

**Zeitschrift:** Revue économique franco-suisse  
**Herausgeber:** Chambre de commerce suisse en France  
**Band:** 43 (1963)  
**Heft:** 3: La recherche scientifique

**Artikel:** Recherche scientifique et télécommunications  
**Autor:** Ponte, Maurice  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-887703>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Ce sujet est typique de l'imbrication des problèmes abordés par la recherche scientifique et de ses applications. Il serait en effet possible de soutenir que les télécommunications, offrent des applications très générales dans le monde moderne, tout ce qui est « recherche » en physique, en chimie et même en sciences humaines concourt au développement des télécommunications.

De même, ce dernier terme est extrêmement vaste : il comprend évidemment tout ce qui concourt aux communications directes entre individus ou nations. Il englobe donc en priorité les câbles matériels, câbles classiques, souterrains ou immergés, câbles coaxiaux, câbles diélectriques, les câbles dits hertziens avec tous leurs équipements associés pour disposer du plus grand nombre de voies sur une liaison donnée. Mais il faudrait aussi se référer à tous les systèmes de radars, d'aides à la navigation et à bien d'autres. Le tout arrive à former ces systèmes de complexité accrue que sont ceux de la navigation et des télécommunications extra-terrestres, employés soit à commander les satellites ou mobiles stellaires eux-mêmes, type « Mariner », soit à des exploitations terrestres, du type « Telstar ».

Le sujet risque donc d'être très vaste puisqu'il englobe toutes les activités techniques et technologiques modernes. Et chacune d'elles concourt à assurer le développement de ce moyen essentiel à l'expansion des régions peu développées, puisque ces télécommunications, prises au sens large, leur apportent un facteur essentiel de leur activité, à l'intérieur comme avec leurs relations avec le globe entier. Il est donc nécessaire de limiter volontairement cet article à quelques chapitres essentiels, plus typiquement marqués du sceau « télécommunications » au sens initial du terme.

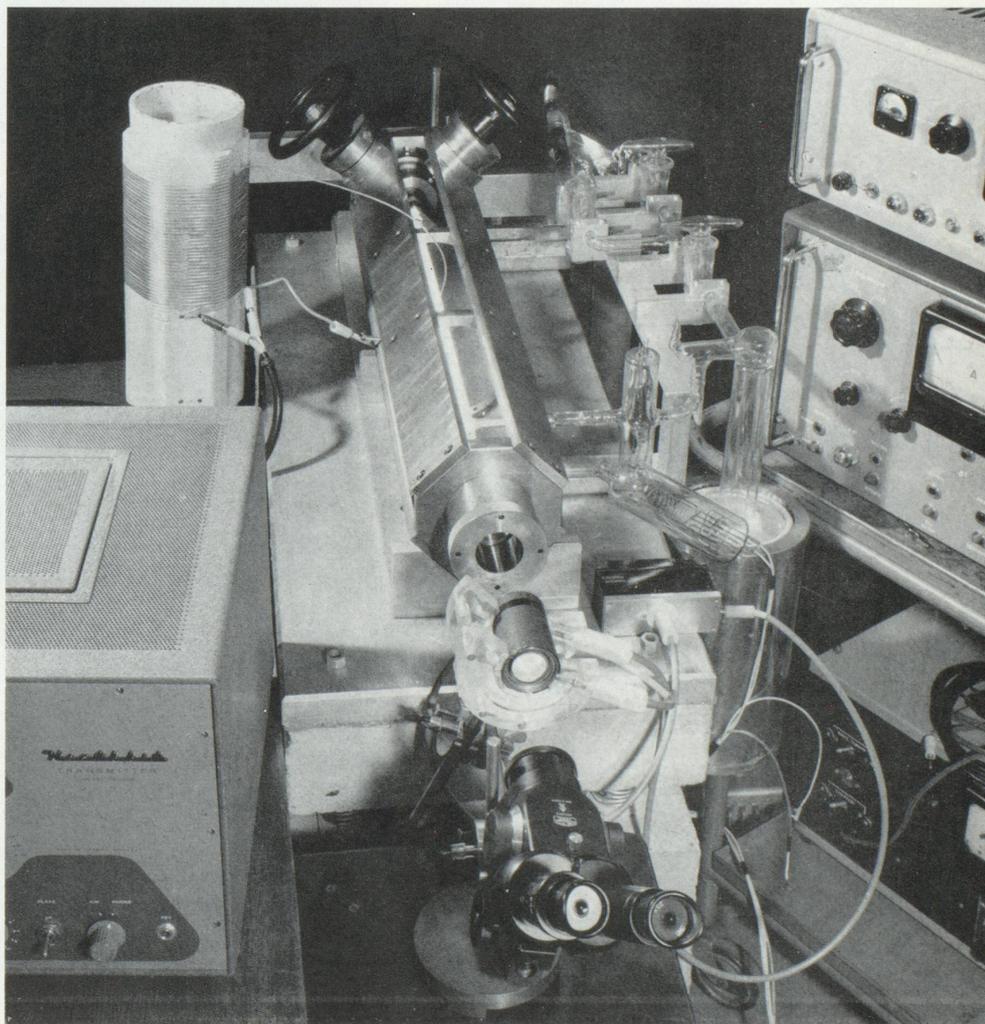
C'est ainsi que nous aborderons spécialement :

- les problèmes propres à la transmission des informations,
- à la nature des éléments « moteurs » tels que les tubes ou les systèmes émetteurs et récepteurs,
- aux progrès apportés par la recherche aux extrémités des liaisons (antennes),
- aux progrès réalisés dans certains circuits de base,
- aux sources d'énergie nécessaires à l'ensemble.

