secrétaire comprend quand même, car elle est intelligente; et si elle n'a vraiment pas compris, elle ramène la bande en arrière et recommence la lecture. Mais il n'est pas permis de courir un tel risque dans un traitement d'information. On ne doit pas perdre le plus petit signe car la machine, par essence inintelligente, ne saurait pas s'y retrouver. Aussi doit-on prévoir systématiquement des espaces morts, dits espaces « d'arrêt-marche » dans lesquels on n'enregistre rien. Comme ce sont des espaces perdus pour l'information, il y a lieu de les réduire au strict minimum, ce qui signifie que le dispositif d'entraînement doit être capable de démarrer ou d'arrêter la bande en très peu de temps (quelques millisecondes seulement). Comme il ne saurait être question d'accélérer ou de freiner les bobines aussi vigoureusement, il faut prévoir de chaque côté de la tête une longueur de bande libre assez grande. Ces boucles de réserve sont enroulées sur des galets mobiles disposés en chicane, ou bien encore aspirées dans deux « trous » par une dépression, de façon à présenter le moins d'inertie possible. Toutes ces conditions sont très sévères, et la partie mécanique et électrique d'un appareil dérouleur de bande magnétique est complexe et chère. A ce point de vue, il n'y a aucune

commune mesure entre un magnétophone banal et l'un de ces appareils.

La qualité de la bande magnétique elle-même doit être excellente. En effet, un défaut minuscule, un grain, une poussière, passent absolument inaperçus dans un enregistrement sonore. Dans un enregistrement numérique, ils risquent de faire disparaître un chiffre, et alors tout est faussé. C'est tellement important que l'on a étudié des systèmes nombreux pour détecter les erreurs de ce genre. Certains écrivent l'information en double sur la bande. Lorsqu'on la relit, on compare les deux enregistrements et si l'un d'eux est altéré, on en est averti. C'est un procédé cher. Un moyen plus économique consiste à adjoindre à chaque nombre un nombre clef, composé suivant une certaine loi : par exemple celle qu'on utilise quand on fait la preuve par 9. Si l'un des chiffres se trouve altéré par suite d'un défaut de la bande, le nombre clef ne correspond plus, et l'on est averti de l'erreur.

L'une après l'autre, les constructeurs ont surmonté toutes les difficultés techniques rencontrées dans la réalisation de ces appareils, et ils proposent aujourd'hui un matériel bien au point. Citons quelques chiffres. Les appareils actuels sont capables d'enregistrer ou de lire de 10 000 à 60 000 caractères par seconde. Une bande de 2 000 mètres peut enregistrer jusqu'à 10 ou 20 millions de caractères dans les matériaux poussés.

En contrepartie, le dilemme capacité-temps d'accès se pose d'une façon encore plus aiguë. Si l'on recherche les informations dans un ordre quelconque sur la bande, il faut faire défiler en moyenne le tiers de la bande pour accéder à l'information désirée ; ce qui demande en général plusieurs dizaines de secondes. Et le problème n'est pas radicalement transformé en diminuant la longueur de la bande, ni en multipliant le nombre des dérouleurs. Il faut trouver des méthodes de travail adaptées : éviter d'avoir à procéder à une recherche aléatoire ; travailler sur informations triées, classées ; c'est d'autant plus imaginable que les bandes magnétiques servent en général à l'enregistrement de fichiers, de tables, de catalogues, où il existe un ordre naturel de classement. Mais ce n'est pas toujours possible.

Quoi qu'il en soit, les mémoires à bande magnétique ont doté les machines à calculer de capacités d'enregistrement énormes, surtout si l'on remarque que les bandes sont interchangeables, et qu'on peut mettre successivement sur un même dérouleur un nombre quelconque de bobines. L'enregistrement magnétique a ouvert aux machines

à calculer des domaines d'application qui leur étaient restés interdits.

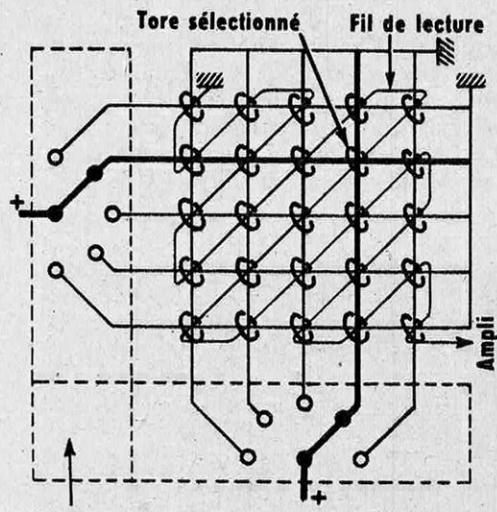
Une autre propriété fondamentale des mémoires magnétiques que le lecteur a certainement remarquée est le caractère permanent de l'enregistrement. Tandis que les informations contenues dans une mémoire à circulation disparaissent dès que la machine n'est plus sous tension, obligeant ainsi à tout introduire de nouveau dès que l'on reprend le travail, les mémoires magnétiques conservent les informations enregistrées aussi longtemps qu'on le désire, que la machine soit ou non sous tension. Et cette propriété nouvelle des mémoires a transformé les méthodes d'utilisation des machines à calculer.

### Les tambours magnétiques

Un autre dispositif d'enregistrement magnétique qui semble avoir été mis au point avant l'enregistrement codé sur bandes, est le « tambour magnétique ». La couche magnétique impressionnable n'est plus disposée sur une bande souple, mais sur la surface latérale d'un cylindre qui tourne en permanence autour de son axe. Devant cette surface, sur toute la hauteur du cylindre, sont disposées les têtes de lecture et d'enregistrement ; chacune d'elles voit passer en permanence toujours la même piste. On retrouve un peu l'organisation des mémoires multiples à circulation. Sur le tambour, les divers emplacements où l'on peut enregistrer des nombres sont repérés par une adresse ; une partie de cette adresse sert à désigner le numéro de la piste intéressée ; l'autre partie désigne, dans cette piste, l'emplacement choisi. Comme pour les mémoires à circulation, une horloge synchronisée sur le tambour sert de base de temps pour toutes les opérations de lecture, d'enregistrement, ou de sélection d'adresses. Le plus souvent, on utilise à cet effet une ou plusieurs pistes du tambour lui-même sur lesquelles on a enregistré une fois pour toutes les tops, les repères, marquant le rythme rapide, le rythme lent correspondant à un tour de tambour, et le rythme intermédiaire marquant les limites de mots.

Le nombre de pistes atteint couramment la centaine ; les plus gros modèles ont jusqu'à 300 pistes environ. Chaque piste contient de plusieurs centaines à plusieurs milliers de caractères ; la durée d'un tour varie dans de grandes proportions : il y a des tambours rapides qui tournent à plus de 20 000 tours par minute, mais leur capacité est limitée. Il y a des tambours lents qui tournent à 1 500 tours par minute, mais ont

## La prodigieuse mémoire à ferrites livre ses informations en moins d'un cent-millième de seconde



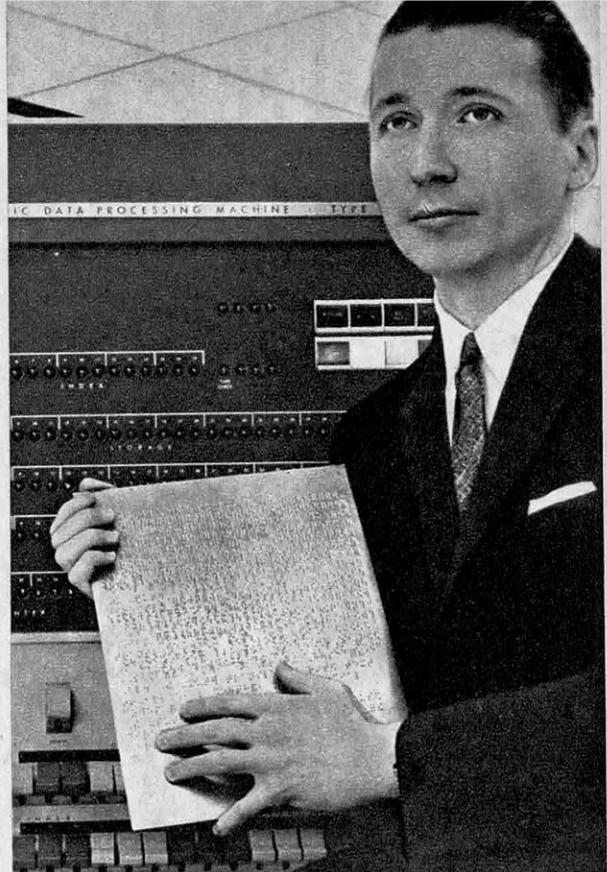
Le tore magnétique à l'intersection de la 2<sup>e</sup> ligne et de la 4<sup>e</sup> colonne est seul traversé par un courant assez fort pour changer son état magnétique. On remarquera le fil de lecture qui traverse tous les tores. Ci-contre, matrice de 4 096 tores magnétiques

une capacité bien plus grande. En chiffres ronds, on peut arriver à enregistrer un million et demi de caractères sur un tambour.

La construction d'un tambour magnétique est une opération délicate : la surface magnétique doit être absolument sans défauts. De plus, les têtes de lecture et d'enregistrement sont à moins d'un centième de millimètre de la couche mais ne doivent à aucun prix la toucher. Cela veut dire que le tambour doit tourner rond à quelques microns près. C'est dire à quel point son usinage et son équilibrage doivent être soignés.

Du point de vue capacité, on peut dire que la bande magnétique est à une dimension, et que le tambour magnétique en possède deux. La mémoire à disques est une des premières réalisations de mémoire à trois dimensions.

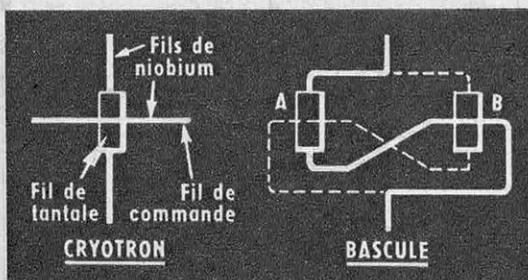
Une telle mémoire est constituée d'une pile de disques revêtus d'une couche magnétique sur leurs deux faces. Sur chacune des faces un certain nombre de sillons concentriques sont très exactement l'équivalent des pistes d'un tambour magnétique. Une face de disque offre une capacité d'enregistrement sensiblement équivalente à un tambour. Une pile de disques en comporte facilement une cinquantaine. L'ensemble a donc une capacité d'enregistrement de plusieurs millions à plusieurs dizaines de millions de caractères. Il serait difficile, et d'ailleurs inutile, de disposer une tête par piste ; on équipe généralement ces mémoires d'un nombre limité de têtes mobiles. Chaque tête est montée au bout d'un bras articulé qui peut monter ou descendre le long de la pile de disques, pivoter dans un plan horizontal (comme le bras d'un tourne-disques) pour se mettre en place au-dessus du sillon choisi. Ces deux



Une traductrice électronique d'anglais en Braille qui fonctionne à raison de 4 000 mots par minute. C'est une IBM 704 où les règles de traduction, en

degrés de liberté correspondent à deux dimensions; la troisième est l'angle définissant la partie de sillon utile. Le temps d'accès à une information quelconque est différent d'un cas à l'autre. Si le bras se trouve déjà au-dessus du disque voulu, un faible et rapide déplacement l'amènera sur le sillon utile. Si l'information recherchée se trouve sur une autre face, il faut sortir le bras d'entre les disques, le déplacer verticalement, puis le réintroduire au-dessus de la face choisie. Ce mouvement prend nécessairement un temps plus long qui n'excède pas cependant une ou deux secondes.

Le principe d'une telle mémoire est séduisant, mais sa réalisation présente un certain nombre de difficultés : en particulier, comment faire en sorte que la tête soit toujours à bonne distance de la couche dans n'importe quelle position ? Le problème a été résolu en la faisant flotter. Nous disons bien : la tête flotte sur une mince couche d'air ou d'huile ; le fluide est injecté par un orifice judicieusement placé avec un débit réglé automatiquement. On conçoit que la mise au point de ces mécanismes ait posé des



Le cryotron est d'une simplicité remarquable dans son principe : un courant dans le fil de commande arrête le courant dans le fil de tantale. À droite, une mémoire à cryotron où le courant passant dans A bloque celui passant dans B et réciproquement. Ces deux états peuvent représenter le 0 et le 1.



particulier celles assez complexes d'abréviation, ont été enregistrées dans une mémoire et qui livre la traduction sur cartes perforées. Une machine

spéciale, à droite, lit ces cartes perforées et grave automatiquement les plaques métalliques qui serviront à l'impression définitive en relief.

problèmes sérieux. On sait aujourd'hui faire flotter une tête avec assez de souplesse et de précision pour suivre fidèlement les irrégularités de surface ou le gauchissement des disques, de telle sorte que l'enregistrement et la lecture se fassent dans des conditions convenables.

### Les mémoires à ferrites

Il s'agit encore de mémoires magnétiques mais d'un principe tout différent. Le matériau utilisé est un matériau magnétique susceptible d'être aimanté, comme l'acier, mais capable de passer très brutalement d'un sens d'aimantation à l'autre si le champ magnétique extérieur qui lui est appliqué dépasse si peu que ce soit une valeur critique appelée «champ coercitif»; tant que l'on reste en-dessous de cette valeur critique, si près qu'on s'en approche, l'aimantation du matériau ne change pas. Les physiciens traduisent cette propriété en disant que le matériau en question a un «cycle d'hystéresis» rectangulaire, comme le montre la figure page 122. Pour le genre d'applications envi-

sagées, il était important de trouver un matériau dont le cycle fut un rectangle presque parfait. Les recherches faites dans ce sens ont abouti à des alliages obtenus sous forme de poudres frittées, fabriquées selon des techniques spéciales que nous ne décrirons pas ici; on a appelé ces matériaux des «ferrites». La forme la plus courante sous laquelle on les utilise est le tore (ou anneau) avec un diamètre qui varie d'un millimètre à un ou plusieurs centimètres selon leur destination.

Le lecteur a déjà compris que les deux sens d'aimantation permettent de représenter les deux chiffres binaires, le un et le zéro. Voyons comment se font l'enregistrement et la lecture dans un tore magnétique.

On sait qu'un courant électrique est toujours accompagné d'un champ magnétique. Si un conducteur parcouru par un courant traverse un tore, on peut envoyer un courant assez intense pour aimanter le tore dans un certain sens. En envoyant le même courant en sens inverse, on va renverser le sens d'aimantation du tore. C'est ainsi que l'on enregistre un 1 ou un 0. Perfectionnons le

dispositif. Tendons sur un cadre carré 10 fils horizontaux et 10 fils verticaux. A chacune des intersections, plaçons un tore traversé par les deux fils. Un tore quelconque est repéré par le numéro du fil horizontal et par le numéro du fil vertical qui le traversent. L'ensemble de ces deux numéros constitue l'adresse du tore considéré. Supposons tous les tores dans l'état signifiant 0. Nous voulons enregistrer un 1 dans le 3<sup>e</sup> tore de la 4<sup>e</sup> ligne. Pour cela, nous enverrons dans le fil de la 3<sup>e</sup> colonne la moitié du courant nécessaire pour aimanter le tore dans le sens 1. C'est insuffisant pour aimanter les tores et tous vont rester dans l'état 0. Nous enverrons en même temps dans le fil de la 4<sup>e</sup> ligne la moitié du courant d'aimantation. Tous les tores de cette ligne vont rester dans l'état 0, sauf celui qui est à l'intersection de la 3<sup>e</sup> colonne et de la 4<sup>e</sup> ligne qui va, seul, être traversé par un courant suffisant pour l'aimanter. Donc il enregistrera un 1. Après quoi, en changeant l'adresse et en recommençant ce processus, on pourra enregistrer un 1 dans un autre tore, et ainsi de suite.

Et pour relire ? Supposons qu'un fil supplémentaire traverse tous les tores, et relions ce fil à un amplificateur. Lorsqu'un tore passe d'un état magnétique à un autre on recueille un signal sur ce fil. La méthode de lecture est donc simple : pour lire un tore, essayons de le remettre à zéro. Nous enverrons ainsi sur chacun des deux fils portant le tore la moitié du courant nécessaire pour l'aimanter dans le sens 0. Les 99 autres tores seront traversés par un courant nul ou au plus égal à la moitié du courant de remise à zéro, et aucun ne changera d'état indûment. Quant à celui qui nous intéresse, il changera d'état s'il était à 1, et restera à 0 s'il y était déjà. Donc le fil supplémentaire de lecture recueillera un signal si le tore était à 1 et rien s'il était à 0. On pourra lire de la même façon n'importe quel tore du carré. Un tel élément de mémoire s'appelle une « matrice » de tores. C'est une mémoire à deux dimensions. Les plus grandes matrices réalisées n'ont guère plus de 10 000 tores. Avec des dimensions plus grandes, le bruit dû aux imperfections des tores devient très gênant.

Mais rien n'empêche de superposer un certain nombre de matrices, constituant alors une mémoire à trois dimensions pour augmenter la capacité. En commandant simultanément tous les tores qui ont même adresse dans tous les plans, on enregistrera ou relira d'un seul coup tous les caractères d'un nombre ou d'un mot. Voilà comment sont constituées les mémoires à ferrites ou à tores.

Les capacités économiques réalisables ne

sont pas énormes : de quelques dizaines à quelques centaines de milliers de caractères. Mais le plus gros avantage de ces mémoires réside dans leur faible temps d'accès. Quelle que soit l'adresse proposée, le temps d'accès est le même ; il est généralement d'une dizaine de microsecondes. On arrivera peut-être à 1 ou 2 microsecondes. Les qualités propres des mémoires à tores les désignent incontestablement pour jouer le rôle de mémoire centrale dans les machines. Elles seules sont naturellement capables de réagir assez vite aux sollicitations multiples des dispositifs d'entrée et de sortie, des circuits de calcul, et des circuits de commande.

### L'électronique du zéro absolu

Nous n'avons pas décrit toutes les applications de l'électronique aux machines à calculer arithmétiques, et bien que nous ayons laissé dans l'ombre celles qui n'ont pas eu une large diffusion ou celles qui sont restées limitées à des cas spéciaux, nous n'avons pu nous défendre de donner à cet exposé l'aspect d'une énumération fastidieuse. Qu'il nous soit permis cependant d'ajouter encore un mot sur l'une des applications les plus curieuses de ce que l'on a appelé « l'électronique du zéro absolu ».

