

L'ONDE ÉLECTRIQUE

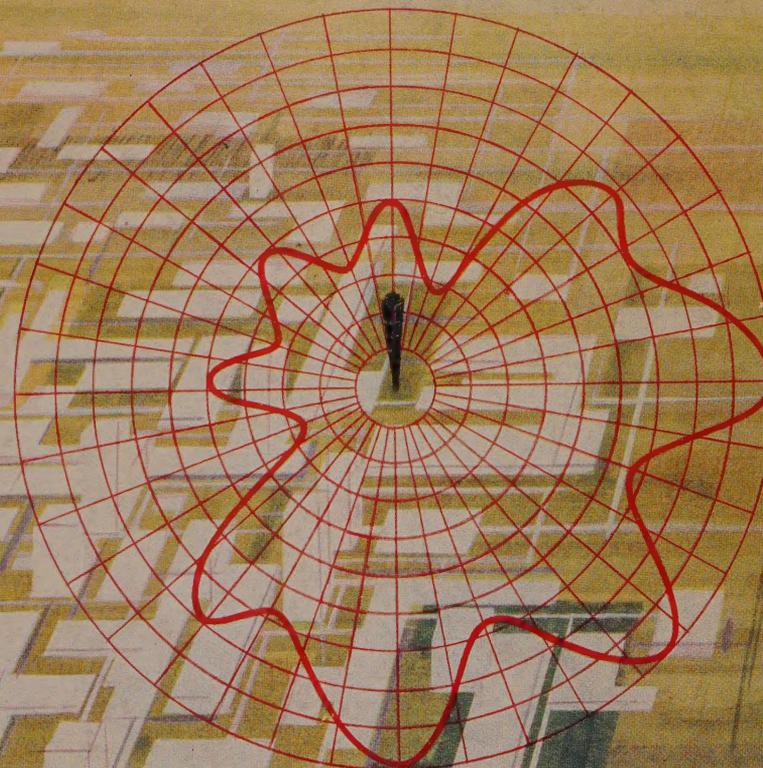
41^e ANNÉE - N° 411

J U I N 1961

P R I X : 5 N F

REVUE MENSUELLE de la SOCIÉTÉ FRANÇAISE des ÉLECTRONICIENS et des RADIOÉLECTRICIENS
PUBLIÉE PAR LES ÉDITIONS CHIRON, PARIS

SOUPLESSE DU modelage du diagramme PAR LES ANTENNES PANNEAUX A FENTES



Antennes panneaux à fentes permettant une grande souplesse du modelage du diagramme.
Département Antennes Professionnelles de la
S. A. Portenseigne.

Compte-rendu de la
**XIII^e Assemblée Générale de
L'UNION RADIO SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE**

Télécommunications Spatiales, J. VOGEL — Évolution
des services de radiocommunication, A. HENRY.



REJOINDRE

TEXAS INSTRUMENTS FRANCE

dans sa nouvelle usine ultra-moderne de NICE...

- C'est participer **vous-même** au prodigieux développement des semiconducteurs
- C'est **vous assurer**, dans une équipe dynamique, la carrière stable **que vous cherchez depuis longtemps.**
- Vie agréable dans une région vivante et pleine de ressources.
- Logements disponibles.
- Appointements en fonction de l'expérience acquise.



TEXAS INSTRUMENTS FRANCE

- UN DIRECTEUR *recherche* DU DÉPARTEMENT DISPOSITIFS SILICIUM
- UN DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT DISPOSITIFS GERMANIUM
- QUELQUES INGÉNIEURS ÉLECTRONIENS.

QUALIFICATIONS REQUISES :

- ★ Ingénieur Grande École, 30 à 45 ans.
- ★ Large expérience industrielle dans l'électricité ou l'électronique, ayant comporté la Direction d'un Service Technique important avec les responsabilités administratives et de gestion qui s'y rattachent.
- ★ Bonne connaissance de l'Anglais en vue de déplacements à la maison mère.



TEXAS INSTRUMENTS FRANCE

58, AVENUE SAINT-AUGUSTIN • NICE (A.-M.)



PCV

POUR TOUTS RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES
TÉLÉPHONE 86 - 69 - 61 à 69 (POSTE 82)
COMMUNICATIONS A NOTRE CHARGE

L'ONDE ÉLECTRIQUE

Vol. XLI

JUIN 1961

N° 411

Rédaction de l'Onde Électrique :
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRONICIENS ET DES RADIOÉLECTRICIENS

10, Avenue Pierre-Larousse - Malakoff (Seine) - Tél. : ALÉSIA 04-16 - C.C.P. Paris 697-38

Cotisations des Membres de la Société : Voir au verso "Extraits des Statuts"

SOMMAIRE

		Pages
La XIII ^e Assemblée Générale de l'Union Radio Scientifique Internationale	A. ANGOT	527
Mesures et étalons radioélectriques	R. WERTHEIMER	528
Propagation troposphérique	F. DU CASTEL	531
Ionosphère	D. LEPECHINSKY	536
Perturbations radioélectriques d'origine terrestre	R. RIVAUULT	547
Mesures de bruit	G. FOLDÈS	553
Tendance des méthodes de mesure en radio-astronomie	E. J. BLUM	558
Ondes et oscillations	E. MOURIER	
	R. FORTET	
	L. ROBIN	
	J. LOCHARD	564
Quelques aspects de l'électronique moderne	P. GRIVET	
	Y. BERNARD	
	A. SEPTIER	569
Télécommunications spatiales et transmissions à grande distance par satellites artificiels	J. VOGÉ	573
L'évolution des services de radiocommunication à la lumière des résultats de la Conférence de Genève	A. HENRY	588
Informations :		
Bibliographie		525, 526, 601
Documentation technique		599
Communiqués		600
Nouveaux membres de la Société		604

Sur notre couverture :

Dans le cadre de leur programme de recherches sur des antennes spécialisées ou adaptées aux conditions nouvelles nécessitées par l'évolution de la technique des transmissions, les Laboratoires du Département Antennes Professionnelles de la S.A. PORTENSEIGNE viennent d'achever le développement d'éléments nouveaux dans le domaine des antennes à fentes rayonnantes.

Le panneau à fentes, du type représenté sur notre couverture, offre l'avantage de pouvoir transmettre en bande IV ou V sur la même antenne, et même simultanément, deux ou plusieurs émissions situées à l'intérieur d'une bande de 140 MHz ou plus.

Aux qualités de gain et de souplesse dans le modelage du diagramme qu'apportent les panneaux rayonnants (par exemple de dipôles), les panneaux à fentes ajoutent des avantages de large bande d'adaptation de grande capacité en puissance et de parfaite stabilité mécanique. Leur conception assure en effet une rigidité et une robustesse remarquables, facteurs de fidélité dans le temps. Leur excellente protection contre les intempéries peut encore être augmentée par l'emploi systématique d'un acier inoxydable poli.

S.A. PORTENSEIGNE, 80-82, rue Manin, PARIS-19^e. Tél. BOT. 31.19 et 67.86.

L'Onde Electrique, revue mensuelle publiée par la Société Française des Electroniciens et des Radioélectriciens, est éditée par les

ÉDITIONS CHIRON

40, Rue de Seine - PARIS-6^e - Tél. : MÉD. 18-93 - C.C.P. Paris 53-35

Abonnement annuel souscrit directement aux Editions Chiron : France 45 NF — Etranger 51 NF — Ce n° 5 NF

Exclusivité de la Publicité : M. R. DOMENACH, 161, Bd St Germain, Paris 6^e - Tél. BAB. 41-97 et 41-98

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRONICIENS ET DES RADIOÉLECTRICIENS

BUREAU DE LA SOCIÉTÉ

Président (1961)

M. le Général de C.A. Jean GUERIN.

Président désigné pour 1962

M. B. DECAUX, Ingénieur en Chef des Télécommunications.

Vice-Présidents

MM. A. BLANC-LAPIERRE, Directeur de l'Institut d'Etudes Nucléaires de l'Université d'Alger.

H. PORTIER, Directeur des Etudes à l'E.S.E.

J. DAUVIN, Ingénieur Général des Télécommunications e.r., Directeur délégué du Centre de Recherches de la C.G.E.

Secrétaire Général

M. A. FLAMBARD, Ingénieur Militaire en Chef.

Secrétaires Généraux Adjoins

MM. R. CABESSA, Ingénieur à la Société L.M.T., Directeur de la Division systèmes électroniques à la Société Le Matériel Téléphonique.

L.J. LIBOIS, Ingénieur en Chef des Télécommunications.

Trésorier

M. J.M. MOULON, Directeur Général Adjoint de la Société M.E.C.I.

Secrétaires

MM. J. DEZOTEUX, Ingénieur des Télécommunications.

M. THUÉ, Ingénieur des Télécommunications.

J. BLOUET, Chef de la Section Métrologie de la Division Radioélectricité et Electronique du L.C.I.E.

SECTIONS D'ÉTUDES

N°	Dénomination	Président	Secrétaire
1	Etudes générales. Groupe de mathématiques appliquées à la radio-électricité.	M. ROUBINE	M. BERTEROTTIÈRE
2	Matériel radioélectrique.	M. ROBIN	M. DELY
3	Electro-acoustique.	M. GAMET	M.R. LEHMANN
4	Télévision.	M. BUFFARD	M. DE THIEULLOY
5	Hyperfréquences.	M. ANGEL	M. CHARLES
6	Electronique.	M. BERNIER	M. O. CAHEN
7	Documentation.	M. PICQUENDAR	
8	Electronique appliquée.	M. CHEREAU	M. G. ROTH
9	Electronique nucléaire.	M. LOEB	M. BENOIT
10	Formation du Personnel technique.	M. LABEYRIE	M. GILABERT

Rédaction de l'Onde Electrique

M. B. DECAUX, Ingénieur en Chef des Télécommunications, Président du Comité de Rédaction.

M. J.-P. POITEVIN, Ingénieur en Chef des Télécommunications, Rédacteur en Chef de l'Onde Electrique.

M. M. CAMUS, Ingénieur des Télécommunications.

M. A. PROFIT, Ingénieur des Télécommunications.

GROUPES RÉGIONAUX

GRUPE D'ALGER

Président. — M. A. SARAZIN, Directeur-adjoint de l'Institut d'Etudes Nucléaires, Faculté des Sciences d'Alger.

Secrétaire. — M. P. CACHON, Assistant à la Faculté des Sciences d'Alger.

GRUPE DE L'EST

Président. — M. R. GUILLIEN, Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique de Nancy.

Secrétaire. — M. E. GUDEFIN, Assistant à l'E.N.S.E.M.

GRUPE DE GRENOBLE

Président. — M. J. BENOIT, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble, Directeur de la Section de Haute Fréquence à l'Institut Polytechnique de Grenoble.

Secrétaire. — M. J. MOUSSIEGT, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Grenoble.

GRUPE DE MARSEILLE

Président. — M. Th. VOGEL, Directeur de Recherches au C.N.R.S.

Secrétaire. — M. J. GIRAUD, Ingénieur des Télécommunications.

GRUPE DU NORD

Président. — M. N. SEGARD, Professeur, Directeur de l'I.S.E.N.

Vice-Présidents. — M. R. CARPENTIER, Chef du Centre de Télévision à la R.T.F.

— M. R. GABILLARD, Professeur, Directeur de l'Institut Radiotechnique.

Secrétaire. — M. N. SCHUTZ, Directeur de la Société Générale d'Electricité et de Radio.

Secrétaire-Adjoint. — M. BOUVET, Secrétaire Général de l'I.S.E.N.

EXTRAITS DES STATUTS

ARTICLE PREMIER. — La Société FRANÇAISE DES ÉLECTRONICIENS ET DES RADIOÉLECTRICIENS a pour but

1° De contribuer à l'avancement de la radioélectricité et de l'électronique théoriques et pratiques ainsi qu'à celui des sciences et industries qui s'y rattachent.

2° D'établir et d'entretenir entre ses membres des relations suivies et des liens de solidarité.

Elle tient des réunions destinées à l'exposition et à la discussion de questions concernant la radioélectricité, l'électronique et tout ce qui s'y rattache.

ART. 2. — La Société se compose de membres titulaires, dont certains en qualité de membres bienfaiteurs ou de membres donateurs, et de membres d'honneur.

Pour devenir membre titulaire de la Société il fut

1° Adresser au Président une demande écrite

appuyée par deux membres, non étudiants, de la Société.

2° Etre agréé par le Bureau de la Société.

Tout membre titulaire qui, pour favoriser les études et publications scientifiques ou techniques entreprises par la Société, aura pris l'engagement de verser, pendant cinq années consécutives, une cotisation égale à dix fois la cotisation annuelle, recevra le titre de membre bienfaiteur.

Ceux qui, parmi les membres titulaires, verseront une cotisation égale à cinq fois la cotisation annuelle, seront inscrits en qualité de donateurs.

Tous les membres de la Société sauf les membres d'honneur, paient une cotisation dont le montant est fixé par une décision de l'Assemblée Générale.

Les membres âgés de moins de 25 ans, en cours d'études, pourront sur leur demande, bénéficier d'une réduction de 50 % sur leur cotisation. Cette

réduction ne leur sera accordée que pendant cinq années au plus.

Les membres titulaires reçoivent une publication périodique ayant un caractère technique*.

Cette publication leur est adressée gratuitement. Toutefois, les membres résidant à l'étranger devront verser, en sus de leur cotisation annuelle, une somme destinée à couvrir les frais supplémentaires.

MONTANT DES COTISATIONS

Particuliers	25 NF
Particuliers âgés de moins de 25 ans en cours d'études	12,50 NF
Sociétés ou Collectivités	150 NF
ou	350 NF
ou	750 NF
au gré de la Société ou Collectivité, Particuliers résidant à l'étranger	25 NF
plus frais postaux	5 NF

* NDLR. Cette revue est l'Onde Electrique

Changement d'adresse : joindre 0,50 NF à toute demande

RÉSUMÉ DES ARTICLES

TÉLÉCOMMUNICATIONS SPATIALES ET TRANSMISSIONS A GRANDE DISTANCE PAR SATELLITES ARTIFICIELS, par J. VOGÉ, *Ingénieur en Chef des Télécommunications au Centre National d'Etudes des Télécommunications*. Onde Electrique de juin 1961 (pages 573 à 587).

L'auteur traite successivement des liaisons radioélectriques entre la terre et les engins spatiaux et des communications terrestres à grande distance, utilisant comme réflecteurs ou relais des satellites artificiels. Les portées énormes des liaisons spatiales conduisent à rechercher des émetteurs plus puissants, des antennes à rayonnement plus directif, des récepteurs plus sensibles, et enfin des procédés de modulation et de codage plus efficaces dans la transmission des informations. Les solutions à ces problèmes, dans l'immédiat et le proche avenir sont passées en revue. On traite l'exemple du « Pionnier V », avec qui le contact a été établi jusqu'à plusieurs dizaines de millions de kilomètres. Des indications sont données sur les techniques les plus modernes de microminiaturisation applicables à l'électronique des engins spatiaux. En ce qui concerne les communications terrestres par satellites, différents cas sont à considérer : satellites à altitudes relativement basses, 2 000 à 6 000 km, se déplaçant par rapport au sol ou satellites « fixes » à une altitude de 36 000 km : satellites « passifs », simples réflecteurs, ou « actifs, amplifiant les ondes reçues avant de les réémettre vers le sol ; satellites à retransmission instantanée ou au contraire différée. Chacun de ces procédés a ses avantages et ses inconvénients. Des exemples sont donnés correspondant à des essais en cours ou à des projets réels de réseaux exploitables en téléphonie ou télévision (expérimentations ECHO et COURRIER, divers projets civils et militaires). On compare sur plusieurs points les caractéristiques des liaisons classiques, par radio ou câbles sous-marins, avec celles des liaisons par satellites. L'auteur termine sur l'espoir de voir les laboratoires et l'industrie électronique française participer bientôt à des programmes de coopération internationale dans ces domaines.

L'ÉVOLUTION DES SERVICES DE RADIOCOMMUNICATION A LA LUMIÈRE DES RÉSULTATS DE LA CONFÉRENCE DE GENÈVE (17 août, 21 décembre 1959), par A. HENRY, *Ingénieur en Chef des Télécommunications*. Onde Electrique de juin 1961 (pages 588 à 598).

Pendant les quinze années qui se sont écoulées depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, les services de radiocommunication évoluent de façon notable, en raison des progrès techniques réalisés et des nouvelles méthodes d'exploitation mises en œuvre. Cette période est également marquée par un grand nombre de conférences internationales de radiocommunication réunies sur une base mondiale ou régionale.

BIBLIOGRAPHIE

Electronique et radioélectricité, tome III, par G. THALMANN. Un vol. 15 × 21 cm, 328 pages, 196 figures (Dunod, Paris 1961). Broché : 37 NF.

Ce cours d'électronique et de radio-électricité est destiné, dans son ensemble, aux futurs radio-électriciens, qui y trouveront un enseignement complémentaire utile à leur formation, ainsi qu'aux praticiens désireux de se perfectionner.

Le troisième tome de cet ouvrage est plus particulièrement consacré à l'amplification de haute fréquence, au changement de fréquence, aux perfectionnements apportés au récepteur superhétérodyne, aux récepteurs à modulation de fréquence et à transistors et aux divers récepteurs, aux mesures et instruments de mesure.

R.O.E.

Manuel de base de l'ingénieur, tome II : Physique, Chimie, Atomistique, par S.H. TIDESTROM (traduit du suédois par P. CHAUMELLE et J. AUXENFANS). Un vol. 15 × 22 cm, 656 pages, nombreuses figures (Dunod, Paris 1961). Relié toile : 58 NF.

La principale originalité de cet ouvrage, par laquelle il se distingue des nombreux manuels et formulaires déjà publiés, réside en ce que, loin de se limiter aux applications technologiques pures, il fait apparaître constamment les bases scientifiques sur lesquelles sont fondées les méthodes étudiées.

Ainsi sont exposés pour chaque discipline, de façon condensée mais rigoureuse, les principes et les théories de base qui permettent au lecteur l'accès à des ouvrages ou des revues plus spécialisés.

Après l'étude, dans un premier tome, des mathématiques et de la mécanique, avec leurs applications à la dynamique des fluides et à la résistance des matériaux, on trouve d'abord, dans ce second volume, un exposé des éléments essentiels de la mécanique vibratoire classique, qui assure la liaison nécessaire entre la dynamique des corps tangibles et celle des corpuscules. Prennent place aussi dans ce livre les notions fondamentales propres à la chimie-physique et à l'atomistique et un exposé original des lois qui régissent l'optique et l'acoustique. Un chapitre très court, mais traité de façon rigoureuse, est consacré à l'électricité et au magnétisme. Les lois de la combustion font l'objet d'un chapitre, annexé à celui qui traite de la thermodynamique et de l'hygrométrie, ce qui présente l'avantage de bien dégager la nature de ces lois et d'en faciliter les applications.

En outre, pour chaque discipline, un chapitre est consacré aux méthodes de mesures, qui permettent ainsi la confrontation de la théorie avec la pratique. De nombreuses tables sont groupées en fin de volume, dont certaines inédites, relatives aux caractéristiques numériques physico-chimiques.

Enfin, chaque chapitre est précédé d'une abondante bibliographie et d'une liste de symboles des grandeurs, soigneusement établie. Un index alphabétique détaillé facilite la consultation de l'ouvrage.

R.O.E.

(suite page 526)

SUMMARIES OF THE PAPERS

THE EVOLUTION OF RADIO COMMUNICATION SERVICES IN THE LIGHT OF THE OUTCOME OF THE GENEVA CONFERENCE (17th AUGUST-21st DECEMBER 1959), by A. HENRY, *Ingénieur en Chef des Télécommunications*. *Onde Electrique*, June 1961 (pages 588 to 598).

During the 15 years which have gone by since the end of the second world war there has been a remarkable development in radio communications services notably because of the technical development which has been achieved and the new methods of use which have come into being. This period has also been notable for a great number of international radio communication conferences meeting either on a world basis or on a regional basis.

SPACE TELECOMMUNICATIONS AND LONG DISTANCE TRANSMISSIONS USING ARTIFICIAL SATELLITES, by J. VOGÉ, *Ingénieur en Chef des Télécommunications au Centre National d'Etudes des Télécommunications*, *Onde Electrique*, June 1961 (pages 573 to 587).

The writer discusses radio circuits between earth and space vehicles and also long distance communication over the earth using artificial satellites as reflectors or relay stations.

The enormous range available in space communications leads to the search for more powerful transmitters, more highly directional aerials, receivers of higher sensitivity and also modulation and coding methods which can transmit intelligence more efficiently. The present solutions and those immediately in prospect are reviewed.

There is a discussion of « Pioneer 5 » as an example in which contact was held up to many tens of millions of kilometers. There is a brief account of the latest methods of microminiaturisation as applied to the electronics of space vehicles.

As concerns earth communication by the use of satellites there are various possibilities to be considered, namely satellites at relatively low altitudes, 2 000-10 000 kilometers moving in relationship to the earth or « fixed » satellites at a height of 36 000 kilometers, « passive » satellites which are simply reflectors or « active » satellites which amplify the received transmissions before firing them back towards earth, satellites giving instantaneous re-transmission or giving deferred transmission. Each of these methods has its advantages and its disadvantages. Examples are given relating to trials already in progress and research projects useful for telephony or television including the ECHO and COURRIER experiments and various civil and military projects.

There is a comparison on several counts between the characteristics of conventional circuits using radio or submarine cables with those of circuits using satellites. The author ends with the hope of seeing the French electronic industry and laboratories taking part before long in international projects in these fields.

BIBLIOGRAPHIE (suite)

Les récepteurs de télévision, tome II, par W.T. COCKING (traduit de l'anglais par H. PIRAUX). Un vol. 14 × 22 cm, 316 pages, nombreuses figures (Dunod, Paris 1961). Relié : 35 NF.

Le mérite de l'auteur est d'avoir su rédiger un ouvrage qui a pour objet non pas tant de donner des directives précises pour la construction d'appareils que de permettre de comprendre exactement le pourquoi et le comment de tout ce qui se passe dans un téléviseur.

Ce second tome comporte les questions suivantes : circuits d'accord, chaînes video et son, antennes, alimentation, qualités essentielles d'un montage, télévision par projection, convertisseurs de bande. Signalons des appendices permettant d'approfondir certaines questions sur le plan mathématique.

Cet ouvrage est un livre de base clair, complet, ayant déjà fait l'objet en Grande-Bretagne de cinq éditions successives.

R.O.E.

Initiation à l'électronique, par R. FAURE. Un vol. 16 × 22 cm, 376 pages, 160 figures (Dunod, Paris 1961). Broché : 29 NF.

Science nouvelle, née avec le siècle, l'électronique s'est déjà divisée en plusieurs branches importantes et il n'existe pratiquement plus de technique à laquelle elle n'apporte son concours. Ce livre met à la portée du grand public les éléments nécessaires pour comprendre ses principales applications ; l'auteur nous explique, en effet, les phénomènes les plus complexes à partir des théories les plus modernes, de manière à en donner au lecteur une vue précise, à la fois qualitative et quantitative.

Ainsi la théorie des bandes d'énergie dans les solides, exposée sous forme de schémas, sert de base aux développements sur

l'émission thermoélectrique, sur les différents effets photoélectriques, sur le fonctionnement des dispositifs à semiconducteurs, etc. Puis après avoir étudié en détail chacune des « armes » de l'électronique (tubes à vide, tubes à gaz, cellules photoélectriques, semiconducteurs, etc.) l'auteur envisage les applications les plus courantes dans des chapitres traitant de la radioélectricité, de la modulation de fréquence, du radar et de la télévision.

Cet ouvrage constitue donc une première initiation à partir de laquelle un certain nombre de lecteurs, plus curieux, pourront approfondir leurs connaissances sur telle ou telle branche présentant pour eux un intérêt particulier.

R.O.E.

Initiation au calcul opérationnel et à ses applications techniques, par F. SALLES. Un vol. 16 × 25 cm, 76 pages, 76 figures (Dunod, Paris 1961). Broché : 4,80 NF.

L'emploi du calcul opérationnel se répand de plus en plus dans les différentes branches de la technique. Il devient notamment indispensable lorsque l'on veut comprendre une étude sur les servo-mécanismes ou s'initier au fonctionnement d'une machine analogique électronique.

Cet ouvrage, réédition revue et corrigée, contient un exposé mathématique simple de la transformation de Laplace et de l'algébrisation des équations différentielles, ainsi que des exemples pratiques permettant d'appliquer le calcul opérationnel aux travaux les plus divers des bureaux d'études : vibrations, résistance des matériaux, circuits électriques, servo-mécanismes, etc. De nombreux exercices permettent au lecteur de se familiariser avec cette méthode.

R.O.E.

(Voir la suite de la bibliographie page 601).

LA XIII^e ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE L'UNION RADIO SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

PAR

A. ANGOT

Ingénieur Général

*Président du Comité National Français
de Radioélectricité Scientifique*

La XIII^e Assemblée Générale de l'Union Radio Scientifique Internationale s'est tenue à Londres du 5 au 15 septembre 1960. Elle réunissait plus de 600 délégués appartenant à 23 pays. Le Royaume Uni fournissait le nombre particulièrement imposant de 52 délégués qu'accompagnaient 182 observateurs. Notre pays était représenté par 38 délégués effectivement présents.

Les onze jours qui séparaient la séance solennelle d'ouverture de la séance de clôture, ont été particulièrement bien remplis. Ils ont été consacrés à de très nombreuses réunions du Comité Exécutif, du Comité de Coordination et des différentes Commissions. Les principaux résultats de ces fructueux échanges scientifiques sont exposés à la suite de cette brève introduction.

En outre, de nombreuses visites d'organismes de caractère scientifique furent organisées au choix des participants, organismes parmi lesquels on peut citer :

Le Département de Recherches de la BBC, le Laboratoire National de Physique de Teddington, le Département de Recherches des P.T.T., la Station de Recherches Radio de Ditten park., l'Observatoire Radio Astronomique Mullard de l'Université de Cambridge, l'Observatoire Royal de Greenwich situé à Herstmonceaux, le Centre de Télévision de la BBC.

C'est un agréable devoir de féliciter les organisateurs d'avoir si parfaitement accueilli l'Assemblée dans les locaux de l'Université de Londres, sous l'œil bienveillant de Jérémie BENTHAM, d'avoir suscité, en plus des visites déjà mentionnées, tant d'agréables réceptions qui ont permis aux délégués de se mieux connaître.

Au cours de cette Assemblée Générale, un certain nombre de mandats venaient à expiration. Les élections qui furent préparées au cours de trois réunions du Comité Exécutif, donnèrent la composition suivante pour le bureau de l'U.R.S.I. :

- Président : Dr SMITH-ROSE
- Vice-Président : MM. DECAUX, PROKHOROV, WOONTON (réélu), KOGA (réélu).
- Secrétaire Général : M. HERBAYS (réélu).

— Trésorier : M. MANNEBACK (réélu).

et la liste suivante pour les Présidents de Commissions :

— Commission I : Prof. ADELSBERGER

II : M. VOGÉ

III : Prof. RATCLIFFE

IV : Prof. HELLIWELL (réélu)

V : Prof. LOWELL (réélu)

VI : M. LOEB

VII : Prof. SHEPHERD (réélu).

Il faut souligner dans ce résultat le fait extrêmement flatteur pour notre pays de voir les savants français occuper 3 places sur les 6 soumises à élection.

Notons la présence du Dr DENISSE au sein du comité « International World Days Service » et du comité interunion pour l'allocation des fréquences pour la science spatiale et pour la radioastronomie au titre de l'U.A.I. ; également celle de M. VOGÉ et de M. LHERMITTE (suppléant) dans le Comité interunion pour la Radio Météorologie. M. DECAUX et le Col. LOCHARD ont vu renouveler leur mandat au Groupe du Travail U.R.S.I.-C.C.I.R.

La présente Assemblée Générale a ratifié le choix de Tokio comme siège de la prochaine Assemblée en 1963. Le Dr DIEMINGER a invité l'U.R.S.I. à tenir en Allemagne sa XV^e Assemblée Générale de 1966. Cette invitation a été accueillie favorablement et il ne fait pas de doute que ce choix sera ratifié et précisé à Tokio.

Je remercie MM. WERTHEIMER, DU CASTEL, LEPECHINSKY, RIVAUT, FOLDES, BLUM, MOURIER, FORTET, ROBIN, LOCHARD, GRIVET, BERNARD, SEPTIER, d'avoir bien voulu se charger du travail considérable consistant à résumer l'énorme quantité des communications scientifiques. Ils ont réussi ce tour de force particulièrement délicat, de faire ressortir les points les plus importants, sans jamais tomber dans une sèche énumération.

MESURES ET ÉTALONS RADIOÉLECTRIQUES

(Commission I)

PAR

R. WERTHEIMER

Faculté des Sciences de Lille

Présidée par M. B. DECAUX, la commission a tenu sept séances scientifiques qui l'ont conduite à examiner les sujets suivants : Étalons de fréquence ; Emissions de fréquences étalons et de signaux horaires ; Normalisation des grandeurs et des méthodes de mesure ; Mesures de puissance et comparaison internationale des équipements ; Mesures physiques utilisant des techniques radioélectriques.

Étalons de fréquence.

Cette question a été introduite par un exposé d'ensemble de M. le Professeur BOELLA qui a examiné successivement les étalons à quartz et les étalons atomiques.

Le développement des étalons atomiques donne une orientation nouvelle aux études faites sur les étalons à quartz en particulier sur l'importance relative des stabilités à court terme et à long terme. Pour les bons étalons il faut retenir les chiffres de quelques 10^{-11} par jour pour la stabilité à court terme qui devient très importante. Ces résultats ne sont possibles que grâce au développement de cristaux dont les coefficients de qualité dépassent 10^7 .

En matière d'étalons de fréquence il faut insister sur l'ampleur des études faites depuis Boulder tant sur les étalons atomiques que sur leur comparaison.

L'étalon à jet de césium a été l'objet de nombreuses études concernant en particulier le rétrécissement de la raie de résonance par sélection des atomes lents du faisceau et par allongement de la distance entre les deux cavités qui provoquent les transitions. Certains auteurs ont avancé des reproductibilités de 10^{-11} .

Plusieurs étalons à jet de thallium sont en cours de réalisation.

Les oscillateurs à ammoniac de type maser ont également fait l'objet de nombreuses communications. On utilise principalement la raie 3-2 de $N^{14}H_3$ de l'ammoniac naturel et la raie 3-3 de $N^{15}H_3$; les soviétiques ont entrepris des études sur une résonance de $N^{14}D_3$ dont la fréquence est voisine de 1 600 MHz. Les reproductibilités avancées pour les différents dispositifs s'étagent entre 10^{-10} et 10^{-11} .

Les comparaisons entre ces différents étalons s'effectuent par l'intermédiaire des émissions en ondes myriamétriques avec une précision de 2 ou $3 \cdot 10^{-10}$.

Enfin il faut noter une première détermination de la fréquence du césium par rapport à la seconde de temps des éphémérides.

Emissions de fréquences Étalons et de Signaux Horaires

Dans son rapport d'introduction le professeur ADELSBERGER rappelle que la commission doit répondre en particulier aux questions posées par le C.C.I.R. sur la forme optimale des signaux horaires. Il propose pour la transmission d'un temps physique des repères qui nécessitent une faible bande passante et qui permettent d'éviter toute confusion avec les signaux correspondant à TU 2.