# Recherche scientifique et télécommunications

par Maurice Ponte

*Laser à gaz néon-hélium réalisé dans les laboratoires CSF de Corbeville.  
Un tel appareil constitue une source de lumière monochromatique très pure utilisée en spectroscopie.*



## Problèmes propres à la transmission des informations

Ce sont eux qui, probablement, ont réclamé le plus de recherches de tous ordres, initiant tous les autres.

Il est possible de les grouper schématiquement en deux : les uns ont conduit à développer les moyens des télécommunications eux-mêmes, les autres ont amené à étudier la nature même de l'information et à la naissance d'un nouveau chapitre des sciences, la cybernétique.

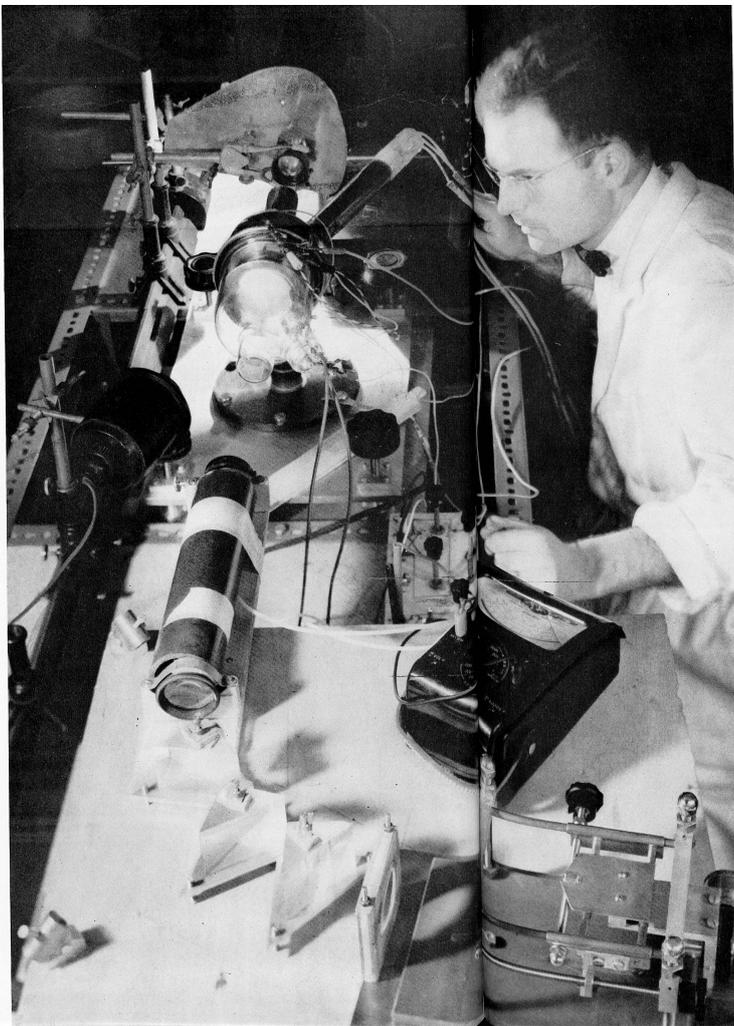
### Les moyens

En partant des propriétés mêmes des circuits, l'ingénieur en télécommunications a bien vite reconnu que la transmission d'une information « consommait » une bande de fréquences d'autant plus élevée que l'information devait être plus complète et plus rapide. La télégraphie de nos arrière-grands-pères ne réclamait que quelques périodes par seconde : la télévision en exige plusieurs millions. Le support des transmissions doit ainsi avoir une fréquence de plus en plus élevée : en quarante ans, les fréquences des émissions radio-électriques ont étendu leur spectre depuis dix mille périodes jusqu'à des milliards. La somme de recherches scientifiques de toute nature qui a permis cette extension est immense, puisqu'il a fallu poser les principes, réaliser les éléments, étudier la propagation de ces diverses fréquences.

En ce qui concerne les recherches sur la propagation, les besoins des télécommunications ont amené les physiciens à étudier, à partir du sol, les couches plus ou moins ionisées qui entourent le globe, afin de prévoir les conditions de propagation autour du globe terrestre, et les couches les plus proches étaient ainsi assez bien connues avant l'apparition des satellites terrestres. Ceux-ci ont conduit à des investigations directes, qui ont permis de déterminer la physique de ces plasmas naturels et les lois de leurs interactions avec le champ magnétique terrestre.

La « course aux fréquences élevées » a absorbé l'activité de milliers de chercheurs durant des années et, actuellement, le domaine des ondes millimétriques et décimimétriques est largement exploré, en vue,

*Étude en laboratoire du comportement des films métalliques minces soumis au bombardement d'un faisceau d'électrons.*



notamment, de leurs applications à la propagation sur câbles d'une structure interne appropriée.

## Nature et limite de l'information

Les limites imposées à la transmission intégrale d'un message donné ont amené les techniciens des télécommunications à analyser la nature même de l'information, dans le but d'une part de ne transmettre que le nécessaire et d'autre part d'augmenter la sensibilité de la liaison. Leurs efforts ont ainsi conduit à lier l'information elle-même à son système de transmission, les deux apparaissant comme physiquement liés. Il en est également résulté tout un art de l'exploitation, résumé dans le terme de « traitement de l'information », dans des ensembles de plus en plus complexes dotés de mémoires.