Le nouveau dispositif s'appelle le « cryotron ». C'est le plus simple qui ait jamais été imaginé. Il se compose uniquement d'un fil métallique croisant un autre fil métallique isolé du premier. C'est vraiment tout ! Mais il faut que l'ensemble soit à une très basse température : dans de l'hélium liquide, par exemple. Sur quel phénomène physique repose ce dispositif ? Sur la supra-conductivité, c'est-à-dire sur la propriété qu'ont les métaux de devenir des conducteurs parfaits à des températures voisines du zéro absolu ( $-273^{\circ}\text{C}$ ). La température critique en-dessous de laquelle la résistance d'un métal s'annule brutalement dépend du métal, et aussi du champ magnétique. Elle décroît à mesure que le champ magnétique augmente. Fabriquons un cryotron en croisant un fil de niobium et un fil de tantale et en plongeant le tout dans l'hélium liquide. Tant qu'il ne passe aucun courant dans le niobium, il n'y a donc pas de champ magnétique et le tantale est supra-conducteur, c'est-à-dire qu'il laisse passer un courant sans lui opposer de résistance. Faisons maintenant passer un courant dans le fil de niobium ; cela ne demande pas d'énergie puisqu'il est supra-conducteur. Ce courant va créer un champ magnétique qui va abaisser la température critique du tantale ; comme il est maintenu à température

constante (par l'hélium bouillant) il va cesser d'être supra-conducteur et opposer au courant qui le traversait précédemment une résistance un million de fois plus grande. C'est-à-dire qu'il se comporte comme un véritable interrupteur. Le cryotron est fonctionnellement équivalent à un relais qui n'aurait qu'un contact repos; et nous savons qu'avec ce seul moyen, avec cette seule fonction logique, on peut faire la synthèse de toutes les autres.

Bien sûr, il faut une installation de liquéfaction d'hélium. Mais à une époque où l'on prouve la rentabilité du transport de gaz naturel d'un continent à l'autre sous forme liquide à  $-170^{\circ}$ , cette difficulté ne nous arrête pas! D'autant plus que les progrès de la miniaturisation des constituants des machines et des pièces détachées de l'électronique vont faire encore un bond en avant grâce à ces techniques nouvelles. Aujourd'hui encore, géantes impressionnantes, les machines de demain verront à la fois leur taille diminuer et leurs performances s'accroître dans des proportions que nous avons peine à imaginer. Nous nous sommes exprimés en microsecondes; dans les laboratoires on parle maintenant de milli-microseconde, c'est-à-dire de milliardième de seconde. Pendant cet intervalle de temps qui défie l'imagination, la lumière parcourt la distance énorme de... trente centimètres! Oserait-on en conclure que la technique d'avant-garde ne voit pas loin?

Faire une multiplication en 0,1 microseconde; enregistrer des milliers de caractères sur une surface de quelques centimètres carrés, avec un temps d'accès de moins d'une microseconde; voilà les limites raisonnables qu'on peut atteindre dans un avenir plus ou moins éloigné. Mais il n'est pas impossible que d'ici là, de nouvelles découvertes repoussent ces limites avant même qu'on les ait atteintes.

### Le paramétrron, modèle du neurone

Nous n'avons rien dit des «paramétrons» qui sont essentiellement des oscillateurs non linéaires. Or des machines fonctionnant avec ces circuits élémentaires ont été présentées à la dernière exposition «Auto-Math», à Paris, en juin 1959. Les paramétrons se prêtent comme les autres outils que nous avons examinés à la réalisation des fonctions logiques de base. Leur théorie est très ardue; nous ne l'aborderons pas. Mais les paramétrons se prêtent aussi à l'emploi de logiques majoritaires qui sont plus générales

que celles que nous avons utilisées dans cet exposé. Il se trouve alors que, tant dans son circuit que dans son fonctionnement, le paramétrron est un «modèle» analogue aux neurones qui constituent les nerfs et le cerveau. Attention: ce n'est qu'une image grossière de ce que nous pensons être actuellement un neurone. Reste à savoir si une telle analogie sera source de progrès dans nos connaissances, ou si elle restera simple curiosité de laboratoire. Nous n'en sommes pas au cerveau artificiel, loin de là.

### Puissance et limites des machines

Il convient à présent de prendre un peu de recul afin de mesurer la puissance et les limites des machines que nous savons construire. Cherchons d'abord à discerner, parmi les caractéristiques que nous avons mises en évidence, celles qui ne sont que simples améliorations et celles qui élèvent radicalement le degré de perfection des machines en leur ouvrant l'accès à un ordre supérieur d'activités.

*La vitesse de calcul.* Cette vitesse ne fait que croître. Mais l'effet premier de cette vitesse est uniquement de ramener à l'échelle humaine la solution pratique de problèmes démesurés. C'est un avantage considérable, mais il n'y a là qu'une contraction artificielle de l'échelle des temps. C'est à mettre en parallèle avec le raccourcissement artificiel des distances dû à l'augmentation des vitesses de nos moyens de transports.

*La capacité des mémoires.* Là encore, rien qui doive nous étonner. En soi, la capacité de mémoire ne modifie pas le degré de perfection des machines. C'est la condition de l'éclosion de possibilités ultérieures. Ce n'est pas, cela ne sera pas une faculté nouvelle.

*L'extension du programme de travail.* Le fonctionnement total d'une machine est déterminé à chaque instant par une suite d'instructions constituant un programme. Ces instructions choisies dans une liste restreinte mais assemblées en nombre et en ordre convenables, permettent à l'homme de plier la machine à ses exigences en lui faisant exécuter tous les calculs, tous les travaux qu'il veut. Il semble qu'aucune machine n'ait présenté jusqu'ici une telle souplesse, une telle flexibilité, un tel caractère d'universalité. Ici encore, soyons prudents dans nos jugements: multiplicité des tâches, élargissement du champ d'activités, ne veulent pas dire formes supérieures d'activités.

*La faculté de décision élémentaire.* Les machines à calculer ne font pas que du calcul. Elles font de la logique. Mais elles ne

peuvent inventer de nouvelles formes de raisonnements; elles répètent pas à pas sur chaque cas précis un schéma de raisonnement imaginé et imposé par l'homme, vite et avec sécurité.

Il n'est pas inexact de dire que les machines peuvent raisonner, mais il y a des degrés dans les choses. Les machines sont capables d'un raisonnement mécanisé. C'est un fait nouveau. L'homme a réussi à forger un outil auxiliaire de sa pensée auquel il peut confier la part rationalisable de ses activités intellectuelles, et elle est grande.

Déchiffrer des manuscrits ? C'est avant tout se livrer avec patience à des comparaisons sans nombre, à des calculs de corrélation entre symboles ou groupes de symboles à identifier. C'est appliquer des règles strictes, une méthode rigoureuse. C'est, parfois, risquer une hypothèse, formuler une conclusion, et toujours recommencer un patient labeur. Mais la machine n'a pas besoin de patience, et elle va infinitiment plus vite dans ce travail. Qu'elle se livre donc à la tâche routinière du décryptement; et l'homme aura tout son temps pour penser à la meilleure façon de conduire son œuvre.

Composer de la musique ? C'est appliquer les lois de l'harmonie, se plier aux règles d'un genre musical. Que l'on fournisse à la machine des sons pris au hasard, elle choisira, selon ces lois, les sons et les cadences qui conviennent. Mais l'œuvre souffrira certainement d'un inévitable caractère scolaire aux antipodes de l'inspiration.

En définitive, c'est quand même l'homme qui doit formuler les lois.

Mais après tout, cette recherche même des méthodes à appliquer ne peut-elle être mécanisée ? La machine ne peut-elle pas apprendre ? Si. A condition qu'elle puisse se corriger, à condition que son programme puisse se modifier lui-même en fonction des premiers résultats obtenus.

### Les machines qui apprennent

La possibilité pour un programme de s'appliquer à lui-même, de se modifier lui-même, ouvre la voie à des applications d'un ordre supérieur. Il suffisait, pour que ce fût possible, que les machines devinssent capables de traiter les instructions de leurs programmes comme elles traitaient toutes les autres informations. Du jour où le programme, mis lui aussi sous forme codée, a été enregistré dans les mémoires, ayant par là-même accès aux circuits logiques et de calcul, les machines ont acquis la *faculté d'apprendre*. Capables déjà de raisonner sur des faits, elles

devenaient capables de raisonner sur des raisonnements : c'était changer radicalement de destin.

On pouvait alors imaginer des programmes servant à en fabriquer d'autres, à les corriger. Il n'est plus nécessaire que l'homme ait pensé à tous les cas particuliers : quand il s'en présente un qui n'était pas prévu, la machine pose la question de savoir ce qu'il y a lieu de faire, et elle s'en souviendra à l'occasion.

On peut, aujourd'hui, apprendre aisément à une machine la marche des pièces de l'échiquier : la machine jouera une partie où tous les coups seront conformes à la règle du jeu, mais elle perdra. On sait aussi lui faire un « programme d'apprentissage » capable de corriger le programme de jeu précédent. Alors la machine perdra encore quelques parties, puis finira par en gagner une; et le nombre des parties qu'elle gagnera deviendra de plus en plus grand, jusqu'à ce qu'elle finisse par égaler et dépasser son maître... Dans l'état actuel de la technique, elle plafonnerait avant, car elle n'aurait pas une capacité de mémoire suffisante pour enregistrer toute sa science des échecs. Mais plus tard... Et ce qui est vrai pour le jeu d'échecs n'est-il pas vrai dans bien d'autres domaines moins anodins ? Si, et c'est bien là que le vertige nous prend.

### Jusqu'où irons-nous ?

Nul ne saurait le dire avec exactitude. Nous pouvons seulement constater que les machines sont, ou seront capables d'assumer les activités intellectuelles de l'homme dans la mesure exacte où elles obéissent à des règles précises, formulables, dans la mesure où elles sont explicables. Il ne fait pas de doute alors qu'une grande partie de nos activités intellectuelles est mécanisable. Certains pensent que tout dans la pensée de l'homme est rationalisable, et que par conséquent la machine, un jour, l'égalera, pour finalement le dominer.

Nous affirmons que rien dans la technique actuelle ni dans son évolution scientifiquement prévisible ne permet de soutenir une pareille thèse. Jamais on n'a vu, au cours des âges, les outils forgés par l'homme pour accroître la puissance et l'acuité de ses sens et de ses facultés se substituer radicalement à lui dans les formes nobles de ses activités, à moins qu'il n'ait volontairement abdiqué sa dignité. Ce sera encore plus vrai dans l'ordre intellectuel où l'homme émergera grâce à son intuition et à son génie, si savantes et si érudites que deviennent ses machines.

Jean BOSSET

COMPAGNIE DES MACHINES

L'ÉDITION PUBLICITAIRE

BULL

2053

C

tous les matériels  
nécessaires  
au calcul automatique  
et au traitement  
de l'information

comptabilité  
gestion  
recherche opérationnelle  
recherche scientifique

d

b

a

projets auxiliaires

94, AVENUE GAMBETTA - PARIS XX - MEN. 81-58

## **Auxiliaire indispensable pour diagnostics et traitements**

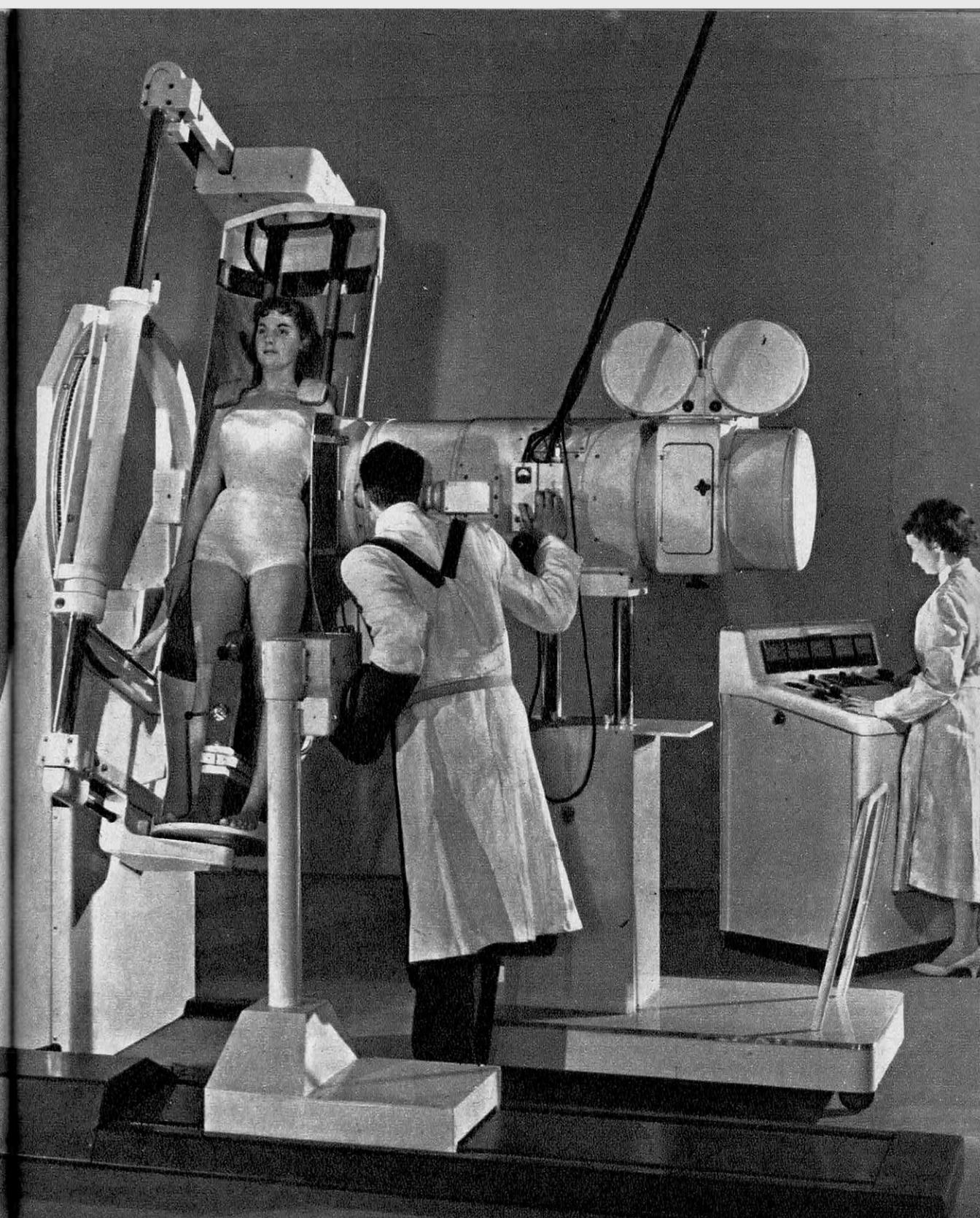
# **L'ÉLECTRONIQUE EN MÉDECINE**

**A**U récent Congrès d'électronique médicale qui s'est tenu à Paris en juin dernier, nous avons entendu des Russes décrire l'appareillage qui permet de suivre les réactions physiologiques de la petite chienne Laïka emportée par le Spoutnik II, des Américains présenter l'instrumentation et le système de télémesure destinés aux recherches « bio-astronautiques », un Français tenter d'interpréter le fonctionnement des cellules vivantes dans le cadre de la cybernétique quantique, un Japonais souligner le développement des techniques électroniques appliquées à la physiologie et à la pathologie, des Anglais et des Allemands exposer les perspectives offertes par les machines à calculer pour l'interprétation des phénomènes vitaux et pour la télécommande ou le régulation automatique des organes vivants. Comme on le voit, l'électronique médicale est à l'avant-garde d'applications révolutionnaires.

### **Le médecin s'allie à l'électronicien**

D'ores et déjà sa contribution est importante, même à la médecine curative, avec les courants basse-fréquence pour le traitement de certaines maladies chroniques de la peau, les essais à haute-fréquence ou par ultrasons, les défibrillateurs utilisés systématiquement pour relancer, par des chocs électriques, les cœurs qui cessent de battre ou entrent en fibrillation, et plus récemment les stimulateurs cardiaques agissant directement sur le muscle où on les inclut et excitant ses contractions trop lentes ou défaillantes.

L'électronique offre à la pratique clinique courante une foule de détecteurs précis et subtils qui éclairent et confirment le diagnostic du médecin : capteurs de pression assez petits pour être introduits directement dans les vaisseaux, contrôleurs d'acidité, amplificateurs de bruits cardiaques, appareils de mesure continue de la teneur du sang en oxygène, etc... Elle fournit aux médecins et chirurgiens des éléments très sûrs et objectifs grâce à l'électroencéphalographie en neurologie, à l'électromyographie pour les maladies mus-



Philips

L'intensificateur d'images permet désormais d'obtenir  
un film cinématographique vivant au lieu de radiographies inanimées.

culaires, l'électrocardiographie pour les maladies du cœur et des vaisseaux.

L'électronique, parce que la vie, par essence, met en jeu au niveau même de la cellule des phénomènes électriques et ioniques, permet aux physiologistes de pénétrer plus avant dans la connaissance intime de la cellule, des circuits neuro-musculaires, de la propagation de l'influx nerveux. Ainsi des générateurs d'impulsions, lancées une à une ou par trains, réglables en amplitude, en durée, en écartement, transmises aux tissus par de fines aiguilles, vont donner au physiologue un moyen raffiné pour exciter les fibres cellulaires, déclencher leurs échanges physico-chimiques; grâce à la stimulation on a pu dresser la carte des circuits neuro-musculaires, suivre le cheminement des messages sensoriels et repérer avec précision leur arrivée sur le cortex (localisations cérébrales); on a pu reprendre sous un jour nouveau les études célèbres de Pavlov sur le conditionnement, suivre les voies nouvelles d'association créées par l'apprentissage ou le dressage, étudier leur évolution dans le temps et mesurer la sensibilisation due à des apprentissages antérieurs.

Inversement, des électrodes de plus en plus fines couplées à des amplificateurs spéciaux à très grand gain permettront d'aller fouiller au sein même de cellules dont les dimensions s'échelonnent du micron au dixième de millimètre pour y détecter les variations de charge élémentaire, analyser les phénomènes de dépolarisation et de repolarisation des membranes des cellules nerveuses ou musculaires; elles permettront d'explorer le mécanisme du passage de l'influx nerveux à la jonction nerf-muscle et d'enregistrer dans la cellule les potentiels capables de bloquer la propagation de cet influx et qui constituent la base même de notre activité volontaire, c'est-à-dire de la maîtrise de nos réflexes.

Quoi d'étonnant si un laboratoire moderne de physiologie réunit un appareillage électronique complexe de stimulateurs, amplificateurs, alimentations stabilisées, enregistreurs, calculateurs et oscilloscopes cathodiques aux performances les plus poussées !

### L'électroencéphalographie

L'électroencéphalographie permet de détecter sur le crâne et d'enregistrer les potentiels corticaux, c'est-à-dire les variations de potentiel fournies spontanément par les cellules des régions superficielles du cerveau. Dès 1924, grâce à des amplificateurs à tubes à vide, on avait mis en évidence les rythmes caractéristiques qui s'échelonnent de 1 à 30

cycles par seconde et dont l'amplitude sur le crâne varie de 10 à 500 microvolts. Mais c'est seulement depuis une dizaine d'années, grâce à la mise au point d'amplificateurs différenciels à grand gain (10 millions) liés à des inscripteurs robustes, que cette technique s'est généralisée et a pu devenir une méthode de diagnostic pratique et féconde, en particulier pour la délimitation des foyers épileptiques, la détermination précise des régions traumatisées après un choc, la localisation géométrique rigoureuse des tumeurs qu'extraitront les neurochirurgiens.

L'électroencéphalogramme permet de contrôler l'efficacité de certains médicaments (narcotiques, sédatifs, convulsifs), d'aider le psychiatre pour l'étude des névroses et pour les expertises médico-légales (simulation, responsabilité mentale), de déceler des anomalies organiques chez des enfants retardés, les troubles circulatoires du cerveau, etc...