Les résultats rapportés ci-dessus sur les mesures de phase effectuées en ondes myriamétriques montrent l'intérêt des émissions de qualité dans ce domaine ainsi que dans le domaine voisin des ondes kilométriques. Il y a peut-être là une solution possible au problème de la synchronisation des observations spatiales ; le développement d'une expérimentation étendue de ces gammes a conduit à l'adoption de la résolution n° 2.

Les progrès enregistrés en matière de temps atomique aboutissent de plus en plus à l'émission de signaux horaires contrôlés par un étalon atomique qu'il est nécessaire de raccorder au temps TU 2. C'est dans ce but que la commission a adopté la résolution n° 1 où une valeur de la fréquence du césium est proposée comme base de référence sans qu'il s'agisse pour autant d'un moyen détourné de définir la seconde de temps physique.

Normalisation des grandeurs et des Méthodes de mesure

Le travail entrepris par la commission sur ce sujet constitue le prolongement de la résolution n° 5 prise à Boulder.

Le D^r SELBY a présenté un projet établi par la délégation américaine, projet qui figurera dans la monographie de la XIII^e Assemblée Générale. La commission a adopté finalement la résolution n° 4.

Mesures de puissance et comparaison internationale des équipements

Le Professeur KOGA fait un historique rapide de cette question et rappelle que les résultats exposés constituent l'aboutissement de résolutions prises lors des Assemblées Générales antérieures

Les résultats rapportés concernent des mesures effectuées dans la gamme des ondes de 3 cm de longueur d'onde avec des puissances de quelques milliwatts.

Des comparaisons ont été effectuées par échanges d'ensembles bolométriques entre le Japon et les Etats-Unis et tous ces ensembles ont été par ailleurs étudiés en Grande-Bretagne. Elles font ressortir quelques différences entre les résultats obtenus par différentes méthodes mais l'écart maximal reste inférieur à 2 %.

L'intérêt des résultats acquis provoque une discussion qui met en évidence la nécessité de continuer et même d'étendre de tels échanges ce qui aboutit finalement à la résolution n° 5.

Mesures physiques utilisant des techniques radioélectriques

Dans une courte introduction le D^r SELBY rappelle les questions qui vont être étudiées successivement : la mesure électronique des distances, la vitesse des ondes électromagnétiques et les mesures magnétiques.

MESURES ÉLECTRONIQUE DES DISTANCES

Dans un exposé d'ensemble M. B.P. LAMBERT expose les performances requises. Il passe en revue les différents procédés utilisés, ainsi que leur précision respective ce qui le conduit à définir le domaine d'utilisation de chacun.

La discussion qui suit est centrée sur l'importance d'une connaissance précise de la vitesse des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère. La commission se range alors à l'avis de deux de ses membres qui proposent d'adopter la résolution émise à Helsinki par l'U.G.G.I., ce qui conduit à la résolution n° 3.

MESURES DE LA VITESSE DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES DANS LE VIDE

Le D^r RICHARDSON présente un rapport d'ensemble sur ce sujet et signale les progrès accomplis dans ce domaine depuis la dernière assemblée. Notons particulièrement le développement des interféromètres, fonctionnant en ondes millimétriques ; en travaillant à 72 GHz FROOME a obtenu $299\,792,5 \pm 0,1$ km/s. Il y a de nombreux travaux en cours sur ce sujet dont certains prévoient l'utilisation du LASER.

MESURES MAGNÉTIQUES

Le D^r BENDER expose les résultats obtenus aux Etats-Unis dans la mesure précise du rapport gyromagnétique du proton dans l'eau pure. La méthode consiste à mesurer la fréquence de précession libre des protons d'un échantillon convenablement polarisé puis placé dans un champ magnétique connu. La précession est alors excitée par une impulsion de fréquence convenable et elle est détectée grâce à la f.e.m. induite dans une bobine sonde dont le coefficient de qualité est choisi de manière à réduire les perturbations résultant de sa présence. La dispersion des mesures reste inférieure à 10^{-6} en valeur relative.

Le D^r VIGOUREUX expose les résultats des études préliminaires entreprises sur ce sujet par le N.P.L.

Pour terminer les études concernant ce domaine, la commission entend deux exposés détaillés sur la mesure des champs magnétiques faibles et de leurs fluctuations.

Le Professeur GRIVET passe en revue les travaux récents sur ce sujet et décrit plus particulièrement des magnétomètres qui utilisent les méthodes de la résonance magnétique. Il

signale l'importance des installations de faible poids et de faible consommation d'énergie dans les études spatiales.

L'exposé du D^r BENDER est limité aux dispositifs dont le fonctionnement repose sur l'application du pompage optique à des atomes de Rubidium ou d'hélium.

Résolutions

RÉSOLUTION N° 1

Depuis le début de 1960 plusieurs stations de fréquences étalon et de signaux horaires transmettent un temps uniforme et une fréquence constante. Le temps et la fréquence transmis sont liés l'un à l'autre. La fréquence transmise est maintenue aussi constante que possible au moyen d'étalons atomiques de fréquence. La valeur nominale de la fréquence est choisie de façon que le temps qui en découle suive approximativement le Temps Universel TU 2. Il est recommandé qu'avant la fin de chaque année le Bureau International de l'Heure (B.I.H.), après avoir consulté les observatoires et comparé leurs observations astronomiques, indique une valeur nominale pour la fréquence à transmettre durant l'année suivante. Cette valeur sera exprimée dans une échelle de temps telle que la fréquence du césium y ait la valeur :

$$f(\text{Cs}) = 9\,192\,631\,770 \text{ Hz.}$$

La valeur nominale indiquée ne changera pas au cours de l'année. Il est recommandé que la valeur de la fréquence indiquée par le B.I.H. soit utilisée par les organismes désirant transmettre un temps uniforme et une fréquence constante sans trop s'éloigner du temps TU 2.

RÉSOLUTION N° 2

L'U.R.S.I. recommande que des efforts importants soient faits dans le monde entier pendant toute l'année 1961 pour contrôler continuellement la phase des émissions de fréquences étalon sur ondes myriamétriques et kilométriques. Il est absolument nécessaire de recueillir des renseignements sur la stabilité journalière de la phase sur les trajets de propagation des ondes myriamétriques et kilométriques, dans le but de déterminer les possibilités d'emploi de tels trajets pour les synchronisations de temps et les comparaisons de fréquence très précises. Lorsque des étalons atomiques de fréquences très stables sont disponibles, il faut prendre soin d'effectuer des mesures de phase aussi exactes que possible par rapport à ces étalons. Les résultats des émissions telles que GBR, NBA, MSF et DCF ont un intérêt immédiat tout particulier, les signaux de ces émetteurs pouvant être reçus dans de vastes zones. Afin de réduire les incertitudes dues aux variations dans les fréquences émises, il est proposé de rapporter les résultats à des périodes de 24 heures se terminant à 15 heures T.U., dans les zones où les effets du lever et du coucher du soleil ne sont pas importants à cette heure, et de les publier sous une forme aussi complète que possible. Il est nécessaire d'effectuer des mesures sur des émissions à ondes kilométriques telles que MSF et DCF, aussi bien que sur les émissions à ondes myriamétriques, pour comparer la stabilité journalière de phase sur les trajets de propagation de ces diverses ondes. Il est demandé que les résultats soient adressés à M. W.D. GEORGE, Boulder Laboratories, National Bureau of Standards, Boulder, Colorado (Etats-Unis) pour leur diffusion à tous les laboratoires contribuant à ces mesures et pour leur analyse.

RÉSOLUTION N° 3

Considérant que la valeur adoptée par la XII^e Assemblée Générale à Boulder en 1957 pour la vitesse de la lumière dans le vide ($292\,792,5 \pm 0,4$ km/s) a été utilisée pour les réductions des mesures électroniques de distances géodésiques et a donné des résultats en bon accord avec des valeurs de distances connues avec précision, et qu'il est souhaitable également de normaliser les formules de calcul de l'indice de réfraction intervenant dans ces réductions de mesures électroniques de distance, l'U.R.S.I. recommande d'adopter les formules suivantes :

a) pour les ondes lumineuses :

la formule de BARREL et SEARS :

$$(n_a - 1)10^7 = 2\,876,04 + \frac{16,288}{\Lambda^2} + \frac{0,136}{\Lambda^4}$$

réduite aux conditions ambiantes par la relation :

$$n_L = 1 + \frac{n_a - 1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{p}{760} - \frac{0,000\,000\,055\,e}{1 + \alpha t}$$

dans lesquelles :

Λ est la longueur d'ondes de groupe de la lumière en microns

n_L l'indice de réfraction dans les conditions ambiantes.

n_a l'indice de réfraction dans l'air sec avec 0,03 % de CO₂ aux températures et pressions normales (0 °C, 760 mm Hg), pour la lumière de la longueur d'ondes de groupe employée, calculé comme ci-dessus.

t la température en degrés C ($T^{\circ}K - 273$).

p la pression atmosphérique en millimètres de mercure.

α le coefficient de dilatation de l'air (0,003 661).

e la pression partielle de la vapeur d'eau en millimètres de mercure.

b) pour les hyperfréquences :

la formule d'ESSEN et FROOME :

$$(n_r - 1)10^8 = \frac{103,49}{T} (p - e) + \frac{86,26}{T} \left(1 + \frac{5\,748}{T} \right) e$$

dans laquelle :

T est la température en degrés K.

p la pression atmosphérique en millimètres de mercure.

e la pression partielle de la vapeur d'eau en millimètres de mercure.

RÉSOLUTION N° 4

Conformément à la résolution n° 5 adoptée par l'URSI à sa XII^e Assemblée Générale et aux résultats des travaux entrepris par la suite par les Commissions I du Japon, du Royaume-Uni et des Etats-Unis dans le but d'appliquer les recommandations de cette résolution, la XIII^e Assemblée Générale recommande aux membres de l'URSI ce qui suit :

1. La première grandeur électronique à considérer pour promouvoir un accord sur la précision de mesure sera la puissance en ondes entretenues pour les diverses bandes de fréquence,

dans la gamme allant du courant continu à 140 GHz. Les autres grandeurs suivantes seront prises en considération, dans la même gamme, aussitôt que possible :

- 1) tension, en ondes entretenues ;
- 2) affaiblissement, en ondes entretenues ;
- 3) intensité de champ et caractéristiques des antennes, en ondes entretenues ;
- 4) conductibilité superficielle des métaux ;
- 5) taux d'ondes stationnaires dans les guides rectangulaires ;
- 6) impédance ;
- 7) permittivité et perméabilité complexes.

2. Il est demandé aux différents pays d'établir des tables indiquant les gammes d'amplitude, les gammes de fréquence et les précisions possibles pour la puissance en ondes entretenues et les autres grandeurs. Ces tables seront publiées dans les publications périodiques existantes de l'URSI, et seront diffusées aux pays membres par tous autres moyens dont dispose l'URSI. Elles devront également contenir les précisions souhaitables dans les gammes pour lesquelles les précisions obtenues sont jugées insuffisantes, et dans les gammes pour lesquelles il n'existe pas encore de techniques de mesures satisfaisantes.

3. Les organismes désirant comparer les précisions des étalons et des mesures demanderont à leurs Comités Nationaux de l'URSI respectifs d'établir les contacts et prendre les arrangements nécessaires y compris l'expédition du matériel ; les contacts suivants seront à la responsabilité des laboratoires intéressés. Lorsque cela se justifie, l'URSI peut publier des notices dans le Bulletin de l'URSI et dans les organes techniques des divers pays membres, les invitant à participer au programme imminent d'intercomparaison de deux pays déterminés ou davantage.

4. Les représentants des organismes peuvent échanger une correspondance préliminaire pour connaître les laboratoires s'intéressant à des intercomparaisons déterminées. Dans ce but le Président de la Commission I de l'URSI peut être consulté.

5. Le document approuvé par la Commission I des Etats-Unis le 2 mai 1960 sous le titre : « Document de travail relatif à la résolution n° 5 de l'URSI. Suggestions proposées par la Commission I des Etats-Unis pour une normalisation internationale des grandeurs électroniques » peut servir de guide et de cadre général pour appliquer ce programme. Il est recommandé de publier le texte de ce document dans les comptes-rendus de la XIII^e Assemblée Générale de l'URSI après son approbation finale par le Comité National des Etats-Unis.

6. Les résultats obtenus par une mise en application satisfaisante de cette résolution seront publiés dans le Bulletin de l'URSI. Les résultats de mesure d'une quantité déterminée, dans une bande déterminée, peuvent montrer l'état d'avancement de ces questions sur une base internationale. De même, une précision déterminée, indiquée par deux organismes ou davantage, comme souhaitable pour la mesure d'une grandeur, peut être reconnue comme une nécessité internationale.

RÉSOLUTION N° 5

Il est recommandé aux laboratoires nationaux de continuer les intercomparaisons des étalons de mesure de puissance en hyperfréquences, et d'y inclure les mesures de puissance sur d'autres fréquences radioélectriques, les comparaisons étant coordonnées par le Président de la Commission I.

PROPAGATION TROPOSPHÉRIQUE

(Commission II)

PAR

F. du CASTEL

Ingénieur des Télécommunications, Secrétaire de la Commission II

Introduction

Les travaux de l'Assemblée de Londres de l'URSI, en ce qui concerne la Commission II (Propagation troposphérique), ont été présidés par le D^r SMITH-ROSE (Royaume Uni), président de cette Commission (1), et le D^r SMYTH (Etats-Unis), vice président.

Quatre points principaux avaient été retenus : données expérimentales en propagation troposphérique, caractéristiques physiques de la troposphère, théories de la propagation troposphérique, radiométéorologie et climatologie. Chacun de ces points fit l'objet de rapports (2), présentés par des orateurs désignés, avant d'être soumis à la discussion des participants.

Cette méthode de travail permet de faire réellement le point sur l'état d'avancement des connaissances sur les divers sujets soumis à discussion. C'est plutôt cet état que les rapports eux-mêmes, qui sont examinés ici.

Données expérimentales en propagation troposphérique

Les données expérimentales nouvelles recueillies au cours des trois dernières années firent l'objet de rapports présentés par MM. CRAWFORD (Etats-Unis), DU CASTEL (France), SAXTON (Royaume Uni) et GROSSKOPF (République Fédérale Allemande).

Il ressort de ces rapports que les résultats expérimentaux obtenus sur les liaisons transhorizon en ondes ultra courtes ne peuvent être classés de façon simple quel que soit le phénomène que l'on considère. Des tentatives de classement ont cependant été entreprises sur divers paramètres étudiés simultanément sur des liaisons expérimentales. Ce fut en effet une caractéristique des recherches récentes que l'étude simultanée de plusieurs paramètres, par exemple même liaison étudiée à plusieurs fréquences,

liaisons à même fréquence étudiées à plusieurs distances, étude simultanée de la sélectivité dans l'espace et en fréquence des phénomènes de propagation. Il ne paraît pas possible de parler d'une loi expérimentale, même tendancielle, caractérisant un paramètre donné, et il semble au contraire nécessaire de ne considérer une loi expérimentale comme valable que d'un point de vue statistique.

La figure 1 montre quelques exemples correspondant à cette observation. On voit qu'il est seulement possible de dire que l'affaiblissement de propagation par rapport à l'espace libre varie comme la puissance -6 de la distance ou la puissance 1 de la

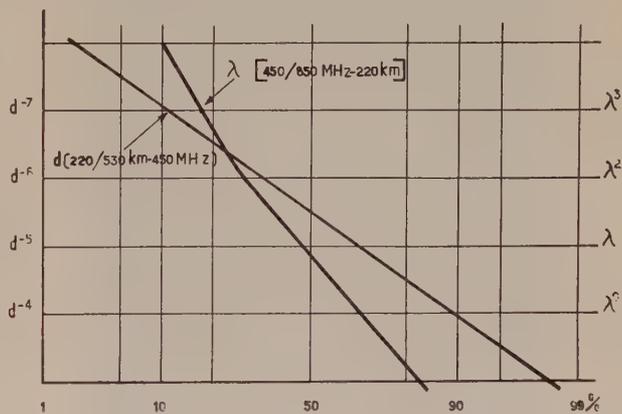


FIG. 1. — Distribution des affaiblissements de propagation par rapport à l'espace libre sur des liaisons expérimentales à même distance pour deux fréquences ou à même fréquence pour deux distances.

longueur d'onde pendant un certain pourcentage du temps, et qu'il varie comme la puissance -7 de la distance ou la puissance 2 de la longueur d'onde pendant un autre pourcentage de temps. Il apparaît cependant possible de relier certains paramètres à d'autres, et de constater par exemple, qu'un accroissement rapide de l'affaiblissement avec la distance ou la fréquence correspond également à une sélectivité faible. Le tableau de la figure 2, résume quelques correspondances ainsi observées.

(1) M. VOGÉ (France) a été élu comme nouveau président international de la Commission II à l'issue de l'Assemblée.

(2) Les rapports présentés par les délégués français ont fait l'objet d'une publication dans les annales des Télécommunications, numéro de novembre-décembre 1960. (F. DU CASTEL, P. MISME, J. VOGÉ)

DONNEES EXPERIMENTALES EN PROPAGATION TROPOSPHERIQUE TRANSMISSION

Paramètres	Loi physique	Phénomène de propagation		
		0	1	2
Géographique : Distance	d^m	$m_0 > m_1$	m_2	m de 4 à 7 ref. esp. libre
Radioélectrique : Fréquence	λ^{-P}	$\gamma_0 < \gamma_1 > \gamma_2$		γ de -1 à 3
Macroscopique : Affaibl. moyen	A	$A_0 < A_1$	A_2	A affaibliss. horaire
écart distrib.	σ			Influence saison et climat
Microscopique : Ampli fluctu.	a	$a_0 < a_1 < a_2$	a_2	loi de Rayleigh
vitesse fluctu.	n	$n_0 < n_1 < n_2$	n	traversées niveau médian
Sélectivité : espace	δ	$\delta_0 > \delta_1 > \delta_2$	δ	distance diversité
fréquence	β	$\beta_0 > \beta_1 > \beta_2$	β	bande transmissible
Troposphérique : Réfraction	ΔN			ΔN gradient "équivalent"
Stratification	S	$S_0 S_1 > S_2$	S	stabilité atmosphérique
Remarques :		cohérent	incohérent	incohérent
Interprétations		Réflexion Spéculaire	Réflexion Diffuse	Diffusion
		0	1	2

FIG. 2. — Résumé des observations expérimentales sur liaisons trans-horizon.

A. Affaiblissement médian horaire, σ écart de la distribution des affaiblissements moyens.

a. amplitude des fluctuations à court terme.

n. nombre de traversées du niveau médian.

δ distance de diversité, β bande passante transmissible, ΔN gradient de l'indice de réfraction, S stabilité de l'atmosphère.

Ces remarques conduisent à considérer l'existence, non pas d'un phénomène de propagation unique, mais de plusieurs phénomènes de propagation possibles.

Les observations expérimentales les plus originales ont eu trait aux études de structure instantanée du phénomène de propagation. Une analyse rapide d'un phénomène, structure angulaire ou structure fréquentielle par exemple, permet en effet de séparer les variables temps et espace, dont le rôle est en général confondu dans des expériences à plus grande constante de temps.

Les figures 3 et 4 indiquent quelques résultats obtenus, soit

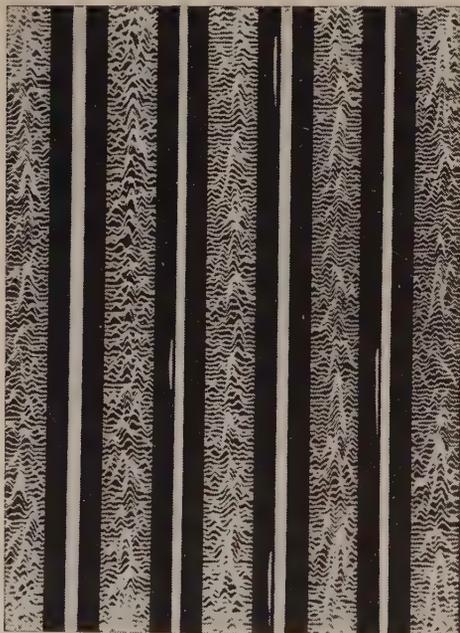


FIG. 3. — Etude expérimentale de la structure spatiale instantanée du phénomène de propagation (cliché A.T. WATERMAN, Stanford Univ., Californie).

En abscisse angle de $\pm 2^\circ$ autour de la direction azimutale géographique, en ordonnée amplitude du signal reçu. Chaque courbe correspond à un balayage en 0,1 sec., entre deux courbes successives s'écoule un temps de 0,1 s.

dans une expérience de rotation rapide d'un lobe d'antenne étroit, soit dans une expérience de balayage rapide en fréquence, synchrone à l'émission et à la réception. Dans la première expérience (fig. 3), on constate que l'origine du phénomène peut être variable dans l'espace, avec un déplacement lent ou au contraire un déplacement instantané d'allure aléatoire. Dans la seconde expérience (fig. 4), une interprétation spectrale des fluctuations en fréquence

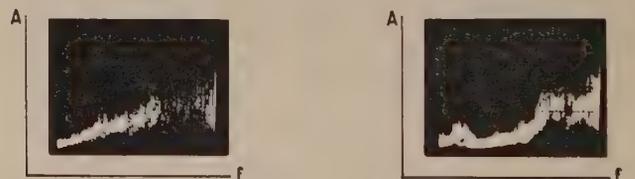
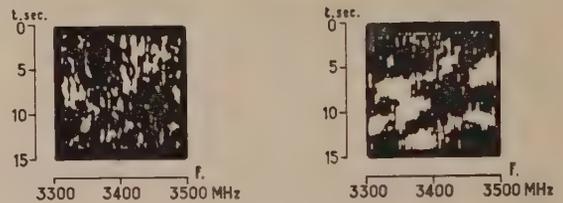


FIG. 4. — Etude expérimentale de la structure fréquentielle instantanée du phénomène de propagation (cliché J.C. SIMON, C.S.F., Corbeville).

a) Deux exemples de structure amplitude-fréquence observée en 0,05 seconde toutes les 0,1 seconde. L'échelle de fréquence en abscisse correspond à 200 MHz autour de 3 400 MHz. Dans le 1^{er} exemple (2 bandes de gauche) la structure est aléatoire, dans le 2^e (3 bandes de droite) une certaine cohérence apparaît.

b) Deux exemples de structure amplitude-fréquence analysés dans le temps. Seules les amplitudes supérieures à un niveau donné apparaissent. Les allures spectrales correspondantes, en dessous, montrent dans le premier cas un spectre continu (intervention d'un volume d'irrégularités), dans le second un spectre à décroissance rapide avec apparition d'une pointe secondaire (intervention de 2 surfaces d'irrégularités).

observées conduit à considérer une origine du phénomène provenant d'une distribution d'irrégularités dans un volume ou au contraire dans une ou plusieurs surfaces de la troposphère. Ces différents résultats conduisent aussi à envisager l'intervention de plusieurs processus de propagation différents.

Caractéristiques physiques de la troposphère

L'étude des caractéristiques physiques de la troposphère fit l'objet de rapports présentés par MM. GORDON (Etats-Unis) et ROBINSON (Royaume Uni).

Le problème essentiel qui apparaît est celui de l'importance relative des zones de fluctuations turbulentes de l'indice de réfraction et des zones de discontinuité de l'indice (ou de son gradient).

En ce qui concerne les premières, les apports nouveaux ont trait à l'introduction d'une influence de la stabilité thermique sur les caractéristiques spectrales de la turbulence. Si une forme spectrale telle que celle correspondant à la « théorie du gradient de mélange » (ou à une fonction de corrélation des fluctuations de l'indice de forme fonction de BESSEL) conserve ses partisans, une forme spectrale telle que celle correspondant à la « théorie du mélange turbulent », modifiée par l'influence de la stabilité, semble à certains mieux adaptée aux observations expérimentales.

En ce qui concerne les secondes, la présence pratiquement permanente de feuillets de discontinuité, correspondant à un écoulement laminaire de l'air dans la troposphère, semble acquise. La nature des discontinuités pourrait correspondre à une discontinuité de gradient, mais ce point de vue devrait être précisé. Il convient en outre de souligner la nature nécessairement irrégulière de la surface de ces feuillets sous l'influence tant des mouvements thermiques de l'atmosphère, que des couches turbulentes adjacentes (fig. 5).

Un domaine quelque peu différent fut abordé, dans le même cadre des caractéristiques physiques de la troposphère, par un rapport de M. MARSHALL (Canada), sur les précipitations et leurs observations par radar et par une importante contribution de M. LHERMITE (France). Les études actuelles d'échos de pluie en ondes centimétriques pourraient être prochainement complétées par des études d'échos de nuages en ondes millimétriques.

Radiométéorologie et climatologie

La radiométéorologie et la radio-climatologie couvrent un domaine voisin de l'étude physique de la troposphère et plusieurs des points mentionnés au paragraphe précédent furent également



- Région -	I	II	III	IV	V	
-Influence climatique.	=	6	-1	5	7	dB
-Dispersion mensuelle.	4	6	4	6	3	dB
-Effet diurne.	6	20	10	25	8	dB
-Saison défavorable.	hiver	hiver	été	sèche	pluie	-
-Effet saisonnier.	15	20	12	15	6	dB
-Influence distance.	-7	-9	-9	-7	-6	-

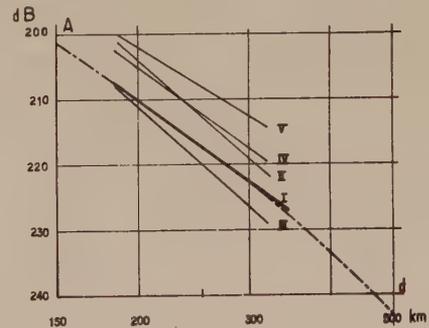
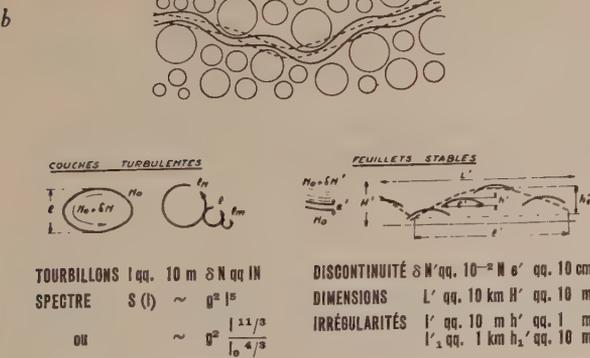


FIG. 6. — Influences radioclimatiques (d'après un document C.N.E.T.).

a) Zones climatiques et liaisons étudiées.

b) Influences climatiques sur les divers paramètres. L'influence climatique est exprimée par le niveau 99 % au cours du plus mauvais mois référé au climat tempéré. La dispersion mensuelle est mesurée par l'écart de la distribution des affaiblissements au cours du même mois. Les effets diurnes et saisonniers sont évalués par le rapport des valeurs médianes horaires extrêmes. L'influence de la distance est exprimée par l'exposant d'une loi en puissance de celle-ci, correspondant à la courbe du bas de la figure.

FIG. 5. — Couches turbulentes et feuillets stables dans la troposphère.

a) Exemple de structure nuageuse montrant la présence d'un feuillet stable de surface irrégulière (cliché W. AMENT, NRL, WASHINGTON).

b) Schéma d'atmosphère au voisinage d'un feuillet stable.

abordés dans les rapports de MM. Misme (France) et Herbstreit (Etats-Unis).

Il demeure cependant un domaine spécifique, traité par les rapporteurs, qui est celui de la correspondance entre les situations météorologique et climatiques et les caractéristiques de propagation troposphérique. Il semble qu'ici aucun des paramètres radiométéorologiques simples envisagés (indice de réfraction moyen au sol, gradient moyen de l'indice de réfraction) ne soit satisfaisant dans toutes les situations.

La comparaison des résultats expérimentaux dans des conditions climatiques différentes montre d'ailleurs que les lois statistiques valables dans une situation donnée peuvent être différentes dans d'autres situations. La figure 6 en donne un exemple, en ce qui concerne les variations de l'affaiblissement avec la distance dans diverses régions climatiques.

Il est probablement nécessaire de faire appel à un paramètre radiométéorologique tenant compte à la fois des phénomènes de réfraction et des effets de stratification. Les premiers font intervenir le gradient de l'indice de réfraction, et l'introduction de la notion de « gradient équivalent » semble intéressante. Les secondes font intervenir la stabilité de l'atmosphère, une atmosphère ayant d'autant plus tendance à être stratifiée qu'elle est plus stable. Il apparaît cependant nécessaire que ce point de vue soit confirmé expérimentalement et que des méthodes de mesure simples soient mises au point.

Théories de propagation troposphérique transhorizon

Dans le domaine théorique, les progrès essentiels ont concerné d'une part l'élaboration d'une théorie nouvelle sur le phénomène de réflexion partielle en milieu irrégulier (4), présentée dans une partie du rapport général de M. Voge (France), et d'autre part, quelques développements de la théorie de la diffusion turbulente, mentionnés dans le rapport de M. Krassilnikov (URSS).

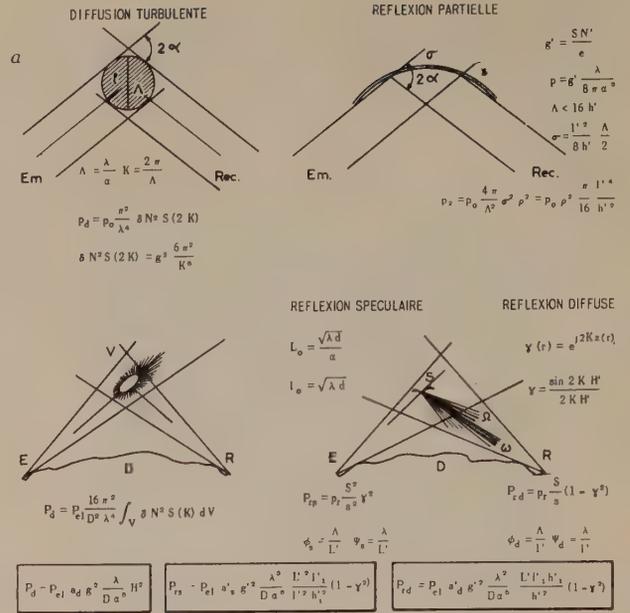
Les éléments essentiels de ces deux théories sont rappelés sur la figure 7.

La théorie de la diffusion turbulente a progressé dans la méthode d'intégration de la puissance recevable, en séparant l'intégration portant sur le nombre d'onde et l'intégration portant sur la variable d'espace. En outre des travaux se sont efforcés d'interpréter la divergence des lois de distribution expérimentales par rapport à la loi de Rayleigh, en introduisant soit une corrélation entre variations des composantes du signal en quadrature de phase, soit la présence d'une composante stable. Cependant aucun travail n'apporta de données fondamentalement nouvelles dans la théorie de la diffusion, qui souffre d'une incertitude dans le choix du spectre représentatif des fluctuations turbulentes du milieu. On a en outre critiqué la non séparation, inhérente aux méthodes de calcul, des composantes élémentaires du champ diffusé en phase et des composantes incohérentes.