Les progrès ainsi réalisés dans les transmissions sont particulièrement importants pour les pays sous-développés : en effet, là comme ailleurs ces pays peuvent tirer parti de ce que leurs réseaux de télécommunications sont encore peu développés et, ainsi, ne sont pas soumis à l'emploi d'installations basées sur des principes anciens. Ils peuvent, dès le départ, « faire du neuf » et utiliser d'emblée les techniques d'exploitation les plus modernes. Il faut également remarquer, en ce qui concerne les transmissions radioélectriques, que le spectre des fréquences est déjà fort encombré : l'apparition des besoins des nations nouvelles risque de poser des problèmes insolubles s'il n'est pas fait appel aux moyens les plus avancés de la technologie de la transmission et de la théorie de l'information. Ce sera particulièrement le cas en radiodiffusion si chaque nation nouvelle doit avoir ses émissions propres. Il sera indispensable d'établir des réseaux synchronisés et d'employer les résultats les plus récents de la recherche en stabilisation de fréquences.

Enfin, il est probable que les nations peu développées devront tirer les conséquences des recherches sur l'information en ce qui concerne l'adaptation de leurs langues et de leurs habitudes même de pensée : les subtilités littéraires des langues très analytiques ne pourront plus être transmises sous peine de gaspillage des moyens techniques, et les nations, dans leur ensemble, doivent se préparer à utiliser une

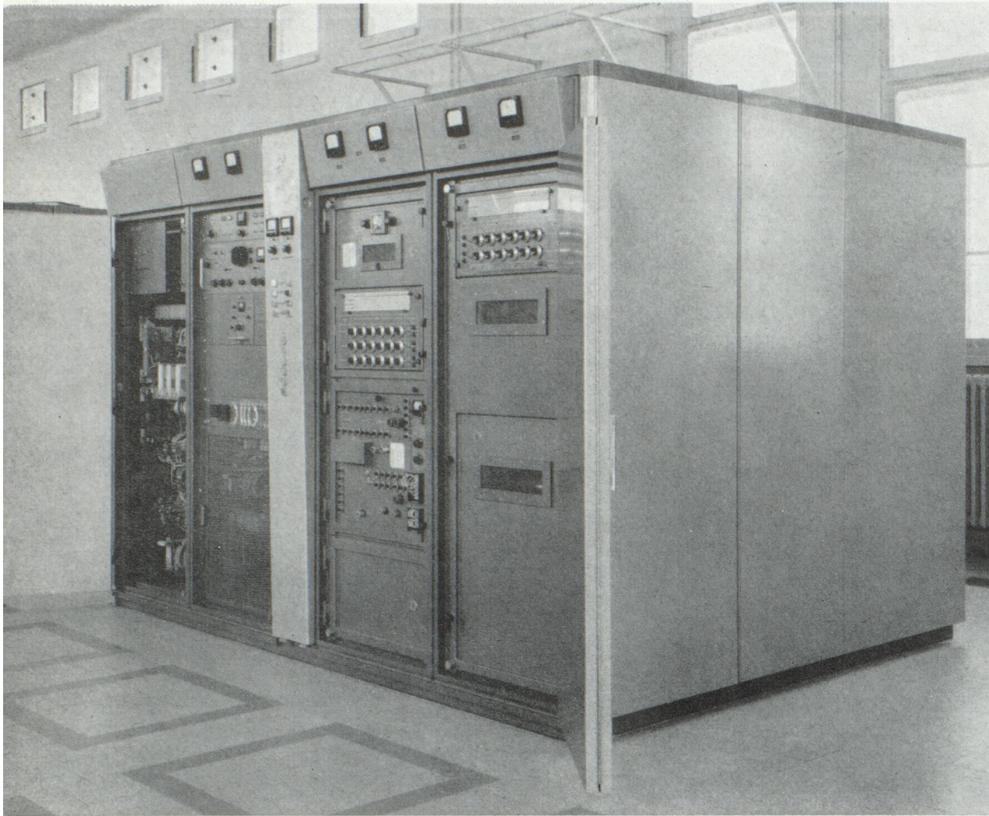
ou quelques langues internationales, adaptées aux nécessités des transmissions : c'est l'une des causes des recherches sur les machines à traduire, qui amèneront à des machines à coder et à décoder, mais avec des possibilités limitées.

## La recherche dans les éléments essentiels : tubes et semi-conducteurs

La course aux fréquences élevées a conduit les physiciens et les techniciens à résoudre une foule de problèmes relatifs aux tubes électroniques. Les limites d'emploi des tubes classiques ont été reculées en faveur des ondes décimimétriques, mais au prix d'acrobaties incompatibles avec les très longues durées réclamées par les télécommunications. La plus grande part des tubes utilisés au-dessus de 300 mégacycles font appel aux échanges d'énergie entre des faisceaux d'électrons et des champs, à l'intérieur même du tube. Les familles de tubes qui ont ainsi pris naissance, magnétrons, klystrons, tubes à ondes progressives, tubes à ondes progressives à champ magnétique, carinotrons, etc., ont suscité tant de recherches que, du côté des puissances élevées, des dizaines de kilowatts utiles sont obtenues avec des puissances de crête de plusieurs dizaines de mégawatts si nécessaire et que, du côté des fréquences élevées, les ondes millimétriques et décimimétriques sont atteintes.