Pour orienter plus sûrement le diagnostic et étudier les particularités régionales dans un quadrillage serré du crâne, on a multiplié le nombre des enregistrements simultanés : de 2 à l'origine, ils sont passés à 20 ou 30 aujourd'hui.

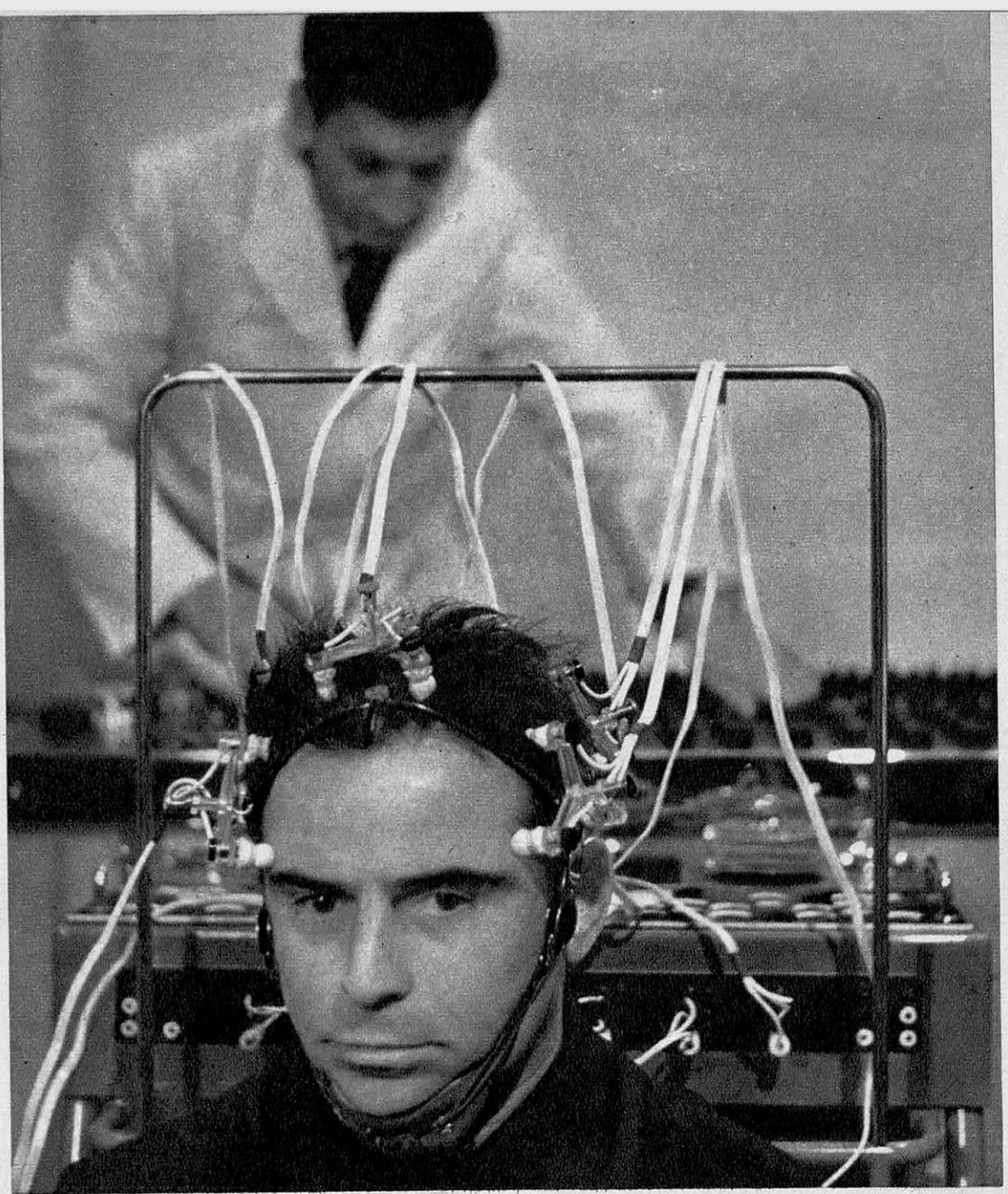
### La machine à détecter le mensonge

Cette multiplication des enregistrements simultanés a permis de relier l'électroencéphalogramme, c'est-à-dire l'activité du cortex, à certaines réactions végétatives ainsi mises en évidence : rythme de la respiration et du cœur, variations de la pression artérielle, du tonus musculaire, de la résistance de peau sous l'effet de drogues ou de chocs émotionnels.

Des détecteurs sensibles révèlent ainsi des microréactions en fonction d'états émotionnels cachés volontairement au fond de la conscience.

L'enregistrement polygraphique étend l'intérêt de l'électroencéphalographie à la psychologie, à l'étude des personnalités troublées, aux recherches sur les mécanismes de la conscience et du sommeil.

La machine à détecter le mensonge n'est qu'une application très particulière de ces techniques : on enregistre simultanément au moins le cœur, la respiration et la résistance de la peau, l'expérience ayant prouvé qu'un sujet ne peut garder la maîtrise à la fois de sa pression artérielle et de sa cadence cardiaque, de la cadence et de l'amplitude de sa respiration et des variations locales de sa transpiration, notamment au creux de la main. Au cours d'un interrogatoire mené de façon bien

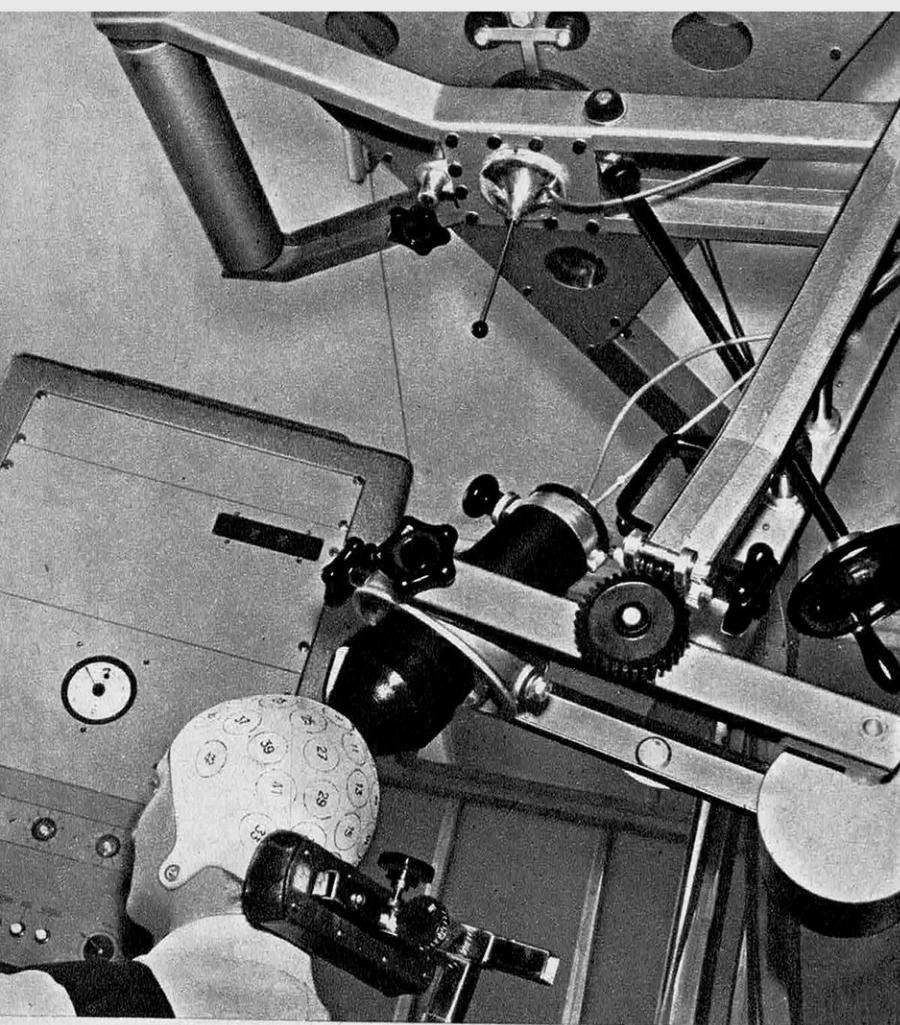


Alvar Electronic

## Électroencéphalogrammes à pistes multiples

L'enregistrement simultané des ondes cérébrales prélevées par de multiples électrodes en plusieurs points du crâne permet d'étudier en détails l'activité du cortex en fonction de diverses stimulations (chocs, bruits, signaux lumineux) ainsi que l'action de drogues diverses sur cette activité. On voit à droite un tel enregistrement polygraphique par un appareil à vingt plumes qui inscrit en outre le rythme respiratoire, les battements du cœur et la pression artérielle du sujet soumis à des stimulations diverses.





Alvar Electronic

définie, on enregistre ces trois phénomènes et on y recherche les discontinuités consécutives à certaines questions précises.

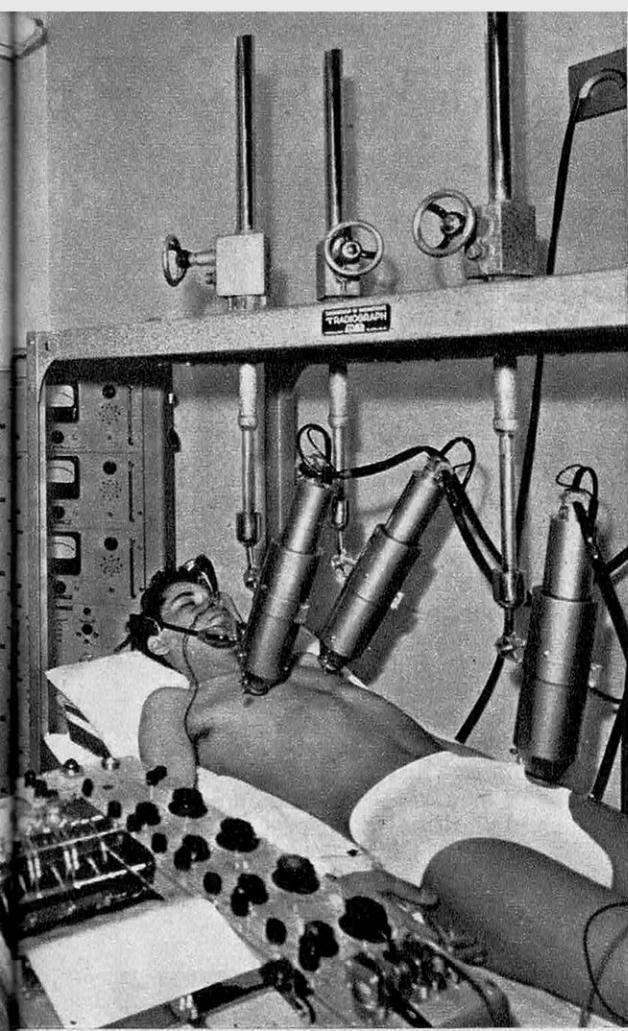
Ces techniques polygraphiques sont d'ailleurs actuellement appliquées au cours même de certaines interventions chirurgicales : il arrive que des malades amputés continuent à souffrir violemment au niveau de leur membre fantôme. Sans anesthésie (la masse du cerveau est insensible) on descend, par de minuscules trous pratiqués dans l'os du crâne, de longues aiguilles à plusieurs niveaux; on peut ainsi envoyer de petits chocs électriques successivement en des points différents, enregistrer simultanément l'électroencéphalogramme et les phénomènes végétatifs essentiels, et interroger le patient sur ce qu'il ressent à chaque stimulation. On parvient de la sorte à localiser le siège de cette douleur insupportable que ressent le malade au niveau d'un membre qu'il n'a plus ! Il suffit alors de descendre en ce point précis une pilule d'or radioactif pour tuer le groupe de cellules incriminées.

### Des machines à calculer pour sonder le cerveau

Si nous voulons remonter d'un tracé d'électroencéphalographie à la connaissance des mécanismes du cerveau, nous sommes dans la même situation qu'un sourd qui voudrait remonter à l'expression musicale d'une sonate de Beethoven en observant la piste sonore d'un film ou d'un disque.

Il est bien évident qu'il s'y cache une masse d'informations beaucoup plus grande que les quelques configurations typiques qui servent pratiquement au neurologue pour localiser une tumeur.

L'examen détaillé d'un tracé laisse apparaître une certaine périodicité. Des analyseurs harmoniques automatiques joints à l'électroencéphalographe peuvent inscrire en permanence, immédiatement, sur le tracé lui-même, le profil des fréquences qui l'ont caractérisé pendant les 10 secondes précédentes, par exemple. On peut suivre l'évolution de ce profil dans le temps, le convertir en



## ← L'exploration gammagraphique

Après avoir injecté au malade un corps « marqué » par un isotope radioactif émetteur de rayons gamma, on suit son parcours dans la circulation ou on localise à l'aide de compteurs ses lieux de fixation. A gauche, il s'agit d'une gammaencéphalographie qui permettra la localisation d'une tumeur profonde où de l'iode radioactif sera venu se fixer. A droite, on mesure avec trois compteurs la vitesse de la circulation sanguine après injection d'albumine « marquée ».

cartes perforées et en faire l'analyse statistique avec un ordinateur. C'est ainsi que des travaux considérables sont actuellement en cours sur d'importants groupes d'individus pour rechercher des relations caractéristiques entre l'électroencéphalogramme, certains tests psychotechniques et des éléments typiques de la personnalité.

En fait, l'électroencéphalogramme n'est pas un tracé périodique et cette simple analyse harmonique ne conduit qu'à des résultats limités.

Le cerveau reçoit d'incessantes stimulations de toutes les extrémités sensorielles du corps, et elles se superposent à son activité propre; l'électroencéphalogramme, qui reflète cette activité, doit donc en être également affecté. Une machine électronique pourra effectuer la « corrélation » d'un électroencéphalogramme avec une stimulation externe contrôlée expérimentalement et faire apparaître la réponse corticale évoquée par la stimulation, même si cette réponse est noyée dans une sorte de bruit de fond élevé qui re-

présente l'activité intrinsèque des cellules du cortex. A l'inverse, la corrélation de l'électroencéphalogramme avec lui-même éliminera toutes les perturbations dues aux messages des sens parce que ceux-ci arrivent pêle-mêle au hasard, et fera ressortir une activité rythmique propre, si celle-ci existe dans le cerveau. Les premières études effectuées dans ce sens ont précisément mis en évidence un rythme sous-jacent très stable et qui constitue une sorte d'empreinte digitale d'un individu donné.

L'association de machines à calculer aux études sur l'électroencéphalogramme permet ainsi d'en discriminer les composantes et leurs caractéristiques propres, et de distinguer, sur des régions corticales étendues, des réponses complexes aux messages sensoriels jusqu'ici indécelables. Pour reprendre notre image initiale, nous sommes en mesure de distinguer sur la piste sonore violons et trompettes. Reste maintenant à retrouver et à comprendre l'harmonie profonde de la symphonie !

### L'électronique en salle d'opération

La salle d'opération elle-même est maintenant envahie d'appareillages de contrôle et de mesure qui aident puissamment le chirurgien et son équipe au cours même de l'intervention.

Une opération sérieuse peut s'étaler actuellement sur 4 à 5 heures. L'anesthésie devient-elle insuffisante, le malade souffre-t-il inconsciemment, l'électroencéphalogramme montre des ondes caractéristiques qui renseignent immédiatement l'anesthésiste. Plus grave encore, le cerveau ne reçoit plus assez de sang ou celui-ci ne contient pas assez d'oxygène; il reste quelques minutes pour éviter « l'accident »; c'est l'électroencéphalogramme qui donne immédiatement l'alarme : de grandes ondes lentes apparaissent et signifient que le cerveau s'asphyxie.

Le comptage du pouls s'effectue en permanence, sans que personne s'en occupe, grâce à un traducteur piezoélectrique. Pour s'assurer que le mélange anesthésique reste correctement dosé tout au cours de l'opération, une mesure permanente de sa teneur en oxygène s'effectue en faisant passer le courant gazeux dans un champ magnétique. Une cellule photoélectrique placée sur le lobe de l'oreille ou à l'extrémité d'un doigt permet d'enregistrer de façon continue les variations de concentration d'oxygène dans le sang artériel.

On vérifiera que les échanges gazeux s'effectuent correctement au niveau des poumons en mesurant le pourcentage en gaz carbonique de l'air expiré grâce à l'absorption d'un rayonnement infrarouge en face d'une cellule photoélectrique spéciale.

On contrôlera en permanence la pression artérielle ou veineuse en introduisant dans une veine ou dans une artère du bras de l'opéré un tube en matière plastique de faible section (cathéter) relié à un traducteur manométrique de grande sensibilité.

Tous ces enregistrements sont très souvent doublés d'une observation directe sur un

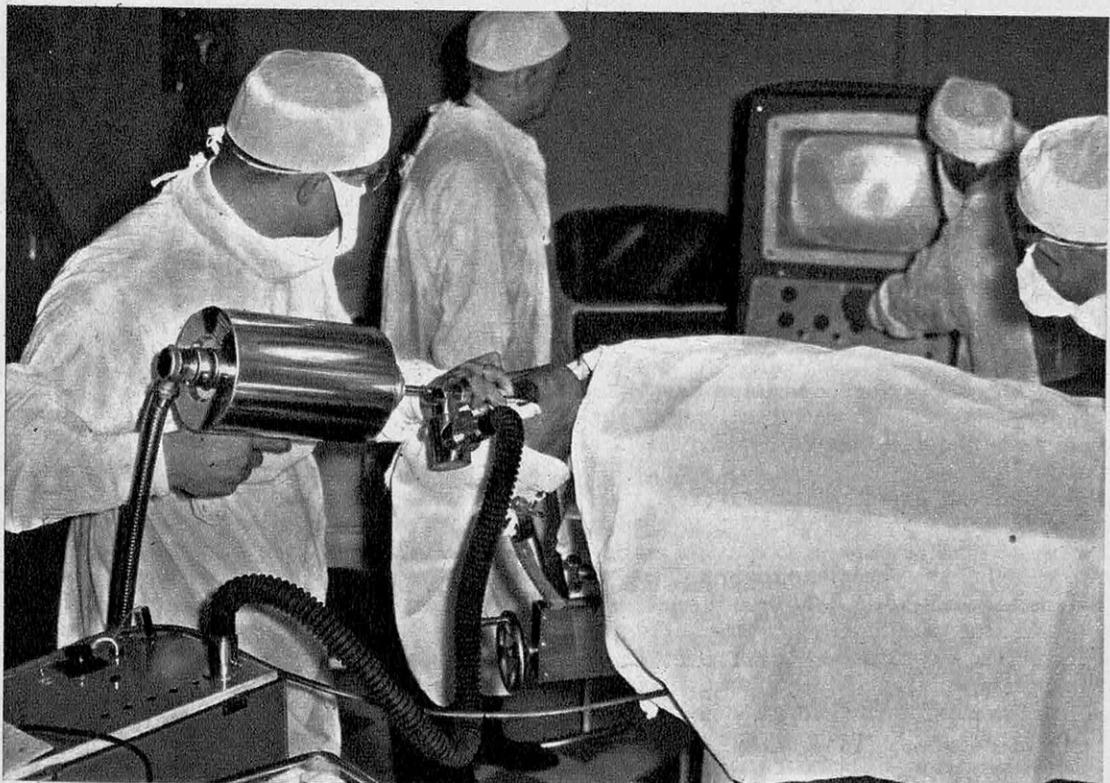
oscilloscophe cathodique grand écran : le chirurgien n'a qu'à lever les yeux et l'information est là, devant lui, nette, directe, prête à l'interprétation.