La théorie des réflexions partielles a été par contre totalement renouvelée par l'étude de la réflexion de l'énergie incidente sur un modèle d'atmosphère caractérisé par un feuilletage à surface irrégulière.

Suivant les dimensions des irrégularités, comparées à la longueur d'onde d'espace, la valeur relative du rayonnement réfléchi spéculairement et du rayonnement réfléchi de façon diffuse diffère. Les caractéristiques découlant de l'un et l'autre de ces processus de réflexion ont été étudiées et comparées d'une part aux observations expérimentales, d'autre part aux caractéristiques des champs de diffusion.

(4) Cette théorie a été publiée aux Editions d'Optique, Paris, 1960 : F. DU CASTEL, P. Misme, A. Spizzichino, J. Voge. « Réflexions partielles et propagation à grande distance ».



	DIFFUSION TURBULENTE	REFLEXION DIFFUSE	REFLEXION SPÉCULAIRE
Puissance recevable	$P_d = P_{e1} g^2 \frac{\lambda}{D \alpha^6} f_d$	$P_{rd} = P_{e1} g'^2 \frac{\lambda^2}{D \alpha^6} f_{rd}$	$P_{rs} = P_{e1} g'^2 \frac{\lambda^2}{D \alpha^6} f_{rs}$
Influence distance	D^{-6}	D^{-6}	D^{-7}
fréquence	λ	λ^2	λ^0
Fluctuations amplitude	a Rayleigh	a Beckman ($a' < a$)	
vitesse	$n = \frac{2}{\lambda} v_n$	$n' = \frac{2}{\lambda} v_n e'$ ($e' < 1$)	
Sélectivité espace	$\delta = \frac{2}{\lambda} \eta$	$\delta' = \frac{\lambda}{2\alpha} \eta'$ ($\eta' < \eta$)	
fréquence	$\beta = \frac{1}{D^2} \epsilon$ ou $\frac{1}{\omega D^2} \epsilon_1$	$\beta = \frac{1}{D^2} \epsilon'$ ($\epsilon' < \epsilon$)	

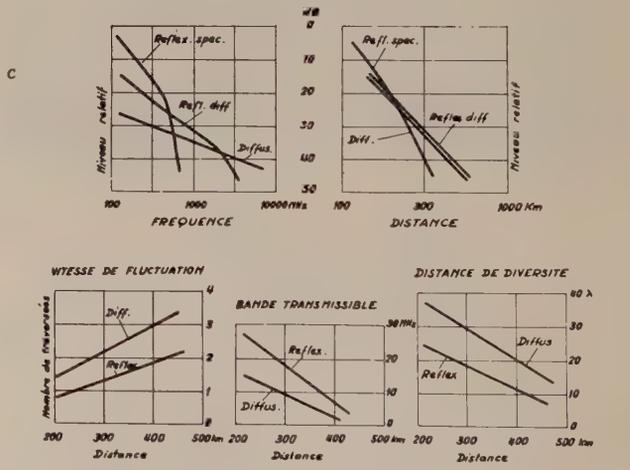


Fig. 7. — Interprétations théoriques de la propagation transhorizon. a) Rappel éléments des théories de diffusion et de réflexion partielle et forme des expressions de la puissance diffusée par une couche turbulente ou réfléchi par un feuillet irrégulier. Les caractéristiques des couches et feuilletés sont celles de la figure 5 b. b) Conséquences des diverses théories sur les paramètres des liaisons transhorizon. c) Allure des variations des divers paramètres suivant l'un et l'autre processus de propagation.

Ces travaux permettent d'entrevoir une vue synthétique du phénomène de propagation troposphérique transhorizon, dans laquelle interviennent l'un ou l'autre des phénomènes, réflexion spéculaire, réflexion diffuse ou diffusion, suivant la nature de la troposphère à l'instant considéré. Il est ainsi possible de rendre compte de l'ensemble des observations expérimentales et des variations des différentes lois observées suivant le processus de propagation mis en œuvre.

Il n'est pas sans intérêt de souligner la part importante prise par des chercheurs français dans cette avance théorique.

Conclusions

En conclusion de ses travaux, la Commission a adopté diverses résolutions précisant la nature des travaux qu'il paraît souhaita-

ble d'entreprendre dans le domaine de la propagation troposphérique.

Les études expérimentales devraient s'efforcer de multiplier les paramètres mesurables dans les liaisons et s'attacher particulièrement aux études de structure instantanée des phénomènes. Les études de la troposphère devraient s'intéresser spécialement à l'analyse des irrégularités à petite échelle et des stratifications et à l'étude des paramètres radiométéorologiques et radioclimatiques. Les études théoriques des divers processus de propagation devraient être poursuivies. Enfin les influences troposphériques sur les communications spatiales devraient être étudiées.

Les recherches s'inscrivant dans un tel programme permettront certainement à la prochaine Assemblée Générale de Tokyo en 1963 d'approfondir les vues synthétiques esquissées à l'Assemblée de Londres, et il est probable que d'autres secteurs d'activité de la Commission, quelque peu négligés ces dernières années par l'importance des études de propagation transhorizon, vont connaître un regain d'activité.

IONOSPHERE

(Commission III)

PAR

D. LEPECHINSKY

*Chef du Groupe Ionosphère du C.N.E.T.
Président de la Commission III du C.N.F.R.S.*

I. Introduction

Conformément à la décision prise en juin 1959 par le Comité de Coordination de cette assemblée Générale (formé des Membres de l'URSI et des Présidents des Commissions), le programme scientifique de la Commission III à la XIII^e Assemblée Générale de l'URSI, à Londres (1960) a été limité aux sujets suivants :

- 1) Répartition de l'ionisation en fonction de l'altitude — profils de hauteurs vraies.
- 2) Ionisation dans la région F — morphologie et théorie.
- 3) Ionisation de E-sporadique — morphologie et théorie.
- 4) Données ionosphériques par fusées et satellites.
- 5) Ondes hydromagnétiques et propagation des très basses fréquences (séance commune avec la Commission IV).
- 6) L'exosphère (séance commune avec la Commission IV).
- 7) Etudes radioélectriques des aurores (séance commune avec la Commission V).
- 8) Diffusion ionosphérique.
- 9) Mouvements dans l'ionosphère.

Le même Comité avait d'autre part décidé que ne seraient reproduits et distribués en séance que les Rapports des Comités Nationaux, ceux des Commissions, Sous-Commissions et Groupes de Travail ainsi que les communications spécialement sollicitées par les présidents de Commission sur des sujets d'intérêt général pour leur Commission.

De cette manière, les communications individuelles sur d'autres sujets d'étude ou même celles sur les sujets arrêtés mais non « sollicités » par le président de Commission se trouvaient éliminées d'office.

En fait les neuf séances de la Commission III ont été bien remplies, bien que l'on puisse regretter qu'aucune place n'ait été réservée aux résultats de certains travaux effectués au cours de l'Année Géophysique Internationale, tels que par exemple les mesures de l'absorption ionosphérique.

A chacune des neuf séances un ou deux orateurs, désignés d'avance par le Président de la Commission, ont fait le point des connaissances acquises dans le domaine considéré et répondu aux questions posées. Quelques exposés complémentaires mais

très brefs ont pu ensuite être faits par d'autres Membres ; d'ailleurs, certains orateurs « inscrits » n'ont pu prendre la parole.

En résumé, la nouvelle procédure adoptée, bien qu'elle ait évité la « marée » des contributions qui en général submerge les Assemblées Générales de l'URSI, en limitant strictement les sujets, a écarté sans nul doute et de façon assez arbitraire, d'intéressantes communications.

Nous présentons ci-après un aperçu des exposés présentés au cours des séances 1, 4, 6 et 8.

II. Répartition de l'ionisation en fonction de l'altitude. Profils de hauteurs vraies

L'exposé général a été fait par le D^r J.O. THOMAS du Cavendish Laboratory de Cambridge (Royaume-Uni) d'une part et le D^r E.R. SCHMERLING de la Pennsylvania State University (Etats-Unis), d'autre part.

1. — Le D^r THOMAS, en sa qualité de Président du Groupe de Travail de la Commission III sur les profils réels de l'ionisation et dont le premier rapport a été diffusé au cours de l'Assemblée Générale, a résumé les résultats obtenus jusqu'ici en divers pays par l'analyse des ionogrammes de leurs stations.

Grâce à la mise au point de méthodes mécanographiques rapides, il a en effet été possible de dépouiller un grand nombre de traces de hauteurs virtuelles principalement pour la région F.

On a noté dans l'exposé du D^r THOMAS, basé sur les données obtenues pour l'AGI 1957-58 en 24 stations de sondages verticaux des Etats-Unis, du Royaume-Uni, de Nouvelle Zélande et des Pays-Bas, quelques résultats nouveaux.

Les variations de la densité électronique à niveau constant (N_h) ont été étudiées à l'aide de moyennes sur 10 jours « calmes » de chaque mois. Elles paraissent correctes à 50 % près compte tenu des données obtenues par fusées. Les « creux » d'ionisation trouvés entre E et F ont varié de 0 à 15 km (à Slough) avec une chute de densité électronique ne dépassant pas 20 % [1]. Une surestimation des altitudes de l'ionisation de F de 5 à 10 km a souvent été faite pour les ionogrammes de nuit en négligeant l'effet de l'ionisation sous-jacente. Elle devient beaucoup plus grave au lever et au coucher du soleil [2]. L'erreur sur l'altitude de la densité électronique maximale $h_m F2$ n'a pas dépassé 20 km avec les méthodes actuelles (extrapolation parabolique).

La variation de N_h à midi local à diverses altitudes et latitudes a pu être déterminée pour la période 1957-58 correspondant à une très forte activité solaire [3] [4]. Les courbes de N_h à 150, 180, 210, 240, 270, 300... km en fonction de l'inclinaison magnétique sont assez symétriques pour septembre 1957, accusant un creux vers l'équateur magnétique, d'autant plus prononcé que l'altitude est plus grande. Dans la région de 30 à 60° d'inclinaison, $N_m F2$ décroît avec la latitude, tandis que N_h varie en sens inverse entre 200 et 300 km.

En hiver, en plus de l'anomalie bien connue se traduisant par des valeurs trop fortes de la densité $N_m F2$, une anomalie supplémentaire a été constatée pour décembre 1957, mois pour lequel toutes les stations ont accusé des valeurs de N_h extrêmement fortes, curieusement concentrées dans une étroite bande d'inclinaisons magnétiques voisines de 70°, dans l'hémisphère Nord.

Le même fait a été constaté pour la densité électronique $N_m F2$ à midi, du même mois : en plus des deux maximums déjà connus aux environs des inclinaisons de $\pm 30^\circ$, ce paramètre présente aussi un maximum très aigu au voisinage de $+70^\circ$. Cette anomalie frappante, d'ailleurs indépendante de la longitude et le plus prononcée vers midi local, doit-elle être attribuée au nombre de Wolf exceptionnel caractérisant ce mois ($R = 239$) ? Il semble bien que le maximum anormal de $N_m F2$ ne se manifeste pas pour un nombre de Wolf inférieure à 100.

Les variations de $N(t)$ à diverses altitudes au cours de 24 heures consécutives sont en général assez complexes. Contrairement aux prévisions théoriques et pour toutes les valeurs de l'inclinaison magnétique, il a été constaté que la valeur de N à altitude constante est plus faible à 14 ou 15 h locales qu'à 10 ou 9 h, dans F2, alors que dans F1, l'anomalie ne se manifeste pas, N_h dans la matinée étant toujours plus faible que dans l'après-midi. L'ionisation matinale excessive de F2 est la plus prononcée aux équinoxes. En général la variation diurne de N_h est très différente d'un lieu à un autre ; elle diffère aussi de celle de la densité électronique maximum $N_m F2$.

A Huancayo, Talara et Panama des accroissements nocturnes remarquables de N_h ont été constatés. La hauteur réelle du maximum de F2 à midi local a de son côté été trouvée d'autant plus grande que l'inclinaison magnétique était plus faible, quelle que soit la saison ; la $h_m F2$ à midi a d'ailleurs été trouvée plus grande en été qu'en hiver local, contrairement à la théorie simple. A noter encore que l'anomalie d'hiver dans les valeurs de $N_m F2$ signalée plus haut pour les lieux d'inclinaison magnétique voisine de 70°, n'affecte pas la hauteur $h_m F2$ du maximum de l'ionisation dont la variation avec la latitude demeure fort régulière. Enfin il a été possible de représenter la variation de $h_m F2$ avec le cycle solaire par la loi approximative suivante :

$$h_m F2 = h_m F2_{\overline{R}} + 0,4 \overline{R}$$

pour ($\overline{R} = 0$)

valable pour tout nombre solaire \overline{R} et toute heure de la journée, sauf vers l'équateur magnétique où l'accroissement de $h_m F2$ avec \overline{R} semble être plus rapide.

Tels sont les principaux résultats obtenus jusqu'ici par application des méthodes de calcul de hauteurs réelles, compte tenu de l'influence du champ magnétique terrestre, à partir des ionogrammes classiques. Ces résultats sont en général en très bon accord avec ceux fournis par d'autres méthodes et en particulier celle par « diffusion incohérente » utilisée à Boulder, sur fréquence fixe, (voir le compte rendu de la séance sur la diffusion ionos-

phérique), à la condition d'y admettre pour section droite de diffusion la moitié de la valeur théorique de Thompson.

En ce qui concerne le profil d'ionisation au-dessus du maximum de F2, un certain nombre de résultats ont déjà été obtenus par application de cette dernière méthode et aussi par celle de la rotation de Faraday (satellites) et retard de phase (fusées).

Lorsque la mesure du rapport N_h/N_{\max} au-dessus de N_{\max} est exprimée en hauteur d'échelle, l'accord avec la fonction de Chapman a été trouvé excellent (cf. Bowhill, 1959) [5].

Par ailleurs des mesures du rapport du contenu local d'électrons obtenu par observation de satellites au contenu évalué jusqu'à $h_m F2$ à partir des ionogrammes, ont permis (cf. GARRIOTT, Stanford Univ. 1959) [6] [7] de constater que ce rapport passe de 3 à 5 environ entre midi et minuit local.

Enfin une étude de hauteurs réelles de l'ionisation au cours d'une éclipse (cf. GLEDHILL et WALKER, 1960) [8] ont permis d'établir la nécessité de tenir compte du creux d'ionisation entre E et F pour obtenir des résultats cohérents sur les coefficients de disparition des électrons.

2. — Le Dr SCHMERLING présente ensuite quelques résultats d'étude de hauteurs réelles obtenus à l'Université de Pennsylvanie.

Ceux-ci concernent la période de l'AGI et les 4 stations ci-après : Huancayo (Pérou), Talara (Pérou), Panama et Washington.

A Huancayo, au voisinage de l'équateur magnétique, d'importants mouvements de transport semblent affecter les couches ionisées, ainsi que l'attestent les courbes de variation diurne de l'altitude des densités électroniques respectivement égales à 0,9 N_{\max} , 0,8 N_{\max} et 0,5 N_{\max} . Celle-ci passe par des maximums importants (de l'ordre de 400 km), au cours de la soirée et de la nuit.

A Washington, la variation de $h_m F2$ est totalement différente et beaucoup plus conforme à la théorie simple, indiquant l'absence presque complète de mouvements d'ensemble de l'ionisation.

Lorsqu'on étudie N_h à 280 km à Huancayo à midi local, en fonction du cosinus de l'angle zénithal solaire, on constate que la dépendance de ces grandeurs diffère selon le mois de l'année. On obtient au contraire une correspondance beaucoup plus cohérente bien que déphasée, dans le cas où l'on exprime N_h à 280 km en fonction de la durée du jour au 15 de chacun des mois. Ce fait tend à montrer qu'un certain malaxage des constituants atomiques et moléculaires de la haute atmosphère se produit au cours de la journée, influençant la valeur de la densité électronique.

Il est également remarquable que N_h à midi à 160 km, demeure pratiquement constant ($3,5 \cdot 10^5$ électrons/cm³ environ) toute l'année.

Par ailleurs, N_h à 280 et 360 km a été trouvé plus faible en 1957 qu'en 1958, bien que l'activité solaire ait été plus faible au cours de cette dernière année.

A Talara et Panama, on retrouve aux hautes altitudes les mêmes anomalies mais sensiblement atténuées. Enfin à Washington, N_h à midi varie presque linéairement avec la durée du jour, quel que soit le mois considéré.

Une autre anomalie est constatée sur les pentes dN_h/dt au lever du soleil. Les valeurs nettement trop fortes à Huancayo, pour l'altitude de 300 km, ont accusé, au cours de l'AGI, un minimum aux solstices et un maximum aux équinoxes. Leur variation à Talara a été trouvée analogue. Au contraire à Washington,

au lieu de semestrielle elle a été trouvée annuelle, et en opposition de phase avec $\cos \chi$. Ce fait suggère un certain contrôle des pentes en question par les effets électro-dynamiques des courants « Sq ».

En ce qui concerne les résultats indiqués par le D^r THOMAS [3, 4] sur la variation de N en fonction de l'inclinaison magnétique I , ils semblent pouvoir s'expliquer par le phénomène de diffusion verticale des électrons.

En effet, utilisant l'expression de cette diffusion donnée par FERRARO [9] l'équation de continuité s'écrit :

$$dN/dt = Q - N \left(\beta - \frac{A}{n} \sin^2 I \right)$$

où Q est le taux de production d'électrons,

β est le taux de disparition par attachement,

A est une constante fonction du profil de l'ionisation et du coefficient de diffusion.

et n la densité des particules neutres.

Pour de faibles valeurs I (c'est-à-dire au voisinage de l'équateur magnétique) cette équation donne, à l'équilibre :

$$N = \frac{Q}{\beta} \left(1 + \frac{A}{\beta n} I^2 \right)$$

L'effet de la diffusion se traduit comme on le voit par un accroissement de la densité des électrons à toutes les altitudes. De plus la dépendance de N et de I est parabolique, comme les données expérimentales le confirment.

Le creux de l'ionisation à l'équateur magnétique s'explique ainsi non par un trop faible taux de production mais par une plus forte diffusion électronique de part et d'autre de cet équateur.

Par ailleurs, la pente $dN/dI = (2QA/\beta^2 n)I$, augmente bien avec l'altitude comme l'indiquent aussi les analyses de hauteurs vraies, mentionnées par le D^r THOMAS. Enfin, comme le taux de production Q varie exponentiellement avec l'altitude, le profil de N doit être exponentiel, si le terme de diffusion est faible comme c'est le cas au voisinage de l'équateur ; au contraire, de nuit, il doit cesser de l'être. L'expérience confirme pleinement ces deux conclusions.

3. — Prenant ensuite la parole, le D^r B. LANDMARK (Norvège) a présenté quelques résultats de mesure de profils de la densité électronique entre 60 et 95 km obtenus à Kjeller dans la région D normale et D perturbée, ainsi que dans les régions polaires près de Tromsø par la technique de « cross-modulation », utilisant un émetteur « perturbateur » de 60 kW, sur diverses fréquences. A Kjeller, un net maximum de l'ordre de 200 électrons/cm³ a pu ainsi être constaté vers l'altitude de 60 km, en été de jour, la densité électronique tombant à moins de 30 électrons/cm³ au même niveau les jours d'hiver [10].

A Tromsø, la méthode par « cross-modulation » a été complétée par celle des réflexions partielles sur 2,7 MHz. Elle a mis en évidence, par comparaison des amplitudes des échos « ordinaire » et « extraordinaire », l'existence de niveaux de réflexion « préférentiels » vers 73, 77 et 85 km [11].

Enfin M. J.W. WRIGHT (Etats-Unis) a donné quelques résultats sur la précision relative des mesures de hauteurs d'ionisation effectuées au National Bureau of Standards.

III. Données ionosphériques obtenues par fusées et satellites

1. — L'exposé des principaux résultats obtenus par fusées et satellites au cours de l'AGI est fait par le D^r J.C. SEDDON (NASA, Etats-Unis).

Durant les 18 mois de l'AGI, plus de 200 fusées équipées d'instruments de mesure pour l'étude de la haute atmosphère, ont été lancées. Depuis le lancer du premier satellite artificiel de la Terre par l'URSS, le 4 octobre 1957, 25 autres satellites ont été mis en orbite. En outre certains engins balistiques militaires ont également été équipés et ont fourni des données de sorte que l'on est actuellement en présence d'une importante quantité d'informations nouvelles.

MESURES DE LA DENSITÉ ÉLECTRONIQUE PAR FUSÉES

Ces mesures ont été faites soit par ondes entretenues (vitesse de phase) aux Etats-Unis (méthode SEDDON 1953) [1] et en URSS (interféromètre UHF) [2] soit par impulsions (vitesse de groupe) aux Etats-Unis [3], soit par des sondes de divers types installées sur les fusées (sondes HF, à impédance, de Langmuir [4, 5, 6]. Durant le jour, lorsque le nombre d'ions négatifs est faible, il est possible de déduire la densité électronique de celle des ions positifs [8, 9, 10].

Il est actuellement établi que l'ionosphère est dans l'ensemble un continuum à densité électronique régulièrement croissante jusqu'au maximum F2. Toutefois des couches minces à forts gradients existent dans la basse ionosphère [2], (6). Celles-ci n'ont pas plus de 10 à 100 mètres d'épaisseur dans la région D, et 100 à 2 000 mètres dans la région E. On a constaté une curieuse tendance des gradients d'ionisation à se manifester à des altitudes « préférentielles » voisines de 85, 94, 100, 105, 111, 117 et 129 km (cf. PFISTER et ULWICK, 1959 [3], J.C. SEDDON 1958 [15], PFISTER 1959 [16]), c'est-à-dire à des intervalles réguliers de 6 km. D'ailleurs les observations des traînées météoriques [17], du sillage des fusées et des nuages artificiels de sodium [18, 19, 20], accusent également des discontinuités de 6 km dans la direction des vents, qui, dans la région E, coïncident avec celles de l'ionisation. Les données des fusées montrent que E-sporadique est une zone à fort gradient de densité électronique, d'une étendue horizontale de l'ordre de 100 km et parfois davantage. Les données obtenues par fusées à New Mexico de jour et par sondes [11], en Australie de nuit [7], en présence de E_s sont remarquablement semblables, l'« épaisseur » de E_s trouvée ayant été de 1 à 1,5 km seulement.

Les mesures de densité électronique de nuit ont été rares [2, 7, 12, 13] ; elles montrent que l'ionisation est très faible au dessous de la région F, sauf dans d'éventuelles couches minces sporadiques. Dans l'Arctique, les gradients associés à de telles couches nocturnes ont été trouvés très variables dans le temps et en étendue [13].

La diffusion dans F semble de son côté associée à des variations rapides et turbulentes de l'ionisation locale et de son gradient, la turbulence augmentant avec l'altitude.

Au cours de deux vols dans la zone aurorale [12], au moment de blackouts, il a été constaté que la densité atteignait la valeur de 10⁸ électrons/cm³ vers 57 km d'altitude et augmentait avec l'altitude à raison de 300 électrons/cm³/km.

Un vol a eu lieu au cours d'une aurore polaire [21] ; la mesure de la densité électronique devint très difficile à partir de 100 km et tout à fait impossible au delà de 150 km. Deux couches ionisées

épaisses de quelques kilomètres ont été observées à 110 et 135 km avec des densités maximales supérieures à 10^6 électrons/cm³. L'interféromètre à deux axes, recevant des signaux sur 46 MHz accusa des variations erratiques de leur angle d'arrivée dès la pénétration de la fusée dans le système auroral [23]. On peut expliquer ces résultats par une structure cylindrique de l'ionisation alignée le long des lignes de force du champ magnétique. Au delà de 163 km, l'angle d'arrivée cessa de fluctuer, semblant indiquer le franchissement d'une limite supérieure de l'ionisation aurorale.

Les mesures de la *fréquence de collision* faites tant par fusées qu'au laboratoire ont déjà fourni d'importantes données, surtout en ce qui concerne la région E et la basse ionosphère. L'étude de l'absorption subie par les signaux émis par une fusée et la mesure simultanée à l'aide de celle-ci de la densité électronique (fusée Aerobee à Fort Churchill, Canada 1957), ont permis de déterminer les fréquences des chocs à diverses altitudes par application de la formule d'APPLETON-HARTREE qui suppose une section efficace constante (cf. KANE, 1959) [24].

Les travaux de laboratoire faits en Australie (HUXLEY, 1959 [25]) ont indiqué que les chocs électroniques avaient lieu pratiquement avec les seules molécules de N_2 avec une section efficace de $3,29 \cdot 10^{-23} \times C \text{ cm}_2$, C étant la vitesse des électrons. Les résultats de KANE ont été réévalués par PHELPS et PACK (1959) [26] sur la base des résultats de laboratoire ; ils ont trouvé des valeurs environ 2,5 fois inférieures : la fréquence des chocs passerait à Ft Churchill de $1,5 \cdot 10^8$ à 130 km, à $5 \cdot 10^4$ à 100 km et à $7 \cdot 10^7$ à 50 km d'altitude.

Les mesures de la *pression* [27] par les mêmes fusées ont été en bon accord avec la formule proposée par Huxley, reliant la fréquence des chocs ν à la pression p en millimètres de mercure :

$$\nu = 1,2 \times 10^8 p. \quad (1)$$

La pression passerait de $2 \cdot 10^{-5}$ mm à 130 km à $3 \cdot 10^{-3}$ mm à 100 km et à $7 \cdot 10^{-1}$ mm à 50 km. Toutefois au delà de 100 km environ, la formule (1) n'est pas strictement applicable en raison de l'accroissement du nombre de chocs avec les ions. En définitive, il semble que l'on doive utiliser pour la basse ionosphère la formule complète d'APPLETON-HARTREE avec un facteur correctif égal à 2,5 devant chacun des termes ν/ω , lorsque ce rapport dépasse 50.

Des mesures de la densité électronique « en place » ont également été faites par fusées à l'aide de sondes dont divers types ont été mis au point [5, 7, 9]. Les sondes les plus intéressantes semblent être les sondes HF à impédance mesurant la variation de capacité de la sonde sur la fréquence utilisée par rapport à sa valeur dans le vide. Toutefois la gaine d'ions qui se forme sur les sondes perturbe les mesures surtout lorsqu'un émetteur HF fonctionne simultanément sur la fusée.

JACKSON et KANE (1959) [4], ont trouvé que la densité obtenue par sonde était dans ce cas environ 3 fois trop faible. En effectuant la mesure de la densité par ondes entretenues (SEDDON 1953) [1] et par sondes successivement à intervalles réguliers, l'erreur est réduite à 20 % à 100 km et 50 % à 250 km. Une telle technique permet d'ailleurs l'étude des irrégularités ionosphériques.

La température électronique a également pu être mesurée par fusées à Fort Churchill au moyen d'une sonde de Langmuir (cf. BOURDEAU et al. 1959) [9] ; elle a été trouvée nettement supérieure à celle des neutres.

Les mesures de densité électronique *par satellites* ont été basées sur l'effet Faraday, l'effet Doppler et l'angle d'arrivée, bien que cette dernière technique ne soit pas encore tout à fait au point.

La mesure de la rotation de Faraday du plan de polarisation fournit le contenu total d'électrons entre le satellite et l'observateur moyennant un certain nombre d'approximations d'autant moins valables que l'angle zénithal est plus grand. Le profil au-dessous du maximum de F2 est déterminé à partir d'ionogrammes de sondes à incidence verticale obtenus simultanément. Au-dessus de F2 le profil est en général bien représenté par la relation

$$N = N_{\max} \exp \frac{1}{2} (1 - z - e^{-z}) \quad (2)$$

où

$$z = \frac{h - h_{\max}}{H}$$

H' étant la hauteur d'échelle, également fournie par les ionogrammes pour la région F.

GARRIOTT (1960) [41] a rendu compte des mesures du contenu total ainsi faites durant 7 mois à l'aide des émissions du satellite δ_2 . La variation diurne a accusé respectivement environ 10^{17} et 10^{18} électrons par mètre carré pour la nuit et le jour. La densité électronique à 135 km au-dessus de h_{\max} (max. d'ionisation de F₂) a été trouvée de 50 % inférieure à celle du maximum ; à 450 km elle était de 20 % seulement de celui-ci. KAZANTSEFF (1959) [43] a de son côté mis au point une méthode basée sur la variation de l'intensité du signal reçu depuis le satellite et déduit le profil de N à partir de l'absorption probable fournie par les données ionosphériques des stations de sondages verticaux.

Les mesures par effet Doppler (ROSS, THOMAS, HIBBERD 1959) [44, 45] ont utilisé cet effet en « diversité » sur plusieurs fréquences distinctes ou harmoniques rayonnées par le satellite (comparées au sol par multiplication de fréquence), pour en déduire une fréquence Doppler « dispersive », différentielle, permettant aussi de reconstituer le profil de la densité.

Les résultats ainsi obtenus ont été en bon accord avec ceux de GARRIOTT et ont mis en évidence que le contenu total d'électrons variait, en été, en raison inverse du caractère magnétique planétaire K_p [46].

La variation d'amplitude (scintillation) des signaux des satellites a d'autre part permis d'établir que la diffusion dans la région F était due à des inhomogénéités à des altitudes d'environ 220 km et à des latitudes supérieures à 40° N (47).

COURANTS IONOSPHERIQUES

Le magnétomètre à protons [48, 49] a permis des mesures très précises du champ magnétique terrestre par fusées et satellites. Il a ainsi été constaté que dans les régions équatoriales, des nappes de courant existaient : l'une entre 97 et 110 km et l'autre entre 118 km et 121 km (sommet de la trajectoire de la fusée Racoon utilisée, cf. CAHILL et VAN ALLEN 1958) [50]. Les mesures magnétiques ainsi faites dans la zone aurorale [51], ont d'autre part permis de mettre en évidence des courants « locaux » vers 120 km, non détectables par les magnétomètres au sol.

STRUCTURE DE L'ATMOSPHERE

Les mesures de la pression et de la densité atmosphérique par fusées ont été poursuivies surtout dans les latitudes septentrionales [7], [51 à 56]. L'accord a été trouvé bon entre les divers

tirs à White Sands (Nouveau Mexique) jusqu'à la région E, la mesure s'effectuant par celle du freinage atmosphérique de sphères éjectées des fusées (cf. JONES et al. 1959) [56]. La température peut se déduire de la densité ρ trouvée, par la relation :

$$T_h = \frac{\int \rho_h g dh_z}{\rho_h R/M} + \frac{\rho_0}{\rho_h} T_0 \quad (3)$$

où R est la constante des gaz parfaits

et M le poids moléculaire (constant de 0 à 90 km).

Au-delà de la région E les mesures de la densité massique accusent des différences appréciables.

Les densités ont aussi été déterminées par l'observation du freinage des satellites [7] [57 à 69]. D'après KING-HELE (1960) [60], les variations saisonnières et de latitude de la densité jusqu'à 220 km, à une même altitude, seraient inférieures à 50 % ; JACCHIA (1959) [62] a pu obtenir des données utiles sur le freinage d'un satellite au cours de 10 révolutions et en établir la corrélation avec le flux corpusculaire consécutif à une éruption chromosphérique, la période de rotation solaire et la position du périhélie par rapport au Soleil.