Ces divers tubes sont employés soit à l'émission soit à la réception. Comme toujours en télécommunications, il a fallu que les tubes s'adaptent à la transmission de largeurs de bandes élevées, condition qui a imposé une part importante des recherches : certains tubes sont capables de transmettre une octave (t.p.o.m., carinotrons), grâce à des recherches mathématiques et physiques sur les lignes de transmission et leurs couplages avec un faisceau d'électrons associés.

Il est intéressant de remarquer qu'à l'heure actuelle les recherches initiées d'après les habitudes de pensée « radioélectriques », développées vers les fréquences « élevées » et celles qui ont leur origine dans les habitudes des physiciens de l'optique, vers les fréquences « basses » se recoupent (lasers et applications).



Un émetteur de trafic télégraphique et téléphonique ultra-moderne, type EB-435 à bandes latérales indépendantes. Puissance 35 kW. Fonctionnement entièrement automatique. C'est avec des émetteurs de ce type que les services officiels de plusieurs pays assurent leurs liaisons intercontinentales.

Page suivante : étude en laboratoire de la conversion d'énergie par l'effet thermo-ionique.

Nous soulignerons également, afin de bien montrer combien les techniciens des transmissions ont fait progresser la recherche et la technologie en électronique, que les besoins des câbles téléphoniques sous-marins ont exigé des tubes électroniques de vie pratiquement illimitée.

Il est aussi nécessaire de rappeler les progrès dus à l'emploi des semi-conducteurs, dont la description déborderait largement le cadre de cette communication. L'apparition des systèmes à semi-conducteurs a permis les progrès des systèmes mobiles de transmission et, notamment, des équipements des satellites.

## Liaisons « immatérielles » : antennes

Dans une liaison de ce type, l'antenne est un élément essentiel qui doit s'adapter au moindre prix à la nature de la liaison à assurer.

Il est intéressant de remarquer que, dès le début de la radioélectricité, ce problème a préoccupé les savants et techniciens puisque, dès 1912, il est apparu que le rendement des liaisons était essentiellement déterminé par le choix des antennes : d'où cette floraison de recherches sur les antennes et leurs associations en fonction de la fréquence : antennes à grandes dimensions type Beverage, antennes à faisceaux type Chireix, puis à mesure que la fréquence augmentait, miroirs et structures du type « cristallin » de la nature. Les chercheurs modernes ont les mêmes soucis.

Les antennes utilisées dans les diverses radiocommunications doivent avoir des caractéristiques appropriées au problème à résoudre. Le but des recherches entreprises dans ce domaine a donc été d'atteindre ces caractéristiques. Parfois, ces recherches ont débouché sur de nouveaux types d'antennes, parfois les chercheurs ont adapté des travaux d'optique à une gamme de fréquences plus basse.

Les antennes modernes peuvent se grouper d'après leur type de fonctionnement : antennes à rayonnement axial; antennes « broad-side »; antennes spéciales.

D'une manière générale, si les résultats apparaissent comme proches d'une simple technologie ou de l'art de l'ingénieur spécialisé en résistance des structures, ils ont nécessité une foule d'études théoriques faisant appel aux équations mathématiques les plus avancées dans la théorie de la propagation des ondes électromagnétiques. Heaviside a été un précurseur dans l'art des applications mathématiques dont l'utilité s'est révélée beaucoup plus large.

Il ne faut pas, en outre, oublier que, par l'extension des besoins des télécommunications, et comme pour les tubes, les antennes doivent « passer » des bandes de fréquence de plus en plus étendues, avec un couplage convenable à l'émetteur et au récepteur : il a fallu des années de recherches théoriques et pratiques pour arriver aux stades actuels.

Enfin, le mobile le plus actuel des recherches dans ce domaine est apporté par les exigences des transmissions spatiales, notamment en ce qui concerne la précision à obtenir pour les diagrammes. Et c'est une question particulièrement importante dans les régions peu développées, puisque les satellites leur apportent un moyen essentiel de télécommunications avec le monde extérieur.

## Antennes à rayonnement axial

Bien que les structures rayonnantes du type Yagi ou cierge soient déjà anciennes, la compréhension des phénomènes est récente. De nouvelles structures capables de propager les modes évanescents ont été réalisées, utilisant soit des diélectriques du genre téflon, soit des diélectriques artificiels.

La modulation périodique de la structure rayonnante a permis d'augmenter le gain de ces antennes, et a donné naissance à l'antenne « cigare », utilisée en télévision dans certains relais hertziens.

Cependant, l'excitation de ces types d'antenne présentait certaines difficultés : la notion de couplage progressif d'une ligne amenant l'énergie à une autre susceptible de la rayonner a permis de résoudre les problèmes d'excitation dans

des bandes de fréquence très larges. Un exemple de réalisation est l'antenne « saucisson », dont la bande de fréquence peut atteindre une octave. Ce type d'antenne a trouvé des applications en télémétrie. Il doit être utilisé en télévision et dans les relais hertziens.

### Antennes à rayonnement normal — Broad-Side

Certaines techniques optiques ont été appliquées avec succès à la réalisation d'antennes froides à grand grain. En particulier, les antennes orientables destinées à la poursuite de satellites utilisent de nouvelles excitations de miroirs paraboliques ou sphériques dérivées de systèmes optique du type Cassegrain par exemple.