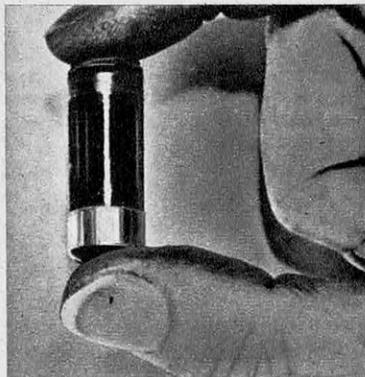
### Traceurs radioactifs

L'idée de suivre à la trace, de l'extérieur, le cheminement d'éléments radioactifs dans l'organisme est déjà ancienne, mais n'a pu être mise réellement en pratique que depuis que des radioisotopes répondant à des spécifications très sévères ont été mis sur le marché ainsi que des compteurs à scintillation robustes et commodes. Le rayonnement gamma du radioélément est reçu sur un cristal approprié, généralement iodure de sodium activé par le thallium, où il provoque de minuscules émissions lumineuses qu'un photomultiplicateur amplifie un million de fois; un intégrateur compte ces impulsions et chiffre ainsi de manière très précise l'intensité du rayonnement.

L'exploration directe d'un organe se traduit par ce qu'on appelle une gammagraphie, dont les applications les plus courantes concernent l'examen de la thyroïde (par l'iode

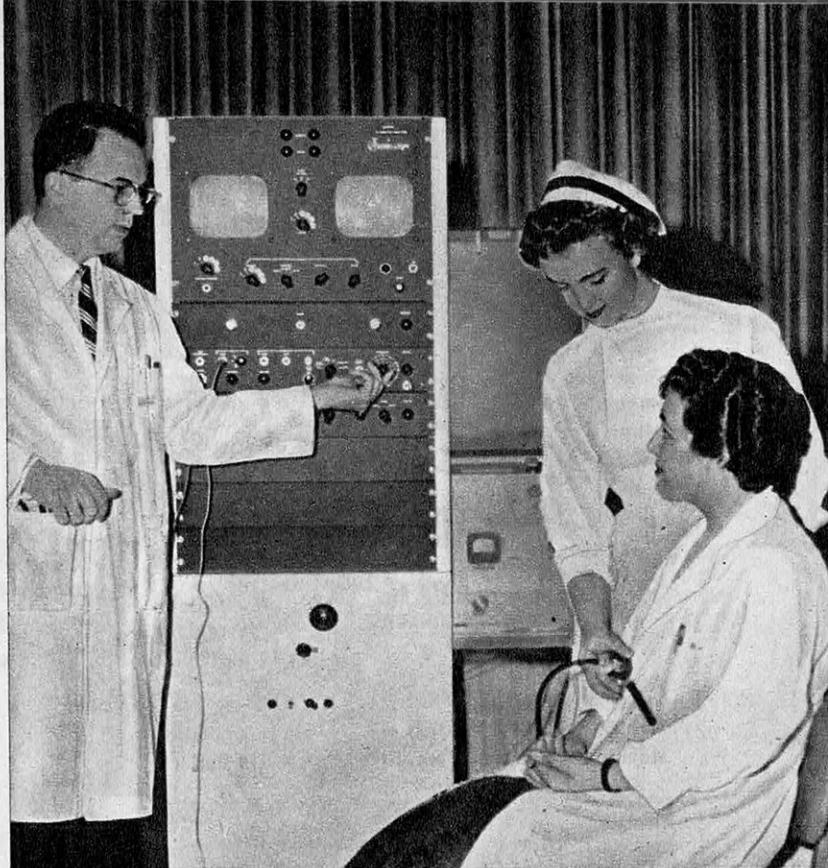
Ph. Noël Bayon





## Des pilules radiophoniques

Ces pilules contiennent un minuscule poste émetteur à transistors, alimenté par des piles encore plus minuscules, qu'il est aisément de suivre avec un récepteur à travers l'appareil digestif. On peut ainsi être renseigné sur diverses caractéristiques telles que température, pression, acidité du milieu traversé, ces caractéristiques modulant l'émission.



USIS

131), permettant d'apprécier son fonctionnement et l'éventualité d'un goître, du foie pour le repérage des tumeurs, des reins pour l'étude de leur vascularisation et de l'obstruction éventuelle des conduits d'excrétion, de la circulation sanguine, etc... La gammaencéphalographie complète l'électroencéphalogramme dans les cas difficiles de localisation de tumeurs cérébrales profondes.

### Radiopilules

Nous terminerons par deux applications toutes récentes et assez spectaculaires de l'électronique.

La première est la « radiopilule » : un minuscule émetteur, gros comme un noyau de cerise, est avalé et son émission est modulée par les caractéristiques physiques du milieu

qu'elle traverse : température, pression, acidité, etc... Un petit récepteur à transistor suit son trajet à travers l'appareil digestif complet.

Dans le même ordre d'idées, on étudie les contractions stomacales en faisant avaler un minuscule aimant dont les variations de champ, lorsqu'il est brassé par l'estomac, induisent des variations caractéristiques dans une bobine détectrice.

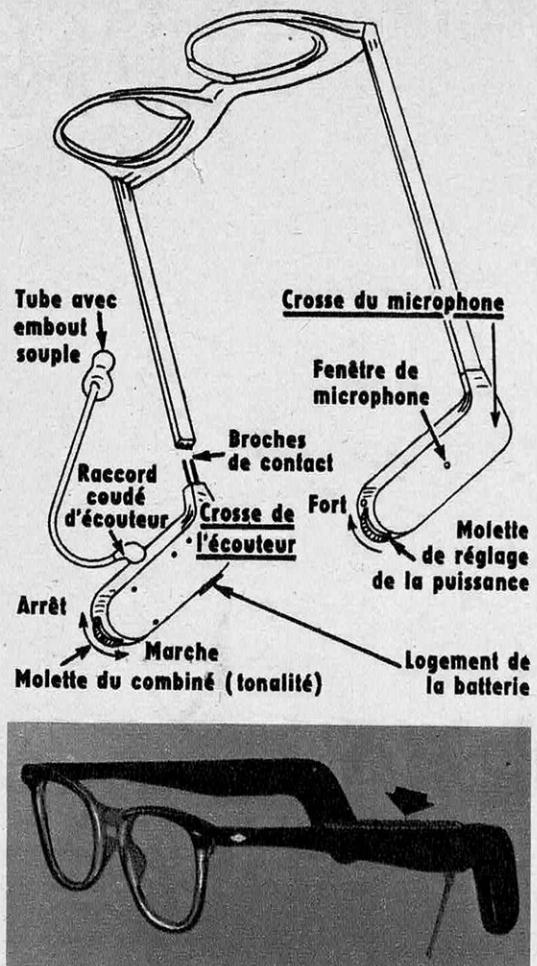
### L'oreille artificielle

Plus riches en possibilités sont les « induits » du Professeur Djourno, à la Faculté de Médecine de Paris. Sur un noyau miniature à haute perméabilité magnétique, on bobine quelques centaines de spires d'un fil d'argent isolé, et on noie le tout dans une matière plastique inerte bien tolérée par l'organisme et d'où sortent deux fils d'acier inoxydable. L'ensemble est inséré chirurgicalement dans un tissu et les deux fils sont connectés à un organe ou à un nerf. L'« induit » peut rester en place indéfiniment et détectera à distance les ondes émises par une bobine.

Si, par exemple, les deux fils de l'induit sont connectés au nerf phrénique, on peut commander les contractions rythmiques du dia-

### ← Endoscopie télévisée

Les explorations endoscopiques constituent actuellement un des éléments les plus importants pour certains diagnostics car elles donnent une vue directe des organes malades, le foie, le tube digestif, les bronches, etc... Ici l'œil du médecin est remplacé par une caméra de télévision qui donne une image agrandie de l'œsophage.



## ← Lunettes auditives

Désormais classiques, ces lunettes résolvent élégamment le problème des prothèses auditives. En haut, schéma d'ensemble du montage des lunettes Wendton. En bas, le dernier modèle américain de la Zenith Radio Corporation qui comporte des piles solaires installées dans une des branches.

placer l'appareil de transmission de l'oreille moyenne. Mais dans tous les cas, il était indispensable que l'oreille interne et sa cochlée soient en bon état. Or, la méthode des « induits » paraît susceptible d'attaquer directement le nerf auditif.

Dans une oreille normale, les fibres du nerf auditif sont étalées par milliers le long du limacon de l'oreille, et chaque son n'en attaque qu'un certain groupe selon sa hauteur.

Nous ne sommes pas capables actuellement d'implanter des milliers de « micro-induits » dans le limacon pour les actionner par des sons correspondants, mais il a été expérimentalement prouvé que si l'on implante un seul « induit » sur le nerf auditif et si on l'excite par un inducteur branché sur un microphone, le sujet perçoit déjà un son et non un bruit. Quel que soit le vocable prononcé devant le microphone, ce sera toujours grave ou toujours aigu selon la portion du nerf auditif sur laquelle la connexion aura été faite; mais il sera modulé en durée et en intensité, toujours reproductible, donc reconnaissable.

Avec un seul « induit », les résultats sont médiocres, parce que les sons perçus par le sujet sont trop uniformes pour se prêter à un apprentissage rapide, mais un appareillage à deux « induits » est en cours de réalisation, chaque « induit » devant être connecté à une fibre particulière du nerf auditif. On s'efforcera de brancher ces deux récepteurs sur deux fibres sensibles, l'une aux sons graves, l'autre aux sons aigus. Le codage sera donc plus aisément et le sujet pourra rester toute la journée sous l'influence des sons grâce à un inducteur très réduit à transistors; l'apprentissage sera donc beaucoup plus rapide.

On peut même supposer qu'il sera plus facile d'éduquer les sourds de naissance qui n'ont jamais entendu un son, que de rééduquer des sourds accidentels : le son que leur « oreille électrique » fournira aux premiers leur paraîtra merveilleux, alors que sans doute il apparaîtra bien imparfait aux seconds que la mémoire des sons antérieurs gènera incontestablement.

J. A. GRÉGOIRE  
Ingénieur E.C.P.

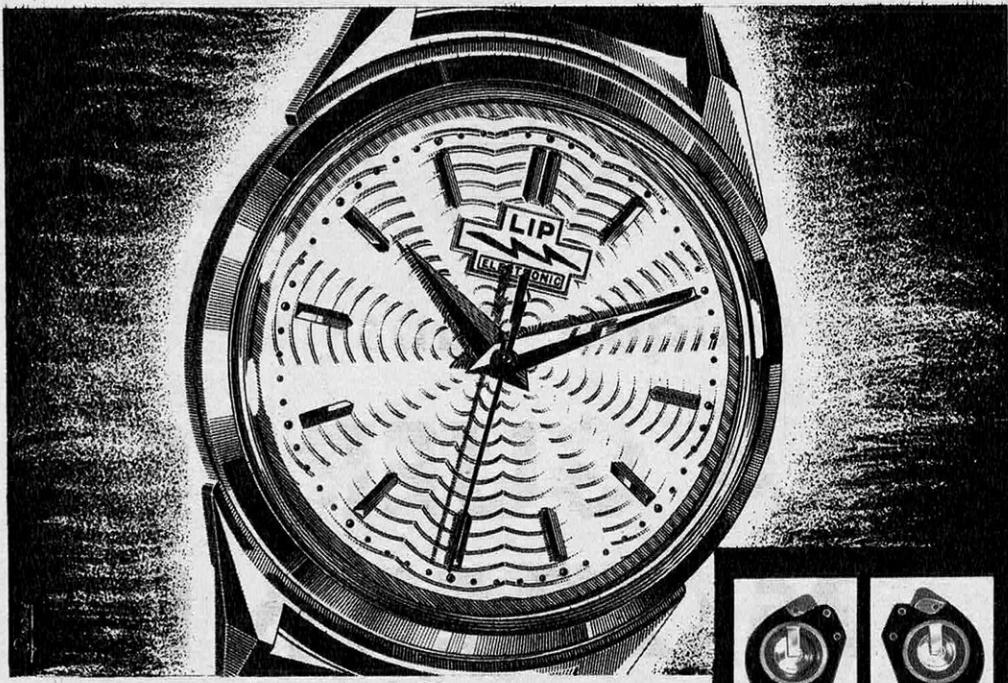
phragme et disposer ainsi d'un appareillage de respiration artificielle.

On conçoit immédiatement les avantages de cette méthode : on agit exactement à l'endroit prévu et les mêmes excitations peuvent être repérées sans qu'aucune lésion survienne au niveau de l'organe où a été faite la connexion.

Le Professeur Djourno possède dans son laboratoire quelques lapins dont le nerf sciatique est connecté à un « induit » depuis plusieurs années et qui sautent sur ordre donné dans un microphone branché sur un inducteur que l'on approche du lapin.

Cette méthode offre d'immenses possibilités thérapeutiques, en particulier pour la respiration artificielle et pour l'excitation directe des fibres sensorielles. C'est dans ce domaine que le Professeur Djourno essaye à l'heure actuelle un nouvel appareillage pour la surdité.

Jusqu'ici on ne pouvait que renforcer le niveau sonore appliqué à l'oreille ou rem-



*Un chef-d'œuvre  
de précision et de qualité*

**LIP**

ELECTRONIC

Micro-piles standard  
diamètre 11,3 mm.

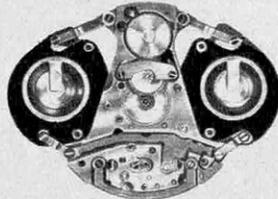
1<sup>er</sup> chronomètre-bracelet électrique fabriqué en Europe

LIP ELECTRONIC, résultat de 10 années de recherches et de mises au point effectuées en coopération avec une des plus importantes sociétés américaines de haute précision, est un chef-d'œuvre de chronométrie et de qualité.

Son prodigieux micro-moteur électrique auto-réglant alimenté par deux piles mi-

nuscules standard lui assure une rigoureuse exactitude.

Il fonctionne dans un tiroir comme à votre poignet, indépendamment de tout apport extérieur de force motrice. Ses deux micro-piles lui assurent une autonomie totale d'au moins une année. Plus de remontage — mais vous pouvez le mettre à l'arrêt à volonté.



Une présentation exceptionnellement luxueuse : Boîtier or lapidé façon main. Cadran or. Chiffres, aiguilles et boucle or. Bracelet crocodile. Présenté dans un écrin créé par Hermès.

Modèle COSMIC : N. F. 1600

# L'électronique dans LA GUERRE MODERNE

**A**U début de la dernière guerre, l'électronique n'était pratiquement utilisée que pour les télécommunications. Aujourd'hui, il n'existe pas un instrument de guerre qui puisse s'en passer. Elle seule peut résoudre les problèmes militaires soulevés par les progrès formidables de l'aéronautique — et de l'astronautique — et par les explosifs nucléaires. Les nouvelles dimensions de temps et d'espace dans lesquelles se joueront les guerres futures, exigent des moyens révolutionnaires et ultrarapides pour « voir » et agir à distance. Les réflexes humains, les sens sont inadéquats. Élaborer un plan de campagne est devenu un travail de recherche opérationnelle, dont on charge une machine. L'électronique étend son emprise.

## 60 % des électroniciens mobilisés

Les États-Unis ont dépensé cette année, pour la seule recherche électronique militaire, plus de 2 milliards de dollars, presque un demi-milliard de plus que l'année précédente. D'après le Secrétaire à la Défense, l'effort de guerre mobilise actuellement 60 % des électroniciens américains. Ces chiffres mesurent l'avance foudroyante de l'électronique dans le domaine militaire.

En vingt ans, les progrès ont été sensationnels. Quand, aux premières heures de la dernière guerre, un cuirassé allemand, croissant avec confiance sous couvert de la brume, fut touché par deux obus tirés d'un navire anglais à 15 milles nautiques de là, l'étonnement du commandant fut considérable. Ni la distance ni l'obscurité n'étaient plus des alliées sûres. L'œil électronique du radar se jouait de l'une et de l'autre.

Les Allemands, eux aussi, exploraient cette technique. Mais ils étaient passés à côté du secret, et concentraient leurs recherches sur les lampes triodes classiques. Peu à peu, ils se trouvèrent, avec surprise, en butte à des phénomènes curieux, spécialement sur le front Atlantique, où les pertes de sous-marins finirent par les paralyser dans la guerre navale. Enfin, en 1943, un bombardier anglais, abattu presque intact près de Rotterdam, révéla pour la première fois aux Allemands la cause de leurs désastres maritimes et aériens. C'était un tube émetteur d'une conception inconnue d'eux : un « magnétron à cavités », doué d'une puissance d'impulsion d'une centaine de kilowatts sur des fréquences de 3 milliards de vibrations à la seconde, soit 9 cm de longueur d'onde.

Ceci marquait une grande victoire des



## La détection lointaine

La reconnaissance aérienne à grande distance est confiée à des Super-Constellation qui, avec un équipage de 30 hommes, emportent près de 6 tonnes d'équipement électronique, dont un aérien géant dans un radome de 12 m de diamètre. Les observations des 5 pupitres radar du bord sont reportées sur un écran transparent.

techniciens sur l'univers étrange des rayonnements électromagnétiques. On commençait à savoir dompter les « hyperfréquences ». C'était la première solution du grand problème de la recherche radioélectrique : obtenir, dans le spectre des ondes radio, des oscillations de fréquence de plus en plus élevée et avec une puissance de plus en plus grande.

Ce double but était imposé par le radar. Celui-ci exige à la fois de très grandes puissances pour accroître sa portée, et de très hautes fréquences (ou, ce qui revient au même, de très courtes ondes) pour augmenter la netteté de ses images. L'onde radar va frapper un obstacle et revient en écho ; plus elle est courte, plus la « définition » de l'obstacle est précise, mieux on distingue les objets lointains. Pour obtenir un écho, il faut que la dimension de l'objet à repérer soit au moins du même ordre de grandeur que la longueur d'onde utilisée : une onde de 1 km ne se réfléchit pas sur un objet d'un mètre. En outre, pour obtenir plus de puissance dans une certaine direction on cherche à concentrer le rayonnement dans un faisceau aussi fin que possible. Or, il faut des antennes beaucoup plus encombrantes pour focaliser des ondes longues que des ondes courtes. A cela s'ajoute

le problème de la puissance d'émission et celui de la sensibilité des récepteurs : à mesure qu'on veut augmenter la portée d'un radar, les pertes d'énergie deviennent considérables. Finalement, l'énergie qu'on peut espérer capter au retour de l'écho diminue comme l'inverse de la puissance  $4$  de la distance. Pour doubler la portée d'un radar, il faut multiplier sa puissance par  $16$ .