La détermination de la composition atmosphérique a été faite par l'étude de l'absorption de l'ultra-violet [70], par des échantillonnages [71, 72] et par le spectromètre de masse [3, 73]. Les résultats de ces mesures [8] [70 à 89], indiquent que les processus de malaxage contrebalancent efficacement la séparation par diffusion jusqu'à 100 km d'altitude. Le NO a été trouvé présent dans la région D et son ionisation est la plus importante dans cette région. L'oxygène moléculaire commence à être dissocié au voisinage de 100 km. Sa dissociation en atomes n'est complète qu'à partir de 180 km. L'ionosphère n'est donc pas en équilibre photo-chimique.

La nature des ions présents a été déterminée par spectromètre de masse HF. Sous la région E, NO^+ est l'ion le plus abondant de nuit ; O_2^+ y domine de jour. Dans E, et jusqu'à 200 km, la proportion de NO^+ l'emporte toutefois sur celle de O_2^+ . L'ion O^+ devient ensuite de plus en plus abondant avec l'altitude. N_2^+ et N^+ n'ont été constatés qu'en très faible proportion, sauf dans E sporadique au-dessus du Nouveau Mexique [79].

PARTICULES IONISANTES ET RAYONNEMENTS

C'est par les compteurs Geiger placés à bord de fusées Racoon que MEREDITH, GOTTLIEB et VAN ALLEN [90], avaient constaté dès 1955 dans la zone aurorale une persistance anormale puis un accroissement spectaculaire du taux de comptage aux environs de 50 km d'altitude. Il s'agissait d'un rayonnement X d'énergie variant entre 10 et 100 keV [91].

L'explication ne fut fournie qu'en 1958 par les satellites EXPLORER I et III qui permirent la découverte des deux ceintures de rayonnement de VAN ALLEN [92, 98].

Le flux d'électrons (d'environ 10 keV) y est le plus dense, mais des protons de plusieurs centaines de MeV ont été observés dans la ceinture intérieure. On considère que ces ceintures sont formées de particules chargées en provenance du soleil et qui se trouvent emprisonnées dans deux vastes bouteilles magnétiques formées par le champ terrestre. Les collisions avec les constituants atmosphériques sont susceptibles de produire une ionisation supplémentaire surtout après une éruption solaire donnant lieu à une forte absorption polaire qui s'étend progressivement vers l'équateur.

Il a été constaté [98] que l'intensité de la ceinture externe de VAN ALLEN décroît sensiblement aussitôt après le début brusque d'un orage magnétique et que les particules qui s'en échappent produisent des rayons X par « bremsstrahlung » dans les zones aurorales [100, 101, 102]. A cette occasion, des protons seuls peuvent aussi se manifester parfois aux basses altitudes [103].

On peut actuellement affirmer [105, 106] que la luminosité des aurores est due à des électrons d'une énergie d'environ 10 keV. Il n'a pas été détecté d'électrons en dehors des aurores.

RAYONNEMENTS SOLAIRES IONISANTS

Une intéressante expérience a été faite par HINTEREGGER en 1959 [111] sur fusée Aerobee pour la détermination de l'intensité de la raie He II (304 Å) dans la haute atmosphère. Utilisant un monochromateur à réseau et la détection photoélectrique, il a obtenu pour ce rayonnement une intensité de 0,28 ergs $cm^{-2} s^{-1}$ à 210 km. Il semble aussi que ce rayonnement soit absorbé aux altitudes inférieures et contribue donc fortement à l'ionisation entre les régions E et F1 [110].

L'ionisation de E est due principalement aux rayons X (10 à 100 Å) et à Lyman β [114]. La région D est normalement ionisée par Lyman α agissant sur NO. L'intensité de ce rayonnement a été trouvée de l'ordre de 1 erg $cm^{-2} s^{-1}$.

Durant les éruptions chromosphériques, l'intensité du rayonnement X solaire semble multipliée par un facteur de l'ordre de 5 et peut devenir suffisante pour constituer l'agent ionisant principal de la région D [108].

Tels sont les principaux résultats apportés dans ce domaine par les fusées.

En terminant le Dr SEDDON a attiré l'attention sur le projet en cours de préparation à la NASA pour le lancement d'un satellite dit « géostationnaire » qui doit permettre des mesures plus précises des divers paramètres de la haute atmosphère. Placé sur une orbite équatoriale d'environ 40 000 km, ce satellite aurait une période de révolution de 23 ou 25 heures et permettrait des études de la variation diurne de ces paramètres en divers points du Globe (cf. article de O.K. GARRIOTT et C.G. LITTLE dans *J. of Geoph. Res.*, juillet 1960).

Le Dr LITTLE précise à ce sujet que le satellite émettrait sur 40 et 41 MHz ce qui permettrait de lever l'ambiguïté sur le nombre de rotations de Faraday subi par le plan de polarisation. Il ajoute que les suggestions pour l'utilisation à d'autres fins scientifiques de ce satellite géostationnaire sont les bienvenues et doivent être adressées au Dr SEDDON à la NASA (à Washington).

2. — Dans la 2^e partie de cette séance, le Dr W. PFISTER de l'Air-Force Cambridge Research Center (Etats-Unis) a rendu compte des essais d'utilisation sur fusées de sondes de divers types effectués par son administration, pour la mesure de l'ionisation « en place ».

1^o Sondes H.F. à impédance.

Elles sont constituées par une antenne dipôle attaquée par un transformateur, dont les tensions aux bornes du primaire et du secondaire sont téléométrées au sol, la tension primaire étant elle-même variable.

Les fréquences utilisées étaient de 3 et de 7,2 MHz.

On déduit la valeur de la constante diélectrique autour de l'antenne par la mesure du taux d'ondes stationnaires obtenu.

Ces mesures, faites sur fusées Aerobee à White Sands, ont été en bon accord avec les données des sondages verticaux classiques

effectués simultanément. Le D^r PFISTER en conclut que la gaine d'ions qui se forme sur l'antenne ne perturbe pas les mesures d'impédance.

2° Sondes ioniques à potentiels.

Une sonde ionique à potentiel a été utilisée en 1959 sur fusée à White Sands (Etats-Unis) pour l'analyse de particules chargées (ions, électrons, photo-électrons) et en particulier la mesure de la densité et de la température ioniques au cours du vol de la fusée, jusque vers 230 km d'altitude. La sonde, montée sur la pointe de la fusée, était constituée de 3 grilles planes parallèles dont une à potentiel de polarisation fixe et une retardatrice, à potentiel variable, le courant étant recueilli par une plaque-cible elle-même polarisée. La variation du courant très faible (de l'ordre de $5 \cdot 10^{-8}$ ampère) dans le circuit de la cible, due au balayage du potentiel de la grille retardatrice (entre -4 et $+6$ volts) et télémétrée au sol, permettait d'obtenir la densité ionique et la température des ions par les relations :

$$I_+ = \pi R^2 n_+ v_0 \text{ et } I_+ = (I_+)_0 \exp. \frac{-m_+ v_0^2}{2 K T_+}$$

où v_0 est la vitesse thermique moyenne des ions. On trouvera dans le compte rendu du Symposium international de Nice (1960) sur les études spatiales, les détails techniques de cette expérience (cf. article dû à H.E. HINTERREGER).

Les résultats trouvés pour la densité électronique supposée égale à celle des ions ont été en bon accord avec ceux fournis au même moment par les sondages classiques verticaux. La température ionique a été trouvée de l'ordre de 1200° K entre 170 et 220 km avec un maximum vers 200 km.

Un autre type de sonde ionique formé d'une électrode collectrice d'ions entourée d'une sphère conductrice percée de trous a également pu être expérimentée en 1959, sur fusée THOR. Les potentiels variables appliqués à l'électrode et à la sphère ont permis d'étudier la variation du courant ionique correspondante et d'en déduire la densité « en place » des ions.

3. — Une intéressante communication est enfin faite par un délégué des Etats-Unis concernant les mesures du contenu total d'électrons, effectuées dans ce pays à partir de l'effet Faraday sur les satellites δ_1 et δ_2 entre 1958 et 1959.

En plus de la variation diurne systématique dont il a été rendu compte plus haut, il a été constaté que, lors des débuts brusques des orages magnétiques, une diminution notable du contenu total d'ionisation se produit très rapidement.

A ce propos, le D^r OWREN (Etats-Unis) précise que les taux de comptage de particules dans la zone de VAN ALLEN diminuent rapidement à partir des débuts brusques magnétiques ; il semble que près des $2/3$ des électrons emprisonnés dans la zone sont précipités sur la terre durant les quelques heures suivantes.

IV. L'exosphère

L'exposé est fait par M. R. GALLET (Bureau National des Standards des Etats-Unis).

On désigne par « exosphère » la région de la haute atmosphère qui s'étend depuis environ 1 000 km d'altitude jusque vers 6 à 10 rayons terrestres. C'est la région où les particules de matière

évoluent librement, et où les collisions sont pratiquement inexistantes. C'est aussi la région où les gaz de l'atmosphère peuvent échapper à l'attraction terrestre. On désigne par « niveau critique », se situant vers 500 à 600 km d'altitude, celui à partir duquel une particule peut avoir une vitesse suffisante pour ne posséder qu'une probabilité insignifiante de rencontrer une autre particule.

Pour une atmosphère exponentielle, le libre parcours moyen d'une particule à ce « niveau critique » est sensiblement égal à la hauteur d'échelle. La valeur de celle-ci est d'environ 100 km, la densité de matière étant de 10^8 par cm^3 environ. Une transition nette existe par ailleurs entre l'exosphère et l'espace interplanétaire.

Le principal constituant de l'exosphère est l'hydrogène ionisé à près de 99 % : il est d'ailleurs l'élément dominant à partir de 1 100 km. Dans l'exosphère, seules les forces gravitationnelles agissent sur les neutres, tandis que les ions y évoluent en décrivant des spirales autour des lignes de force du champ magnétique terrestre. La « hauteur d'échelle » théorique de l'exosphère, $H = k T/mg$ (avec $T = 1500^\circ$ K et $m =$ masse de l'atome d'hydrogène) est de l'ordre de 2 000 km.

La densité de matière locale, définie par $\rho = \rho_0 \exp(-R/H)$, R étant le rayon terrestre, ne diminue donc que lentement avec l'altitude. L'étude du spectre solaire par fusées à diverses altitudes a permis à H. FRIEDMANN et R. TOUSEY d'étudier la forte absorption subie par la raie Lyman α de l'hydrogène (1 215 Å) vers 150 km d'altitude et d'en déduire, par le profil obtenu que le nombre total d'atomes de H entre le soleil et la terre est de l'ordre de 10^{13} par cm^2 . Il semble d'ailleurs que l'hydrogène neutre ne soit pas localisé au voisinage de la terre mais occupe tout l'espace interplanétaire avec une densité spatiale de 0,2 atome par cm^2 (mesures de résonance par diffusion de FRIEDMAN). L'élargissement constaté de la même raie a indiqué une température de l'ordre de 10 000°.

La partie ionisée de l'exosphère a pu être étudiée par plusieurs techniques nouvelles à savoir : la propagation des sifflements à basse fréquence et les mesures des effets Doppler et Faraday des émissions des satellites artificiels. Les échos récemment obtenus sur la Lune (MANNING, ESCHELMAN) ont d'autre part permis d'apprécier la valeur de la densité électronique tant au voisinage de la terre qu'au voisinage de la Lune. Les résultats de ces investigations conduisent à penser que l'exosphère ionisée a une structure fibreuse.

Mais l'exosphère présente surtout un aspect dynamique tout récemment découvert d'ailleurs grâce aux fusées et aux satellites et constitué par les ceintures de rayonnement de VAN ALLEN. A l'état normal, la première ceinture, voisine de l'équateur, très stable, se manifeste à une distance d'environ 1,3 rayon terrestre, la seconde beaucoup plus variable (elle peut disparaître ou être fortement réduite en moins d'une heure) est à environ 4,2 rayons terrestres. La zone intérieure est constituée en grande majorité d'électrons, dont le flux maximal observé a été de 10^{11} él./ cm^2/s pour des électrons d'énergie supérieure à 20 keV. Le flux de protons (de plus de 40 MeV) y a été trouvé de l'ordre de 10^4 par cm^2 et par seconde seulement.

La zone extérieure ne semble renfermer que des électrons, avec une répartition spectrale de l'énergie en $1/E^5$.

D'autre part les phénomènes transitoires de l'exosphère se manifestent par les tempêtes magnétiques, les aurores, l'émission de rayons X par bremsstrahlung (spectre d'énergie en $1/E^5$ mesuré jusqu'à 700 keV), les bruits VLF de divers types produits par interaction de particules avec les nuages de plasma et enfin

les événements à protons solaires. La première observation de ces derniers a été faite en juillet 1957 ; actuellement 35 événements à protons caractérisés ont été dénombrés. Ils seraient dus aux éruptions chromosphériques qui parfois projettent des protons à haute énergie (1 à 2 BeV), observables par ballons à 30 km d'altitude. Les protons d'énergie plus faibles (30 à 80 MeV) sont absorbés vers 60 km et y produisent une ionisation anormale, décelable par les « riomètres » et les données des transmissions par pro-diffusion. Les flux de protons atteignant le sol ne se manifestent que quelques heures, tandis que ceux observés par ballons ont parfois des durées de 2 à 3 jours avec une loi de décroissance en $1/t^n$ plutôt qu'exponentielle. Leurs effets ionosphériques ont en général une durée de plusieurs jours. Il semble qu'après une éruption solaire certains flux de protons de faible énergie se trouvent emmagasinés durant quelques jours dans des « trappes » magnétiques de l'espace avant de parvenir sur la terre.

M. GALLET présente ensuite un graphique de la variation diurne de l'activité des sifflements, qui montre un maximum très pointu de leur occurrence aux environs du lever du soleil.

Le Dr DESSLER signale que le « niveau critique » de l'exosphère n'est pas le même pour les neutres et les ions. Pour ces derniers il se situerait vers 1 500 km.

Par ailleurs la répartition de la densité des neutres qui dépend de la température semble devoir être influencée par les flux de particules arrivant dans l'atmosphère ; ceux-ci sont en effet susceptibles d'en modifier la température : la variation de la répartition de la densité avec la latitude pourrait ainsi s'expliquer.

Au cours de la discussion qui a suivi, plusieurs points ont été précisés. L'absorption subie par les sifflements est telle que ceux-ci se manifestent très rarement sur des fréquences supérieures à 8 kHz. L'étude de l'ionisation au-dessus de F2 est rendue possible par la méthode de la « diffusion incohérente » des électrons par impulsions sur 40 MHz environ, qui jusqu'à présent a déjà fourni des profils jusqu'à 700 km. Un accroissement de la puissance d'un facteur 10 doit permettre d'aller jusqu'à 3 000 km. Les évaluations du profil de la densité électronique à l'aide des enregistrements des sifflements (nosewhistlers en particulier), indiquent qu'au delà de F2 la densité électronique serait proportionnelle à l'intensité du champ magnétique — le profil exponentiel habituellement admis ne serait donc pas valable. Une variation saisonnière du contenu total d'électrons, assez parallèle à la température au sol aurait été constatée. Enfin les émissions VLF et le souffle (hiss) seraient en corrélation avec les micropulsations du champ magnétique à Kiruna.

V. La diffusion ionosphérique

1. — M. D.K. BAILEY (Etats-Unis) rappelle que l'on désigne par « diffusion ionosphérique » les modes de propagation sous incidence oblique sur 25 à 110 MHz environ, dans lesquels une très forte atténuation (à l'exclusion de l'atténuation dissipative) est subie par les ondes réfléchies par l'ionosphère par rapport à celle observée sur les fréquences quelque peu inférieures. La diffusion ionosphérique se produit en général dans la région E et au-dessous, mais elle a pu également être observée dans la région F. La rétro-diffusion ionosphérique incohérente et la propagation par E sporadique sont à considérer comme des phénomènes différents.

Des liaisons radioélectriques par diffusion ionosphérique ont été établies au cours des 6 dernières années depuis la zone auro-rale Nord, jusque vers l'équateur et même un peu au-delà. Des

aériens à gain élevé et à lobes étroits doivent être utilisés tant à l'émission qu'à la réception, de manière que les lobes se recourent vers 80 à 90 km d'altitude. De nombreux pays ont étudié ce type de propagation. Parallèlement, des études sous incidence verticale, sur des fréquences basses, ont été faites, surtout en Australie, en Nouvelle Zélande, et au Groënland pour élucider la structure de l'ionisation dans la basse ionosphère. Il ressort des données obtenues jusqu'ici qu'à certaines époques les signaux reçus par diffusion sont faibles et de nature « météorique », se manifestant par des impulsions brèves, mais susceptibles néanmoins de transmettre l'information. C'est sur ce fond « météorique » que se superposent des signaux plus intenses de caractéristiques différentes dus à la diffusion proprement dite dans D ou E. En hiver l'altitude de diffusion diurne est en général comprise entre 70 et 75 km ; elle est de 80 à 85 km en été.

Dans les hautes latitudes, les signaux météoriques sont rares, mais l'intensité de la diffusion varie fréquemment dans le temps et est en corrélation avec le magnétisme.

Aux latitudes moyennes, les signaux non-météoriques sont plus rares, mais ils sont à nouveau dominants au voisinage de l'équateur. L'altitude de diffusion équatoriale serait de 100 à 110 km. Les ionogrammes obtenus simultanément indiquent que cette diffusion coïncide avec la présence de traces E sporadique du type *q* (équatorial). Par ailleurs, les signaux par diffusion dans les hautes latitudes présentent des périodes de très forte intensité dues à E sporadique, pratiquement inexistantes dans les latitudes basses. En général, c'est vers 20 à 30° de latitude que l'on constate le minimum d'intensité du mécanisme de la diffusion.

EFFETS D'ÉCLIPSE

L'éclipse solaire du 30 juin 1954 a permis de se rendre compte sur une liaison Labrador-Groënland, que l'ultra-violet solaire ne contribuait pas appréciablement à la production d'électrons dans la région diffusante des hautes latitudes. Toutefois, les rayons X de la couronne solaire et le flux corpusculaire du Soleil demeurent des agents ionisants possibles. Vu le peu d'effet sur la diffusion du lever ou du coucher du soleil, seule l'hypothèse d'un flux corpusculaire quasi-permanent serait à retenir.

DÉPENDANCE DU CYCLE SOLAIRE

Là encore les données recueillies depuis 1951 révèlent que la dépendance solaire de l'intensité de la diffusion est tout à fait contestable. Il semble au contraire que l'on puisse attribuer aux rayons cosmiques la formation de l'ionisation diffusante. En effet, les mesures par ballons et au sol des rayons cosmiques indiquent une corrélation inverse avec l'activité solaire, surtout pour le flux de faible énergie, de sorte que l'ionisation produite par ce flux serait plus importante en période de minimum solaire. L'occurrence de blackouts polaires en liaison avec les événements à protons semble confirmer cette hypothèse.

INFLUENCE DE L'AGITATION MAGNÉTIQUE

Sur les liaisons de haute latitude et sur les fréquences de 40 à 50 MHz l'accroissement de l'activité magnétique est toujours accompagné d'une intensification des signaux par diffusion. L'effet est beaucoup moins net pour les fréquences inférieures, en raison de l'influence de l'absorption ionosphérique. Il est inexistant aux latitudes inférieures, où le rayonnement corpusculaire est moins susceptible de pénétrer.

L'événement « cosmique » du 23-2-1956, lorsque le rayonnement cosmique a atteint son niveau record dans les régions

polaires, a permis une étude détaillée de plusieurs liaisons par diffusion et confirmé le rôle dominant des particules de haute énergie dans la production de l'ionisation diffusante.

LA DIFFUSION ÉQUATORIALE

Une excellente corrélation a été trouvée à Huancayo, au voisinage de l'équateur magnétique, entre les variations diurnes de la composante horizontale du champ magnétique et l'intensité des signaux reçus par diffusion d'une région de la basse ionosphère au zénith du magnétographe. On sait que le phénomène E-sporadique équatorial est actuellement attribué à l'électrojet (courant intense) équatorial ; or les mesures par impulsions sous incidence verticale et oblique faites simultanément ont permis de constater que les signaux en corrélation avec le champ magnétique provenaient de la région de l'électro-jet, entre 100 et 110 km d'altitude.

DÉPENDANCE DE LA FRÉQUENCE

Une récente campagne de mesures de l'intensité des signaux par diffusion effectuée sur cinq fréquences entre 30 et 108 MHz, pendant une dizaine de mois, a permis de constater que celle-ci variait en f^{-n} , l'exposant n variant dans le temps entre 5 et 8. Aux heures de la diffusion faible, météorique, n tombait parfois au-dessous de 5. De son côté, le taux de fading a été trouvé proportionnel à variable entre $f^{0,75}$ et $f^{1,25}$.

LA DIFFUSION DANS F

La possibilité d'une transmission oblique par diffusion dans F sur des fréquences supérieures à celles réfléchies normalement a été envisagée dès le début de l'expérimentation sur la région E.

Le premier essai a été tenté en 1951 sur 50 MHz entre Cedar Rapids (Etats-Unis) et les Bermudes — il a donné un résultat négatif. C'est sur le trajet Philippines-Okinawa fonctionnant par diffusion sur E au cours de la campagne de 1956-59 que ce type de propagation a pu être décelé. Il s'est manifesté par l'absence du minimum d'intensité habituel de fin de journée, parfois remplacé par un maximum surprenant. Les mesures par impulsions et celles de l'angle d'arrivée ont permis d'identifier définitivement le nouveau mode. Celui-ci était présent depuis le coucher du soleil jusque vers minuit et accusait une bonne corrélation avec les échos diffus dans F des ionogrammes concomitants. La transmission par diffusion dans F a également été constatée durant 10 % du temps sur un circuit de 2 580 km en Amérique du Sud, dont Huancayo était le point milieu. La corrélation avec le F diffus des ionogrammes a été cette fois excellente et les mesures par impulsions ont indiqué que l'altitude de la région diffusante sous incidence oblique coïncidait avec la hauteur minimum à partir de laquelle les échos diffus se manifestaient sous incidence verticale. De plus l'absence d'élargissement des impulsions renvoyées par diffusion oblique indiquait que la diffusion équatoriale dans F est due à une nappe relativement mince d'irrégularités de l'ionisation.

Son épaisseur semble ne pas dépasser 50 km.

1 — M. BAILEY estime en conclusion que l'élucidation du processus responsable du mode de propagation par diffusion nécessite entr'autres des déterminations précises du profil d'ionisation dans les régions polaires, en particulier au lever et au coucher du Soleil et des études de corrélation avec la propagation des très basses fréquences et leurs anomalies de phase. La possibilité d'une corrélation de l'anomalie d'hiver, avec l'altitude de la diffusion doit aussi être examinée.

2. — Le Dr J.B. GREGORY (Nouvelle Zélande) [1] rend compte ensuite des résultats obtenus en 1956-57 par sondages verticaux sur la fréquence de 1,75 MHz avec un gain d'antenne élevé obtenu par un système à 8 dipôles horizontaux donnant un lobe de 28° d'ouverture. Des niveaux de réflexion partielle préférentiels ont ainsi été mis en évidence. Durant le jour, ils se sont situés à 55-56 km, 65-67 km, vers 75 km et vers 85 km. Un effet saisonnier a été remarqué sur l'amplitude (maximum vers 85 km en juillet) et sur l'altitude exacte de la réflexion grâce à la faible largeur d'impulsion utilisée (± 15 microsecondes). Vers 85 km, l'altitude médiane a varié entre 85 km en hiver et aux équinoxes et 82 km en été. La dispersion des mesures horaires des altitudes de réflexion a été de 6 km.

3. — Le Dr K.L. BOWLES (Etats-Unis) expose les résultats obtenus au Bureau National des Standards par la méthode du radar à « diffusion incohérente » fonctionnant sur 41 MHz. Le Dr GORDON avait suggéré dès 1958 [2] qu'avec une sensibilité suffisante du récepteur, des échos pouvaient être reçus de l'ionosphère même sur des fréquences supérieures à la fréquence critique, grâce à la diffusion incohérente de l'onde par les électrons libres. La puissance rétrodiffusée, fonction de la section droite de diffusion des électrons, doit donc en principe être proportionnelle au nombre de ceux-ci par unité de volume, c'est-à-dire à la densité électronique. Le fait a été confirmé expérimentalement sur 41 MHz [3] et l'intensité de la diffusion au maximum de F2 a été trouvée conforme à 3 dB près à celle prévue théoriquement. La variation de la densité électronique en fonction de l'altitude au-dessous de ce maximum, déterminée par cette nouvelle méthode, a été en bon accord avec les résultats des sondages verticaux classiques. Toutefois le spectre de fréquence de la puissance rétrodiffusée, prévu par Gordon avec l'hypothèse du mouvement thermique des électrons, n'a pas été obtenu. En effet, au lieu d'un élargissement de 110 kHz sur 41 MHz correspondant à une température probable de 1 500 °K, les impulsions ont manifesté un élargissement de 4 kHz seulement. Il semble donc que la répartition gaussienne des vitesses admise par Gordon doive être reconsidérée de manière à tenir compte des interactions coulombiennes. La plus grande masse des ions qui en définitive imposent aux électrons leur propre répartition des vitesses, conduit pour la région F et l'oxygène atomique à une largeur de bande des échos de 500 Hz seulement, beaucoup plus voisine des données expérimentales obtenues. Au début de 1960, des théories plus exactes de la diffusion incohérente ont été élaborées par FEJER (Canada), DOUGHERTY et FARLEY (Grande-Bretagne) et SALPETER (Etats-Unis) [4]. Elles aboutissent toutes à un spectre de fréquence reçu au sol à deux maximums d'une largeur double de celle correspondant à une répartition gaussienne de la vitesse des ions et à une puissance moitié de celle que rétrodiffuserait un gaz gaussien. L'écart des deux maximums par rapport à la fréquence émise représente approximativement le glissement Doppler correspondant à la vitesse de déplacement d'irrégularités dans le milieu. D'autres mesures de la densité électronique faites aux Etats-Unis au début de 1960 par la même méthode [5], mais sur 440 MHz ont été également en excellent accord avec les sondages du N.B.S. Le spectre obtenu a aussi été conforme aux prévisions théoriques — sa largeur a été de 11 kHz. On peut en conclure que la méthode de diffusion incohérente peut être utilisée avec confiance et doit même permettre de déduire la température des ions et probablement aussi leur nature.

ECHOS VHF DE LA RÉGION D

Des résultats analogues à ceux de la pro-diffusion sous incidence oblique, dont M. BAILEY a fait l'exposé, ont été obtenus sous incidence verticale en 1959 avec le radar sur 41 MHz du

National Bureau of Standards dont les impulsions de 100 microsecondes avaient une puissance de crête de 10^6 watts et l'antenne une surface effective de $1,6 \times 10^4$ mètres carrés.

Des échos en provenance de la région D ont ainsi été obtenus, avec des intensités dépassant parfois de 20 dB celle du bruit cosmique. En février, les niveaux de réflexion se sont situés vers 75 km, 70 et 60 km d'altitude. Un niveau vers 50 km s'est également manifesté. L'auto-corrélation des fluctuations de l'écho vers 75 km a accusé un taux de fading d'environ 1/4 de cycle par seconde. La comparaison de ce taux à celui d'un signal transmis obliquement sur 50 MHz depuis le même emplacement dans l'Illinois jusqu'à Boulder (Colorado), a permis de conclure que la vitesse des irrégularités responsables du fading était horizontale. Une expérience avec aérien à lobe double (split-beam) a indiqué que ces irrégularités avaient une structure horizontale aplatie, ce qui semble expliquer l'intensité élevée des signaux reçus.

ECHOS EN PROVENANCE D'IRRÉGULARITÉS ALIGNÉES SUIVANT LES LIGNES DE FORCE.

De tels échos ont été récemment obtenus sur VHF dans la région des Caraïbes, principalement de nuit [6]. Sur 150 MHz les échos provenaient d'environ 100 km d'altitude. Sur 50 et 30 MHz ils provenaient à la fois de deux régions : l'une vers 100 km et l'autre vers 300 km. Les échos en back-scatter oblique obtenus à Huancayo sur 12, 18, et 30 MHz ont accusé une prédominance vers l'Est et l'Ouest de cette station équatoriale magnétique, indiquant des réflexions sur des irrégularités alignées suivant le champ terrestre. Les réflexions se produisaient d'une part entre 100 et 200 km d'altitude et d'autre part vers le maximum de la région F.

MESURES DU NBS AU VOISINAGE DE L'ÉQUATEUR MAGNÉTIQUE

Au cours de l'AGI, plusieurs circuits à pro-diffusion d'Amérique du Sud ont été étudiés. Ils ont accusé des signaux intenses au moment de l'apparition de l' E_s équatorial et de l'accroissement de la composante horizontale du champ magnétique à Huancayo. On sait que cette composante est proportionnelle à la densité de courant de l'« électrojet » équatorial. Il semble donc que l'intensification des signaux pro-diffusés soit due à des irrégularités alignées suivant le champ terrestre. De son côté, un radar sur 50 MHz fonctionnant à Huancayo a détecté des échos en provenance d'une nappe entre 100 et 107 km d'altitude et correspondant à des structures parallèles au champ terrestre. Une grande similitude de ces réflexions avec celles des régions aurorales a été trouvée ; toutefois les réflexions obtenues vers l'équateur étaient un phénomène diurne. La corrélation des échos enregistrés par des récepteurs voisins et le spectre de fréquence de ces échos a été spécialement étudiée. Il ressort de cette étude que les irrégularités sont en mouvement et n'ont pas une structure cylindrique mais plutôt celle de nappes d'irrégularités parallèles au champ magnétique [7]. Enfin par une technique interférométrique on a pu apprécier l'ouverture angulaire sous laquelle les échos étaient reçus. Cette ouverture, qui atteignait parfois 3° autour de la normale au champ statique, a été attribuée au passage du courant de l'électrojet, responsable de la distorsion des lignes de force magnétiques.

4. — Le Dr DOUGHERTY (Royaume-Uni) a fait ensuite un rapide exposé de la théorie de la diffusion faisant intervenir l'effet des ions et rendant compte du spectre de fréquence de l'énergie renvoyée au sol effectivement observé. Il fait remarquer que l'effet du champ magnétique terrestre est difficile à apprécier et nécessite

une étude plus poussée. On trouvera dans l'article de C. ALLEN et al (Phys. Review 1951) les bases de l'étude de la diffusion.

Au cours de la discussion qui suivit, le Prof. SWENSON (Etats-Unis) a indiqué que les enregistrements des signaux des satellites faits dans l'Illinois ont accusé une scintillation dont le taux a varié avec l'heure et suivant l'altitude de l'émetteur. Pratiquement nul jusqu'à 200 km, il croît ensuite pour rester stationnaire au delà de 300 km. En général la scintillation est moindre de jour que de nuit. Les observations de 1959 ont en outre montré une variation du phénomène en fonction de la latitude, avec un maximum pour la zone aurorale. Les taux de scintillation ont été les suivants :

Station de l'Illinois (E.-U.)	environ	6,5 Hertz
— de Cambridge (Roy. Uni)	—	7,4 —
— de Baker Lake (Canada)	—	26 —
— de Thule (Groënland)	—	13 —

Une nette corrélation existe entre la scintillation des satellites et la diffusion dans F accusée par les sondages verticaux simultanés.