Les lentilles métalliques, faites de plaques percées de trous ont permis de réaliser d'excellentes focalisations. Elles ont trouvé leur emploi dans certains relais hertziens.

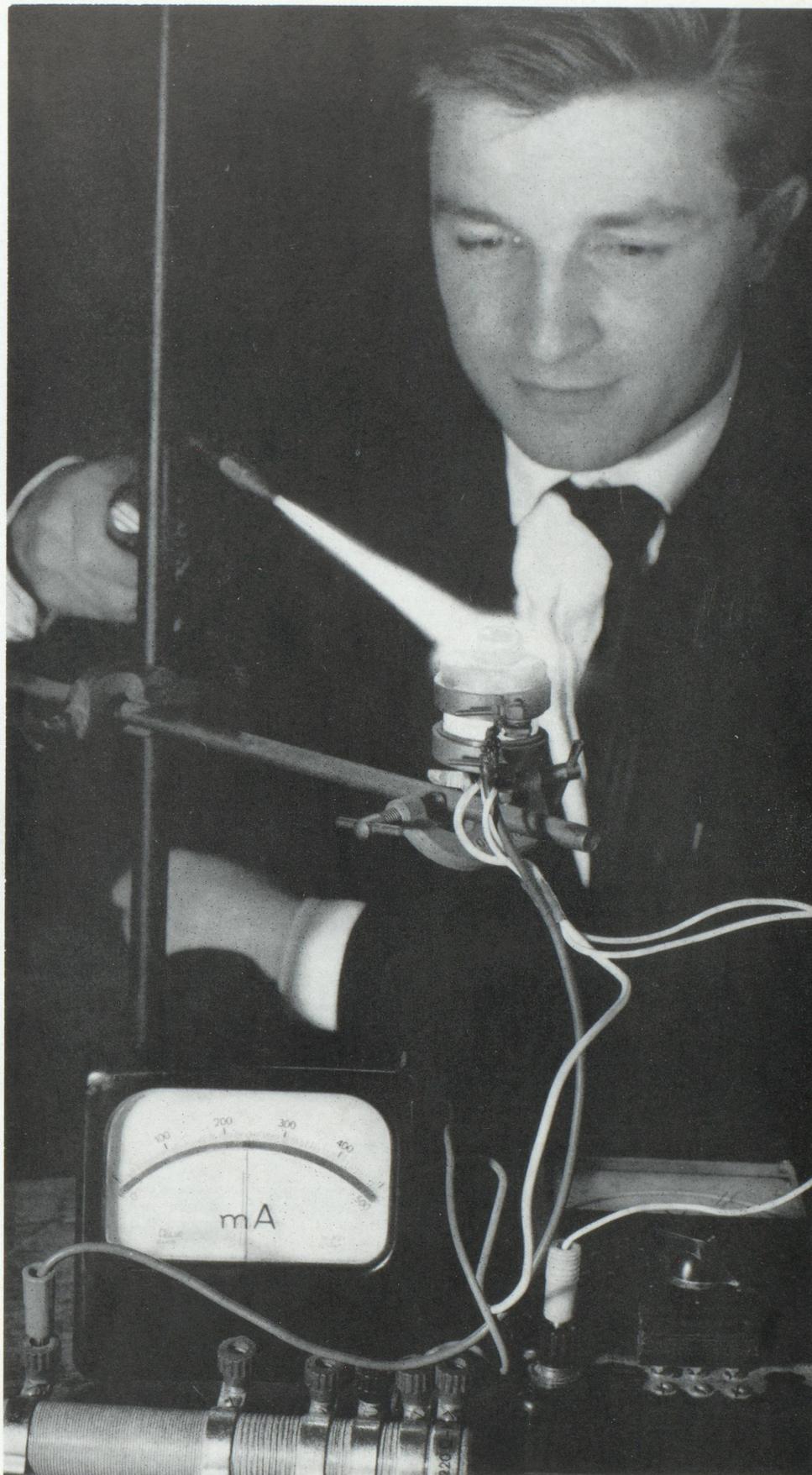
Enfin, certaines améliorations ont été apportées, résultant de calculs et d'expérimentations, dans des domaines classiques, comme ceux des réseaux d'antennes ou antennes omnidirectionnelles.

### Antennes spéciales

Deux nouveaux principes d'antennes ont permis récemment d'atteindre des bandes de plusieurs octaves. Ce sont les réseaux logarithmiques, et les antennes « équiangulaires » et « coniques ». La géométrie de ces structures est indépendante de la longueur d'onde, sauf à ses extrémités. Il existe une très grande variété de ces antennes, qui sont utilisées soit comme source primaire d'excitation dans les réseaux, soit dans des interféromètres.

Des recherches se poursuivent actuellement sur les antennes actives où la fonction amplification est réalisée sur la structure même de l'antenne.

Nous signalerons enfin les travaux effectués dans le domaine des « antennes synthétiques ». Des éléments d'antennes classiques sont ici utilisés avec des dispositifs auxiliaires (variateurs de phase, corrélateurs, machines à calculer...). On peut en particulier améliorer les réceptions des signaux compte tenu de leurs caractéristiques.



## Recherches dans les circuits de base

Les circuits électriques associent les éléments essentiellement réactifs, dans le but d'obtenir des courbes de transmission en fonction de la fréquence qui aient une certaine forme, c'est-à-dire présentent une certaine courbe de sélectivité.