### Le magnétron à cavités, point de départ du radar

L'électronique était ici devant un dilemme. Entre l'accroissement de la fréquence et celui de la puissance, on trouvait, dans les lampes à vides de T.S.F. classiques, une incompatibilité fondamentale. En fait, il fallait repenser complètement le principe des tubes émetteurs. L'effort de guerre britannique se porta sur la mise au point industrielle d'un dispositif remarquable imaginé par des techniciens français et auquel est attaché le nom de M. Ponte, le « magnétron à cavités ». C'est une des plus importantes parmi les nombreuses contributions au développement de l'électronique ultra-moderne des savants et ingénieurs français ; on ne compte d'ailleurs plus les domaines où leurs réalisations assurent actuellement à notre industrie électronique une place des plus enviables.

Le radar compte pour l'une des plus grandes révolutions de la guerre. Actuellement, les recherches électroniques militaires, pour leur plus grande part, portent toujours sur cette technique, dont les ressources apparaissent inépuisables. L'arsenal radar est multiple : radars au sol et à bord, radars de veille éloignée, radars de détection et d'interception, radars de conduite automatique de tir, radars de guidage ; jusqu'aux radars à ondes entretenuées qui, par l'utilisation de l'effet Doppler, équipent les fusées de proximité, et permettent de faire exploser un obus ou un engin quand il passe près de son objectif. Ces radars mesurent la vitesse de rapprochement (ou d'éloignement) mise en évidence par une légère différence de fréquence entre l'onde émise et l'onde reçue, d'autant plus élevée que la vitesse est grande. La gageure, ici, était de réaliser des tubes miniaturisés capables d'être logés dans la fusée, et de résister à la fois aux formidables accélérations de départ et aux vibrations créées par les vitesses supersoniques.

Entre les meilleurs radars d'aujourd'hui et ceux de la guerre, il n'y a plus de commune mesure. On obtient maintenant des impulsions d'un centième de microseconde, au lieu d'une microseconde ou deux. Les dimensions des antennes ont augmenté démesuré-



**LE CASQUE FUTUR DU FANTASSIN** comportera comme celui-ci, actuellement aux essais, un poste émetteur-récepteur alimenté par des piles solaires placées à sa surface et encadrant une petite antenne. Quatre petites batteries au cadmium-nickel emmagasinent l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'appareil durant la nuit.



**BATTERIE D'ÉCRANS RADAR** de surveillance générale. Toute tache suspecte sera repérée à l'aide d'un pistolet photoélectrique spécial et, si besoin est, ses coordonnées seront envoyées à un système de poursuite.

ment, jusqu'à l'hypertrophie, à tel point qu'il faut trouver de nouvelles solutions. La puissance produite par les magnétron, il y a dix ans, ne dépassait pas quelques centaines de kilowatts. Elle atteint maintenant couramment quelques milliers. Mais le magnétron ne semble pas pouvoir dépasser les 5 mégawatts. La relève est prise par une deuxième et une troisième génération de tubes amplificateurs. Le « klystron », basé sur la modulation de vitesse d'un flux d'électrons, délivre des puissances qui peuvent aller jusqu'à 50 mégawatts. Les tubes à « ondes progressives » donnent un rendement jamais égalé et sont capables de débiter des puissances inouïes.

Mais cela ne suffit pas encore devant la menace d'engins balistiques capables de franchir les océans en vingt minutes à 1 500 km d'altitude, pour finalement tomber du ciel à 7 000 m/seconde. Étendre la portée des radars en augmentant toujours plus la puissance d'émission, cela finit par devenir impossible. On ne peut demander aux radars de travailler sur des milliards de kilowatts. Or, aujourd'hui, pour détecter des I.C.B.M. (engins balistiques intercontinentaux) à une distance vraiment importante, c'est par 10, 20, 100 qu'il faut accroître la portée des radars. C'est

donc par 10 000, 100 000, 100 millions qu'il faudrait multiplier la puissance émise. Il est évident que le radar « classique » a atteint sa limite fonctionnelle. Il fallait trouver mieux.

### Les super-radars

Un radar ordinaire lance de très brèves impulsions. La difficulté, c'est que l'écho revient tellement affaibli qu'il ne s'élève plus au-dessus des parasites également captés par le récepteur. Le super-radar de Columbia, appelé O.R.D.I.R. (Omnirange Digital Radar), aujourd'hui sous contrat de l'U.S. Air Force, capte des échos infiniment plus faibles que le radar ordinaire, mais réussit à les « isoler ». Il envoie des impulsions très longues dont les caractéristiques sont modifiées par la réflexion sur un objet. L'écho revient parasité, mais l'analyse de la structure de l'onde, par cerveau électronique, permet de calculer la distance, la vitesse, la direction de l'objectif. Il y a deux ans, ce système bouleversait les notions admises de télécommunications et d'explorations spatiales par radar.

Les progrès du radar n'arrêtent pas. Les 10 et 12 février dernier, les savants américains du Lincoln Laboratory réalisaient le con-



## La Super-sentinelle de l'US Air Force

Ce nouveau radar, qui ne pèse pas moins de 50 tonnes, a une portée de détection de plusieurs centaines de kilomètres; le revêtement de l'aérien mesure plus de 30 m de large. Les essais en cours à la station de Iowa décideront de son incorporation dans les mailles du réseau américain « SAGE » de défense anti-aérienne.

tact radar avec Vénus. Distance : 45 millions de km, cent fois la distance Terre-Lune, précédent record. Or, une portée 100 fois plus grande correspond à un signal de retour 10 millions de fois plus faible. Comment a-t-on pu tenir cette gageure ?

Le radar avait été mis au point par l'U.S. Air Force: un klystron de plus de 3 m de long, une antenne avec réflecteur de 90 tonnes et 25 m de diamètre, et capable, malgré son gigantisme, de suivre un mobile à grande vi-

tesse. Mais le secret de l'exploit tenait dans autre chose : un cristal maintenu à 2 degrés absolus, soit  $-271^{\circ}$ , par un bain d'hélium liquide. Ce dispositif étrange, le MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation), a pu distinguer des signaux extraordinairement faibles du bruit de fond qui les noie dans les amplificateurs à tubes à vide même les mieux conçus et qu'engendrent les irrégularités inévitables des flux d'électrons libres. Le MASER ne fait pas



## Les Texas Towers, postes avancés maritimes

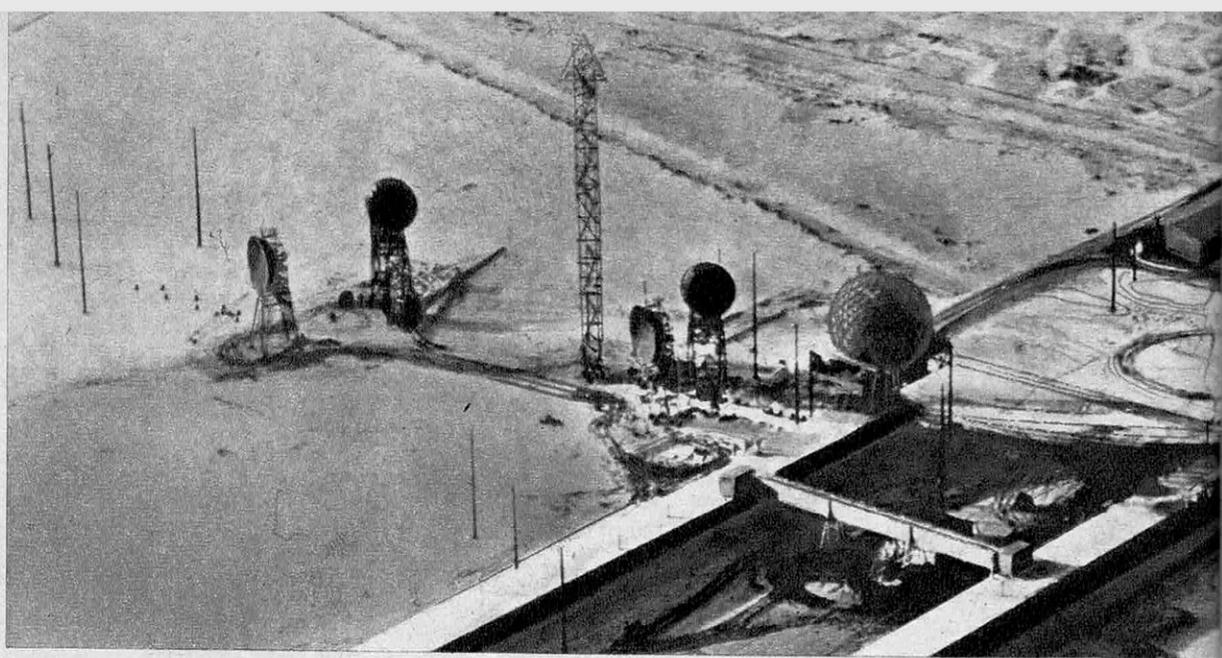
A 150 km en mer, ces tours assurent la surveillance continue au large des côtes américaines, complétant le système radar qui s'échelonne dans le Grand Nord à travers le Groenland, le Canada et l'Alaska. Des câbles hertziens dont on voit les réflecteurs les relient à la terre; une plate-forme est aménagée pour hélicoptère.

appel à des faisceaux d'électrons, mais à des oscillations propres à la matière et à leur interaction avec le rayonnement haute fréquence. Son fonctionnement est fondé sur la mécanique quantique qui régit les niveaux d'énergie discontinus des molécules et des atomes. Frappé par un rayonnement haute fréquence faible, un atome de nature convenable, préalablement porté à un niveau d'énergie élevé, retombe à un niveau inférieur en émettant de l'énergie, d'où un effet d'ampli-

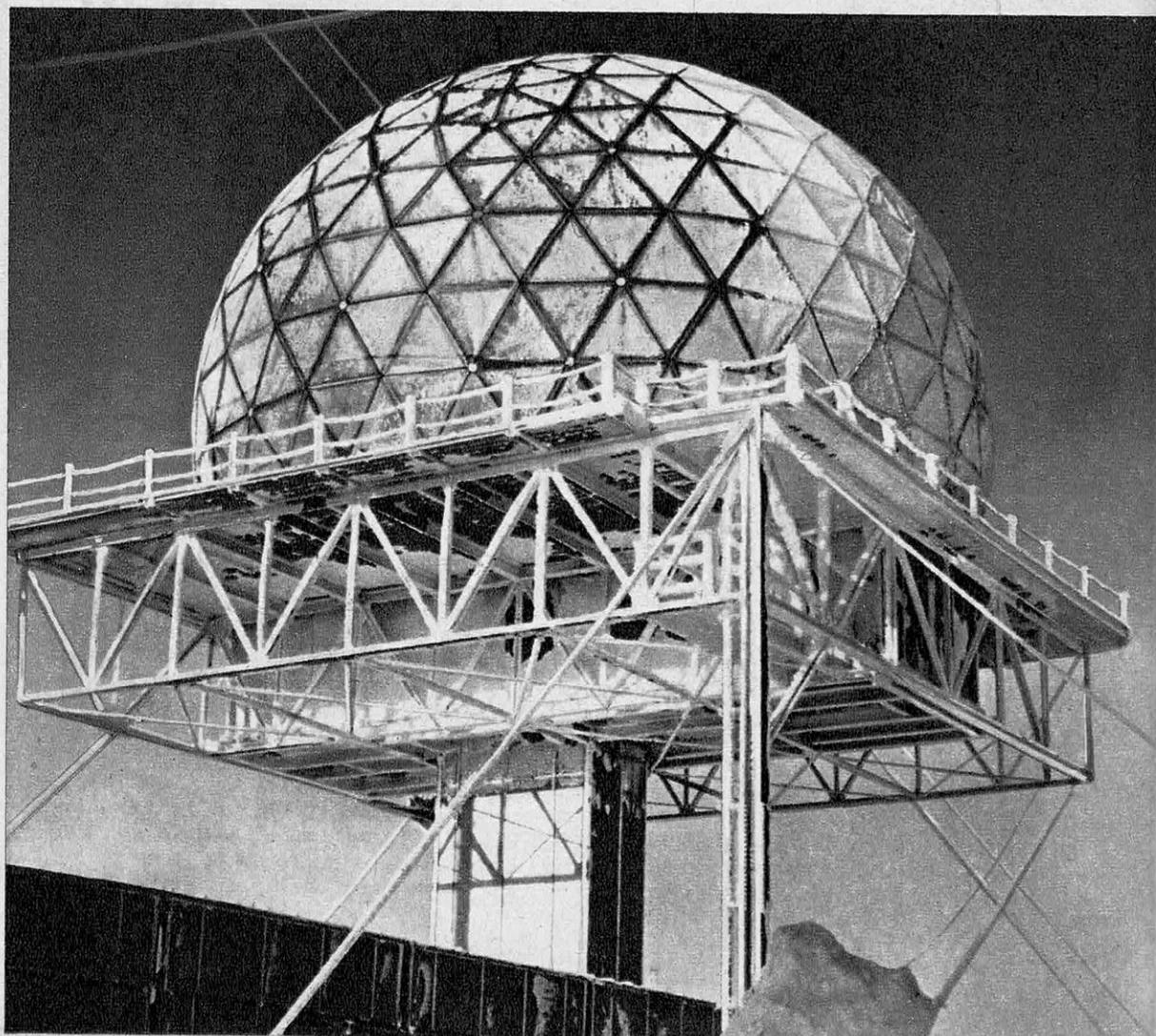
fication du signal que ne gène aucun bruit parasite aux températures auxquelles on opère, proches du zéro absolu.

Le plus grand ennemi du radar, c'est... le radar. Car la même technique peut être déployée contre lui. Une guerre silencieuse se déroule dès aujourd'hui : celle des contre-mesures électroniques. On peut en distinguer trois types principaux : la détection, le brouillage passif et le brouillage actif.

Le premier, c'est l'espionnage des ondes,



**Une station de la «DEW Line» dans le Grand Nord**





## Radar et ses câbles hertziens

Le cœur de la station, qui est reliée au réseau de défense, est le radar de surveillance dont l'antenne géante tourne sous le radome en matière plastique qui la protège des intempéries en laissant libre passage aux émissions d'ondes ultracourtes et aux échos que renvoient les objectifs éventuels.

celui de tous les jours, celui de la guerre froide. Il consiste, pour chaque camp, à sonder les défenses électroniques de l'autre, à repérer ses émetteurs, à les ausculter pour connaître leurs caractéristiques, de façon à pouvoir, en cas de conflit, les brouiller. Cela consiste aussi à intercepter les signaux et tout autre rayonnement électromagnétique émis d'un avion ou d'un engin, et à les analyser.

Le récepteur d'écoute a un avantage considérable sur l'émetteur radar qu'il espionne. La distance à laquelle on peut détecter une émission radar est forcément beaucoup plus grande que la portée effective de ce radar, puisque l'énergie qui revient de l'objectif à ce dernier sous forme d'écho est considérablement plus faible que l'énergie reçue par l'objectif, et par le poste d'écoute.

La « reconnaissance » électronique permet de trouver les brèches dans la couverture radar de l'adversaire. Si celui-ci est malin, il ne fera pas fonctionner tous ses radars simultanément, surtout en temps de paix. L'autre camp doit alors envoyer des avions provoca-

teurs sur le territoire « ennemi », qui susciteront une émission radar.

Les plus récents bombardiers sont dotés de matériel qui les avertit quand une onde radar les frappe. Tant que les signaux se répètent par intervalles, le pilote sait que le radar ennemi le cherche encore. Quand le signal devient continu, c'est que le balayage a cessé et que le pinceau radar s'accroche : le bombardier est repéré. Il existe cependant des radars qui continuent à balayer l'espace, même après avoir repéré un objectif. Ils ne s'arrêtent pas, mais calculent à chaque passage les coordonnées de la cible, qui ne se rend compte de rien.

### Brouillages passifs et actifs

Le second type de contre-mesure est le brouillage passif : ce sont les moyens par lesquels on cherche, sans produire soi-même de rayons électromagnétiques, à dénaturer les ondes radar envoyées par l'ennemi, à empêcher l'écho de retourner ou à produire de faux échos. C'était déjà le système des bandelettes métalliques qui, lancées par milliers depuis les bombardiers anglais, troublaient les radars allemands et leur faisait voir deux fois plus d'ennemis qu'il n'y en avait en réalité. Cette « astuce » n'est plus possible aujourd'hui parce que la vitesse du bombardier supersonique le ferait se distinguer trop facilement de ces « épouvantail » flottants. On tourne la difficulté en chargeant des fusées, lancées de l'avion, de répandre des bandelettes devant, en dessus et en dessous de sa route. Mais si le radar au sol est capable de changer rapidement sa fréquence d'émission, les bandelettes sont inefficaces, car leur longueur est calculée pour « resonner » aux fréquences continues d'un radar. On peut alors donner le change au change, en utilisant des bandelettes aux longueurs assorties.

Les moyens de tromper les radars sont infinis. Une petite surface peut donner l'illusion d'être très grande, grâce à des réflecteurs qui accroissent la puissance de l'écho. Un « decoy » (fusée postiche qui sert uniquement deurre) muni d'un tel dispositif et lancé par l'avion, peut détourner les rayons radar de l'avion et les attirer sur lui.

Le camouflage est le plus vieil art du monde. Aujourd'hui, c'est au radar qu'il faut se dissimuler. La « peinture qui rend invisible » est un vieux rêve des inventeurs. Pour aveugler le radar, on peut employer un enduit, sorte de filtre dont la face intérieure réfléchit l'onde dans une certaine phase, la face extérieure la réfléchissant dans la phase opposée, de sorte que l'onde se détruit elle-même, ou du moins

retourne fortement affaiblie à l'émetteur radar. Il est évident que l'interférence ne peut se produire que pour une longueur d'onde donnée, ce qui limite l'efficacité du système. On essaie aussi de rendre les objectifs transparents aux émissions radar par des couches de matériaux spéciaux qui les enrobent. Mais on imagine mal un super-bombardier ou un I.C.B.M. entièrement gainé dans de tels matériaux.