BIBLIOGRAPHIE

RÉPARTITION DE L'IONISATION EN FONCTION DE L'ALTITUDE PROFILS DE HAUTEURS ÉTALES

- [1] TITHERIDGE J.E. — The use of the extraordinary ray in the analysis of the ionospheric records. *J. Atmos. Terr. Phys.*, (1959), 17, p. 110.
- [2] TITHERIDGE J.E. — Ionization below the night-time F layer. *J. Atmos. Terr. Phys.* (1959), 17, p. 126.
- [3] CROOM S.A., ROBBINS A.R., THOMAS J.O. — Two anomalies in the behaviour of the F2 layer of the ionosphere. *Nature* (1959), 184, p. 2 003.
- [4] CROOM S.A., ROBBINS A.R., THOMAS J.O. — Variation of electron density in the ionosphere with magnetic dip. *Nature* (1960), 185, p. 902.
- [5] NISBET J.S., BOWHILL S.A. — Electron densities in the F Region of the ionosphere from rocket measurements. *J. Geoph. Res.* (nov. 1960), 65, p. 3 609-3 614.
- [6] GARRIOTT O.K. — The determination of ionospheric electron content and distribution from satellite observations. *J. Geoph. Res.* (avril 1960), 65, p. 1 136.
- [7] GARRIOTT O.K. — The determination of ionospheric electron content and distribution from satellite observations. *J. Geoph. Res.* (avril 1960), 65, p. 1 151.
- [8] GLEDHILL J.A., WALKER A.D.M. — The « valley » effect on the interpretation of ionospheric eclipse records. *J. Atmos. Terr. Phys.* (1960), 18, pp. 61-64.
- [9] FERRARO V.C.A. — Diffusion of ions in the ionosphere. *Terr. Mag. Atmos. Elec.* (sept. 1945), 50, pp. 215-222.
- [10] LANDMARK B., LIED F. — Observations of electron densities and collision frequencies in the D region from a study of ionospheric cross-modulation. Article présenté à la réunion de l'AGARD, Athènes (juin 1960).
- [11] HOLT O., LANDMARK B., LIED F. — Observations of electron densities and collision frequency in the D region during polar black out conditions. Article présenté à la réunion de l'AGARD (Athènes, juin 1960).

« DONNÉES IONOSPHÉRIQUES OBTENUES PAR FUSÉES ET SATELLITES » (SEDDON — AG-60-III-14)

- [1] SEDDON J.C. — Propagation Measurements in the Ionosphere with the Aid of Rockets. *Jour. Geophys. Res.*, 58 : 3, 323, Sept. 1953.
- [2] GRINGAUZ K.I. — « Rocket Measurements of the Electron Concentration in the Ionosphere Using an Ultra-Shortwave Dispersion Interferometer. *Doklady Akad. Nauk SSSR*, 120 : 6, 1 234, 1958.
- [3] PFISTER W. and ULWICK J.C. — Analysis of Pulse-Delay Data from Rockets for the Determination of Electron Density. *Jour. Atmos. and Terr. Phys.*, 15 : 1/2, 161, Sept. 1959.
- [4] JACKSON J.E. and KANE J.A. — Measurements of Ionospheric Electron Densities Using an RF Probe Technique. *Jour. Geophys. Res.*, 64 : 8, 1 074, Aug. 1959.
- [5] JACKSON J.E. and KANE J.A. — Performance of an RF Impedance Probe in the Ionosphere. *Jour. Geophys. Res.*, 65 : 7, July 60.
- [6] BOGCESS R.L., BRACE L.H. and SPENCER N.W. — Langmuir Probe Measurements in the Ionosphere. *Jour. Geophys. Res.*, 64 : 10, 1 627, Oct. 1959.
- [7] Fifth CSAGI Meeting, Moscow, U.S.S.R. Aug. 1958. To be published, *Annals of the IGY*, Pergamon Press, London, England.
- [8] KRASSOVSKY V.I. — Exploration of the Upper Atmosphere with the Help of the Third Soviet Sputnik. *Proc. IRE*, 47 : 2, 289, Feb. 1959.
- [9] BOURDEAU R.E., JACKSON J.E., KANE J.A. and SERBU G.P. — Ionospheric Measurements Using Environmental Sampling Techniques. *Proc. of 1st Int. Space Sci. Symp.* To be published in *Space Research*, North Holland Pub. Co., Amsterdam, Holland.
- [10] Preliminary Results of Scientific Researches on the First Artificial Earth Satellites and Rockets. *Acad. of Sciences of the U.S.S.R. Moscow*, n° 1, p. 40, 1958.
- [11] JACKSON J.E. and SEDDON J.C. — Ionosphere Electron Density Measurements with the Navy Aerobee-Hi Rockets. *Jour. Geophys. Res.*, 63, 1, 197, March 1958.
- [12] SEDDON J.C. and JACKSON J.E. — « Rocket Studies of the Arctic Ionosphere. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 40 : 1, 63, March 1959.
- [13] SEDDON J.C. — Rocket Observations of High Electron Density Gradients in the Ionosphere. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 41 : 1, 113, March 1960.
- [14] HAYCOCK O.C. — Electron Density of the Ionosphere Utilizing High Altitude Rockets. *Trans. IRE*, AP-7, 414, Oct. 1959.

- [115] SEDDON J.C. — High Electron Density Gradients in the Ionosphere as Observed with Rockets. *AGARDograph* 34 171, Sporadic-E Ionization, Sept. 1958.
- [116] PFISTER W. — Measurement of Ionospheric Fine Structure by High Altitude Rockets. *AGARDograph*, 34: 183, Sporadic-E ionization, Sept. 1958.
- [117] MILLMAN P.M. — Visual and Photographic Observations of Meteors and Noctilucent Clouds. *Jour. Geophys. Res.*, 64: 12, 2 122, Dec. 1959.
- [118] BLAVONT J.E. — Nubes artificiales de sodium, vitesse du vent, turbulence et densité de la haute atmosphère, *Comptes Rendus*, 249: 14, 1 248, Oct. 5, 1959.
- [119] MANRING E., BEDINGER J.F., PETTIT H.B. and MOORE C.B. — Some Wind Determinations in the Upper Atmosphere using Artificially Generated Sodium Clouds. *Jour. Geophys. Res.*, 64: 6, 587, June 1959.
- [120] MANRING E. — Paper presented at National Academy of Sciences, Washington, D.C. April 1960.
- [121] JACKSON J.E. and SEDDON J.C., non publié.
- [122] PRENATT R.E., privée communication.
- [123] SEDDON J.C., non publié.
- [124] KANE J.A. — Arctic Measurements of Electron Collision Frequencies in the D-region of the Ionosphere. *Jour. Geophys. Res.*, 64: 2, 133, Feb. 1959.
- [125] HUXLEY L.G.H. — Discussion of Motion in Nitrogen of Free Electrons with Small Energies with Respect to the Ionosphere, *Jour. Atmos. and Terr. Phys.*, 16: 1/2, 46, Oct. 1959.
- [126] PHELPS A.V. and PACK J.L. — Electron Collision Frequencies in Nitrogen and in the Lower Ionosphere. *Phys. Rev. Lett.*, 3: 340, Oct. 1, 1959.
- [127] LAGOW H.E., HOROWITZ R. and AINSWORTH J. — Results of IGY Atmospheric Density Measurements above Fort Churchill, Proc. of the 1st Planetary Science Symposium, to be published in « Space Research », North-Holland Pub. Co., Amsterdam, Holland.
- [128] KANE J.A. — privée communication.
- [129] WHALE H.A. — privée communication.
- [130] AITCHISON G.I. and WEEKES K. — Some Deductions of Ionosphere Information from Observations of Emissions from 1957 α_2 , *J. Atmos. and Terr. Phys.*, 14: 3/4, 236, 1959.
- [131] SORENSEN E.V. — Magneto-Ionic Faraday Rotations of the Radio Signals on 40 Mc/s from Satellite 1957 α_2 (Sputnik1). Microwave Laboratory, Danish Acad. of Tech. Sciences, Copenhagen, Denmark.
- [132] HIBBERD F.H. — « Faraday Fading of Radiated Waves from Artificial Satellites », *Jour. Geophys. Res.*, 64: 8, 945, Aug. 59.
- [133] STAFF of the Mullard Radio Observatory, Cambridge, « Radio Observations of the First Russian Earth Satellite », *Nature*, 180, 879, Nov., 2, 1957.
- [134] GARRIOTT O.K. — The Determination of Ionospheric Electron Content and Distribution from Satellite Observations. *Jour. Geophys. Res.*, 65: 4, 1 139 April 1960.
- [135] YEH K.C. — Second-Order Faraday Rotation Formules. *Jour. Geophys. Res.*, 65, 8, 2 548, Aug. 1960.
- [136] YEH K.C. and GONZALEZ V.H. — Note on the Geometry of the Earth's Magnetic Field Useful for Faraday Effect Experiments. *Jour. Geophys. Res.*, 65, 10, 3 209, oct. 1960.
- [137] LITTLE C.G. and LAWRENCE R.S. — The use of Polarization Fading of Satellite Signals to Study the Electron Content and Irregularities in the Ionosphere. *Jour. of Res. of the Nat'. Bur. of Stds.* 64 D, 4, 335, July-Aug. 1960.
- [138] BLACKBAND W.T., BURGESS B., JONES I.L. and LAWSON G.J. — Deduction of Ionospheric Electron Content from the Faraday Fading of Signals from Artificial Earth Satellites. *Nature*, 183, 1 172, 1959.
- [139] BOWHILL S.A. — The Faraday Rotation Rate of a Satellite Radio Signal. *Jour. Atmos. and Terr. Phys.*, 13: 1/2, 175, 1958.
- [140] BERNING W.W. — Earth Satellite Observations in the Ionosphere. *Proc. IRE*, 47, 2, 281, Feb. 1959.
- [141] GARRIOTT O.K. — The determination of Ionospheric Electron Content and Distribution from Satellite Observations. *Jour. Geophys. Res.*, 65, 4, 1 151, April 1960.
- [142] ALPERT, DOBRIAKOWA, CHUDESENKO and SHAPIRO. — On the Results of Determining the Electron Concentration of the Outer Regions of the Ionosphere by Means of Observations on the Radio Signals of the First Satellite. *Doklady Akad. Nauk SSSR*, 120, 4, 743, 1958.
- [143] KAZANTSEV A.N. — Absorption and Electron Distribution in the F₂ layer Determined from Measurements of Transmitted Radio Signals from Earth Satellites. *Planet. Space Sci.*, 1, 130, April 1959.
- [144] ROSS W.J. — The determination of Ionospheric Electron Content from Satellite Doppler Measurements. *Jour. Geophys. Res.*, 65, 9, 2 601, Sept. 1960.
- [145] THOMAS J.A. and HIBBERD F.H. — « Satellite Doppler Measurements and the Ionosphere », *Jour. Atmos. and Terr. Phys.*, 13, 3/4, 376, 1959.
- [146] MAEDA K.C. and SATO T. — The F-Region During Magnetic Storms. *Proc. Inst. Elec. Eng.*, 47, 2, 232, 1959.
- [147] YEH K.V. and SWENSON Jr C.W. — « The Scintillation of Radio Signals from Satellites », *Jour. Geophys. Res.*, 64, 12 2 281, Dec. 1959.
- [148] CAHILL L.J. and VAN ALLEN. — *Jour. Geophys. Res.*, 61, 547, 1956.
- [149] HEPPNER J.P., STOLARIK J.D. and MEDERITH L.H. — The Earth's Magnetic Field Above WSPG, New Mexico from Rocket Measurements. *Jour. Geophys. Res.*, 63, 2 277, 1958.
- [150] CAHILL L.J. and VAN ALLEN J.A. — New Rocket Measurement of Ionosphere Currents Near the Geomagnetic Equator. *Jour. Geophys. Res.*, 63, 270, 1958.
- [151] IGY World Data Center A, IGY Rocket Report 1, 30 July 1958, U.S. Nat'l. Acad. of Sciences.
- [152] HOROWITZ R. and LAGOW H.E. — Summer-Day Auroral Zone Measurements from 100 to 210 Kilometers. *Jour. Geophys. Res.*, 63, 4, 757, 1958.
- [153] HOROWITZ R., LAGOW H.E. and GIULIANI J.F. — Fall-Day Auroral Zone Atmospheric Structure Measurements from 100 to 188 Kilometers. *Jour. Geophys. Res.*, 64, 12, 2 287, 1959.
- [154] IGY Rocket Report n° 5, U.S. Nat'l. Acad. Of Sciences, 1 Dec. 1959.
- [155] LAGOW H.E., HOROWITZ R. and AINSWORTH J. — Arctic Atmospheric Structures to 250 km. *Planet. Space Sciences*, 2, 1, 23, Oct. 1959.
- [156] JONES L.M., PETERSON J.W., SCHAEFER E.J. and SCHULTE H.F. — Upper-Air Density and Temperature: Some Variations and an Abrupt Warming in the Mesosphere. *Jour. Geophys. Res.*, 64, 12, 2 331, Dec. 1959.
- [157] SIRY J.W. — Satellite Orbits and Atmospheric Density at Altitudes up to 758 km Obtained from Vanguard Orbit Determination Program. *Planet. and Space Science*, 1, 3, 184, 1959.
- [158] SCHILLING G.F. and WHITNEY C.A. — Derivation and Analysis of Atmospheric Density from Observations of Satellite 1958 Epsilon. *Planet and Space Science*, 1, 2, 136, April 59.
- [159] KING-HELE D.G. — Density of the Upper Atmosphere from Analysis of Satellite Orbits. *Nature*, 184, 4 695, 1 267, Oct. 24, 1959.
- [160] KING-HELE D.G. — Variation of Upper Atmosphere Density with Latitude and Season: Further Evidence from Satellite Orbits. *Nature*, 185, 4 715, 727, March 12, 1960.
- [161] SMITHSONIAN Astrophysical Observatory, Special Report n° 12, 1958, edited by J.A. Hynek and G.F. Schilling.
- [162] JACCHIA L.G. — Corpuscular Radiation and the Acceleration of Artificial Satellites. *Nature*, 183, 4 676, 1 662, June 13, 1959.
- [163] BRIGGS R.E. — Smithsonian Observ., Special Report n° 30, 1959.
- [164] STERNE T.E., FOLKART B.M. and SCHILLING G.F. — An Interim Model Atmosphere Fitted to Preliminary Densities Inferred from U.S.S.R. Satellites. *Smithsonian Contrib. Astrophys.*, 2, 10, 725, 1958.
- [165] STERNE T.E. and SCHILLING G.F. — Some Preliminary Values of Upper Atmosphere Density from Observations of U.S.S.R. Satellites. *Smithsonian Contrib. Astrophys.*, 2, 10, 207, 1958.
- [166] STERNE T.E. — An Atmospheric Model and Some Remarks on the Inference of Density From the Orbit of a Close Earth Satellite. *Astron. Jour.*, 63, 3, 81, March 1958.
- [167] STERNE T.E. — High Altitude Densities. *Phys. of Fluids*, 1, 3, 165, May-June 1958.
- [168] GROVES G.V. — Irregularity of Satellite Drag and Diurnal Variation in the Density of Air. *Nature* 182, 4 648 1 533, Nov. 29, 1958.
- [169] HARRIS I. and JASTROW R. — Density Determination Based on the Explorer and Vanguard Satellites. *Science*, 128, 3 321, 420, Aug. 22, 1958.
- [170] KUPPERIAN J.E. Jr., BYRAM E.T. and FRIEDMAN H. — Molecular Oxygen Densities in the Mesosphere at Fort Churchill. *Jour. Atmos. and Terr. Phys.*, 16, 174, 1959.
- [171] MIRTOV B.A. — *Uspeki Fiz. Nauk*, 43, 181, 1957.
- [172] JONES L.M. — Rocket Exploration of the Upper Atmosphere, p. 161.
- [173] TOWNSEND J.W. Jr. — Radio Frequency Mass Spectrometer for Upper Air. *Research. Rev. of Sci. Instr.* 23, 10, 538, Oct. 1952.
- [174] MEADOWS E.B. and TOWNSEND J.W. Jr. — Diffusive Separation in the Winter-Night-Time Arctic Upper Atmosphere, 112 to 150 km. *Ann. Geophys.*, 14, 1, 80, Jan.-Mar. 1958.
- [175] JOHNSON C.Y., HOLMES J.C. and MEADOWS E.B. — Ion Composition of the Ionosphere at Fort Churchill, Canada by Rocket Borne Spectrometers. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 38, 3, 397, June 1957.
- [176] JOHNSON C.Y., HEPPNER J.P., HOLMES J.C. and MEADOWS E.B. — Results Obtained with Rocket-Borne Ion Spectrometers Above 90 km. *Ann. Geophys.*, 14, 4, 475, Oct. Nov. 1958.
- [177] JOHNSON C.Y., MEADOWS E.B. and HOLMES J.C. — Ion Composition of the Arctic Ionosphere. *Jour. Geophys. Res.*, 63, 443, June 1958.
- [178] JOHNSON C.Y., and MEADOWS E.B. — First Investigation of ambient Positive Ion Composition to 219 km by Rocket Borne Spectrometer. *Jour. Geophys. Res.*, 60, 2, 193-203, June 1955.
- [179] JOHNSON C.Y., HEPPNER J.P. — Night-time Measurement of Positive and Negative Ion Composition to 120 km by Rocket Borne Spectrometer. *Jour. Geophys. Res.*, 60, 4, 533, Dec. 1955.
- [180] JOHNSON C.Y., HEPPNER J.P. — Day-Time Measurement of Positive and Negative Ion Composition to 131 km by Rocket Borne Spectrometer. *Jour. Geophys. Res.* 61, 3, 575, Sept. 1956.
- [181] JOHNSON C.Y., MEADOWS E.B., HOLMES J.C. — Ion Composition of the Arctic Ionosphere. *Jour. Geophys. Res.*, 63, 2, 443-444, June 1958.
- [182] HOLMES J.C., JOHNSON C.Y. — Positive ions in the Ionosphere. *Astronautics*, 666, 100-104, July 1959.
- [183] JOHNSON C.Y., HOLMES J.C. — Ionospheric Positive Ions, presented at 1st International Space Science Symposium, Nice, France, Jan 11-16, 1960, to be published in « Space Research » ed. by K. Kallman, North-Holland Pub. Co. Amsterdam, Holland 1960.
- [184] TOWNSEND J.W. Jr, MEADOWS E.B., PRESSLY E.C. — A Mass Spectrometric Study of the Upper Atmosphere pp. 169-188, Rocket Exploration of the Upper Atmosphere (ed. R.L.F. Boyd and M. J. Seaton), Interscience Publ., N.Y. 1954.
- [185] TOWNSEND J.W., Jr. MEADOWS E.B. — Density of the Winter-Night-Time Arctic Upper Atmosphere, 110 to 170 km. *Ann. Geophys.*, 14, 1, 117-130, Jan.-Mar 1958.
- [186] TOWNSEND J.W., Jr. — Composition of the Upper Atmosphere. Physics and Medicine of the Atmosphere and Space, John Wiley and Sons, 1960, pp. 112-133.
- [187] WENZEL E.A., LOH L.T., NICHOLS M.H. and JONES L.M. — The Measurement of Diffusive Separation in the Upper Atmosphere. IGY Rocket Report n° 1, p. 91, Nat' : Acad. of Sciences, July 30, 1958.
- [188] BYRAM E.T., CHUBB T.A. and FRIEDMAN H. — The Dissociation of Oxygen at High Altitudes, in « The Threshold of Space », Proc. Conf. Chem. Aeronomy. M. Zelikoff (ed.) Pergamon Press, New York, p. 211 (1957).
- [189] MEADOWS E.B. and TOWNSEND J.W., Jr. — IGY Rocket Measurements of Arctic Atmospheric Composition Above 100 km. Proc. of 1st Int. Space Sci. Symposium, to be published in « Space Research », North-Holland Pub. Co., Amsterdam, Holland.
- [190] MEREDITH L.H., GOTTLIEB M.B. and VAN ALLEN J.A. — Direct Detection of Soft Radiation Above 50 km in the Auroral Zone. *Phys. Rev.*, 97, 1, 201, 1955.
- [191] VAN ALLEN J.A. — Direct Detection of Auroral Radiation with Rocket Equipment. *Proc. Nat'. Acad. Sciences*, 43, 57, 1957.
- [192] VAN ALLEN J.A. and FRANK L.A. — Radiation Measurements to 658.300 km with Pioneer IV. *Nature*, 184, 219, 1959.
- [193] VAN ALLEN J.A. — The Geomagnetically Trapped Corpuscular Radiation. *Jour. Geophys. Res.*, 64, 11, 1683, Nov. 1959.
- [194] VAN ALLEN J.A. and FRANK L.A. — Radiation Around the Earth to a Radial Distance of 107.400 Kilometers. *Nature*, 183, 430, 1959 a.
- [195] VAN ALLEN J.A., MCLILWAIN C.E. and LUDWIG G.H. — « Radiation Observations with Satellite 1958 Epsilon ». *Jour. Geophys. Res.*, 64, 3, 271, 1959.
- [196] VERNOV S.N., CHUDAKOV A.R., GORCHAKOV E.V., LOGACHEV J.L., and VAKULOV P.V. — Study of the Cosmic-Ray Soft Component by the 3rd Soviet Earth Satellite. *Planet. and Space Sci.*, 1, 86, 1959 a.
- [197] VERNOV S.N., CHUDAKOV A.E., VAKULOV P.V. and LOGACHEV Yu. I. — Study of Terrestrial Corpuscular Radiation and Cosmic Rays During Flight of the Cosmic Rocket. *Doklady Akad. Nauk SSSR*, 125, 304, 1959 b.
- [198] ARNOLDY R.L., HOFFMAN R.A. and WINCKLER J.R. — Observations of the Van Allen Radiation Regions During August and September 1959. *Jour. Geophys. Res.*, 65, 5, 1 361, May 1960.
- [199] HILL G.E. — Ionospheric Disturbances Following a Solar Flare. *Jour. Geophys. Res.*, 65, 10, 3 183, Oct. 1960.

- [100] WINCKLER J.R. — Balloon Studies of Hi-Altitude Radiation During the International Geophysical Year. *Jour. Geophys. Res.*, 65, 5, 1 331, May 1960.
- [101] ANDERSON K.A. — *Phys. Rev.*, III, 1 397, 1958.
- [102] WINCKLER J.R., PETERSON L., ARNOLDY R. and HOFFMAN R. — X rays from Visible Aurorae at Minneapolis. *Phys. Rev.*, 110, 1 221, 1958.
- [103] ANDERSON K.A. — *Phys. Rev. Lett.*, 1, 335, Nov. 1, 1958.
- [104] FREDEN S.C. and WHITE R.S. — Particle Fluxes in the Inner Radiation Belt. *Jour. Geophys. Res.*, 65, 5, 1 377, May 1960.
- [105] MEREDITH L.H., DAVIS L.R., HEPPNER J.P. and BERG O.E. — Rocket Auroral Investigations, Fifth CSAGI Meeting, Moscow, U.S.S.R. Aug. 1958. To be published, Annals of the IGY, Pergamon Press, London, England.
- [106] DAVIS L.R., BERG O.E. and MEREDITH L.H. — Direct Measurements of Particle Fluxes in and near Aurorae, First International Space Science Symp. to be published in « Space Research », North-Holland Pub. Co., Amsterdam, Holland.
- [107] Nat'l. Acad. of Sci., IGY Rocket Report n° 1, pp. 179-203, July 30, 1958.
- [108] CHUBB T.A., FRIEDMAN H. and KREPLIN R.W. — X-ray Emission Accompanying Solar Flares and Non-Flare Sunspot Conditions. Proc. of 1st Int. Space Sci. Symp. To be published in « Space Research », North-Holland Pub. Co., Amsterdam, Holland.
- [109] FRIEDMAN H. — Rocket Observations of the Ionosphere. *Proc. IRE*, 47, 2, 272, Feb. 1959.
- [110] REES M.H. and RENSE W.A. — Note on the Cause of Ionization in the F-Region. *Jour. Geophys. Res.*, 64, 9, 1 251, Sept. 1959.
- [111] HINTEREGGER H.E., DAMON K.R., HEROUX L. and HALL L.A. — Telemetry Monochromator Measurements of Solar 304 Å Radiation and its Attenuation in the Upper Atmosphere. Proc. of 1st Int. Space Sci. To be published in « Space Research », North-Holland Pub. Co., Amsterdam, Holland.
- [112] CHUBB T.A., FRIEDMAN H. and KREPLIN R.W. — Measurements made of High-Energy X-rays Accompanying Three Class 2+ Solar Flares. *Jour. Geophys. Res.*, 65, 6, 1 831, June 60.
- [113] HINTEREGGER H.E., DAMON K.R. and HALL L.A. — Analysis of Photoelectrons from Solar Extreme Ultraviolet. *Jour. Geophys. Res.*, 64, 8, 961, Aug. 1959.
- [114] BYRAM E.T., CHUBB T.A., FRIEDMAN H. and KUPPERIAN J.E. Jr. — Intensity of Solar Lyman-Alpha and Adjacent Ultra-violet Emission Lines. *Astro-phys. Jour.*, 128 : 3, 738 Nov. 1958.

LA DIFFUSION IONOSPHERIQUE

Pour l'exposé du D^r BAILEY, se rapporter aux références données dans P.I.R.E. (Janvier 1960), 48, pp. 5-29 « Ionospheric scatter transmission ».

- [1] GREGORY J.B. — Ionospheric reflections from heights below the E region. *Austral. J. Phys.* (1956), 9, pp. 324-342.
- [2] GORDON W.E. — Incoherent scattering of radio waves by free electrons with applications to space exploration by radar. *P.I.R.E.* (Nov. 1958), 46, pp. 1 824-1 829.
- [3] BOWLES K.L. — Observation of vertical incidence scatter from the ionosphere at 41 Mc/sec. *Phys. Rev. Letters*, (15-12-1958), 1, pp. 454-455.
- [4] SALPETER E.E. — Scattering of radio waves by electrons above the ionosphere. *J. Geoph. Res.*, (1960), 65, 1 851-1 852.
- [5] PINEO V.C., KRAFT L.G., BRISCOE H.W. — Ionospheric back-scatter at 440 Mc/s. *J. Geophys. Res.*, (1960), 65, 1 620-1 622.
- [6] DYCE R.B., DOLPHIN L.T., LEADABRAND R.L., LONG R.A. — Aurora-like radar echoes observed from 17 degrees latitude. *J. Geoph. Res.*, (1959), 64, pp. 1 815-1 818.
- [7] BOWLES K.L., COHEN R.S., OCHS G.R., BABSLEY B.B. — Radio echoes from field-aligned ionization above the magnetic equator and their resemblance to auroral echoes. *J. Geophys. Res.*, (1960), 65, pp. 1 853-1855.

RÉSOLUTIONS ADOPTÉES PAR LA COMMISSION III

Résolution n° 1. — Programme de mesures pour le minimum d'activité solaire.

La Commission III, prenant acte de l'intention de plusieurs Unions Scientifiques et du Comité International de Géophysique (C.I.G.) d'organiser en 1964-65 une campagne de mesures couvrant le minimum d'activité solaire, entreprise complémentaire à celle de l'Année Géophysique Internationale 1957-58, attire l'attention des Comités Nationaux sur cette proposition et invite tous les chercheurs et organismes s'occupant de radioélectricité ionosphérique à participer dans toute la mesure du possible à cette campagne.

Résolution n° 2. — Temps de propagation des signaux radio-électriques.

Afin d'obtenir la précision maximum dans la synchronisation d'horloges très éloignées et dans les transmissions de signaux horaires, comme le requièrent beaucoup d'utilisations scientifiques et techniques telles que la localisation et la navigation, il est fortement recommandé que les expériences organisées au cours des dernières années par la Sous-Commission IIIc et décrites dans le rapport soumis à la XIII^e Assemblée Générale, soient encouragées et poursuivies par contacts directs entre les laboratoires nationaux intéressés.

PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES D'ORIGINE TERRESTRE

(Commission IV)

PAR

R. RIVAULT

Faculté des Sciences de Poitiers

Aux Assemblées Générales de Paris (1946) et de Stockholm (1948), notre Commission était la troisième de l'URSI et son objet était l'étude des perturbations atmosphériques qui englobaient, paradoxalement, les bruits d'origine solaire et galactique. A Zurich (1950), devenant Commission IV; nous nous spécialisons dans le bruit radioélectrique d'origine terrestre, puis, à partir de 1952 (Sydney), dans les perturbations radioélectriques d'origine terrestre.

Sous cette rubrique sans ambiguïté, ont coexisté jusqu'en 1960 deux clans liés par l'éclair : celui des géophysiciens, intéressés par son mécanisme, l'évolution des foyers orageux, le milieu physique de propagation des atmosphériques et des sifflements ; celui des radioélectriciens troublés par les questions du CCIR, pour qui l'éclair est à l'origine du bruit nuisible aux télécommunications, bruit qu'il faut connaître, chiffrer et prévoir.

Ces derniers ont gagné quelque influence à Londres en employant, d'abord, le mot « noise » pour désigner tout phénomène périodique du domaine de la Commission IV, fut-il sinusoïdal ; puis, en présentant des rapports globaux rédigés en fonction du bruit, par exemple : « Sources de bruit dans l'éclair », ou : « Propriétés du bruit naturel » ; enfin, en introduisant dans la Commission l'étude des parasites radioélectriques créés par l'homme, sujet qui ne doit rien à l'éclair.

Cette nouvelle orientation s'est traduite sans tarder par la recherche d'un titre-programme résumant l'activité future de la Commission ; la formule suivante a paru correspondre aux aspirations de la majorité : « Etude de la production, des caractéristiques et de la propagation du bruit radioélectrique, et de son influence sur les communications ». Voici un exemple où l'application, utile certes, tend, d'une manière regrettable, à reléguer à l'arrière plan l'étude physique fondamentale, ici, celle de la source et du milieu de propagation.

On remarquera l'importance prise par l'étude des sifflements ; une sous-commission a été créée pour coordonner les enregistrements synoptiques des sifflements naturels, dus à l'éclair, et artificiels, produits au cours de la propagation exosphérique d'impulsions émises sur très grandes ondes par des stations radioélectriques telles qu'Annapolis.

Enfin, comme d'habitude, le compte rendu relatif aux mesures de bruit sera donné séparément par M. G. FOLDÈS.

I. Sifflements radioélectriques, émissions à basse fréquence

1. CARACTÉRISTIQUES DE LA SOURCE

Il est d'observation courante que les éclairs d'un même foyer orageux ne donnent pas tous naissance à des sifflements ; on a cherché, par divers moyens dont l'étude des atmosphériques associés aux éclairs, d'en trouver la raison. Ce sont les décharges les plus intenses qui sont à l'origine des sifflements [1]. Le maximum d'énergie de l'atmosphérique correspondant se place alors vers 5 kHz au lieu de 10 kHz, valeur habituelle. La direction de l'éclair par rapport à la verticale jouerait aussi un rôle controversé, les sifflements étant associés aux éclairs verticaux pour H. NORINDER et E. KNUDSEN [2], ou horizontaux pour E.T. PIERCE [3].