Les télécommunications modernes exigent, associés aux éléments actifs que sont les tubes et les transistors, une réalisation de circuits qui aient impérativement des caractéristiques de transmission extrêmement précises, à cause de la multiplicité des équipements mis en jeu (par exemple, chaîne de relais hertziens), et de la qualité exigée sur les équipements.

Cette précision porte sur :

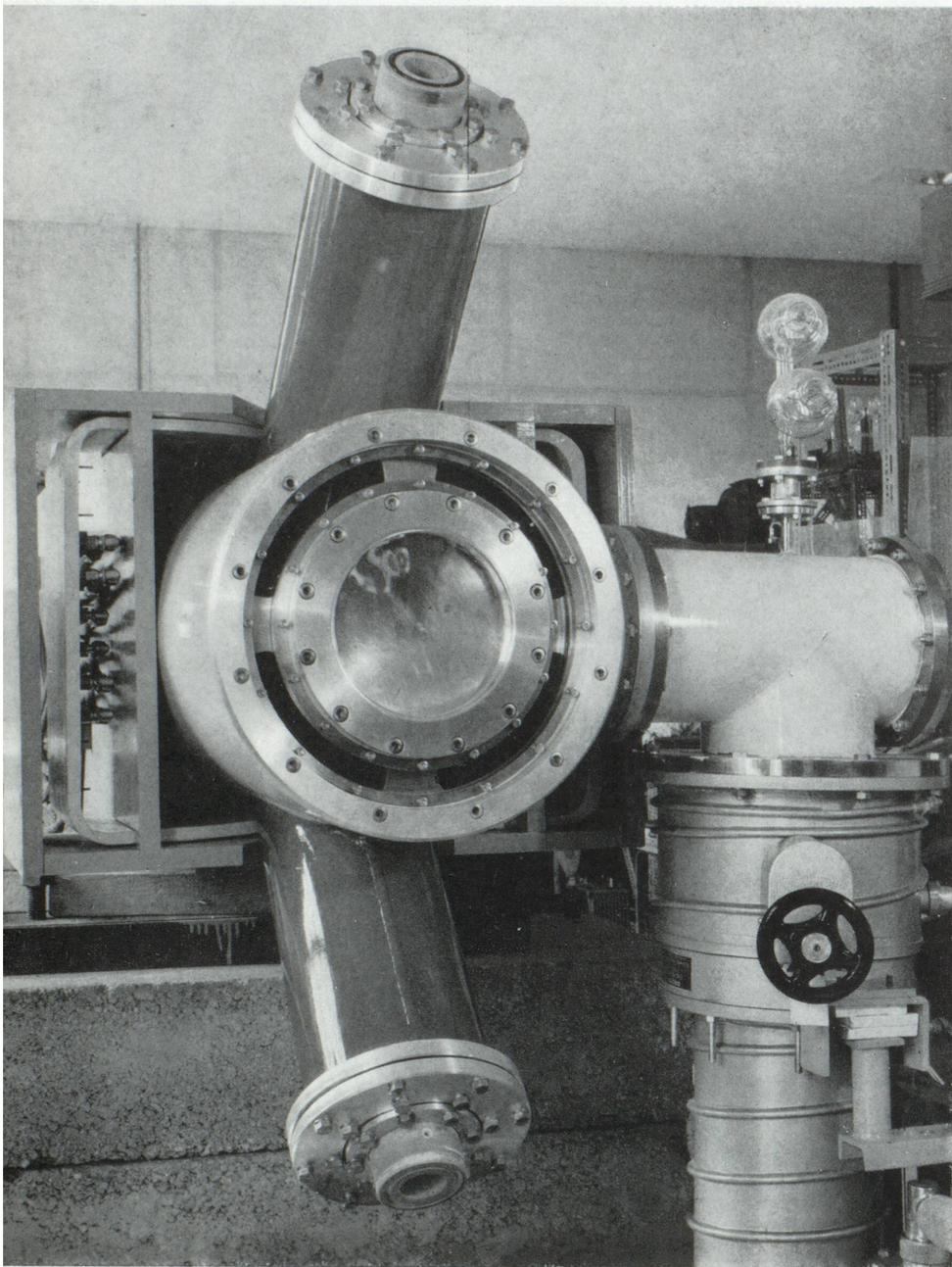
- une très grande régularité de l'amplitude à l'intérieur de la bande passante émise,

- une chute assez rapide de la transmission en dehors de ce canal pour assurer la protection contre les signaux étrangers.

De plus, la régularité d'amplitude n'est pas le seul critère : il faut y ajouter, dans la bande utile, la nécessité, surtout pour les transmissions utilisant la modulation de fréquence, de réaliser la linéarité de la rotation de la phase, exprimée par la constance du temps de propagation de groupe.