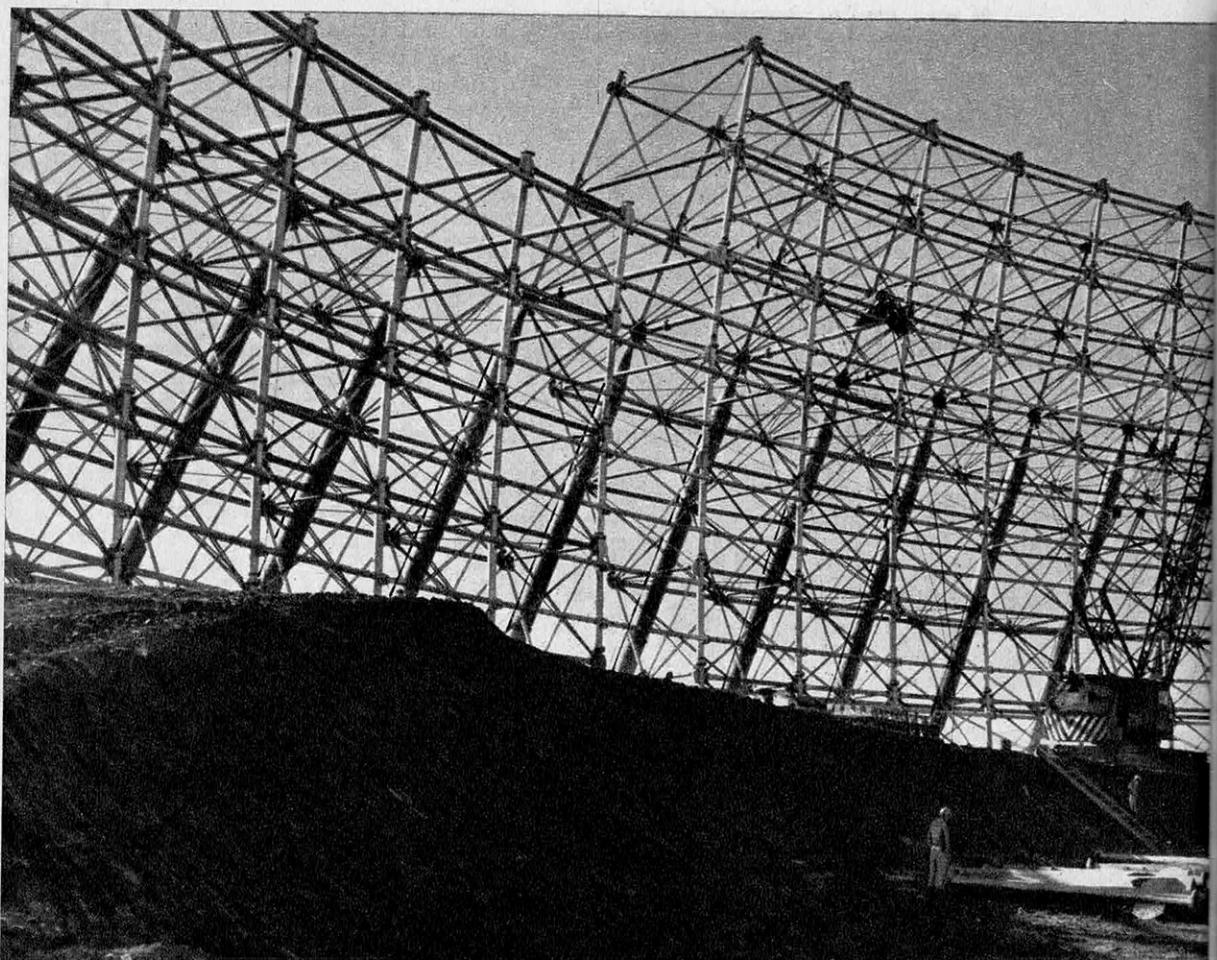
Troisième type de contre-mesure : le brouillage actif, l'emploi d'ondes hertziennes pour contrarier les émissions de l'ennemi. On introduit, dans ses récepteurs radar, des signaux artificiels qui masquent toute image utile. Il ne suffit plus de faire plus de bruit que l'émetteur adverse, ce qui était la vieille méthode, simple et grossière, pour l'empêcher de faire son travail. Avec les radars perfectionnés, sensibles aux faibles échos même en présence de bruit, le brouillage devient une guerre d'ingéniosité.

Aujourd'hui, quand le radar d'un chasseur ou d'un engin a repéré sa proie, son radar de poursuite s'y accroche et ne le lâche plus. Supposons que l'avion attaqué soit doté d'un petit émetteur de contre-mesure. Il se met à

envoyer des impulsions qui miment exactement celles du radar ennemi, et qui sont en parfait synchronisme avec elles. De cette façon, l'écho qui revient à l'attaquant se double d'un faux écho superposé, plus puissant que le vrai, fabriqué par l'attaqué. Celui-ci, insensiblement, modifie le temps des impulsions (correspondant, pour le radar, à la distance de l'objectif). Le radar de poursuite de l'ennemi délaisse automatiquement son propre écho, beaucoup plus faible, pour s'attacher au signal fictif, qui naturellement l'égerra.

Ici encore on pourra utiliser la fusée-postiche. L'émetteur de contre-mesure se trouve dans le « decoy », sous l'aile du bombardier. Dès que celui-ci se sent repéré, il détermine les caractéristiques du radar ennemi, et règle en conséquence l'émetteur du « decoy ». La fusée larguée continuera à attirer le radar de l'ennemi, puisqu'elle émet un signal plus puissant que l'écho du bombardier.

Pour leurrer les engins qui se guident sur les rayonnements infrarouges des tuyères d'avions à réaction, certaines fusées-postiches sont munies d'artifices éclairants de grande intensité.

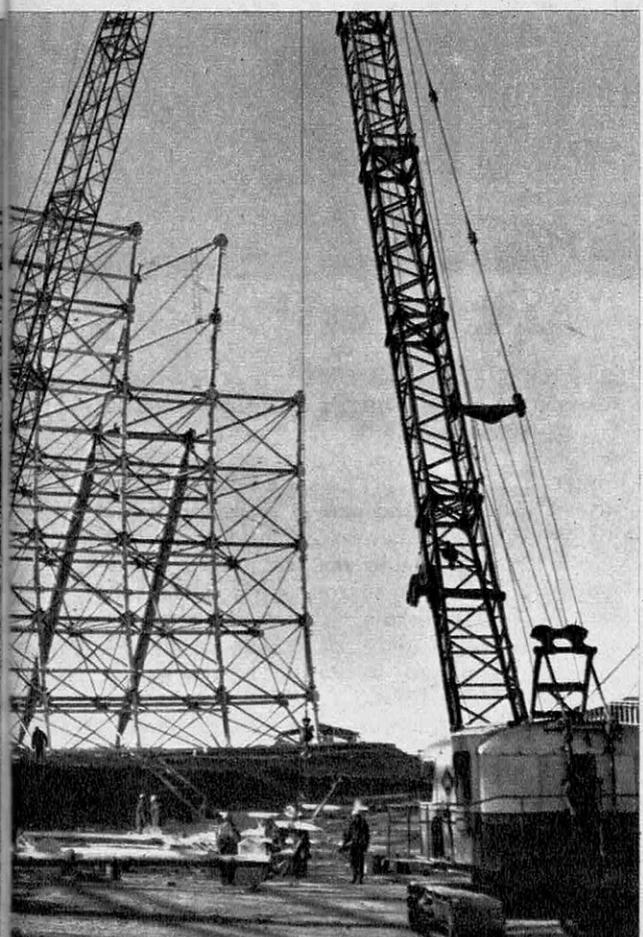


## La « ligne Maginot » des radars

La course à la détection trouve aujourd’hui son illustration dans les super-radars que l’Amérique déploie à travers le monde. Dès 1955, un radar AN/FPS 17, fonctionnant près de Samsoun, sur la côte turque de la mer Noire, suivait les premiers tirs d’engins soviétiques, partis du centre d’essais de Kraznyi Iar. Un autre grand radar a été élevé dans les Aléoutiennes, pour observer les points d’impact des engins soviétiques dans la mer d’Okhotsk. Les Américains ont tendu un barrage électronique de 4 800 km au nord du cercle arctique, entre l’Alaska et l’île de Baffin. Dans la toundra gelée, sur des îles sans nom, ils ont fait surgir les gigantesques coupoles oranges des radars de surveillance antiaériens de la ligne D.E.W. (Distant Early Warning). Au prix de 300 milliards, on a peuplé la steppe de 50 stations de grande puissance, qui sont autant de centres d’alerte automatique. Épaulant la D.E.W., une deuxième ligne de surveillance, la Mid-Canada Line, se dresse à 1 600 km au sud, aux environs du 55<sup>e</sup> parallèle; une troisième, la ligne Pine-Tree, occupe le 49<sup>e</sup> parallèle. Pour éviter que cette « ligne Maginot »

électronique soit tournée, on l’a prolongée vers la mer, avec une flotte armée de puissants radars. Des radars à grande portée fonctionnent en outre à bord de Super-Constellations transformés en stations volantes. A 150 km au large des côtes, les Texas Towers (ainsi appelées parce qu’elles ressemblent aux derricks flottants qui font la prospection du pétrole dans le golfe du Mexique), sont des postes radar sur pilotis. Des dirigeables de la U.S. Navy surveillent le ciel avec trois « radomes ». Le sous-marin atomique participe aussi à ce réseau radar ininterrompu sur 16 000 km. Il s’intègre au système continental de transmission et d’exploitation des résultats d’observation.

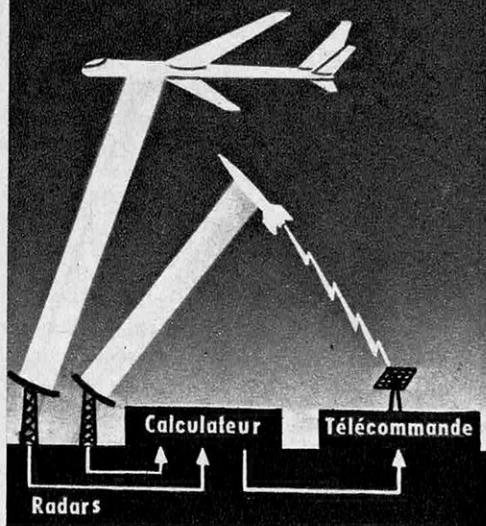
Ici, on touche au point névralgique de la guerre électronique. La défense antiaérienne moderne exige la transmission immédiate de toutes les informations recueillies par ces innombrables radars vers des centres d’exploitation, où toutes les données sont confrontées, vérifiées, classées dans des mémoires électroniques, pour être mises éventuellement à la disposition des armes antiaériennes. Tout cela doit être entièrement automatique. Aucune intelligence humaine ne saurait aujourd’hui, dans un état-major, juger une situation tactique avec la rapidité qu’exigent les vitesses des engins d’attaque modernes. Seule l’électronique est capable d’acheminer et d’analyser directement les informations radar, de déterminer immédiatement le danger qui menace les différents objectifs, et de choisir le meilleur moyen de riposte parmi ceux qui ont été prévus, tel que le lancement des Nike-Ajax et Nike-Hercules qui hérissent les abords de certaines villes américaines, et l’envoi des superbombardiers de la représaille. Pour la guerre « presse-bouton », les Américains ont créé un monstrueux organisme : le SAGE, cerveau électronique à l’échelle de la nation, qui repose sur un fantastique réseau de communications radiophoniques et téléphoniques entre des centaines de postes radar, émetteurs de radio, stations météorologiques, bases de lancement et pistes d’envol. Ce système nerveux aboutit au cerveau électronique le plus complexe et le plus coûteux du monde : l’or-



## ← Le système BMEWS

Il s’agit du « Ballistic Missile Early Warning System » en cours d’installation dans le Grand Nord et qui sera chargé de détecter à l’aide d’antennes géantes non plus des avions, mais des engins balistiques intercontinentaux. La portée prévue est proche de 5 000 km, ce qui donnerait un délai d’alerte de 15 minutes environ pour décider d’une réplique.

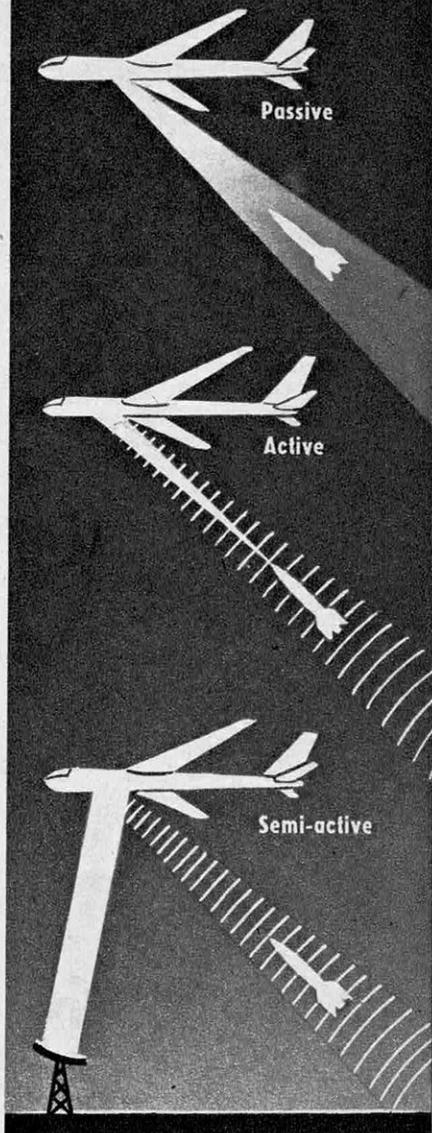
## GUIDAGE PAR COMMANDEMENT



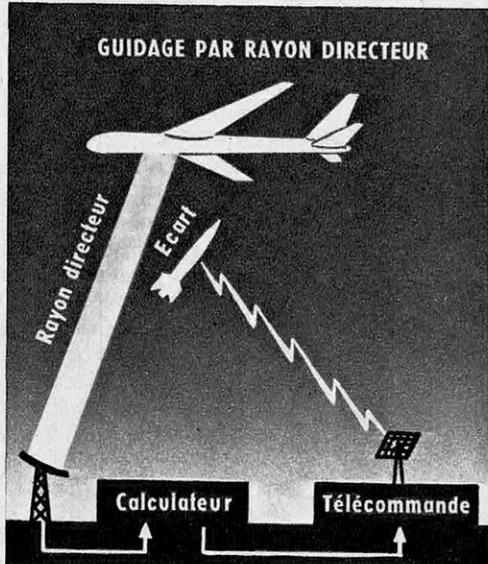
## Les systèmes de guidage

Ici sont représentés les principes des principaux systèmes de guidage des engins vers leur objectif. Par commandement, un radar suit l'objectif, l'autre l'engin, et un calculateur envoie les corrections nécessaires à l'engin. Par rayon directeur, le même radar suit l'avion et l'engin : des corrections sont envoyées à ce dernier dès qu'il s'écarte du faisceau dirigé sur l'avion. Au-delà d'une certaine distance, le guidage du sol devenant imprécis, on a recours à l'auto-poursuite. Elle est dite passive si l'engin se dirige sur une émission (infrarouge par exemple) de l'avion lui-même, active si l'engin se dirige sur les échos des ondes radar qu'il émet lui-même, semi-active si ces ondes émanent du sol.

## AUTOPOURSUITE



## GUIDAGE PAR RAYON DIRECTEUR

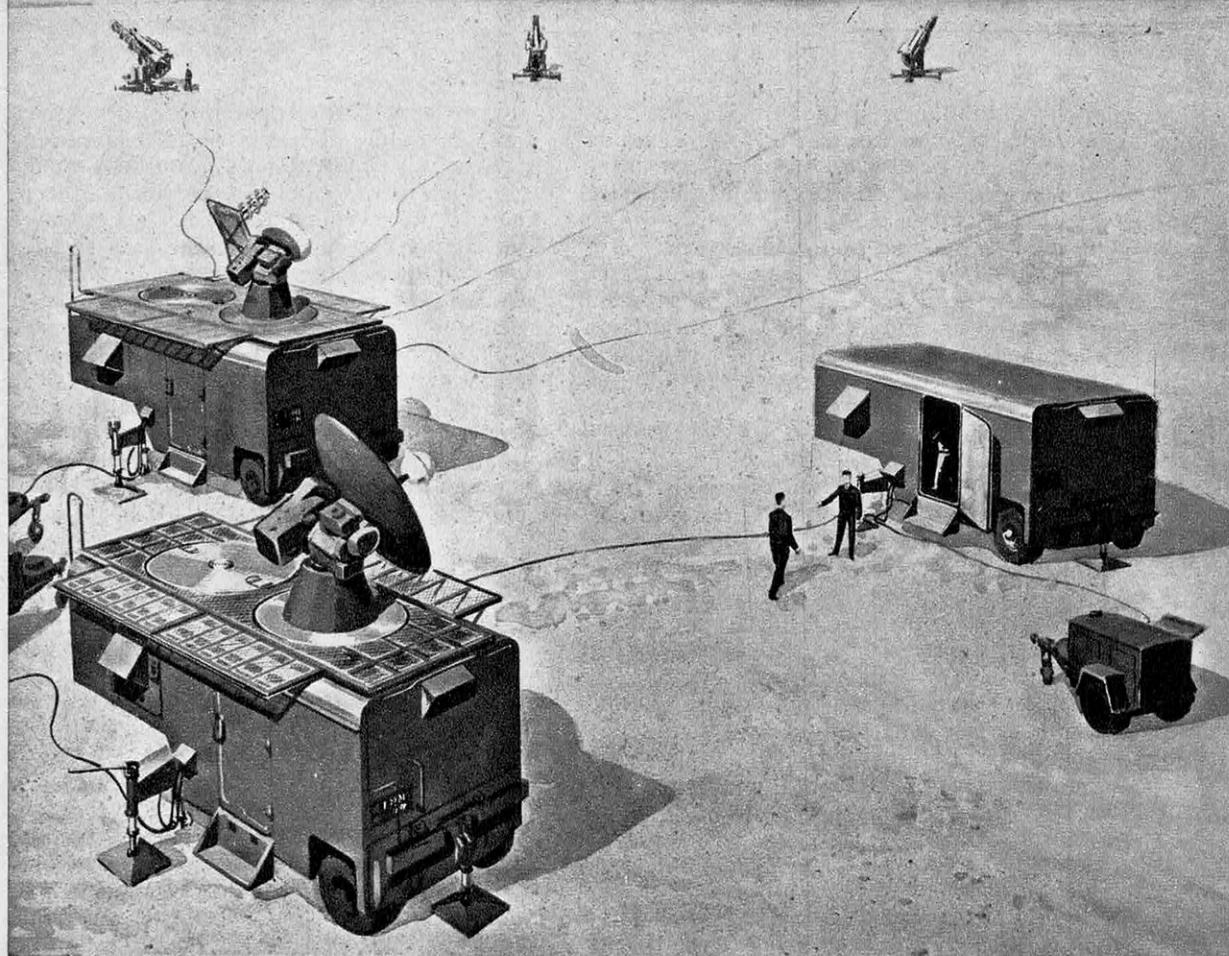


gane de corrélation d'où sortira le verdict en l'instant d'un éclair. Mais la décision finale appartient encore à l'homme... Or qui, à la Maison Blanche, oserait donner l'ordre redoutable de la représaille sur la foi d'une alerte radar !

Compte tenu de la portée des armes, de l'étendue et de la rapidité des opérations, un des problèmes militaires les plus critiques demeure celui des télécommunications. Or, la transmission radio sur hautes fréquences est aujourd'hui en pleine révolution.

Les très hautes fréquences employées pour les émissions sur ondes courtes avaient jusqu'ici un inconvénient majeur : leur faible portée. Il y a six ans encore, on considérait que cet inconvénient faisait irrévocablement

partie de la nature des choses ; que les ondes ultracourtes se propageant en ligne droite, et n'étant pas réfléchies par les couches de l'atmosphère, leur portée serait pour toujours limitée à la ligne de l'horizon. Aujourd'hui on sait utiliser la diffraction troposphérique qui renvoie en partie les ondes ultra-courtes vers la Terre par suite des irrégularités dans la densité de l'air de la troposphère, et la diffusion ionosphérique due à la présence d'électrons libres dans la très haute atmosphère ; les sillages ionisants des météores aident encore à diffuser l'énergie des ondes. On peut ainsi les capter à 1 800 km de l'émetteur. L'énergie qui parvient au récepteur est infime. Mais elle est détectée et amplifiée par des dispositifs ultrasensibles.



## Le guidage du PARCA français

Ce système de guidage mis au point par la CFTH qui construit aussi en série des radars de conduite de tir pour artillerie lourde antiaérienne, est du type par commandement se continuant par rayon directeur quand l'engin entre dans le faisceau du radar de poursuite de l'objectif. C'est ce même radar qui détermine le prépointage des quatre rampes de lancement ainsi que du radar de poursuite-engin et de la télécommande.