Le mécanisme de la création du sifflement à partir de l'éclair et la façon dont l'énergie passe de celui-ci à la basse ionosphère sont toujours obscurs. Une récente hypothèse de W.C. HOFFMAN [4] à ce sujet rejoint la théorie de C.T.R. WILSON qui pensait qu'une partie de l'ionisation de la basse ionosphère était due à un apport d'électrons provenant du nuage orageux et accélérés par son champ électrique.

Selon W.C. HOFFMAN, aussitôt après l'éclair, un courant de grande énergie se dirige verticalement depuis le sommet du nuage ; des interactions se produisent alors entre ce jet d'électrons, accélérés par le champ électrostatique, et les ondes radioélectriques constituant l'atmosphérique, suivant le mécanisme que l'on retrouve dans les tubes à ondes progressives et qui est invoqué pour expliquer la production d'ondes de très basse fréquence (VLF) dans l'exosphère et leur amplification. En abordant l'ionosphère, les électrons s'alignent sur la ligne de force et constituent les paquets d'ionisation qui guident l'énergie du sifflement, tout au moins à une extrémité de la trajectoire.

Cette hypothèse est étayée par les observations de G.C. RUMI [5], décelant au radar, sur 28 MHz, des échos dus à des réflexions

sur des colonnes d'électrons se déplaçant verticalement à partir du nuage orageux à des vitesses de l'ordre de 200 km/s. Elle s'accorde mal, en revanche, avec les idées actuelles sur l'indépendance, en position, des colonnes d'ionisation présentes dans l'exosphère et des foyers orageux.

2. TRAJECTOIRES DES SIFFLEMENTS

En 1953, R.L.O. STOREY avait établi que, dans un milieu anisotrope et pour des fréquences f beaucoup plus petites que la gyrofréquence f_H des électrons, les trajectoires des sifflements ne s'écartaient pas de plus d'une vingtaine de degrés de la direction du champ magnétique. R.L. SMITH [6] a montré depuis que si f croît, cet angle passe par un minimum de 11° pour $f = 0,2 f_H$ environ et tend vers 90° quand f et f_H sont comparables : il n'y a plus, alors, de guidage.

En 1956, K. MAEDA et I. KIMURA établirent que, dans un milieu homogène, la trajectoire s'écarte d'autant plus de la ligne de force que la fréquence est basse ; l'équateur géomagnétique n'est plus alors un plan de symétrie [7]. Les travaux théoriques de J.J. BRANDSTATTER [8], I. YABROFF [9] et O.K. GARRIOTT [10] conduisent aux mêmes conclusions qui ne sont pas toujours confirmées par l'expérience.

Quand on peut localiser l'éclair par sa direction (goniométrie) et sa distance (analyse des formes d'atmosphériques), on constate, dans certains cas précis, qu'il est plus proche du récepteur que ne l'est le point conjugué géomagnétique. C'est ainsi qu'à Toyokawa (lat. géom. $24^\circ 5'$), les écarts mesurés par A. IWAI et L. OUTSU [11] sont de 1 000 à 2 500 km.

A Poitiers (lat. géom. $49^\circ 5'$), R. RIVAULT et Mlle Y. CORCUFF [12] déterminent les distances des éclairs qui produisent des sifflements courts à partir de la forme des atmosphériques qui sont souvent reçus intenses la nuit pendant l'hiver ; les valeurs trouvées vont de 7 000 à 9 000 km. Ces éclairs ont été localisés au sud-ouest de l'Afrique en utilisant les données goniométriques horaires obtenues aux îles Kerguelen. Le point conjugué de Poitiers, déterminé à l'aide de données magnétiques récentes, a pour coordonnées géographiques $40^\circ 5' S$, $23^\circ E$ et est situé à 800 km au sud du Cap et à 10 000 km du récepteur. La différence est alors de 1 000 à 3 000 km ; elle serait plus grande de 1 000 km si l'on considérait, comme le font les Japonais, le point conjugué géomagnétique, déterminé à partir du champ du dipôle.

A Kühlungsborn (lat. géom. 54°), E.A. LAUTER trouve une corrélation entre la réception de sifflements courts et l'activité orageuse au sud de Madagascar, plus proche du récepteur que le point conjugué.

A Washington et au cap Horn, on ne constate pas de semblables écarts. De même, la trajectoire paraît confondue avec la ligne de force lors de la réception, au cours de périodes perturbées, de sifflements suivis de nombreux échos dont les dispersions sont exactement multiples les unes des autres. Selon K.G. BUDDEN [13], le milieu est alors inhomogène, des colonnes ionisées distinctes et voisines sont alignées le long des lignes de force et ce sont elles qui imposent la trajectoire du sifflement beaucoup plus que l'emplacement de l'éclair par rapport au récepteur. On a pu en effet, recevoir, exceptionnellement, des sifflements dus à un même éclair en des lieux distants d'environ 7 000 km [14].

Ce sont ces irrégularités qui expliquent la structure fine souvent complexe des spectrogrammes de sifflements où l'on distingue plusieurs composantes, séparées par des temps de l'ordre de la dizaine de millisecondes ; elles sont dues au même éclair et leurs

dispersions, différentes, sont l'indice de trajectoires multiples et voisines. M.G. MORGAN, H.W. CURTIS et N.C. JOHNSON [15] ont montré que les longueurs de ces trajectoires peuvent différer notablement et que les échos des différentes composantes d'un sifflement empruntent l'un quelconque ou une combinaison de ces trajets.

A la suite de K.G. BUDDEN, plusieurs auteurs dont F.H. NORTHOVER [16], R.L. SMITH et R.A. HELLIWELL [17], ont montré comment l'énergie pouvait être captée et guidée par des colonnes ionisées de densité légèrement inférieure ou supérieure à celle du milieu ambiant. Une différence de 10 % serait suffisante aux latitudes moyennes mais devrait être plus forte aux basses latitudes.

Un problème de trajectoire est encore posé par l'observation à STANFORD [18] de sifflements hybrides consistant en la réception d'un sifflement court et d'un long, de dispersion double, dus à un même éclair proche du récepteur. Il faut supposer qu'une partie de l'énergie se propage et est reçue comme un sifflement long habituel tandis qu'une autre suit le guide sol-région D de l'ionosphère sous la forme d'un atmosphérique jusqu'au point conjugué pour y enfourcher la ligne de force et revenir vers le récepteur comme un sifflement court. Celui-ci serait ainsi produit par un atmosphérique et non par un éclair ; c'est là un phénomène dont on ne connaît pas d'autre exemple.

Il est beaucoup plus plausible d'admettre que le sifflement lui-même puisse être guidé entre le sol et la basse ionosphère comme le supposent L.M. MARTIN [19] et E. UNGSTRUP [20] pour expliquer les caractéristiques des sifflements courts reçus aux hautes latitudes, à Scott Base (lat. géom. $79^\circ S$) et à Godhavn (lat. géom. $80^\circ N$). On ne pensait pas qu'une telle réception fut possible du fait de la longueur quasi infinie de la ligne de force et de l'absence de foyers orageux dans les régions polaires.

Or, les caractéristiques de ces sifflements, dispersions, fréquences de nose supérieures à 15 kHz, sont celles que l'on trouve normalement à plus basse latitude excepté l'existence de fréquences inférieures à 5 kHz environ. Ainsi, des sifflements de plus basse latitude se propageraient dans le guide sol-ionosphère à partir de l'un des points conjugués et vers les latitudes plus élevées ; l'absence d'énergie du côté des basses fréquences serait due à la fréquence de coupure du guide ou à un effet de filtrage passe-haut au niveau de la zone aurorale. Si cette interprétation est correcte, on doit trouver une corrélation entre l'occurrence des sifflements aux stations polaires et à celles de plus basse latitude. En comparant les résultats de Scott Base et de Nouvelle Zélande, à 4 000 km plus au nord, on trouve effectivement que les corrélations positives sont en moyenne cinq fois plus nombreuses que celles qui seraient dues au seul hasard.

La connaissance des directions d'arrivée des sifflements peut fournir des informations sur leurs trajectoires. Les mesures de J. DELLOUE [21] ont été reprises avec un équipement amélioré ; les amplificateurs utilisés, de largeur de bande voisine de 110 Hz, ont des réponses identiques en phase et en amplitude, quelle que soit la température [22]. Les directions trouvées, déterminées par la mesure des retards entre les instants d'arrivée d'une fréquence donnée en trois points distants d'une vingtaine de kilomètres, sont voisines de celle du champ magnétique. Cependant, des intervalles de temps, incompatibles avec les distances des points d'observation, ont été parfois notés et conduisent à penser que le front d'onde des sifflements ne doit pas être toujours considéré comme plan dans un rayon de quelques dizaines de kilomètres.

3. CARACTÉRISTIQUES DES SIFFLEMENTS

L'activité des sifflements présente un maximum à une latitude géomagnétique de 45 à 50° [23] qui ne peut s'expliquer par une distribution particulièrement dense des orages à ces latitudes mais plutôt par le fait que l'ionisation le long des trajectoires doit être d'autant plus grande par rapport au milieu ambiant que la latitude est plus basse [17]. Ces conduits ionisés sont assez bien localisés en latitude et longitude à un instant donné puisque les sifflements, reçus à deux points distants d'un millier de kilomètres, sont habituellement indépendants. Ces guides pourraient se déplacer lentement, ce qui expliquerait, par exemple, que l'activité à Brisbane soit généralement en retard de trois jours sur celle d'Adélaïde.

On a cherché une corrélation entre les périodes où les sifflements se manifestent et les situations magnétiques, caractérisées par les indices K ou planétaires, principalement au moment des perturbations. Les conclusions ne sont pas nettes parce que les sifflements, liés à l'activité orageuse, ne se produisent pas avec continuité.

A. KIMPARA [24] trouve que l'hiver, à basse latitude, le coefficient de corrélation entre l'indice K effectif, somme des indices K supérieurs à 5, et le nombre de sifflements reçus deux jours après la perturbation magnétique, est de 0,6. A des latitudes supérieures, entre 50 et 66° N, R.E. BARRINGTON [25] constate une corrélation négative qui existe aussi à Scott Base (79°S), tandis qu'à Godhavn (80° N), E. UNGSTRUP [20] ne remarque aucune relation entre les deux phénomènes.

Auditivement, les sifflements sont en général purs aux basses latitudes et fusants à des latitudes plus grandes. Les spectrogrammes montrent alors que ces sifflements diffus peuvent parfois être résolus en plusieurs composantes de dispersions voisines mais croissant régulièrement de l'une à l'autre. J. CROUCHLEY et R.J. FINN [26] déterminent pour chaque sifflement un coefficient de diffusion basé sur les temps durant lesquels l'ensemble de ces composantes s'étale sur le spectrogramme pour quatre fréquences choisies entre 1 et 8 kHz. Ce coefficient est proportionnel à la dispersion moyenne en un lieu donné. Pour l'ensemble des stations Australiennes, le rapport de ces deux paramètres, dispersion et coefficient de diffusion, est indépendant du temps. Il croît linéairement avec la latitude à partir de 12° où sa valeur est nulle, cette latitude étant celle de la ligne de force limitant l'ionosphère.

4. VARIATIONS DE LA DISPERSION

Pour un sifflement donné, la dispersion D [7] n'est pas une constante mais varie avec la fréquence d'une façon non négligeable, par exemple, de 10 s^{1/2} entre 7 et 2 kHz, pour une dispersion moyenne de 150 s^{1/2}. On est ainsi obligé de préciser la fréquence à laquelle la valeur de D se rapporte, ce qui complique la comparaison des résultats obtenus en différents lieux. Aussi, pour caractériser les sifflements enregistrés en France pendant l'AGI, on a choisi comme paramètre la valeur D_0 de la dispersion pour la fréquence zéro, qui peut être facilement obtenue pour les sifflements courts ou longs [27].

La dispersion présente une variation diurne notable. A Toyokawa (lat. géom. 24°5) et WAKKANAI (lat. géom. 35°), la dispersion est maximum l'après-midi et minimum avant le lever du soleil [28]. A Wellington (lat. géom. 45°S), le maximum a lieu vers 14 heures et le minimum, plus faible d'environ 25 %, vers 02 heures locales [25]. Le minimum à Poitiers (lat. géom. 49°5) se place aussi aux environs de 02 heures et la variation trouvée, de l'ordre

de 25 à 35 % de la valeur maximum, est beaucoup plus forte que celle qui serait due à une double traversée de l'ionosphère [12]. De plus, le début de la décroissance de D_0 est lié au moment du coucher solaire au premier des deux points conjugués où le soleil se couche ; après le minimum, le début de la croissance de D_0 est aussi en rapport avec le moment du lever solaire au premier des deux points conjugués où le soleil se lève.

Enfin, la dispersion est une fonction croissante de l'activité solaire. La dispersion moyenne mensuelle suit la courbe du nombre de Wolf avec un retard d'environ deux mois au Japon [29], de un à deux mois en Amérique du Nord [30], et, plus précisément, de 1,2 mois à Wellington : quand le nombre des taches solaires passe de 100 à 200, la dispersion croît de 50 %, ce qui correspond à une augmentation d'environ 130 % de l'ionisation de l'exosphère [25].

5. EMISSIONS A BASSE FRÉQUENCE

La théorie de la production des émissions à basse fréquence a été précisée par R.M. GALLET [31]. La latitude où la réception du souffle et du chœur est la plus fréquente, vers 60° en Australie [32], paraît dépendre de l'activité magnétique [33]. Pour un indice K_p inférieur à 1,5, le maximum d'activité est à 64° de latitude géomagnétique ; on le trouve vers 58° si K_p est plus grand que 4. Ainsi, tout comme l'aurore, le phénomène s'étend vers les basses latitudes pendant les périodes perturbées. L.H. MARTIN, R.A. HELLIWELL et K. MARKS [34] rapportent l'étroite corrélation constatée à Byrd Station (70°5 S géom.) entre le souffle et l'aurore. Le souffle est un bruit occupant une large bande de fréquences autour d'une fréquence centrale qui est généralement inférieure à 4 kHz en l'absence d'aurore, et comprise entre 4 et 16 kHz quand l'aurore existe. Plus précisément, à chaque type d'aurore correspond une fréquence centrale qui est, par exemple, de 9,6 kHz pour l'aurore rouge. La réception du souffle coïncide avec les deux maximum d'activité aurorale, vers 08 et 15 heures locales. S'il n'y a pas d'aurore, le souffle ne présente qu'un maximum matinal vers 08 heures, comme le chœur.

G.R.A. ELLIS [35], étudiant le bruit reçu dans la bande 2-40 kHz et, plus particulièrement, sur 5 kHz, trouve généralement une corrélation avec les activités magnétiques et aurorales, et, parfois, avec la présence de la raie rouge de l'oxygène dans le spectre du ciel nocturne. Le bruit apparaît en même temps que l'aurore mais suit le début d'une perturbation magnétique avec un retard de l'ordre de six heures.

6. DISTRIBUTION DE L'IONISATION DANS L'EXOSPHERE

La densité d'ionisation N en un point quelconque de la trajectoire des sifflements ne peut être déduite directement de l'analyse des spectrogrammes ; pour connaître la distribution électronique dans l'exosphère ou à l'intérieur des colonnes ionisées alignées sur le champ magnétique, on a dû imaginer différents modèles d'exosphère.

En supposant que la courbe (f, t) observée obéisse à la loi simple d'Eckersley, $D = t \cdot f^{1/2}$, et que N soit proportionnel à l'intensité H du champ, la dispersion par unité de longueur de la trajectoire est alors constante et L.R.O. STOREY trouvait, en 1953, que, pour une dispersion de 60 s^{1/2} à la latitude de 55° géomagnétiques, N était de l'ordre de 400 électrons par centimètre cube à une distance géocentrique de 3 rayons terrestres.

Si la distribution est fonction d'un seul paramètre, altitude h ou valeur H du champ par exemple, elle peut être déduite de la

variation de la dispersion D soit, comme l'a fait théoriquement L.R.O. STOREY [36], avec la fréquence à une latitude donnée, soit avec la latitude à fréquence constante selon G.Mc ALLCOCK [37]. Celui-ci donne une courbe expérimentale où D croît linéairement de 25 à 95 s^{1/2} quand la latitude géomagnétique passe de 24 à 55°. Déduite de ces valeurs, la densité N en fonction de l'altitude h , comprise entre 1 000 et 13 000 kilomètres, serait alors :

$$N = 5,75 \cdot 10^4 e^{-h/2 \cdot 640}.$$

On peut encore, quand cela est possible, utiliser deux paramètres facilement mesurables : la nose frequency f_n et le temps t_n de propagation correspondant. La courbe (f_n, t_n) , tracée à partir des données expérimentales obtenues en divers lieux, est comparée à des courbes calculées suivant des modèles empiriques de distribution. R.L. SMITH [38] développe cette méthode et trouve la relation

$$N = 1 \ 200 \ f_H$$

jusqu'à une distance géocentrique de 5 rayons terrestres.

Enfin, dès que la fréquence instantanée du sifflement devient comparable à la gyrofréquence des protons présents dans l'exosphère, ces ions contribuent à la propagation qui peut être transversale. Au voisinage de la gyrofréquence, la théorie montre que la dispersion, proportionnelle à l'indice de réfraction, passe par un faible maximum qui, dans les meilleures conditions, ne représente pas plus de quelques centièmes de la valeur de la dispersion. Pour que cette gyrofréquence soit dans le domaine des fréquences reçues, la latitude du lieu d'observation doit être basse. Des mesures ont été faites sur des sifflements purs enregistrés à Toyokawa [39, 40] : la hauteur maximum de la trajectoire est de l'ordre de 1 300 km au-dessus du sol et la valeur minimum de la gyrofréquence des ions est d'environ 250 Hz au sommet de la trajectoire. Les résultats confirment la théorie avancée par L.R.O. STOREY [41] et indiquent que l'hydrogène ionisé aurait une densité comparable à celle des électrons au voisinage de 1 000 km d'altitude.

II. Etude des formes oscillographiques des atmosphériques

On sait que si l'analyse des formes impulsives permet de connaître la distance de l'éclair au récepteur, il n'en est pas de même avec les formes quasi sinusoïdales, dues principalement à des éclairs lointains. K. SAO [42], analysant ces dernières, trouve, vers 10 kHz, un maximum de l'amplitude en fonction de la fréquence sans aucun rapport avec la distance éclair-récepteur tandis que la variation de la phase du signal reçu en fonction de la fréquence dépend, elle, de la distance de propagation et peut servir à la caractériser.

A partir de formes du même type, provenant d'éclairs lointains, F. HEPBURN trouve, à Nottingham, une hauteur de réflexion constante de jour et de nuit, en contradiction avec ce que l'on observe sur les formes impulsives dues à des éclairs plus rapprochés [43].

III. Les sources de bruits dans l'éclair

Sous cette rubrique, un effort a été fait pour relier des résultats disparates sur la répartition de l'énergie dans les atmosphériques en fonction de la fréquence et la recherche des sources émissives correspondantes parmi les diverses phases de l'éclair.

Cette mise au point englobe les mesures de champ faites à l'aide d'amplificateurs à bandes passantes étroites jusqu'à des fréquences élevées, à bandes larges jusque vers 100 kHz (étude des formes), et au moyen de circuits accordés entre 0,3 et quelques dizaines de kHz. Certaines de ces techniques ont été employées au voisinage de l'éclair, d'autres à grande distance ; les résultats sont alors compliqués par la propagation.

Toutes les phases de l'éclair contribuent à l'émission d'énergie électromagnétique qui apparaît ordinairement sous forme d'impulsions, isolées en basse fréquence et surtout dues au return stroke, perceptibles d'une façon plus continue en haute fréquence si l'on utilise un amplificateur de gains suffisant. A.D. WATT et E.L. MAXWELL [44] trouvent qu'au-dessus de 30 kHz, il y a plus d'énergie dans la milliseconde finale d'un leader stroke que dans tout le return stroke ; il y en aurait seulement 1 % vers 10 kHz. Par l'étude des formes, D.J. MALAN [45] constate que l'amplitude des impulsions dues au return stroke est inversement proportionnelle à la fréquence et qu'aux environs de 1 MHz, elle devient comparable à celle dues aux autres parties de la décharge.

Il semble que la décharge orageuse, dont le mécanisme n'est toujours pas clair, débute par un effet corona pour se terminer par le return stroke en passant par plusieurs sortes de prédécharges, en même temps que l'amplitude des atmosphériques émises croît et que les fréquences que l'on y trouve diminuent de valeurs supérieures à 10 MHz (effet corona) à 10 kHz (return stroke), en passant par les différentes sortes de leader strokes qui rayonnent vers 2 MHz environ. Ainsi, les longueurs des ondes émises sont proportionnelles aux longueurs des décharges. Des interactions entre les diverses phases existent : c'est ainsi que plusieurs auteurs ont signalé la cessation de tout bruit reçu sur 1,5 MHz environ juste après le return stroke [45, 46].

Aux très hautes fréquences, des essais de localisation des sources de bruit dans l'éclair ont été faits au moyen de radars par F.J. HEWITT, sur 600 MHz, et D. ATLAS, sur 1 200 MHz [47]. Le bruit provient des différents leader strokes et précurseurs de la décharge, mais les résultats ne sont pas nets, les équipements utilisés étant mal adaptés à ce genre de mesures.

On s'est efforcé d'avoir une idée de l'énergie rayonnée par un return stroke dans une bande donnée de fréquences ; pour une largeur de bande de 1 kHz, les valeurs estimées sont de l'ordre de 570 joules sur 6 kHz [48], de 15 kilojoules sur 11 kHz, ce qui représente le maximum trouvé entre 1 et 25 kHz, et de 0,01 sur 11 MHz [49].

BIBLIOGRAPHIE

- [1] HELLIWELL R.A., JEAN A.G., TAYLOR W.L. — « Some properties of lightning impulses which produce whistlers », *P.I.R.E.*, 46, 1958, p. 1 760.
- [2] NORINDER H., KNUDSEN E. — « The relation between lightning discharges and whistlers », *Plan. Space & Sci.*, 1, n° 3, 1959, p. 173.
- [3] PIERCE E.T. — *Science Progress*, 45, 62, 1957.
- [4] HOFFMAN W.C. — « The current jet hypothesis of whistler generation », *Plan. Space & Sci.*, 2, n° 1, 1959, p. 72.
- [5] RUMI G.C. — *Journal of Geophysical Research*, 62, 547, 1957.
- [6] SMITH R.L. — « Guiding of whistlers in a homogeneous medium », *Jour. of Res. NBS*, part D, 64, n° 5, 1960, p. 505.
- [7] RIVAULT R. — « Perturbations radioélectriques d'origine terrestre », *L'Onde Electrique*, n° 376, juillet 1958, p. 257.
- [8] BRANDSTATTER J.J. — « The theory of propagation of rays in an inhomogeneous and anisotropic medium », *Stanford Res. Inst.*, 1959.
- [9] YARROFF I. — « Computation of whistler ray paths », *Stanford Research Institute*, 1959.
- [10] GARRIOTT O.K. — « A note on whistler propagation in regions of very low electron density », *Jour. of Geophys. Res.*, 63, 862, 1958.
- [11] IWAI A., OUTSU J. — « On the characteristic phenomena for short whistlers observed at Toyokawa in winter », *Proc. Res. Inst. Atm.*, Nagoya University 5, 53, 1958.
- [12] RIVAULT R., MILLE CORCUFF Y. — « Recherche du point conjugué magnétique de Poitiers. Variation nocturne de la dispersion des sifflements », *Annales de Géophysique*, T. 16, n° 4, 1960, p. 550.

- [13] BUDDEN K.G. — « Effect of small irregularities on the constitutive relations for the ionosphere ». *Jour. of Res. NBS*, 63 D, 2, 135, 1959.
- [14] HELLIWELL R.A., MORGAN M.G. — « Atmospheric whistlers », *P.I.R.E.*, 47, 200, 1959.
- [15] MORGAN M.G., CURTIS H.W., JOHNSON N.C. — « Path combinations on whistler echoes », *P.I.R.E.*, 47, 328, 1959.
- [16] NORTHOVER F.T. — « The propagation of electromagnetic waves in ionized gases with special reference to whistlers », *Jour. Atmos. Terr. Physics*, 17, 158, 1959.
- [17] SMITH R.L., HELLIWELL R.A., YABROFF I. — « A theory of trapping of whistlers in field aligned columns of enhanced ionization », Techn. Rpt n° 3, Radio-Science Lab., Stanford Univ., 1959.
- [18] HELLIWELL R.A. — « Hybrid whistlers and the problem of the whistler paths », *A.G.A.R.D.*, Paris, juin 1959.
- [19] MARTIN L.H. — « Whistlers in the Antarctic ». *Nature* 181, 1958, p. 1796.
- [20] UNGSTRUP E. — « Observations of whistlers and very low frequency phenomena at Godhavn, Greenland ». *Nature*, 184, 1959, p. 806.
- [21] DELLOUE J. — *Journal de Physique & Le Radium*, mai-juin 1960.
- [22] DELLOUE J., GARNIER M. — Note à paraître aux C.R. Acad. des Sci., Paris.
- [23] MORGAN M.G. — U.S. Nat. Com. Report to the XIII Gen. Ass., 1960, Londres, p. 157.
- [24] KIMPARA A. — « The correlation of occurrences of whistlers with geomagnetic activities », *Nature*, 186, 1960, p. 230.
- [25] ALLCOCK G.McK. — « I.G.Y. whistler results », Doc. AG 60/IV/9, Londres, 1960.
- [26] CROUCHLEY J., FINN R.J. — « A study of whistling atmospherics », à paraître dans *Austral. Jour. of Physics*.
- [27] Mlle CORCUFF Y. — « Choix d'un paramètre caractérisant les sifflements radio-électriques », *Ann. de Géophysique*, T 16, n° 1, 1960, p. 128.
- [28] OOTSU J., IWAI A. — « On the characteristic phenomena for short whistlers observed at Toyokawa in winter ». *Proc. of the Res. Inst. of Atmosph.*, Nagoya Univ., 5, 1958, p. 53.
- [29] KIMPARA A. — « On some remarkable characteristics of whistling atmospherics ». *Proc. of the Res. Inst. of Atmos.*, Nagoya Univ., 7, 1960, p. 40.
- [30] ALLCOCK G. McK., MORGAN M.G. — « Solar activity and whistler dispersion », *Jour. Geophys. Res.*, 63, 1958, p. 573.
- [31] GALLET R.M. — « The very low frequency emissions generated in the earth's exosphere », *P.I.R.E.*, 47, n° 2, 1959, p. 211.
- [32] CROUCHLEY J., BRICE N.M. — « A study of chorus observed at Australian stations », *Plan. Space & Sci.*, 2, n° 4, 1960, p. 238.
- [33] HELLIWELL R.A. — U.S. Nat. Com. Report to the XIII Gen. Ass., Londres, 1960, p. 150.
- [34] MARTIN L.H., HELLIWELL R.A., MARKS K. — « Association between aurorae and VLF hiss observed at Byrd Station, Antarctica », Techn. Rpt n° 1, Radio-Science Lab., Stanford Univ., 1960.
- [35] ELLIS G.R.A. — « Low frequency electromagnetic radiation associated with magnetic disturbances », *Plan. Space & Sci.*, 1, n° 4, 1959, p. 235.
- [36] STOREY R.L.O. — « A method to interpret the dispersion curves of whistlers », RPL, Report n° 23, Ottawa, avril 1958.
- [37] ALLCOCK G.McK. — « The electron density distribution in the outer ionosphere derived from whistler data ». *J. Atmo. Terr. Phys.*, 14, 1959, p. 185.
- [38] SMITH R.L. — « The use of nose whistlers in the study of the outer ionosphere », Technical Report n° 6, RadioScience Lab., Stanford Univ., juillet 1960.
- [39] OOTSU J., IWAI A. — « Investigation of the presence of ionized hydrogen in the outer atmosphere using whistler dispersions ». *Proc. of the Res. Inst. of Atmos.*, Nagoya Univ., 6, 1959, p. 45.
- [40] BARRINGTON R.E., NISHIZAKI T. — « Whistler dispersion and exospheric hydrogen ions ». *J. of Geoph. Res.*, 65, n° 9, 1960, p. 2581.
- [41] STOREY R.L.O. — « A method to detect the presence of ionized hydrogen in the outer atmosphere ». *Can. J. of Phys.*, 34, 1956, p. 1153.
- [42] SAO K. — « Researches in the frequency analyses of waveforms of atmospherics ». *Proc. of the Res. Inst. of Atmos.*, Nagoya Univ., 7, 1960, p. 7.
- [43] Report of the British Nat. Com., URSI, Londres 1960, Doc. AG 60/145/IV.
- [44] WATT A.D., MAXWELL E.L. — « Characteristics of atmospheric noise from 1 to 100 kc/s ». *P.I.R.E.*, 45, 1957, p. 788.
- [45] MALAN D.J. — « Recent advances in atmospheric electricity ». Pergamon Press, 1959, p. 557.
- [46] HORNER F. — *Jour. Atmos. Terr. Physics*, 13, 1958, p. 140.
- [47] HEWITT F.J. — « Sources of noise in lightning : radar studies of source » URSI, Londres 1960, Doc. AG 60/IV/7.
- [48] HORNER F., CLARKE C. — « Radio noise from lightning discharges ». *Nature*, 181, 1958, p. 688.
- [49] HILL E.L. — « Electromagnetic radiation from lightning strokes ». *Jour. of the Frank. Inst.*, 263, 1957, 107.

RECOMMANDATION I

(SOUS-COMMISSION DES OBSERVATIONS SYNOPTIQUES
DES SIFFLEMENTS)

1. Données sur la dispersion obtenues pendant l'A.G.I.

L'U.R.S.I. recommande de déterminer, le plus rapidement possible, les valeurs de la dispersion des sifflements à partir des

enregistrements synoptiques de l'A.G.I. et de les publier dans les Annales de l'A.G.I. en même temps qu'une description de la méthode utilisée pour les obtenir.

2. Transmissions spéciales d'impulsions par des stations radioélectriques émettant sur très grandes ondes

Pour étudier la propagation des sifflements et, plus particulièrement, pour localiser dans l'ionosphère les régions d'entrée et de sortie de l'énergie par rapport à la position de la source, l'U.R.S.I. insiste sur l'intérêt qu'il y a à utiliser des impulsions émises spécialement par des stations sur ondes longues et se propageant suivant le même mode. Aussi, l'U.R.S.I. invite les organismes nationaux qui possèdent de telles stations à émettre des impulsions spéciales entre les minutes 50 et 54 passées chaque heure T.U. Il est signalé que la période de 10 minutes qui précède chaque heure ronde convient, dans de nombreux cas, pour la transmission de signaux expérimentaux.

Comme il y a intérêt à ce que ces transmissions soient synchronisées, il est recommandé, chaque fois que cela sera possible, d'adopter trois secondes comme période de répétition des impulsions, la première impulsion de la série commençant 50 mn 00 s après chaque heure T.U.

3. Modification de l'horaire des enregistrements synoptiques

Pour permettre les observations simultanées des sifflements naturels et des impulsions émises par des stations radioélectriques et propagées le même mode, l'U.R.S.I. recommande d'effectuer les enregistrements synoptiques entre les minutes 50 et 52 qui suivent chaque heure T.U., et non plus entre les minutes 35 et 37 ; ce changement se fera le 1^{er} octobre 1960.