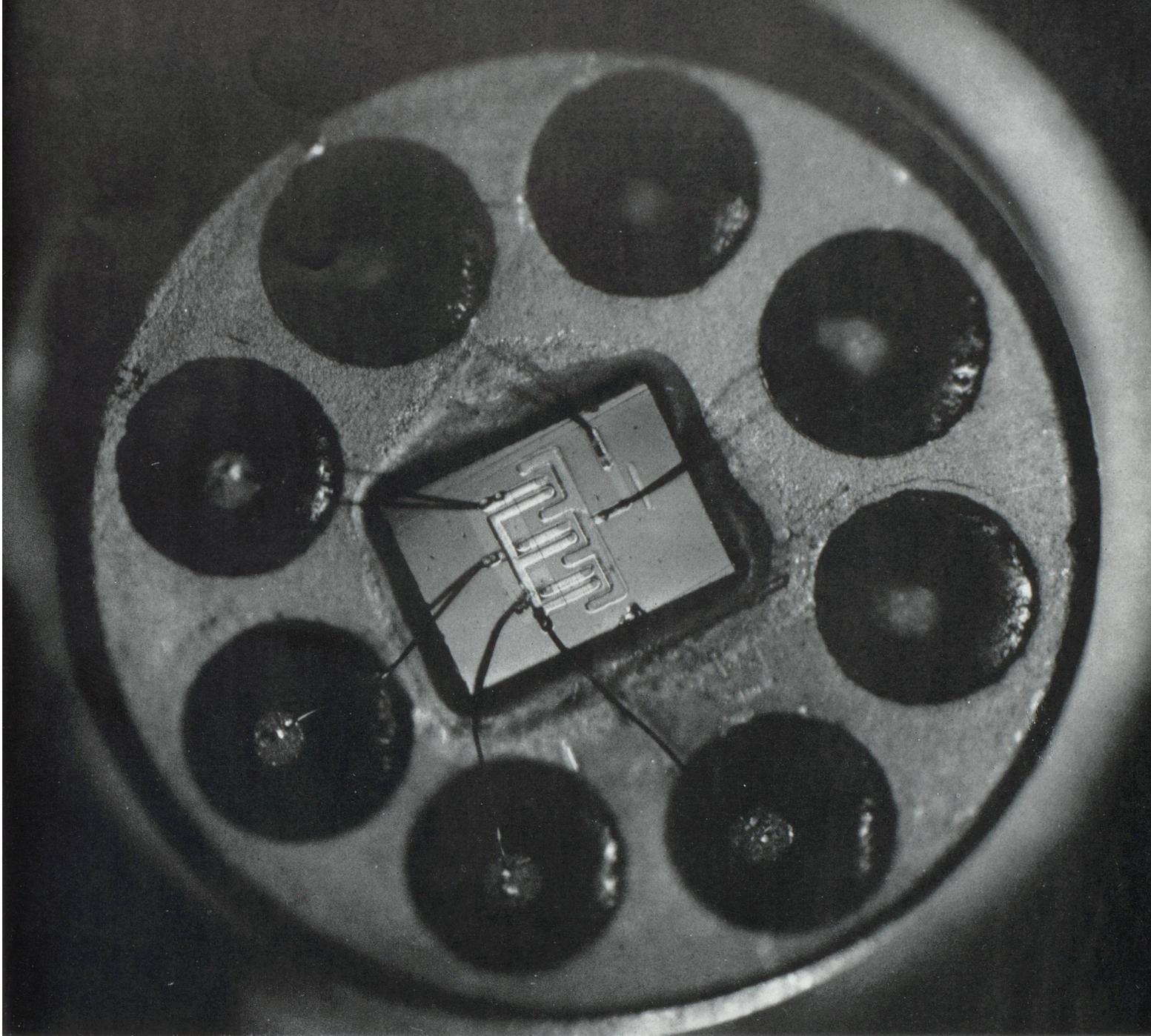
La recherche scientifique a d'abord contribué dans ce domaine à améliorer les résultats obtenus par l'introduction de *méthodes de calcul* faisant appel, beaucoup plus qu'auparavant, aux mathématiques avancées. Nous citerons simplement l'introduction généralisée de la transformation de Laplace et du langage matriciel pour l'analyse des circuits électriques, la considération dans ce langage de critères dépendant de notions mathématiques rigoureuses pour régulariser rationnellement la transmission : règle de circuits « maximally flat » de Butterworth ou réponse selon le critère de « Chebyshev ». Parallèlement, on a développé de façon beaucoup plus poussée les méthodes de calcul de circuits correcteurs « passe-tout » destinés à régulariser le temps de propagation.

Cet aspect théorique est complété par l'aspect pratique portant sur la *réalisation des circuits eux-mêmes*. Là aussi, de gros progrès ont été



L'étude de la structure de la matière est le domaine essentiel de la physique moderne. La complexité croissante du monde des particules nécessite des moyens de recherche de plus en plus évolués. On voit ici un séparateur de ces particules que les physiciens ont qualifié « d'étranges » parce que leur comportement est encore inexpliqué.

Page suivante : exemple de circuit électronique intégré. Il s'agit là d'un circuit logique dont les dimensions sont extrêmement petites.



faits ou vont être faits dans un avenir proche grâce aux investigations scientifiques.

Nous choisirons quelques exemples :

a) Les travaux modernes sur les matériaux magnétiques ont conduit, depuis déjà plusieurs années, à développer des oxydes de fer, et de nickel zinc ou manganèse connus sous le nom de ferrites. Ces matériaux magnétiques ont le mérite de présenter une perméabilité élevée valable aux plus hautes fréquences suivant la composition. Ils ont

permis de faire passer dans la pratique un certain nombre de circuits à haute surtension et fortement couplés, dont l'intérêt était mis en évidence par les calculs théoriques, mais qui n'étaient jusque là pas réalisables. C'est ainsi, parmi les exemples les plus récents, qu'on a pu construire des amplificateurs à moyenne fréquence à transistors pour relais hertziens présentant une largeur de bande régulière et étendue (50 MHz) et plus.