Et pourtant, malgré cette formidable infrastructure, l'Amérique serait aujourd'hui incapable d'arrêter un seul I.C.B.M. ennemi. Tout son système d'alerte est bâti sur l'hypothèse d'une attaque par bombardiers, avec 6 à 8 heures de préavis. Ce ne sera pas avant plusieurs années que l'Amérique aura installé la chaîne radar la plus formidable jamais conçue, adaptée, espère-t-on, à la défense anti-engin : le B.M.E.W.S. (Ballistic Missile Early Warning System). 720 millions de dollars par site (il y en aura deux, peut-être trois), les U.S.A. pensent que c'est bien payer le quart d'heure de préavis que doivent leur assurer les nouveaux radars de surveillance de 5 000 km de portée, avec leurs réflecteurs paraboliques tronqués de 122 m de long et 50 m

de haut, chargés de signaler les I.C.B.M. soviétiques à l'instant même où ils prennent le départ. Une machine électronique calculera la trajectoire et le point d'impact, s'assurera qu'il ne s'agit pas d'un météore ou d'un satellite artificiel, et pointera les radars de poursuite, dont les coupoles ont 50 m de diamètre.

Un Congrès National de l'Électronique Militaire se tenait récemment à Washington. A l'ordre du jour : les systèmes infrarouges. La détection par infrarouge est moins coûteuse que le radar, puisqu'elle n'a pas besoin d'émetteur. Son inconvénient : elle est « aveuglée » par la pluie et le brouillard, de sorte qu'un système d'alerte à l'infrarouge doit pouvoir dominer les perturbations atmosphériques. C'est le but du projet américain

Midas : un satellite, équipé de détecteurs d'infrarouge, orbitera exactement à la vitesse de la rotation terrestre, de façon à rester toujours au-dessus du même point de la Terre (ce serait l'Écosse). Un I.C.B.M. serait ainsi signalé dès le moment de son lancement.

En supposant l'alerte donnée, c'est à un engin sol-air que reviendrait la tâche d'intercepter et de détruire l'I.C.B.M. ennemi. Pour le moment, il faut bien dire que l'engin anti-engin n'est guère plus qu'un mythe. Les U.S.A. comptent mettre en service entre 1962-1963 des batteries de Nike-Zeus chargées de protéger les rampes de lancement de leurs propres I.C.B.M., quand il y en aura. Mais les difficultés de portées, de délais de lancement, de précision qu'implique le tir contre I.C.B.M., sont virtuellement insurmontables. On donne à un Nike-Zeus 25 % de chance de réussite, ce qui revient à zéro dans une guerre ou un seul coup au but peut être décisif.

Toutes les chances sont du côté de l'I.C.B.M. attaquant. Il a dans son sac des quantités de trucs pour mystifier la détection. Son ogive meurrière, déjouant les échos radar, se fera escorter à travers le quasi-vide de la haute atmosphère par l'essaim innombrable des fragments de son dernier étage, affolera la défense en lui offrant des milliers de cibles postiches disséminées sur des milliers de kilomètres carrés. Pour avoir quelque chance de l'intercepter, il faut attendre sa rentrée dans l'atmosphère, et il est alors à 4 secondes de l'objectif. Pour détruire sa charge, il faut plusieurs engins de même puissance. Pour protéger mille bases attaquées par trois I.C.B.M. chacune, il faudrait 50 000 Nike-Zeus.

### L'électronique aura le dernier mot

Rien d'étonnant que de vieilles histoires comme le « rayon de la mort » sortent aujourd'hui des romans d'anticipation pour entrer dans la réalité des techniques militaires. Les tubes radar seront demain assez puissants et l'on sait suffisamment concentrer leurs faisceaux, pour pouvoir espérer lancer au loin de grandes quantités d'énergie.

Un projet sensationnel de l'U.S. Air Force envisage de maintenir à 15 km d'altitude une station volante (utilisée comme radar de surveillance) uniquement par de l'énergie électromagnétique rayonnée à partir d'un émetteur au sol équipé d'un super-tube, l'« ampli-tron », mis au point par la firme électronique Raytheon. Les Russes cherchent à utiliser de telles émissions d'énergie pour foudroyer les engins ennemis à distance.

Dans cette partie apparemment désespérée que jouent les militaires pour trouver une parade à « l'arme absolue », les rayons hyperfréquence représentent peut-être le moyen défensif de l'avenir. On renoncera à opposer des engins aux engins. Chaque pays se couvrira d'un « bouclier » électromagnétique maintenu à 100 km d'altitude, sur lequel viendront exploser les engins de l'adversaire.

Pour l'instant, la principale arme de riposte américaine continue à être incarnée par la formidable armada de superbombardiers du Strategic Air Command. C'est encore l'électronique qui prolonge la vie de ces monstres périmés. Un bombardier de la dernière guerre avait à bord 109 tubes électroniques ; un B-52 actuel en a 1 800. La nouvelle génération de bombardiers en comptera au moins 2 600, plus 4 200 diodes et transistors de toutes sortes.

Mais c'est dans les engins que l'électronique est vraiment reine ; elle représente le poste le plus coûteux de la recherche sur les fusées. Les systèmes de guidage constituent à eux seuls une branche complète de spécialisation : les techniques et leurs combinaisons sont innombrables.

Il y a le guidage par « commandement », le guidage par « rayon directeur », les variétés d'auto-poursuite. Il y a les systèmes où le programme de vol est préétabli et où toutes les corrections nécessaires s'élaborent dans le cerveau de l'engin. C'est la formule par inertie employée pour les très longues portées, et qui exige des accéléromètres sensibles au cent-millième de l'accélération de la pesanteur et des gyroscopes dont la précision d'usage dépasse tout ce qui s'est fait à ce jour.

Le point faible des armes électroniques est leur extrême fragilité, la complexité de chaque organe vital. Il suffit qu'une résistance cède, qu'un tube ait une défaillance... 67 % des essais ratés d'engins balistiques aux essais, d'après le Département de la Défense américain, sont dus à l'électronique. Quand il faudra produire des systèmes électroniques en série, la probabilité d'échec pourra augmenter considérablement.

Cependant, devançant les difficultés qu'elle se crée elle-même, l'électronique militaire prépare ses révolutions futures. Entre le rythme de renouvellement de la technique et les délais de fabrication du matériel, le contraste apparaît toujours plus saisissant. Du matériel « dépassé » depuis des années reste utile parce qu'il ne peut être remplacé. La technique militaire, surtout à l'âge électronique, est une éternelle anticipation.

Georges DUPONT



**paraît  
tous les mois**

**Des grandes enquêtes sur les problèmes  
que pose le monde moderne**

**Des reportages exclusifs**

# SCIENCE ET VIE PRATIQUE

## CONSTRUISEZ VOUS-MÊME VOTRE ONDIOLINE



Celle que vous voyez et entendez à la Télévision...!

Vous pouvez la construire vous-même et jouer sur son clavier magique : violon, trompette, clarinette, saxo, guitare, orgue, etc... grâce au petit livre : « L'ONDIOLINE », dans lequel schémas et plans sont décrits par son inventeur Georges JENNY, mettant cette passionnante réalisation à la portée de l'amateur-radio.

Envoi franco du livre avec disque démonstration 45 tours contre 495 fr.

### ONDIOLINE

188-190, rue du Faubourg-St-Denis,  
PARIS (10<sup>e</sup>).

### LE GELOSO - G. 256

Magnétophone italien, léger, peu encombrant, à vitesse de défilement, sensibilité et fidélité de reproduction remarquables.

AGENT GÉNÉRAL  
SARL CITRE SNTI

5, av. Parmentier, Paris - VOL 98-79

### LE MEILLEUR PORTATIF A TRANSISTORS DU MONDE

Le *Technifrance*, 8

C'est le récepteur le plus complet : 4 gammes : P.O. G.O. O.C.I O.C.H spécialement étudié et réalisé pour assurer une écoute parfaite de toutes les stations mondiales, en tous lieux, toutes circonstances et sous tous les climats.



Sa présentation en 5 versions : Standard - Voiture - Maritime - 2 Coloniales, répond à tous les besoins de la Métropole et d'Outre Mer.

Documentation sur demande.

Concessionnaire Technifrance :  
RADIO PAPYRUS

25, Blvd Voltaire, Paris 11<sup>e</sup> - Rq. 53.31

## SOURDS

les nouveaux appareils  
à transistors  
sont devenus  
pratiquement invisibles  
et d'un rendement  
extraordinaire

Lunettes auditives — contour  
d'oreille — barettes — bandeaux

Appareils classiques agréés par la Sécurité Sociale et le Ministère des Anciens Combattants

### C. A. F. A.

35, Cité d'Antin, PARIS (IX<sup>e</sup>)  
Tél. TRI. 30.94

## TOUS VOS PROBLÈMES DE GRAVURE

résolus avec

### LES MACHINES A GRAVER Y. L. G.

7, cité Paradis, PARIS (10<sup>e</sup>)  
TAI: 46-64

A) LA MACHINE A GRAVER PORTATIVE Y. L. G. à l'usage des bijoutiers, graveurs, artisans, mécaniciens, industriels.

B) LE CRAYON A ARC ELECTRIQUE Y. L. G. spécial pour le marquage des pièces métalliques, même trempées.

Pour tous vos dessins sur stencils :  
LE STENCILOGRAPH Y. L. G.

## L'ÉLECTRONIQUE ET LA RADIO



L'écoute parfaite de toutes les stations mondiales, alliée à une musicalité exceptionnelle, vous les obtiendrez avec le KURERTRANSI (importé de Norvège) ; poste toutes gammes, dont 2 OC, commandé par sélecteur à touches. C'est le poste tous lieux, toutes circonstances. - 59 500 Frs + TL

### RADIO FRANCO-SUISSE

101, rue de Prony, PARIS (17<sup>e</sup>).

**SOURDS !** Les nouvelles lunettes auditives à branches minces ACousticon (U.S.A.) sont révolutionnaires ! Un essai s'impose ! Gratuitement brochure n° 43 sur demande.



### ACOUSTICON INTERNATIONAL ACOUVOX

3, rue du Cirque, Paris (8<sup>e</sup>)  
Tél. ELY. 70-17.

## MAGNÉTOPHONES HAUTE-FIDÉLITÉ MACHINES à DICTER

Super-automatique « DICTY »

3 moteurs

Freins électriques.

Toutes les commandes

sur le micro le

plus petit, le

plus robuste, le plus élégant.

Documentation ou essai sans engagement sur demande.

Salon de Démonstration :

### FILSON

18, rue d'Enghien PARIS X<sup>e</sup> PRO 07-14  
Service entretien après vente PRO 15-21



LA PUBLICITÉ  
AU SERVICE DU  
CONSOMMATEUR

B.V.P.

Afin d'éliminer de nos rubriques de publicité les annonces douceuses qui auraient pu s'y glisser malgré le soin que nous apportons à ce sujet, nous prions nos lecteurs qui auraient des réclamations à formuler, d'écrire au Bureau de Vérification de la Publicité (B.V.P.) 27 bis, av. de Villiers, Paris (17<sup>e</sup>) auquel nous adhérons comme membre actif.

# SCIENCE ET VIE PRATIQUE

## VOTRE HOOVER N'ASPIRE

qu'à être entre de bonnes mains. Il déteste les bricoleurs. Confiez-le aux ateliers C.V., 6 bis, Cité Véron, PARIS — SPECIALISTE HOOVER depuis 20 ans, (Tél. MON 08-88). C'est la Station Service de l'ELECTRO-MENAGER.

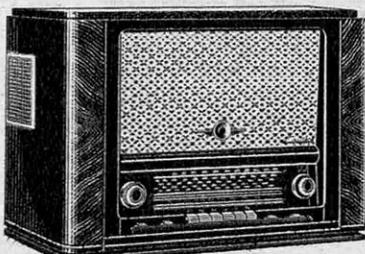
## ELECTROM

5, rue du Lt-Boncour - Neuilly est le spécialiste de la régulation électronique des courants continus forts. La puissance d'excitation régulée peut atteindre 2,5 KW avec pilotage de piles de charbon immergées dans l'huile. Du type étanche, ce régulateur, associé aux moteurs synchrones an-

tidéflagrants sans aucun contact mobile et à vitesse constante construits par la même Société, permet de répondre aux questions que pose l'utilisation de l'énergie électrique en toute sécurité (Mines, industries pétrolières, chimiques, etc....). TEL.: MAI 86-86.

## CONÇUS SPÉCIALEMENT

pour la Modulation de Fréquence et la Haute-Fidélité



12 modèles de 8 à 17 lampes, 3 à 5 haut-parleurs. Postes de tables ou meubles, dont 4 radiophones et 2 radio-magnétophones, 5 essences de bois au choix, 6 Chaines Hi-Fi et Stéréo. 6 Téléviseurs, 43, 54 et 70 cm. Électrophones, Magnétophones, Transistors.

## PRIX DE FABRIQUE

Documentation détaillée sur simple demande. Expéditions rapides en province. Facilités de paiement.

**GAILLARD**, 21, rue Charles-Lecocq, Paris 15<sup>e</sup>. — VAU 41-29, BLO 23-26.

## POURQUOI RESTERIEZ-VOUS SOURDS ?

alors que le Micro-tympan Weimer se vend en Europe depuis 10 ans, appareil sans pile, ni fil, il améliorera votre audition, éliminera vos bourdonnements. Copié ? oui. Mais il n'y a qu'un seul Weimer, exigez-le. Documentation gratuite et attestations.

**Rouffet et Cie (Serv. S.O.)**, 3, rue Galliéni, Menton (A.-M.).



## MACHINES A DICTER

enregistrer vos notes, échanger vos idées par courrier parlé, plus précis, mieux compris.



**MAGNÉTOPHONES** sur secteur, piles et TRANSISTORS. Achetez chez le SPÉCIALISTE qui seul peut vous donner satisfaction. Service Technique APRÈS-VENTE assuré.

## SÉLECTION J. RENAUDOT

46, Bd de la Bastille  
PARIS (12<sup>e</sup>) (1<sup>er</sup> étage) DID. 07-40  
Avantages aux lecteurs.  
Crédit sans frais.

## TELEFUNKEN

Telefunken... est un grand nom célèbre dans le monde entier et cette renommée se justifie par la technique et la qualité incomparables des productions de cette marque mondiale.



Téléviseurs - Récepteurs radio - Transistors - Électrophones - Magnétophones...

... une élite d'appareils pour l'élite des connaisseurs.

Distributeur officiel

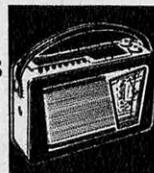
**RADIO BERTHIER**  
108, boulevard Berthier - PARIS 17<sup>e</sup>  
Eto. 45-05

Service après vente - Entretien - Installations à domicile, Paris-Banlieue.

25 % et 20 de REMISE  
aux lecteurs de cette revue

## Tous les TRANSISTORS

Toutes les  
grandes marques



**GARANTIE TOTALE**  
PIÈCES ET MAIN-D'ŒUVRE  
Documentation et tarifs de gros contre 100 F en timbres

Rasoir Philips 120 S, net... 7 874 F

Rasoir Remington Rand,  
Roll-a-Matic, net... 10 950 F

Emballage cadeau gratuit. Expédition franco port et emballage valeur assurée. Franco-Province-A.F.N. contre mandat à notre compte postal Paris 742223.

Distributeur officiel RADIO XX<sup>e</sup> S.A.  
8, r. Belgrand, Paris-20<sup>e</sup>, tél. ROQ 31-03

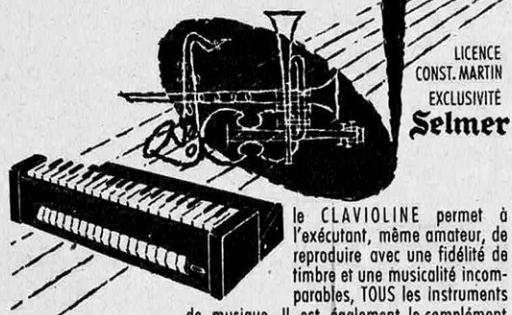
## MUSIQUE SANS PRISE DE COURANT CHEZ VOUS,



en voiture, en bateau, en camping... Rêve, joie et danse partout ! TRANSIT, l'électrophone à Transistors est l'ultime et incroyable création de TEPPAZ, le spécialiste mondial de l'Electrophone « Secteur » et « Transistor ». Prix: 34 950 fr. T.L.C. avec piles. Dépliant gratuit sur demande à TEPPAZ — Lyon.

merveille  
de la musique  
électronique

## "Clavioline" révolutionne le domaine musical



le CLAVIOLINE permet à l'exécutant, même amateur, de reproduire avec une fidélité de timbre et une musicalité incomparables, TOUS les instruments de musique. Il est également le complément idéal des orgues et harmoniums.

Documentation gratuite  
Démonstration permanente 4, PLACE CH. DULLIN, PARIS (18<sup>e</sup>) ORN. 27-40

**Selmer**

PUB. DE L'AGE  
65. BOUGÉAULT.

*Une Situation  
d'avenir en étudiant  
chez soi*

**DESSIN INDUSTRIEL** : Calqueur. Détaillant. Dessinateur d'exécution. Projeteur. Tous les C. A. P., B. P. de la Métallurgie et Baccalauréat Technique.

**RADIO - ÉLECTRICITÉ** : du Monteur au Sous-Ingénieur. Émission - Réception en RADIO et TÉLÉ-C. A. P. et B. P. de Radio-Électricien.

**BÉTON ARMÉ, BATIMENT, TRAVAUX PUBLICS** les métiers du gros œuvre, les C. A. P. et Brevets Industriels du bâtiment - du maçon au dessinateur - du projeteur au calculateur. - Méthode exclusive inédite, efficace et rapide.

**A U T O M O B I L E** : Mécanicien. Électricien. Motoriste. Spécialiste Diesel. — Tous les C. A. P.

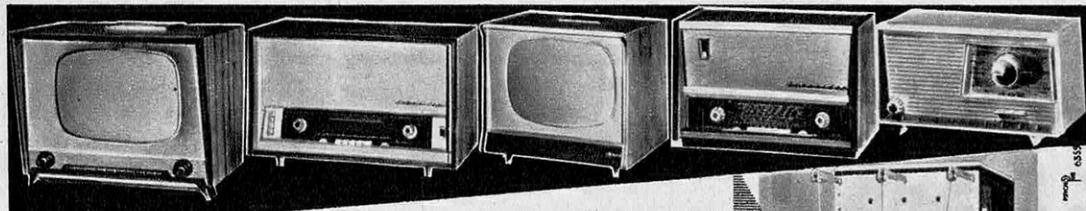
**AVIATION** : Mécanicien. Pilote-Aviateur. Agent technique - B. E. S. A. et Brevet de Pilote.