4. Programme synoptique réduit

Afin d'étudier la variation séculaire de la dispersion jusqu'au prochain minimum de l'activité solaire, l'U.R.S.I. recommande d'assurer au moins le programme d'observation réduit suivant :

- a) le mercredi, enregistrements horaires aux heures T.U. ;
b) du jeudi au mardi, quatre enregistrements successifs, approximativement centrés sur minuit local, et choisis aux heures T.U. suivantes : 0050, 0350, 0650... 1850, 2150 T.U.

Pour que les observations soient convenablement réparties en latitude, il est recommandé qu'une station, choisie dans chacun des groupes suivants, assure au moins ce programme réduit (le nom de la station proposée est en italiques).

Groupe	Latitude Géomagné- tique approxim.	Stations
A	25°	<i>Toyokawa</i> , Johannesburg
B	35°	<i>Wakkanai</i> , Brisbane, Durban
C	45°	<i>Wellington</i> , Stanford, Bermude, Ushuaia
D	50°	<i>Poitiers</i> , Boulder, Francfort, Greenbank, Moscou, Pruhonice, Unalaska, Dunedin
E	55°	<i>Sattle</i> , Dartmouth, Halifax, Kullungsborn, Ottawa, Stockholm, Kerguelen, Marion Island, Port Lockroy.
F	60°	<i>Moisie</i>
G	65°	<i>Collège</i> , Knob Lake, Ellsworth

On insiste cependant sur l'importance des observations continues tant sur les sifflements que sur les émissions à très basse fréquence, notamment aux latitudes supérieures à 65°.

La date recommandée pour le commencement de ce programme est celle du 1^{er} janvier 1961.

Les stations qui participeront à ce programme enverront les valeurs horaires de la dispersion aux Centres Mondiaux Collecteurs de données, accompagnées d'une description de la méthode utilisée pour les obtenir.

RECOMMANDATION II

La Commission IV recommande que le rapport sur les caractéristiques des bruits radioélectriques d'origine terrestre préparé par un groupe de travail et résumé dans le document AG 60 IV 3, soit publié, après mise au point, comme Rapport Spécial de l'U.R.S.I.

RECOMMANDATION III

Terminologie du bruit radioélectrique d'origine terrestre

La Commission IV recommande que soit adoptée la terminologie ci-après sur le bruit radioélectrique d'origine terrestre.

BRUITS D'ORIGINE TERRESTRE

Perturbations électromagnétiques prenant naissance dans l'atmosphère terrestre et classées dans les groupes et sous-groupes suivants :

a) Bruit atmosphérique

Bruit d'origine terrestre produit par les décharges électriques naturelles au-dessous de l'ionosphère et atteignant le récepteur suivant les chemins habituels de propagation entre la terre et la limite inférieure de l'ionosphère.

Le nom d'*atmosphérique* est quelquefois donné à un individu isolé.

Nota : Les éclairs constituent la principale source de bruits atmosphériques.

Les atmosphériques ont été classés en divers types selon leurs formes d'ondes. Une telle classification des formes enregistrées au moyen de récepteurs basse fréquence à large bande comporte, entre autres, les types suivants :

1. *Les types impulsifs à échos* résultent de réflexions successives entre la terre et l'ionosphère et sont parfois appelés types IV. Ils précèdent certains sifflements et l'impression auditive qu'ils donnent alors est désignée par l'onomatopée « TWEKS ».

2. *Les types non impulsifs* sont des atmosphériques dans lesquels, par suite des conditions de propagation, il se produit une concentration d'énergie dans une bande de fréquence relativement étroite. D'autres termes tels que « quasi-sinusoïdal » sont utilisés pour désigner des types particuliers d'atmosphériques non-impulsifs.

3. *Les types de longue durée*, qui peuvent être impulsifs ou non, proviennent d'éclairs lointains et se propagent avec une faible atténuation. Ils ne sont reçus que de nuit.

Des définitions restent à établir pour d'autres types d'atmosphériques.

b) Bruit ionosphérique.

Bruit d'origine terrestre prenant naissance dans l'ionosphère* et non associé à des sifflements ; il est habituellement lié à des perturbations magnétiques. On a appelé parfois « ionosphérique » un individu isolé. On distingue les types suivants de bruit ionosphérique :

1. *Souffle*. — Bruit relativement stable qui présente de nombreuses propriétés du bruit thermique. En général, le spectre de puissance du bruit dépend de la fréquence et peut présenter des variations de forme et d'intensité dans le temps (avec des périodes de quelques secondes ou davantage).

2. *Emissions discrètes*. — Bruits bien déterminés qui peuvent présenter le caractère de sons et des durées de quelques dixièmes de secondes à quelques secondes ou davantage. On observe souvent une variation déterminée et répétée de la fréquence en fonction du temps.

3. *Chœur de l'aube*. — Série de phénomènes transitoires ou d'émissions discrètes, se répètent à des intervalles de temps plus petits qu'une seconde, avec de fréquents chevauchements. L'abréviation « chœur » est souvent employée.

c) Sifflements.

Bruits d'origine terrestre prenant naissance dans des décharges électriques au-dessous de l'ionosphère et qui se propagent à travers l'ionosphère selon des trajectoires situées dans un milieu fortement dispersif. Un sifflement comprend habituellement une ou plusieurs composantes dont la fréquence instantanée décroît régulièrement à travers le spectre acoustique en un temps allant d'une fraction de seconde à plusieurs secondes. On distingue les types suivants de sifflements :

1. *Nose Whistler*. — Sifflement de tonalité croissant et décroissant simultanément en fonction du temps à partir d'une fréquence instantanée appelée « fréquence de nose ». L'audition seule ne permet pas de se rendre compte du phénomène qui est mis en évidence par l'analyse spectrographique. Aux fréquences voisines de la fréquence de nose l'énergie se comporte comme une impulsion, c'est-à-dire que la variation de la fréquence en fonction du temps devient infinie à la fréquence de nose. Les caractéristiques de dispersion de la partie à fréquence décroissante sont semblables à celles des sifflements qui ne comportent pas cette particularité.

2. *Sifflements multiples*. — Deux ou davantage de sifflements composants séparés par un court intervalle de temps.

Deux types sont nettement différenciés :

a) *Trajectoires multiples* : chaque composante provient de la même décharge.

b) *Sources multiples* : chaque composante provient d'une décharge séparée.

3. *Sifflement court*. — Sifflement qui a fait un seul voyage à travers le milieu dispersif ; on dit encore que l'énergie a fait « un bond ».

4. *Sifflement long*. — Sifflement qui a fait un voyage aller-retour à travers le milieu dispersif ; l'énergie a fait deux bonds.

5. *Sifflement hybride*. — Combinaison d'un sifflement long et d'un sifflement court produits par une même décharge.

6. *Train d'échos*. — Succession de sifflements résultant de parcours répétés de l'énergie initiale à travers le milieu dispersif. Habituellement, les temps qui séparent les arrivées au récepteur des échos successifs sont dans les rapports 1, 3, 5, 7, etc. pour les sifflements courts, et 2, 4, 6, 8, etc. pour les sifflements longs. Les échos dus à des sifflements du type à trajectoires multiples sont parfois séparés par des temps qui sont des combinaisons de multiples entiers du temps correspondant à un bond simple.

d) Interactions.

Bruits complexes possédant à la fois les caractéristiques des sifflements et celles du bruit ionosphérique. Les interactions peuvent être provoquées par les éclairs et présenter les formes soit continues soit discrètes du bruit ionosphérique. Elles sont souvent liées à des perturbations magnétiques.

RECOMMANDATION IV

La Commission IV recommande la formation d'une sous-commission pour continuer l'étude de la terminologie employée pour décrire les phénomènes relatifs au bruit radioélectrique.

RECOMMANDATION V

La Commission IV recommande l'emploi plus étendu, pour les études de propagation, des enregistrements d'amplitude et de phase d'émissions de fréquences étalons. On estime que ces études seraient avantageuses à la fois pour la Commission IV, en fournissant des données sur le milieu de propagation, et pour la Commission I, en améliorant la connaissance des causes de variation des paramètres étudiés. La Commission suggère une collaboration entre les responsables des enregistrements et les spécialistes de la propagation des ondes de basse fréquence.

Sur proposition du Comité Exécutif les recommandations ci-dessus ont été adoptées par l'Assemblée Générale : la Recommandation II a été envoyée au Bureau de l'U.R.S.I. et la recommandation V au Comité de Coordination.

(*) Le terme d'ionosphère doit être entendu ici comme englobant l'ionosphère extérieure aussi bien que les couches régulières.

MESURES DE BRUIT

(Commission IV)

PAR

G. FOLDÈS

Domaine d'activité de la commission IV

Les réflexions teintées d'amertume en tête du rapport précédent de M. RIVALT appellent, sans nul esprit de polémique, mais dans le seul souci d'information, quelques indications complémentaires tendant à expliquer le point de vue de la majorité actuelle de la Commission IV.

L'étude des perturbations radio électriques d'origine terrestre au titre de bruit nuisible aux télécommunications, bruit qu'il faut connaître, chiffrer et prévoir, a retenu jusqu'à présent l'attention de la Commission dans toute la mesure où cette étude comportait des problèmes de caractère scientifique ou jugé tel.

C'est dans les mêmes dispositions d'esprit que fut abordée la question de savoir si le domaine des bruits artificiels devait ou non être inscrit parmi les sujets de préoccupation de la Commission : s'agit-il là ou non, en d'autres termes, d'un domaine soulevant des problèmes de nature scientifique ?

Voici comment peuvent s'analyser, semble-t-il, les raisons qui ont décidé la Commission à adopter en fin de compte une attitude positive à cet égard :

1° Quoique le sujet relève par bien de ses aspects de la compétence d'autres organisations administratives ou industrielles (C.C.I.R., C.I.S.P.R., Services de Radiodiffusion, etc.), il présente une importance de caractère fondamental pour les observatoires ou laboratoires de recherche et soulève ainsi des problèmes de caractère scientifique méritant l'attention de l'U.R.S.I. Un tel problème est celui de la mesure dans laquelle le bruit artificiel est susceptible de modes de propagation à grande distance par voie ionosphérique ou troposphérique par exemple.

2° L'importance du sujet se trouve accrue par le développement de récepteurs à très faible bruit (Masers, amplificateurs paramétriques) : il va de soi que les possibilités d'exploitation des progrès ainsi réalisés restent strictement subordonnées aux possibilités de combattre les bruits artificiels ou d'échapper à ceux-ci.

3° Plusieurs, sinon toutes les commissions de l'U.R.S.I. auront besoin de renseignements à ce sujet, notamment sur les niveaux

probables de bruit artificiel à des lieux de réception aussi calmes et retirés que possible. La recherche d'informations de cette nature semble devoir relever des attributions de la Commission IV.

4° Même sur le plan des principes, la définition classique de la perturbation radioélectrique d'origine terrestre n'exclut pas les bruits artificiels à la seule condition d'admettre que l'humanité et son activité industrielle font partie des phénomènes terrestres. C'est dans un tel esprit que le National Bureau of Standards semble avoir considéré le problème en cherchant à établir une corrélation entre le niveau de bruit artificiel à un lieu donné d'une part, et la nature des agglomérations urbaines environnantes d'autre part : la puissance de bruit serait en première approximation une fonction logarithmique de la population et de la distance des villes situées dans un rayon de 55 km de la station. Il ne peut s'agir là naturellement que d'une première approximation, d'autant plus qu'au cours d'expéditions, des niveaux relativement élevés de bruit artificiel ont pu être constatés à de grandes distances de toute agglomération urbaine.

* * *

Deux séances furent consacrées à Londres aux questions relevant du chapitre des « Mesures de bruit », avec comme sujets respectifs :

1° Les propriétés du bruit naturel :

- a) rapport spécial sur les caractéristiques du bruit radioélectrique d'origine terrestre ;
- b) résultats de l'A.G.I. ;
- c) effets du bruit naturel sur les systèmes ;

2° Les bruits artificiels.

Selon la nouvelle méthode de travail inaugurée à l'Assemblée de Londres, la discussion de chaque de ces sujets fut précédée par un exposé général confié à un membre désigné d'avance à cet effet par le Président de la Commission. C'est ce plan que nous avons nous-mêmes retenu dans la relation qui va suivre des deux séances de travail.

I. Les propriétés du bruit naturel

a) RAPPORT SPÉCIAL SUR LES CARACTÉRISTIQUES DU BRUIT RADIOÉLECTRIQUE D'ORIGINE TERRESTRE

Conformément à la résolution n° 2 de la précédente Assemblée Générale (*Onde Electrique*, n° 378, juillet 1958, pp. 533-537), ce rapport spécial a été développé en vue de sa publication sous la présidence de W.Q. CRICLOW auquel fut naturellement confié le soin de faire l'exposé général sur cette question.

L'impression générale qui se dégage de l'état actuel de ce rapport est que l'Assemblée de Londres marque une phase d'exploitation pratique des méthodes et moyens d'exploration dont la précédente Assemblée de Boulder (1957) a permis l'exacte définition, à la suite de diverses tentatives d'approche encore quelque peu vagues et hésitantes à la Haye (1954). Les recommandations émises à Boulder ont été suivies d'effets : un travail important a été effectué à l'occasion de l'Année Géophysique Internationale grâce aux efforts souvent conjugués des Etats-Unis, du Royaume-Uni et du Japon.

1. Etats-Unis

L'équipement ANR-2 d'enregistrement permanent des niveaux de bruits atmosphériques sur huit fréquences a été reproduit et exploité par le Central Radio Propagation Laboratory du N.B.S. avec la coopération de divers pays [1], dans seize stations réparties autour du globe. Ces seize stations, qui continuent à fonctionner, enregistrent toutes la puissance, et dix d'entre elles enregistrent simultanément la valeur moyenne et la moyenne logarithmique de la tension d'enveloppe du bruit. Tous les enregistrements sont disponibles au N.B.S. à Boulder (Colorado) et les résultats sont régulièrement publiés [2, 3].

Des trois paramètres : Valeur moyenne, moyenne quadratique et moyenne logarithmique, une méthode graphique élaborée à Boulder [4] permettrait de déduire dans tous les cas la courbe de distribution statistique des amplitudes, c'est-à-dire la distribution des temps d'occupation en fonction du niveau. Cette distribution constitue actuellement l'information la plus intéressante disponible sur la structure du bruit, sa gamme dynamique notamment, en entendant par là, l'écart, par exemple, entre le niveau couvert par le bruit pendant 90 % du temps et celui pour lequel le temps d'occupation est de 0,0001 % c'est-à-dire un millionième. La gamme dynamique ainsi définie varie entre 60 et 100 dB en ondes kilométriques pour une bande passante de 1 kHz ; elle diminue naturellement avec la bande passante, la valeur limite de 21 dB correspondant au bruit thermique n'étant atteinte (en ondes kilométriques) que pour une bande passante réduite à 0,2 kHz.

2. Royaume-Uni

Un réseau anglais à trois stations situées à Slough, Singapour et Ibadan (Nigéria) a été mis en exploitation avec des équipements de mesure de la distribution de probabilité des amplitudes dont l'intérêt a déjà été souligné en 1957 : il s'agit d'appareils utilisant des compteurs numériques comptant pendant des intervalles de temps pré-déterminés le nombre d'alternances du signal moyenne fréquence qui dépassent des niveaux de références réglables [5, 6]. Ces équipements permettent également la mesure, et dans certains cas l'enregistrement, des paramètres suivants :

- la cadence de franchissement de niveaux donnés ;
- le niveau moyen de la tension d'enveloppe ;

— la distribution statistique des durées des atmosphériques individuels.

Les mesures sont en général accompagnées d'observations au goniomètre cathodique indiquant la direction de la source et la technique d'enregistrement sur bande magnétique a été également développée en vue d'analyses plus approfondies d'échantillons de bruit [7], de même que l'enregistrement photographique sur film défilant devant l'écran d'un oscillographe cathodique de contrôle.

Le dépouillement à Slough des observations de ce réseau britannique n'a pas permis de trouver de représentation mathématique simple applicable à toutes les circonstances : on se trouve conduit ainsi à envisager une représentation graphique de la distribution [6].

D'autres mesures poursuivies avec des équipements antérieurs [8] ont permis de constater que le rapport valeur efficace : valeur moyenne se situe entre 4 et 8 en ondes kilométriques avec une moyenne de 6 à 10 kHz et de 4 à 30 kHz dans une bande passante de 300 Hz. En ondes décimétriques, vers 11 MHz, ce rapport varie entre la valeur limite de 1,1 correspondant au bruit thermique, et un maximum de 1,5.

On a cherché enfin à situer par rapport à la puissance du bruit celle nécessaire pour une réception télégraphique avec un degré d'intelligibilité de 95 % [9] : ce niveau se situe dans une bande passante de 300 Hz à 7 dB au-dessous de la puissance du bruit à 18 kHz et à un niveau égal à 400 kHz.

3. Japon

Le Comité Japonais a également apporté une contribution soutenue et fort importante à la mise en œuvre du plan de travail élaboré à Boulder. Avec la coordination assurée par Y. AONO des Radio Research Laboratories (R.L.L., Ministère des Postes et Télécommunications) le travail fut réparti entre :

— A. KIMPARA et T. NAKAI du Research Institute of Atmospheres à Toyokawa (Université de Nagoya) pour les ondes kilométriques ;

— T. FUJITA et H. INATOMI du Technical Research Laboratory à Yokoshiba (Radiodiffusion Japonaise) pour les ondes hectométriques ;

— T. ISHIDA des R.L.L. à Ohira pour les ondes décimétriques ;

— K. TOBIYAMA et K. UENO aux Laboratoires situés à Komuro de l'Overseas Telegraph and Telephone Company, pour les ondes décimétriques également.

Le lecteur pourra avantageusement se référer au document [10] qui offre un exposé d'ensemble des méthodes et moyens utilisés à ces diverses stations ainsi que les résultats obtenus. L'effort principal visait dans tous les cas l'obtention des courbes de distribution statistique des temps d'occupation des divers niveaux ; de l'avis des membres américains et britanniques, ces mesures n'auraient pas été poussées suffisamment loin vers les niveaux élevés, c'est-à-dire les valeurs faibles de la probabilité de dépassement. On a accumulé d'autre part de nombreuses informations sur les variations en fonction du temps des niveaux correspondant à un temps d'occupation constant (5 % et 50 % ou 1 % et 50 % par exemple) réalisant ainsi une méthode de travail que nous avons nous-mêmes proposé de développer en France.

Il convient de signaler également les publications [11, 12]

de T. NAKAI concernant plus particulièrement les travaux effectués à Toyokawa sur 50 kHz.

D'autres contributions seront signalées sous les deux titres suivants.

b) RÉSULTATS DE L'ANNÉE GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE

L'exposé général présenté par F. HORNER montre que les travaux effectués pendant l'A.G.I. ont permis des progrès notables sur deux points importants, à savoir :

- la distribution de la puissance de bruit sur le globe,
- une meilleure connaissance de la distribution statistique des amplitudes du bruit.

Les moyens mis en œuvre à cet effet furent considérables et ont gagné non seulement en nombre (27 stations en service en juillet 1957, 51 en décembre 1958) mais surtout en qualité : développement des techniques récentes ci-dessus exposées, étalonnage en valeur absolue, possibilité de comparaisons quantitatives entre informations recueillies en divers lieux et par diverses méthodes.

En matière de distribution géographique de la puissance du bruit les résultats recueillis pendant deux années [2, 13] ont déjà permis une notable amélioration des prévisions du C.C.I.R. [14] dans lesquelles des erreurs dépassant 20 dB ont pu être relevées.

Une réalisation française a pu être signalée dans ce domaine : l'enregistrement de la puissance de bruit par thermocouple selon la méthode directe de F. CARBEKAY [15] offrant le très grand avantage de supprimer les difficultés insurmontables qui résultent dans les méthodes classiques des non linéarités à la détection. Il convient de rappeler que des difficultés pratiques continuent à empêcher un développement important de cette méthode.

La distribution statistique des amplitudes a fait l'objet non seulement des investigations déjà signalées ci-dessous sous a), mais encore en U.R.S.S. à sept stations différentes, de sorte que plusieurs milliers de courbes de distribution obtenues en divers points du globe sur diverses fréquences ont pu faire l'objet d'études comparatives approfondies qui sont encore en cours dans les Centres Mondiaux de l'A.G.I.

Des prévisions du C.C.I.R. ont également fait l'objet de mesures de contrôle notamment en Inde [16, 17, 18, 19, 20] sur la base d'observations subjectives d'une part, et de mesures basées sur des techniques du genre C.I.S.P.R. (quasi-crête) d'autre part, avec une tentative de déduire de ces mesures la valeur de la puissance de bruit. On a pu constater ainsi des écarts allant jusqu'à 40 dB par rapport aux prévisions C.C.I.R. à 2MHz (trop optimistes) : c'est dans cette gamme de fréquences moyennes qu'il est actuellement le plus difficile d'obtenir des mesures correctes surtout de jour, la principale difficulté provenant de la contamination par les bruits artificiels.

Outre les courbes de distribution statistique, on dispose, notamment à Slough, de collections d'enregistrements photographiques et sur bande magnétique, accessibles en principe aux chercheurs d'autres pays, qui se prêtent à des analyses de la structure fine du bruit, de même qu'à des études expérimentales de l'action perturbatrice sur divers systèmes.

En ce qui concerne l'orientation des travaux futurs dans ce domaine, F. HORNER a conclu à la nécessité :

- d'expliquer des écarts pouvant atteindre encore une douzaine

de dB dans certains cas entre des mesures de puissance de bruit par des équipements différents ;

— de compléter encore les résultats actuellement disponibles dans les Centres Mondiaux de façon à couvrir de façon homogène au moins une année complète ;

— d'étendre les mesures de bruit à certaines zones géographiques, notamment dans les régions tropicales et polaires, qui sont encore mal connues ;

— d'entreprendre une étude systématique de la structure fine du bruit, en ce qui concerne notamment les durées des impulsions et des intervalles de silence.

Pratiquement toutes les observations connues ayant été effectuées avec des antennes omnidirectionnelles, il subsiste enfin tout le problème de l'influence de la direction d'arrivée.

c) EFFETS DU BRUIT NATUREL SUR LES SYSTÈMES

Dans l'exposé général A.D. WATT a repris et complété les grandes lignes de l'importante étude théorique et expérimentale que nous avons déjà signalée dans notre précédent rapport (*Onde Electrique*, juillet 1958, p. 534) et qui a été publiée entre temps sous une forme plus complète et plus aisément accessible [21]. Il signale que les études théoriques antérieures de la relation entre les erreurs affectant un système de transmission télégraphique d'une part, et probabilité de dépassement de la tension d'enveloppe du signal par le bruit (c'est à dire le temps d'occupation du niveau du signal), d'autre part, se sont trouvées confirmées par une étude plus récente effectuée au Japon [22]. Il insiste cependant sur le fait que ces résultats théoriques vérifiés par l'expérience restent strictement liés au type considéré de réception télégraphique ; il est à prévoir que tout, écart en ce qui concerne notamment le mode de détection du signal, perturbera profondément les performances obtenues.

La notion de facteur de performance du système (S.P.F.)

$$\text{S.P.F.} = 10 \log_{10} W - 20 \log_{10} c/n$$

où W désigne le débit du système en mots par minute,

c la valeur efficace de la tension de signal, et

n la valeur efficace de la tension de bruit dans une bande passante efficace de 1 kHz,

a été proposée au C.C.I.R. à l'Assemblée plénière de Los Angeles en 1959 [23] au titre de mesure absolue de la performance des systèmes de transmission d'informations en présence de bruits.

Le facteur de performance ainsi défini varie de façon appréciable avec le type de bruit et les caractéristiques du système de transmission, mais il semble se confirmer, et c'est là le point important, que ce facteur de performance reste remarquablement constant pour un système donné lorsque le *type* de bruit (thermique ou atmosphérique) reste lui-même constant.

Pour caractériser complètement un type de bruit on estime nécessaire et suffisant de déterminer des paramètres suivants :

- valeur efficace ;
- distribution statistique des amplitudes d'enveloppe ;
- distribution statistique des durées des impulsions ;
- distribution statistique des durées des intervalles de silence.

Dans une région donnée de fréquences il peut suffire cependant,

en général, de connaître la valeur efficace et la distribution statistiques des amplitudes.

Dans un travail récent non publié, R.W. PLUSH et E.L. MAXWELL ont démontré la possibilité de calculer, sur la base des travaux de SHANNON et WEAVER [24], des valeurs théoriques maximales du facteur de performance. Ainsi, dans le cas d'un système idéal de télétype synchrone à cinq moments et d'un rapport de 2 entre la bande passante et le débit d'information, on trouve pour cette limite théorique la valeur de 34,6 dB. En pratique et en présence du bruit, le facteur de performance augmente avec le taux admis d'erreurs. Pour un télétype à déplacement de fréquence idéal opérant en bruit thermique on a trouvé une valeur optimale de l'ordre de 20 dB ; on a pu obtenir expérimentalement des facteurs de performance réels de l'ordre de 15 à 17 dB en utilisant des appareils d'une réalisation particulièrement soignée opérant à 60 mots/minute avec un déplacement de fréquence de ± 50 Hz. Des valeurs plus réalistes et plus fréquentes se situent entre 0 et 10 dB en présence de bruit atmosphérique.

A.D. WATT et ses collaborateurs ont en vain cherché dans la littérature existante des informations concernant les performances ou la susceptibilité de divers systèmes de transmission en présence de bruit naturel : à part un travail effectué en Afrique du Sud [25], ils n'ont rien trouvé. C'est donc là, pour conclure, un domaine où il reste pratiquement tout à faire.

Au cours de la discussion A.D. WATT a fourni quelques explications sur les conditions d'organisation des essais réels de performance, notamment de liaisons téléphoniques avec des opérateurs humains (mots de code transmis à des cadences de 10 à 20 mots par minute) où les facteurs de performance furent trouvés nettement plus faibles qu'avec le télétype. Le problème se complique naturellement avec l'introduction de non linéarités (écrépages etc.). Pour qu'un circuit puisse être considéré comme sensiblement linéaire en regard du bruit, A.D. WATT a estimé que sa gamme dynamique de linéarité devrait couvrir 50 à 60 dB en ondes kilométriques et une vingtaine de dB dans le bruit thermique.

2. Les bruits artificiels

Dans un exposé général, F.H. DICKSON a passé en revue les différentes sources de bruit artificiel examinées du point de vue d'une part des réclamations auxquelles elles donnent lieu, et, d'autre part, des caractéristiques des phénomènes responsables et des perturbations rayonnées.

Malgré les divers procédés connus de réduction des brouillages peu d'endroits sont épargnés de façon satisfaisante. Ce problème est aggravé par le nombre et la diversité sans cesse croissants des sources de brouillage en même temps que par le développement de récepteurs de grande sensibilité.

On manque actuellement d'informations sérieuses sur les variations statistiques du bruit artificiel en fonction du lieu, du temps et de la fréquence. D'autres études statistiques restent à faire ou à développer sur les relations qui peuvent exister avec la densité de la population, le niveau d'équipement industriel, etc. On signale enfin une fois de plus le défaut de connaissances précises en ce qui concerne la susceptibilité aux brouillages de divers systèmes de communication.

La Commission a examiné ensuite le problème des relations entre l'U.R.S.I. et les diverses autres organisations, notamment le C.I.S.P.R., qui s'occupent des problèmes de brouillage.

F.L. STUMPERS a exposé l'organisation et les activités actuelles du C.I.S.P.R., tandis que C. EGIDI a rappelé les questions soulevées par le C.C.I.R. à ce sujet, dont une à l'attention de l'U.R.-S.I.

F. HORNER et H.E. DINGER ont souligné l'importance que les problèmes de brouillages présentent pour l'ensemble de l'U.R.-S.I., d'où l'opportunité pour la Commission IV de se pencher sur les divers aspects de caractère scientifique que ce problème peut présenter.

Une difficulté provient du caractère arbitraire des mesures usuelles de « type quasi-crête » : la Commission estime qu'il serait préférable de tendre vers des mesures correctes de la puissance du bruit. Une autre difficulté est due au fait que les mesures actuelles se font à des niveaux élevés à proximité des sources, les appareils usuels de contrôle de brouillage n'étant pas assez sensibles pour permettre des mesures convenables à des emplacements relativement éloignés des sources de brouillage, alors que, par ailleurs, l'influence de la propagation est mal connue.

Dans les stations de mesure de bruits atmosphériques du C.R.P.L. les brouillages industriels constituent une gêne considérable. En hiver le bruit artificiel semble être prédominant dans presque toutes les stations dans toute la gamme des fréquences allant de 200 kHz à 5 MHz. C'est sur la base des mesures effectuées dans ces stations que l'on a établi la corrélation que nous avons évoquée ci-dessus (Introduction, 4) : la puissance du bruit délivrée à 1 MHz par une antenne verticale semble être une fonction logarithmique des populations et distances des villes situées dans un rayon de 55 km. On a déduit d'autre part de ces mesures que le bruit artificiel se propagerait le long des lignes de transport d'énergie avec une atténuation d'environ 1/4 dB par kilomètre.

F. HORNER signale la constatation il y a quelques années d'une propagation par voie ionosphérique de bruit radioélectrique urbain sur 2 MHz. K. RAWER indique des observations analogues faites en Australie à l'occasion d'expériences de mesure du rayonnement thermique de l'ionosphère. On ne possède actuellement aucune autre information sur ce problème.

Conclusion

Des progrès fondamentaux ont pu être constatés à Londres dans le domaine de la mesure du bruit atmosphérique et de l'investigation de la structure de ce phénomène si complexe et changeant : grâce aux confonctions de la Haye et de Boulder, les conditions permettant de rendre utilement comparables les observations en divers pays ont pu être définies et réalisées. C'est donc un domaine où l'U.R.S.I. a éminemment rempli un rôle essentiel de coordination internationale indispensable pour l'avancement des connaissances des phénomènes considérés. Il est quelque peu pénible de devoir se faire l'écho de regrets exprimés par nos amis étrangers de l'effacement de la participation française à cette phase d'exploitation d'un succès, alors que l'apport du Comité français avait joué un rôle important dans les travaux d'approche et de reconnaissance du terrain.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CRICHLAW W.Q. — Noise investigation at V.L.F. by the National Bureau of Standards. *Proc. IRE*, 45, 778 (1957).
- [2] CRICHLAW W.Q., SAMSON C.A., DISNEY R.T. and JENKINS M.A. — Radio noise data for the International Geophysical Year, July 1, 1957, December 21, 1958, NBS Tech. Note 18 (1959).
- [3] CRICHLAW W.Q., SAMSON C.A., DISNEY R.T. and JENKINS M.A. — Quarterly radio noise data. March, April, May 1959, NBS Tech. Note 18-2 (1960 a).