Dans l'avenir, on peut encore citer deux domaines dans lesquels

la recherche scientifique doit faire réaliser d'importants progrès à la technologie des circuits.

b) *La supra-conductivité.* Des fils de niobium-étain, plongés dans l'hélium liquide suivant diverses techniques, ont permis des densités de courants considérables permettant par exemple la réalisation de champs magnétiques importants.

c) *Les circuits « intégrés »* de la micro-électronique. Grâce aux progrès constants de la technique de traitement, on envisage la réalisation des éléments de circuits à

l'intérieur même des blocs de semi-conducteurs servant par ailleurs à la réalisation des éléments actifs : diodes et transistors.

Il apparaît ainsi que la technique des circuits est en progrès constant par une amélioration parallèle des méthodes de calculs et des procédés de réalisation technologiques, avec appel, encore une fois, aux résultats les plus avancés de la recherche en physique et en chimie modernes.

## Sources d'énergie

Les matériels de télécommunications nécessitent naturellement une alimentation électrique, donc une source d'énergie.

Les tendances des recherches ont été de plusieurs ordres :

— augmentation du rendement des conversions nécessaires, ce qui a conduit à des redresseurs ou onduleurs nouveaux, à gaz ou solides;

— à l'allègement des alimentations, spécialement pour les matériels mobiles, l'un des facteurs de la généralisation d'emploi des semi-conducteurs dans ces équipements.

Mais l'exploitation des télécommunications dans les régions peu développées a fourni à la recherche de nouveaux mobiles avec le besoin d'utiliser des sources locales d'énergie, puisque les réseaux de distribution y sont encore insuffisamment développés. Ce souci se retrouve dans l'alimentation des satellites, et, spécialement ici, le Telstar.

Les études scientifiques ont été particulièrement poussées dans le domaine de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

L'énergie solaire disponible, au niveau de la mer et le soleil étant au zénith, est de l'ordre de 1 kilowatt par mètre carré. Dans l'espace, cette valeur est un peu plus élevée, de l'ordre de 1 300 watts par mètre carré. Un certain nombre de phénomènes physiques sont actuellement étudiés ou utilisés pour réaliser la conversion directe en énergie électrique, essentiellement groupables en effet photovoltaïque, effet thermoélectrique et effet thermoionique.

L'effet voltaïque utilise actuellement des cellules formées de jonctions *p-n* dans du silicium monocristallin, avec un rendement maximum de l'ordre de 15 % et un rendement réel de 6 à 9 %. Ces cellules

réalisent le meilleur rendement pratique actuellement disponible. Elles ont cependant les inconvénients d'être chères, peu résistantes aux rayonnements et de nécessiter un équipement auxiliaire lourd.

Les études actuelles sont donc orientées vers d'autres matériaux (arséniure de gallium, sulfure de cadmium, etc.) ou d'autres formes de silicium et de ses dérivés. Un rendement de 3 à 5 % au sol apparaît actuellement possible avec des prix inférieurs, par watt installé, aux prix actuels.

L'effet thermoélectrique, utilisant l'échauffement d'une jonction, pose des problèmes d'absorption et d'émission pour les collecteurs et de stabilité des matériaux. Les rendements actuels sont faibles : 2 % pour les petites surfaces, 1 % pour les grandes. Le rendement théorique, lorsqu'on disposera de matériaux fonctionnant à haute température, peut atteindre 12 à 15 % et c'est une solution particulièrement intéressante pour les problèmes spatiaux.

L'effet thermoionique utilise la différence des travaux d'extraction électronique entre une cathode chauffée vers 2 000° et une anode à plus basse température. Le rendement de l'ensemble peut atteindre 20 à 25 % et le rapport de l'énergie disponible au poids est le plus élevé. Les recherches seront cependant encore longues, notamment pour obtenir de bonnes durées.

## Applications aux télécommunications

1° Dans le domaine spatial toute l'énergie électrique est fournie par la conversion solaire-énergie électrique par cellules silicium, si l'on excepte quelques expériences avec des produits radioactifs. La puissance disponible varie entre 20 watts et 200 watts environ. Il semble que pour les deux années à venir ce principe de conversion sera maintenu, la puissance utile pouvant aller à 500 watts-1 kilowatt.

2° Les difficultés d'études des matériaux ont retardé les applications au sol de même que le prix des équipements. On peut cependant citer des émetteurs récepteurs transistorisés, des relais hertziens (U.S.A., Japon, Sahara); des études pour des alimentations de radars éloignés ou mobiles, des sta-

tions de surveillance météo, la protection cathodique des jonctions de pipe-lines, etc. Les postes de réception à transistors ou téléviseurs alimentés par l'énergie solaire ne sont encore que des curiosités, mais la situation peut changer avec les développements en cours.

La production d'énergie électrique par conversion de l'énergie solaire dans des pays encore peu équipés n'a pas encore eu les applications escomptées à cause du prix élevé des installations : à l'heure actuelle, le prix d'une source de 100 watts est à peu près le même que celui de 5 kilomètres de ligne, mais il est à prévoir que des progrès importants seront atteints dans le cadre des programmes ci-dessus évoqués.

Maurice PONTE

*"Aériens Spirale" de l'interferomètre CSF de Nançay (branche Est-Ouest). Un tel équipement permet de localiser avec précision les engins et les satellites.*