### ■ SERVICE DE PLACEMENT

- PRÉSENTATION AUX DIPLOMES D'ÉTAT
- TRAVAUX PRATIQUES

BROCHURES SC 912 GRATUITES DÉTAILLÉES  
SUR SIMPLE DEMANDE

**INSTITUT PROFESSIONNEL POLYTECHNIQUE**  
14, CITÉ BERGERE - PARIS (9<sup>e</sup>) - TÉL. : PRO 47-01



*Rigoureusement seul en Europe...*

Ce Contrôleur automatique  
a été conçu par  
les laboratoires  
de recherches SCHNEIDER

## 100 CONTROLES EN 180 SECONDES

Automate merveilleux, le "S.R.T." se contrôle lui-même, puis assure les :

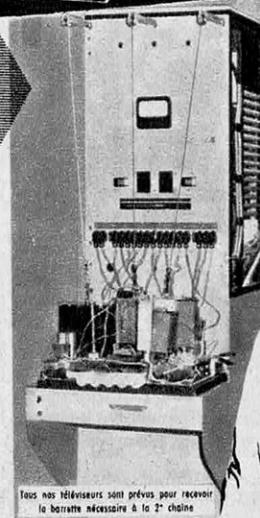
- contrôle de résistance
- contrôle de capacité des condensateurs
- contrôle de l'impédance des transformateurs
- contrôle de tension
- contrôle de gain des amplis vidéo et B. F.
- contrôle des bandes passantes en B. F.
- ... et 94 autres contrôles

CREDIT | TÉLÉVISION: 14 modèles à partir de 6.400 fcs par mois.  
RADIO: 17 modèles à partir de 3.700 fcs par mois.

**SCHNEIDER**  
RADIO - TÉLÉVISION

LE POSTE DU MARCHÉ COMMUN

12, rue Louis-Bertrand  
IVRY (Seine) ITA. 43-87



Tous nos téléviseurs sont prévus pour recevoir  
la barrette nécessaire à la 2<sup>e</sup> chaîne



# LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

24, Rue Chauchat, Paris 9<sup>e</sup> - Tél. TAI 72-86

## ÉLECTRONIQUE - AUTOMATISME - TRANSISTORS

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 (Franco 350 f.).

### ÉLECTRONIQUE GÉNÉRALE

**ÉLECTRONIQUE GÉNÉRALE** (Blanc-Lapierre A., Goudet G. et Lapostolle P.). — L'électron et ses propriétés électromagnétiques: Les particules microscopiques électrisées. L'électron. Les tubes électroniques. L'électron et la théorie électromagnétique classique. L'électron et la théorie de la relativité restreinte. Généralités sur la technique du vide. Théories électroniques des métaux. L'émission thermoélectronique. L'émission électronique secondaire. L'émission photoélectrique. L'émission froide. L'optique électronique et ses applications: l'optique électronique. Les canons à électrons. Le microscope électronique. Les échanges d'énergie dans les tubes électroniques; la production d'énergie électromagnétique. Les accélérateurs de particules. Appendices. 504 p. 16 × 24, 265 fig., 2<sup>e</sup> édit. 1959, relié ..... 6 700

**TRAITÉ DE PHYSIQUE ÉLECTRONIQUE ET NUCLÉAIRE** (Chrétien L.). — Cours de l'École centrale de T.S.F. 492 p. 16,5 × 25, 377 fig. et 196 tabl., 3<sup>e</sup> édit. revue et augmentée, 1957 ..... 3 100

**PHYSIQUE ET TECHNIQUE DES TUBES ÉLECTRONIQUES** (Champeix R.). — Tome I: Éléments de technique du vide. Rappel de certaines notions de physique. Passage du courant électrique dans les gaz. Les phénomènes physiques et chimiques aux basses pressions. Réalisation et maintien des basses pressions. pompes et getters. Mesure des basses pressions. Les installations de technique du vide. Les techniques physico-chimiques utilisées en électronique. 228 p. 16 × 25, 179 fig., relié toile, sous jaquette, 1958 ..... 2 900

**ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE. NOTIONS D'ÉLECTRONIQUE** (Écoles nationales professionnelles) (Bellier M. et Galichon A.). — Matière et électricité. Tubes à vide. Tubes à gaz. Tubes d'éclairage. Rayons X, cellules, oscilloscophe. Notions sommaires sur les télécommunications. 296 p. 13,5 × 19, nombr. fig., 1957 ..... 790

**COURS D'ÉLECTRICITÉ** (Fraudet H. et Milsant F.). — Tome III: Notions d'électronique. Émissions thermo-ionique et ionisation des gaz. Tubes à iodé, diode, triode, à atmosphère gazeuse, d'éclairage, à rayons X. Applications industrielles de l'électronique. Oscilloscope cathodique. Téléphonie par fils. Télécommunications sans fils. Champ hertzien. Réalisation des liaisons. 214 p. 13,5 × 18, 126 fig., 4 pl. ..... 590

### ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE

**ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE** (Goudet G.). — Les circuits. Les tubes électroniques. L'amplification. La production et la détection des signaux électriques. L'optique électronique et ses applications. Les applications industrielles de l'électronique. 636 p. 16 × 25, 431 fig., 3<sup>e</sup> édit., 1959 ..... 5 500

**MANUEL DE L'ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE** (Kretzmann R.). Traduit du néerlandais par Bertucat S. — Les tubes et leurs montages élémentaires: Tubes amplificateurs et émetteurs. Tubes redresseurs. Thyatrons. Senditrons. Ignitrons et excitrons. Tubes stabilisateurs de tension. Cellules photoélectriques. Tubes-relais. Tubes cathodiques. Dispositifs électroniques pour l'industrie: Relais électroniques. Montages compteurs électriques. Minuteries électroniques. Redresseurs pour applications industrielles. Réglage électronique de l'éclairage. Réglage de la vitesse et de la température. Commande électronique d'appareils de soudure par résistance. Commande électronique des moteurs. Chauffage haute fréquence inductif des métaux. Chauffage haute fréquence capacitatif de matières électricques. Appareils électroniques pour applications spéciales. 320 p. 15,5 × 23, 266 fig., relié toile, sous jaquette, 1958 ..... 3 900

**MONTAGES ÉLECTRONIQUES INDUSTRIELS** (Kretzmann R.). — Dispositifs à commande photo-électrique. Circuits de stabilisation. Dispositifs de contact et de commande. Montages oscillateurs et amplificateurs. Redresseurs. 208 p. 15,5 × 23, 204 fig., relié toile, sous jaquette, 1957 ..... 3 000

**ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE** (Mounic M.). — Tome I: Physique électronique. Tubes à vide et à gaz. Semi-conducteurs. Electron et atomes. Mécanique de l'électron. Déviation des rayons cathodiques. Diode. Triode. Triode: grille positive. Tétraode. Pentode. Tube photoélectrique. Rayons X. Tubes à gaz. Tubes à cathode chauffée, à cathode de mercure. Semi-conducteurs. Dispositifs à semi-conducteurs. Transistrons. Tableau des unités. 300 p. 16,5 × 22; 20 photos, 226 fig., 1955 ..... 1 200

Tome II: Redressement. Commande par grilles. Taux de variation, valeurs moyennes. Développements en série de Fourier. Valeurs efficaces. Redressement monophasé simple alternance. Redressement monophasé double alternance. Redressement polyphasé avec commutation naturelle. Redresseurs: cas spéciaux. Réglage de phase. Effets du réglage de phase. Applications du réglage de phase. Onduleurs. 326 p. 16 × 22, 257 fig., 1957 ..... 2 100

**CIRCUITS ÉLECTRONIQUES** (Oehmichen J.-P.). — Production des signaux. Transformation des signaux. Mesure des signaux. Utilisation des signaux. 256 p. 16 × 24, 195 fig., 1954 ..... 1 200

**PRATIQUE ÉLECTRONIQUE** (Oehmichen J.-P.). — Réalisation de la partie « capteur »: Capteurs sensibles à l'électricité. Capteurs sensibles à la lumière, aux rayonnements nucléaires, aux forces, à la température, aux déplacements, à des actions chimiques. Réalisation de la partie électronique proprement dite: Règles d'assemblages des circuits élémentaires. Conditions d'emploi des pièces détachées. Calcul des éléments des montages de base. Exemples de réalisations commentées. Réalisation de l'appareil dans son ensemble: La conception technique de l'appareil. La construction pratique de l'appareil. Adaptation de l'appareil à l'utilisateur. Exemples de réalisations d'appareils. Caractéristiques et courbes. 302 p. 15,5 × 24, 162 fig., 1957 ..... 1 350

<b>L'ÉLECTRONIQUE AU TRAVAIL</b> (Mémento Crespin n° 5). — Les tubes à vide spéciaux. Les tubes à gaz ionisés. Les semi-conducteurs et les transistors. Selfs et Transfoss spéciaux. Redresseurs et ondulateurs. Commande des thyrotrons. Commande des moteurs. Relais et automatisme. Les servo-mécanismes. 383 p. 14 × 21,5, tr. nbr. fig., schémas et pl., 2 <sup>e</sup> édition, 1958 .....	1 800
<b>SYSTÈMES ASSERVIS — AUTOMATISME</b>	
<b>THÉORIE ET CALCUL DES ASSERVISSEMENTS</b> (Gille J.-C., Decaulne P. et Pellegrin M.). — Introduction générale. Notion de système asservi. Dynamique générale des systèmes de commande. La mise en équations. Systèmes linéaires et non linéaires. Régimes transitoires. La transformation de Laplace et le calcul des transitoires. Systèmes du premier ordre. Systèmes du second ordre. Fonctions et lieux de transfert. Détermination pratique des fonctions et lieux de transfert. Stabilité des systèmes linéaires. Extension des méthodes harmoniques aux systèmes non linéaires. Application aux asservissements. Fonctions de transfert des systèmes asservis. Lieux de transfert des systèmes asservis linéaires. Régime définitif des systèmes asservis. Stabilité des asservissements linéaires. Critères de performance des asservissements. Compensation des systèmes asservis linéaires. Stabilité et compensation des asservissements non linéaires. 22 p. 18,5 × 27, 365 fig., 3 pl., 2 <sup>e</sup> édit., 1958, relié .....	3 900
<b>LES ORGANES DES SYSTÈMES ASSERVIS</b> . Pellegrin M., Gilles J.-C. et Decaulne P. — Introduction. Adaptation d'impédance. Réseaux correcteurs. Organes comparateurs d'écart. Détermination et calcul des moteurs des systèmes asservis. Organe moteur : moteurs électriques. Organe moteur : moteurs hydrauliques. Amplificateurs premier groupe. Redressement. Démolition. Filtrage. Avant-projet des systèmes asservis. Notes sur les calculateurs. Conclusions. 464 p. 19 × 27, 350 fig., 2 <sup>e</sup> édition, 1959. Relié toile, sous jaquette .....	5 700
<b>PROBLÈMES D'ASSERVISSEMENTS avec solutions</b> . Decaulne P., Gilles J.-C. et Pellegrin M. — Mise en équations. Analogies. Transformation de Laplace : systèmes du premier et second ordre. Fonctions de transfert et régimes transitoires. Diagrammes et calculs simples de systèmes asservis. Stabilité et compensation des systèmes asservis. Entrées aléatoires. Asservissements non linéaires. Calcul d'organes des systèmes asservis. Problèmes complémentaires de systèmes asservis. — 160 p. 21 × 27, 179 fig., relié toile sous jaquette, 1958 .....	2 400
<b>TECHNOLOGIE ET CALCUL PRATIQUE DES SYSTÈMES ASSERVIS</b> (Régulateurs et servomécanismes). Naslin P. — Principes et technologie des systèmes asservis. Théorie simplifiée et calcul pratique des systèmes asservis linéaires et non linéaires. Étude de quelques organes technologiques (moteurs, amplificateurs, organes de mesure). Servomoteurs. Génératerices amplificatrices. Amplificateurs magnétiques. Amplificateurs à tubes à gaz (thyrotrons et ignitrons). Amplificateurs à tubes à vide. Modulateurs et démodulateurs. Calcul analogique. Simulateurs. Mesure électrique des grandeurs cinématiques. 448 p. 16 × 25, 482 fig., 2 <sup>e</sup> édition entièrement refondue et augmentée. Relié toile, sous jaquette, 1958 .....	3 600
<b>SERVOMÉCANISMES</b> . Théorie et technologie. Bonamy M. — Théorie des servomécanismes: Généralités. Méthodes générales d'analyse des servomécanismes linéaires. Servomécanismes non linéaires. Technologie: Les éléments des servomécanismes : 1 <sup>er</sup> Éléments des servomécanismes électriques. Les capteurs. Les comparateurs. Les amplificateurs et moteurs. 2 <sup>er</sup> Aperçu sur les relais d'asservissement et les servomoteurs à fluide sous pression. 284 p. 18 × 25, 352 fig., 1957, relié toile .....	4 800
<b>VUES SUR L'AUTOMATISME</b> (Rapport rédigé par le Department of Scientific and Industrial Research du Royaume-Uni). — Généralités sur l'automatisme. L'évolution technique. Importance et rapidité de l'évolution. Incidence sur la direction. Incidences sur la main-d'œuvre. Conclusions. 154 p. 16 × 25, 17 fig. Sous couverture illustrée, 1959 .....	1 300
<b>LES MACHINES S'EN CHARGERONT. Une histoire de l'automatisme et des cerveaux électroniques</b> . Woodbury D.O. — Traduit de l'américain par Bernard E. — Histoire de l'automatisme. Erma et ses compagnies. 308 p. 14 × 22, Nbr. fig., 1959 .....	1 480
<b>AUTOMATISME. VERS L'USINE AUTOMATIQUE (AUTOMATION)</b> . Diebold J. — Traduit de l'américain par Bernard E. — Le problème de l'automatisation. Organes de commande et de calcul. Repenser les produits et les processus. L'automatisation des machines. Traitement automatique des informations. L'apport de l'automatisation aux affaires. Quelques effets économiques et sociaux dans l'automatisation. 168 p. 14 × 22, 1957 .....	850
<b>MACHINES À CALCULER ÉLECTRONIQUES</b>	
<b>CALCULATEURS NUMÉRIQUES. Éléments et circuits</b> . Richards R.K. — Traduit de l'américain par Soubiès-Camy H. — Historique et introduction. Circuits de commutation à diodes. Système logique : de circuits à tubes à vide, de circuits à transistors, de circuits à noyaux magnétiques. Mémoires à grande capacité : dispositifs non magnétiques. Enregistrement des informations sur une surface magnétique. Mémoires à noyaux magnétiques. Circuits et tubes de comptage décimal. Éléments et circuits divers. Traducteurs analogiques-digital et digital-analogiques. 522 p. 15,5 × 24, 166 fig. Relié toile, sous jaquette, 1959. 6 400	
<b>MACHINES À CALCULER ÉLECTRONIQUES ARITHMÉTIQUES ET ANALOGIQUES</b> . Péligrin M. — Introduction et définition. Machines analogiques: Machines analogiques mécano-électriques, à courant porteur, électriques. Cuves rhéographiques. Réseaux à résistances. Machines arithmétiques. Notion intuitive de machine à calculer arithmétique. Représentation de grandeurs en vue de leur manipulation arithmétique. Organisation logique d'une machine. Circuits fonctionnels fondamentaux. Principes et réalisations. Organe de calcul. Principes et réalisations. Description de quelques machines. Machines incorporées. Analyseurs différentiels arithmétiques. Machines spécialisées. Conclusions. 395 p. 16 × 25. Tr. nbr. fig. Relié toile, sous jaquette, 1959 .....	4 400
<b>CALCULATRICES NUMÉRIQUES AUTOMATIQUES</b> . Wilkes M.V. — Traduit de l'anglais par Ernest J. — Le développement de la technique des calculatrices numériques automatiques. Les principes de l'organisation logique des machines. Les principes de l'établissement du programme. Calculatrices à relais. Mémoires. Circuits de commutation et de calcul électroniques. Construction et fonctionnement des calculatrices numériques. 392 p. 14 × 22, 116 fig., 1959. Relié toile, sous jaquette .....	3 800
<b>PRINCIPES DES CALCULATRICES NUMÉRIQUES AUTOMATIQUES</b> . Naslin P. — Organisation logique d'une calculatrice numérique universelle. Technologie des calculatrices numériques automatiques. 126 p. 11 × 16, 114 fig., relié toile souple, 1958 .....	980

Les commandes doivent être adressées à la LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, Paris (9<sup>e</sup>). Elles doivent être accompagnées de leur montant, soit sous forme de mandat-poste (mandat-carte ou mandat-lettre), soit sous forme de virement ou de versement au Compte Chèque Postal de la Librairie: Paris 4192-26. Au montant de la commande doivent être ajoutés les frais d'expédition, soit 10 % (avec un minimum de 90 fr.). Envoi recommandé: 60 fr. de supplément.

Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

**LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, PARIS (9<sup>e</sup>)**

# SOURDS

Essayez les appareils de correction auditive PHILIPS



BARRETTES



APPAREILS CLASSIQUES

REPRISE REMBOURSEMENT S.S. - CRÉDIT

Dépositaires Acousticiens dans toute la France

# PHILIPS

CENTRE AUDIOMÉTRIQUE PHILIPS, 41, rue du Bac, Paris-7<sup>e</sup>

## ÉCOLE

# VIOLET

Reconnue par l'État  
(Décret du 3 janvier 1922)

## ÉLECTRICITÉ

et

## MÉCANIQUE INDUSTRIELLES

Diplôme officiel d'ingénieur  
Electricien-Mécanicien  
Diplôme de Technicien des Industries  
Electro-Mécaniques  
Brevet Public d'Electrotechnicien

### Cours préparatoires

### INTERNAT - DEMI-PENSION - EXTERNAT

115, avenue Emile-Zola  
70, rue du Théâtre  
PARIS (XV)  
Tél : SÉGUR 29.80

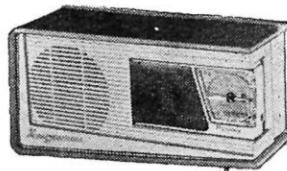
## "ULTRON"

le poste à transistors de poche ultra plat



le seul "pocket" fonctionnant parfaitement en voiture. Dans l'appartement, s'adapte instantanément dans son luxueux coffret

"Kangourou" équipé d'un haut-parleur de puissance et de piles grosse capacité.



Documentation franco sur demande

PYGMY-RADIO 5 et 7 rue Ordener  
PARIS-XVIII BOT : 83-14

## LA PROSPECTION DE L'URANIUM A LA PORTÉE DE TOUS

avec le détecteur D. R. A. I à compteur Geiger-Muller (Détection auditive)

### SOCIÉTÉ D'APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE LA PHYSIQUE

Alimentation par une seule pile 1,5 volt — Autonomie 500 heures  
Le plus robuste — Le plus léger (400 gr) — Format 8 cm × 14 cm  
Le meilleur marché 25.500 F. (franco t. f. c.)

En vente à la

**LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE** 24, rue Chauchat - PARIS-IX

Tél TAI. 72-86 - C.C.P. Paris 4192-26

Prospectus détaillé expédié sur simple demande

# L'AMERIQUE DU SUD



**45 jours  
de  
croisière**

Prix à partir  
de frs :  
**455.000**

**BRÉSIL    URUGUAY  
ARGENTINE**

via : L'ESPAGNE  
LE PORTUGAL  
MADÈRE  
LES ILES CANARIES



POUR TOUS RENSEIGNEMENTS S'ADRESSER :

**Compagnie Maritime des Chargeurs Réunis**

3, BOULEVARD MALESHERBES - PARIS - ANJOU 08-00

*Aux agents et représentants de la Cie ainsi qu'aux agences de voyages*