- [4] CRICLOW W.Q., ROUBIQUE C.J., SPAULDING A.D. and BEERY W.M. — Determination of the amplitude-probability distribution of atmospheric radio noise from statistical moments. *J. Research NBS*, 64 D, 49 (1960 b).
- [5] CLARKE C. — Atmospheric noise structure. *Electronic Technology*, 37, 5, 197-204 (1960).
- [6] CLARKE C. — A Study of atmospheric radio noise received in a narrowbandwidth at 11 Mc/s. *Proc. I.E.E.*, 107, B, 33, 311-319 (1960).
- [7] CLARKE C. — The use of magnetic tape recording in the study of atmospheric radio noise. *Electronic Technology*, 37, 9, 346-349 (1960).
- [8] HARWOOD J. — Atmospheric radio noise at frequencies between 10 kc/s and 30 kc/s. *Proc. I.E.E.*, 105, Pt. B, 293 (1958).
- [9] HARWOOD J. and HARDEN B.N. — The measurement of atmospheric radio noise by an aural comparison method in the range 15-500 kc/s. *Proc. I.E.E.*, 107, Pt. B, 53 (1960).
- [10] Compilation of data in Japan for Atmospheric Radio Noise during the International Geophysical Year 1957-58. Science Council of Japan, Ueno Park, Tokyo, March 1960.
- [11] NAKAI T. — Atmospheric noise study by measurement of the amplitude probability distribution, *Proc. Research Inst. of Atmospherics*. Nagoya Univ, 5, 30 (1958).
- [12] NAKAI T. — A Study of Atmospheric Noise at 50 kcs. *Ibid.* 1959, 6, p. 22.
- [13] GATES D.M. — Preliminary Results of the National Bureau of Standards Radio and Ionospheric Observations during the International Geophysical Year. *Journ. of Res. of the Nat. Bur. Stds.*, 1959, 63 D, 1.
- [14] C.C.I.R. — Revision of Atmospheric Radio Noise Data. Report n° 65. International Telecommunication Union, Geneva, 1957.
- [15] CARBENAY F. — Enregistrement de la valeur quadratique moyenne du bruit atmosphérique. *Comptes Rendus Acad. Sci.*, Paris, 1959, 249, 67.
- [16] AIYA S.V.C., PHADKE K.R., PADMANABHAN S.V. and SANE C.K. — Atmospheric Radio Noise Levels at Poona in the 2.5-20 Mc/s Band. *Journ. of Sci. and Industrial Res.* (India) 1958, 17 B, 47.
- [17] AIYA S.V.C. and KHOT C.G. — Atmospheric Noise Interference in the Standard Broadcast Band at Poona. *Ibid.*, 1959, 18 B, 54.
- [18] AIYA S.V.C. — Average Power of Impulsive Atmospheric Radio Noise. *Proc. I.R.E.*, 1959, 47, 92.
- [19] GHOSH B.B. and MITRA S.N. — Measurement of Atmospheric Noise. *Journal of the Institution of Telecommunication Engineers* (India), 1958, 5, 2.
- [20] GHOSH B.B. and MITRA S.N. — On the need for Revision of Noise Grades for India. *Ibid.*, 1959, 5, 194.
- [21] WATT A.D., COON R.M., MAXWELL E.L., and PIUSH R.W. — Performance of Some Radio Systems in the Presence of Thermal and Atmospheric Noise. *Proc. IRE*, Vol. 46, n° 12, pp. 1914-1923, December 1958.
- [22] FURUHASHI I. and TADENUMA K. — Binary Errors in FSK System in the Presence of Thermal and Atmospheric Noise. *Communication privée* (Kobusa Denshin Denwa Co., Tokyo, Japon).
- [23] C.C.I.R. — Vol. 3, 1959, Los Angeles, pp. 43-49.
- [24] SHANNON C.E. and WEAVER W. — *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, 1949.
- [25] HEWITT F.J. and HOGG D. — Tests on the MKX Decca Receiver in Atmospheric Noise. CSIR Research Report n° 164, 1960, South African Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, Union of South Africa.

TENDANCE DES MÉTHODES DE MESURE EN RADIOASTRONOMIE (Commission V)

PAR

E. J. BLUM

Observatoire de Meudon

Les méthodes de mesure évoluent rapidement en radioastronomie comme d'ailleurs dans les autres branches de la science moderne. Il s'agit en effet d'une accélération du progrès qu'on peut appeler « normale », et nous allons d'abord en indiquer les grandes lignes. Nous montrerons ensuite que le développement des instruments de la radioastronomie est aussi dû à des causes originales et que, de plus, on a pu dès maintenant prévoir des limites théoriques pour quelques types de mesures. Enfin, nous serons amenés à décrire avec quelques détails certains instruments dont les caractéristiques nous paraissent propres à illustrer cette évolution. Nous insisterons sur le fait qu'un radiotélescope constitue un tout, dans lequel les propriétés du récepteur et de l'antenne sont étroitement liées et doivent être étudiées simultanément dans bien des cas ; mais il ne sera évidemment pas question de donner un tableau complet de tous les types d'instruments existants.

Evolution normale

Tout d'abord le processus normal du progrès a deux causes bien simples : davantage d'argent et de personnel, et on ne peut certes pas négliger ces raisons : en 1950 par exemple, quelques années déjà après les débuts de la radioastronomie, il existait 5 ou 6 équipes de recherche dans le monde, comprenant chacune 5 à 10 membres. Dix ans après, il existe au moins 2 à 3 fois plus d'équipes importantes, c'est-à-dire fortes de 30 à 40 personnes, et les investissements ont augmenté de la même façon, pour atteindre des sommes cumulées de l'ordre de 0,3 milliard de NF pour l'ensemble du monde. Il est à prévoir que l'essor des recherches spatiales dont certaines méthodes dérivent directement de celle de la radioastronomie entraînera celle-ci à un développement encore plus rapide.

Il y a quelques années, les radioastronomes ont utilisé largement les récepteurs mis au point pour les besoins du radar et, de la même manière à présent, l'emploi des nouvelles méthodes de réception à faible bruit s'est répandu rapidement : maser, amplificateurs paramétriques et ses variantes, tube d'Adler en particulier ont déjà permis l'observation d'objets émettant un rayonnement extrêmement faible. En échange, les radioastronomes ont fait profiter d'autres disciplines des techniques qu'ils connaissent bien : alimentations de haute stabilité, amplificateurs à caracté-

ristiques de gain et de phase stables, dispositifs unidirectionnels à faibles pertes par exemple.

Nous mentionnerons aussi l'évolution des méthodes d'enregistrement : l'emploi des bandes perforées se répand, au moins pour les observations de phénomènes relativement simples ; en particulier dans le procédé dit « d'antennes synthétiques » que nous décrirons plus bas, les mesures, sous forme de rubans perforés, passent nécessairement dans une calculatrice électronique, pour donner un résultat utilisable.

Enfin il est bien évident que les connaissances astrophysiques acquises depuis le début de la radioastronomie rendent chaque jour plus facile l'établissement du projet d'un nouvel appareil : l'ère des radiotélescopes simples et presque universels est révolue ; un instrument est maintenant conçu selon un programme bien défini à l'avance et limité et ceci malgré la complexité et le coût croissant des radiotélescopes récents.

Les antennes classiques

Comme pour les récepteurs, les premières antennes utilisées en radioastronomie avaient été prévues pour les radars ; maintenant, les miroirs paraboliques de 25 m de diamètre largement répandus, en particulier pour la recherche spatiale, ont été dessinés en premier lieu pour les radioastronomes. A ce sujet, il est bon de s'arrêter un peu sur la course au gigantisme à laquelle nous assistons : nous savons qu'avec l'augmentation des dimensions d'une antenne, on gagne simultanément en sensibilité et en pouvoir séparateur, au moins pour des objets petits par rapport au lobe. Malheureusement en même temps, à longueur d'onde c'est-à-dire tolérance de fabrication fixe, le prix croît environ comme le cube de l'ouverture.

En Hollande, après la découverte de la raie 21 cm, on étudia avec beaucoup de soin le projet d'un instrument destiné aux études galactiques sur cette longueur d'onde et une dimension raisonnable fut déterminée en fonction des tolérances à respecter : 1 à 2 cm sur la surface, 1' sur les angles, soit un diamètre de 25 m. L'appareil était terminé en 1956 et a donné depuis des résultats importants, aussi bien pour l'étude de la raie 21 cm que pour des études sur notre galaxie sur 400 et 1390 MHz.

Depuis, au moins 200 antennes analogues ont été montées, surtout aux Etats-Unis, la plupart pour des recherches spatiales

(Fig. 1) ; quelques-unes destinées à la radioastronomie ont des tolérances de quelques millimètres, correspondant à une longueur d'onde minimale de 3 cm, des progrès équivalents ayant été réalisés dans la précision du guidage, le chiffre de 2'' a même été avancé.



FIG. 1.

Auparavant, en Angleterre, l'équipe du professeur LOVELL, après d'excellentes observations à l'aide d'une parabole fixe au sol de 75 m de diamètre, avait décidé la construction d'un instrument orientable également de 75 m de diamètre et prévu pour une longueur d'onde limite de 50 cm ; après la découverte de la raie 21 cm, le projet fut modifié, mais en cours de travaux, d'où une augmentation considérable du prix et du délai de fabrication.

On peut se demander si un programme de mesure limité et une extrapolation prudente des solutions éprouvées ne sont pas quelquefois préférables à des anticipations hardies ; ainsi en Australie, on achève actuellement un autre miroir de 75 m de diamètre, orientable, mais avec un champ réduit en déclinaison et dessiné à l'origine pour 21 cm de longueur d'onde limite.

Enfin, aux Etats-Unis, tandis que l'Université de Cornell termine le montage d'une parabole fixe de 300 m de diamètre, la marine a entrepris la construction d'un instrument de dimension analogue, mais orientable ; les sommes engagées pour ce dernier projet dépassent actuellement 0,2 milliard de NF.

Des solutions particulières

Cette tendance au gigantisme des antennes se retrouve dans la construction de certains récepteurs à haute sensibilité : nous avons signalé le maser ; un tel appareil nécessite de l'hélium liquide pour fonctionner dans de bonnes conditions et cela conduit finalement à des têtes haute fréquence pesant plusieurs

centaines de kilogs et d'une extrême complexité, au foyer d'un grand miroir.

Heureusement, dans bien des cas, des solutions originales ont permis aux Radioastronomes de réaliser des mesures particulières avec des instruments infiniment moins compliqués et moins coûteux, et ce sont ces méthodes que nous allons examiner maintenant.

Il nous faut revenir tout d'abord sur quelques notions fondamentales qui conditionnent nos observations : nous cherchons à déterminer pour chaque direction de l'espace l'énergie reçue sur une certaine gamme de fréquence, et ceci pendant un temps fixé ; de plus, il existe trois types d'objets célestes.

Pour le Soleil, nous recevons relativement beaucoup d'énergie le problème de la sensibilité est plus simple que ceux de pouvoir séparateur et de connaissance spectrale, et notre temps de mesure est limité par la durée propre de beaucoup de phénomènes. Pour les mesures sur 21 cm, il s'agit d'une structure de raie ; l'énergie reçue est très faible, mais on dispose de temps et le pouvoir séparateur n'a pas toujours à être grand. Les radiosources et le fond galactique ont un spectre simple, décroissant vers les hautes fréquences ; le problème de la sensibilité est alors plus difficile à résoudre ; le pouvoir séparateur doit évidemment être excellent pour permettre des mesures de position précises, menant éventuellement à une identification optique, mais là encore le temps de mesure peut être long. Dans le tableau ci-dessous nous avons résumé ces questions, en notant par 0, 1 ou 2 croix l'ordre de difficulté croissant.

	Sensibilité	Pouvoir séparateur	Temps de mesure	Spectre
Soleil		× ×	× ×	×
21 cm	× ×	×		× ×
Sources	× ×	× ×		

Dès le début de la radioastronomie, le problème du pouvoir séparateur dont le tableau précédent permet de mesurer l'importance, a été résolu d'une façon élégante par l'emploi des procédés interférométriques voisins de ceux de Michelson en optique. Sous sa forme la plus simple cette méthode consiste à coupler 2 antennes au même détecteur (fig. 2) ; le diagramme de rayonnement de l'ensemble est de la forme $g^2(\theta) \cos \frac{2\pi l \theta}{\lambda}$, si $g(\theta)$ représente le diagramme de chaque antenne. La puissance

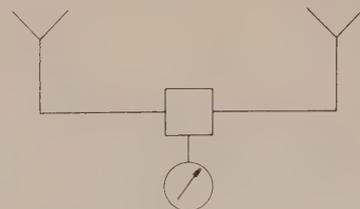


FIG. 2. — Interféromètre à 2 antennes distantes de l .

de ce procédé vient de ce qu'il est possible d'obtenir par plusieurs mesures successives avec des espacements variables d'antennes simples tous les résultats que donneraient une antenne de grande dimension ou bien de rassembler en une seule observation avec des antennes convenables juste l'information nécessaire à un problème particulier. L'exemple le meilleur de ce dernier cas est l'interféromètre à réseau pour les mesures solaires, utilisé d'abord en Australie sur onde décimétriques [1], et dont nous avons des

exemples en France sur ondes métriques et centimétriques (fig. 3). Le diagramme d'antenne d'un tel réseau à N éléments,

venant d'une source ponctuelle traversant le ciel sera une sinusoïde dont la fréquence est bien déterminée ; de la même façon,



FIG. 3. — Le réseau E-O à 16 antennes, sur $\lambda = 3$ cm de la Station de Nançay.

en $\frac{\sin^2 N\theta}{N^2 \sin^2 \theta}$ est représenté sur la figure 4 et se prête exactement aux études envisagées : l'espacement des lobes a évidemment été choisi pour que le Soleil de diamètre D se trouve toujours

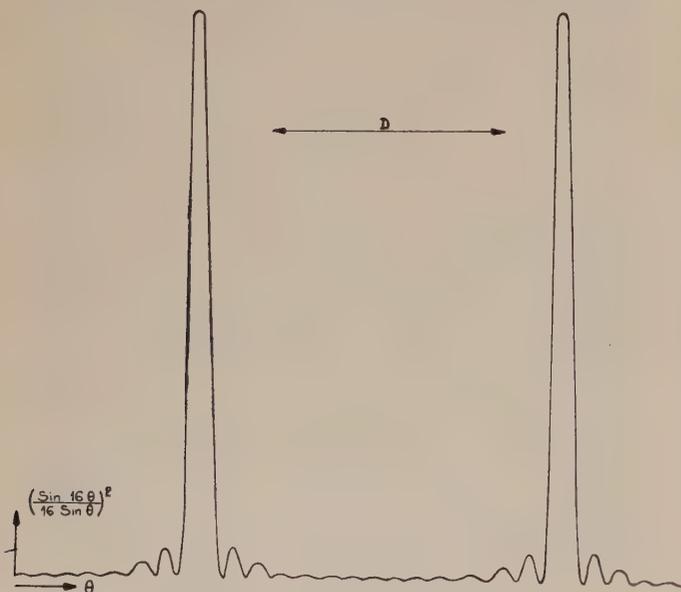


FIG. 4.

devant un seul des lobes ; le mouvement diurne fera passer le soleil successivement devant les lobes d'un réseau orienté Est-Ouest, d'où plusieurs observations sans déplacement des antennes.

La méthode des fréquences spatiales

Pour étudier l'interférométrie en général, il est bon d'introduire la notion de fréquence spatiale. Si nous prenons deux antennes de petites dimensions par rapport à leur distance, l'énergie détectée,

sur une antenne quelconque, on peut considérer la réponse au passage d'une source ponctuelle, comme la composition des différentes fréquences spatiales données par tous les couples de points de l'antenne ; cette réponse est l'équivalent, dans la théorie des circuits, de la réponse à l'impulsion unité. A la bande passante du circuit correspond la bande passante spatiale de l'antenne, qui est la transformée de Fourier de la réponse. Le pouvoir séparateur se mesure par la fréquence spatiale la plus élevée que « passe » l'antenne, et on comprend bien que l'on puisse jouer sur la forme de ces bandes pour favoriser une mesure particulière, ou qu'on puisse obtenir une bande déterminée par addition des réponses de plusieurs interféromètres non simultanés.

La méthode des fréquences spatiales n'est évidemment qu'un moyen d'étude mais extrêmement puissant et il a été largement développé ces dernières années en optique, aussi bien qu'en radio, particulièrement dans notre pays [2, 3, 4]. Les résultats ont été fructueux : la conception et le développement des instruments très particuliers que nous allons passer en revue ont été fortement influencés par ces idées.

Exemples d'instruments originaux

La croix de Mills [5] réalise la synthèse d'un miroir de grande dimension en ne conservant que les parties nécessaires à la connaissance de tous les harmoniques spatiaux que donnerait le miroir complet (fig. 5) ; il y a évidemment perte de surface,

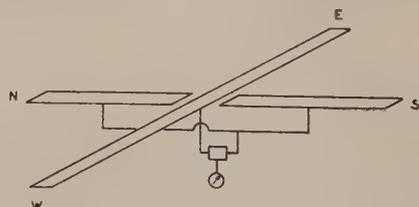


FIG. 5.

donc de sensibilité, mais nous verrons dans la suite qu'aux longueurs d'ondes où MILLS a observé, la sensibilité est moins importante que le pouvoir séparateur.

Dans « l'antenne synthétique » réalisée à Cambridge [6] c'est sur le facteur temps qu'on joue : une antenne orientée Est-Ouest et continue est couplée à une antenne plus petite qui peut se déplacer sur des rails Nord-Sud ; à chaque position sur ces rails le résultat des mesures est enregistré sur bande perforée, et l'ensemble des enregistrements correspondant à une série de positions N-S permet de reconstituer par synthèse la réponse qu'aurait eue une antenne complète dont les dimensions extérieures auraient été respectivement les distances extrêmes des 2 antennes dans les directions N-S et E-O (fig. 6).

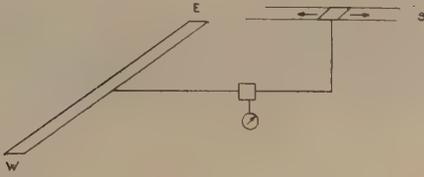


FIG. 6.

Sous une forme plus simple un interféromètre à 2 antennes à distance variable est installé à la Station de Nançay, mais là on utilise le facteur temps pour augmenter la sensibilité, et pas seulement pour synthétiser une antenne complète fournissant tous les harmoniques d'espace. Pour une distance fixée la fréquence des franges est déterminée et on peut réaliser à l'aide de compteurs l'équivalent d'un filtre accordé sur cette fréquence et à très faible bande, permettant donc un temps d'intégration long (de l'ordre de l'heure dans notre cas) : on a pu ainsi avec deux antennes de 7,5 m de diamètre atteindre la même sensibilité qu'un appareil classique de 25 m de diamètre [7].

Ces quelques indications montrent que les radioastronomes disposent d'une panoplie d'instruments variés, développés souvent grâce à une bonne connaissance du problème de mesures dont la méthode par fréquences spatiales est une des meilleures bases.

A ce sujet il faut noter qu'on a pu classer les radiotélescopes en deux catégories, suivant que leur bande spatiale contenait ou ne contenait pas la fréquence zéro (ce qui se traduit par la possibilité de mesurer ou non un fond continu de grande largeur angulaire). La plupart des appareils récents font partie de la seconde catégorie qui comporte un avantage important au point de vue technologique : disparition sur l'enregistrement du niveau moyen de bruit produit par le récepteur [8].

Un autre développement récent de l'interférométrie radio a été l'appareil proposé par HANBURY BROWN et TWISS [9] : il permet de mesurer une fréquence spatiale en présence de scintillation, avec l'inconvénient d'être relativement peu sensible.

Le problème de la confusion

Les indications que nous venons de donner sur quelques instruments mettent en évidence les relations entre le temps de mesure, le système d'antenne, le procédé de détection ; de la même manière les études récentes sur la « confusion » ont démontré que les questions de pouvoir séparateur et de sensibilité ne pouvaient souvent pas être traitées séparément. Ce problème trouve son origine dans le premier catalogue de radiosources

fait à Cambridge, sur 2 m de longueur d'onde, et qui comportait environ 2 000 objets. D'autres observateurs retrouvèrent les objets les plus émissifs, mais pour les plus faibles, on s'aperçut d'inexactitudes notables. En fait le pouvoir séparateur de l'instrument était trop faible pour sa sensibilité : le catalogue était limité par la confusion [10].

Au contraire, sur ondes décimétriques c'est toujours la sensibilité qui limite les observations, le pouvoir séparateur étant surabondant. Comme le spectre des radiosources varie avec la fréquence, ainsi que la sensibilité des récepteurs, et que le pouvoir séparateur est fixé pour une dimension D d'instrument, SMITH a pu en prenant des chiffres raisonnables pour la sensibilité (0,1 °K) et pour le degré de confusion (nombre de sources par largeur de lobe : 1/20) dresser un graphique où une série de droites représente la variation du pouvoir séparateur et l'autre celle des sensibilités limites, en fonction de la longueur d'onde (en abscisse), l'échelle des ordonnées étant le nombre de sources détectables (fig. 7). Ce graphique, bien qu'approximatif, montre

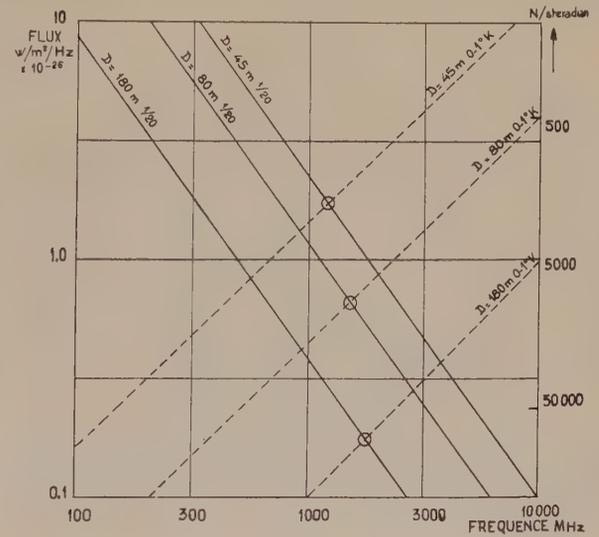


FIG. 7.

clairement qu'il existe une zone de fréquences privilégiée pour ce genre de mesures, se situant entre 15 et 30 cm de longueur d'onde ; notons au passage que cette région contient la raie 21 cm. Il montre aussi qu'à moins d'augmenter considérablement la dimension des antennes, une limite dans ce genre de mesure sera atteinte d'ici peu de temps, la sensibilité étant elle aussi limitée par des facteurs dont nous allons parler plus bas.

Le grand instrument de Nançay (fig. 8)

La décision de construire un grand instrument en France a été prise lorsque ces questions ont été bien comprises, et bien que nous en soyons seulement au stade des essais d'une partie prototype (Fig. 9, 10) nous pouvons donner quelques détails sur cet appareil. Il s'agit d'un instrument méridien à 2 miroirs, un plan mobile et un sphérique fixe, le cornet récepteur pouvant être déplacé dans le plan focal sur une distance correspondant à une excursion de $\pm 70^\circ$ dans le ciel en ascension droite. 21 cm est la longueur d'onde fondamentale de ce Radiotélescope bien qu'il soit prévu pour avoir un rendement acceptable jusqu'à 12 cm environ ; les tolérances ainsi déterminées par ces longueurs d'onde ont permis de fixer les dimensions pour une réalisation industrielle sans difficultés extrêmes et relativement économique.

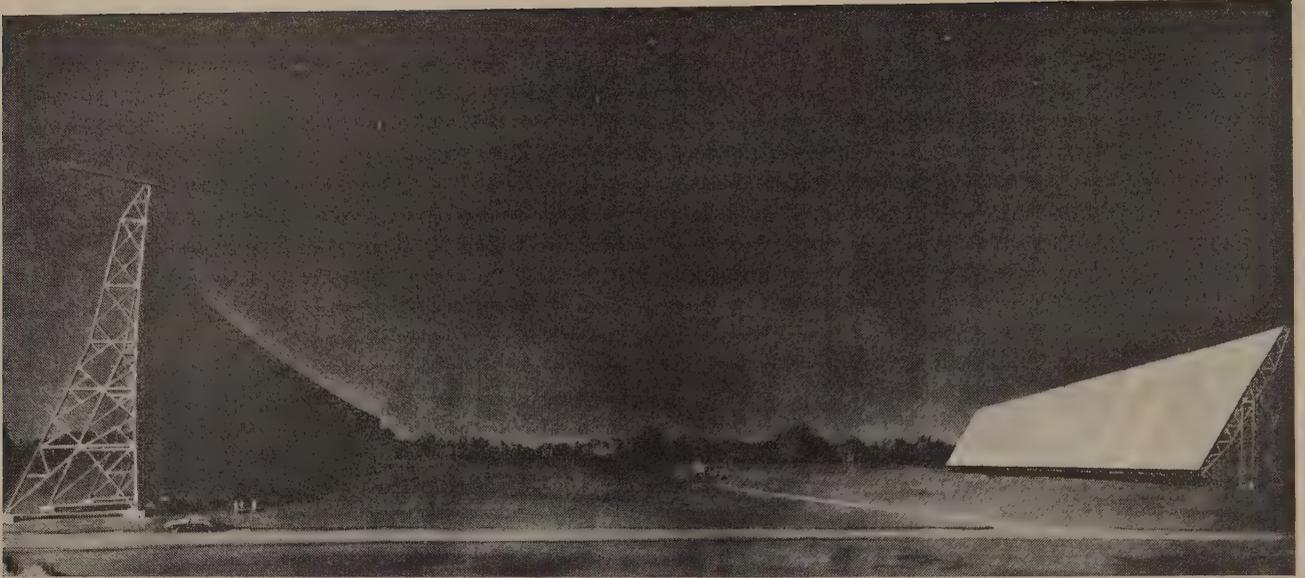


FIG. 8. — Projet du grand Radiotélescope de Nançay ; miroir fixe : 35×300 m ; plan mobile : 40×200 m, distant l'un de l'autre de 460 m



FIG. 9. — Le plan mobile : partie prototype achevée (40×40 m)

La surface totale de captation sera double de celle de la parabole de Manchester, correspondant donc à un miroir parabolique de 100 m de diamètre, soit le quart de la parabole mobile en construction aux Etats-Unis, et ceci pour un prix 50 fois moindre environ.

Conclusion

Quelles que soient les solutions adoptées, il paraît exclu dans un avenir proche que la course aux grandes surfaces dépasse beaucoup les 10 ou 100 000 m² des réalisations en cours ou en projet. De la même façon, il semble que les progrès considérables dans la sensibilité théorique des récepteurs que nous avons notés plus haut soient limités en pratique par les propriétés du radiotélescope dans son ensemble. En effet, un maser, par exemple, a une température de bruit de l'ordre de la dizaine de degrés absolus. C'est bien inférieur à la température de tous les éléments du radiomètre : transmission du cornet au récepteur, surface d'antenne, etc. On peut s'arranger à limiter les pertes de ces éléments, et par là rendre négligeable leur contribution au bruit du radiotélescope ; mais l'antenne possède des lobes secondaires, non seulement proche du lobe principal, mais aussi dans



FIG. 10. — Le miroir sphérique : partie prototype achevée (35×60 m)

tout l'espace. Ils sont faibles, mais un grand nombre d'entre eux sont dirigés vers le sol dont la température est voisine de 300 °K. Une énergie fluctuante non négligeable atteint le récepteur par cette voie et on n'a pas su, jusqu'à présent, la faire décroître au-delà de 20 °K environ. De grands efforts sont entrepris pour chercher à réduire cette contribution, surtout en étudiant soigneusement la source primaire. Il reste encore le ciel qui possède

dans son ensemble une émission propre de quelques degrés absolus à 21 cm et de plus l'absorption et la réfraction ionosphérique et troposphérique ont un effet non négligeable, sans parler des projets de couche réfléchissante artificielle qui ont été proposés récemment.

Toutes ces considérations conduisent à une sensibilité limite de l'ordre de 0,01 °K qu'il paraît exclu de dépasser beaucoup ; comme nous avons vu que pour les grands instruments les investissements étaient déjà considérables et que, pour gagner un facteur 2 sur la surface, il faudrait multiplier encore le prix par 8, il nous semble raisonnable de conclure en disant que les méthodes de mesure de la radioastronomie atteignent un palier, au moins pour un problème fondamental : la sensibilité.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHRISTIANSEN W.N. et MATHEWSON D.S. — *Proc. I.R.E.*, 46, 1958, p. 127.
 - [2] ARSAC J. — *Optica Acta*, 3, 1956, p. 55.
 - [3] BRACEWELL R.N. — *I.R.E. Trans Ant. et Prop.*, AP 9, 1961, p. 59.
 - [4] MARÉCHAL A. et FRANÇON M. — *Diffractions, Structure des Images*, 1960, Editions de la Revue d'Optique, Paris.
 - [5] MILLS B.Y., LITTLE A.G., SHERIDAN K.V. et SLEE O.B. — *Proc. I.R.E.*, 46, 1958, p. 67.
 - [6] RYLE M. — *Nature*, 180, 1957, p. 110.
 - [7] LEQUEUX J., LE ROUX E. et VINOKUR M. — *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 634
 - [8] BLUM E.J. — *Ann. Ap.*, 22, 1959, p. 139.
 - [9] BROWN R., HANBURY et TWISS R.Q. — *Proc. Roy. Soc., A* 243, 1957, p. 291.
 - [10] BROWN R., HANBURY et HAZARD C. — *M.N.R.A.S.*, 119, 1959, p. 648.
-

ONDES ET OSCILLATIONS

(Commission VI)

PAR

Mlle E. MOURIER

*Professeur à l'Ecole de Physique et Chimie,
Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Poitiers*

R. FORTET

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris

L. ROBIN

*Docteur ès Sciences,
Ingénieur en Chef des Télécommunications au C.N.E.T.*

et J. LOCHARD

*Ancien élève de l'Ecole Polytechnique
Ingénieur Radioélectricien E.S.E.*

Introduction

Avant l'Assemblée générale de Londres en 1960, la VI^e Commission de l'U.R.S.I. n'avait pas adopté de programme de travail plus détaillé ni plus limitatif que celui qui était représenté par les titres de ses trois sous-Commissions :

Théorie de l'Information
Théorie Electromagnétique
Théorie des Réseaux.

Ces sujets étant très vastes, on assistait lors des réunions à la lecture très rapide de très nombreuses communications, d'objets et d'intérêts trop divers ; les discussions, qui auraient dû constituer l'essentiel des réunions, ne pouvaient être que confuses, faute de pouvoir être organisées.

Conformément aux décisions prises à la réunion préparatoire de Bruxelles, la Commission a adopté un certain nombre de sujets à discuter à l'Assemblée Générale de Londres, à l'exclusion de tout autre.

Les sujets choisis étaient soit assez nouveaux ou mal connus, d'application assez générale pour susciter l'intérêt des chercheurs, et bien délimités pour donner lieu à des exposés précis et des discussions fructueuses.

Dans cette organisation, le Président de la Commission, ou le Président de séance nommé par lui, a la charge de désigner les conférenciers principaux qui essaieront de dégager les méthodes générales de traitement du sujet, et des conférenciers secondaires qui exposeront des méthodes ou des applications particulières et contribueront à animer les discussions.

Malgré les difficultés de réalisation d'une telle organisation à l'échelle internationale et la charge qu'elle a imposée aux Présidents, la méthode s'est révélée très fructueuse, les conférences

principales étaient intéressantes et les discussions plus animées que lors des Assemblées précédentes. Quelques documents faisant le point complet d'une question ont été soumis par les chercheurs d'U.R.S.S.

1. Propagation dans les milieux statistiquement inhomogènes

I. I. V. TWERSKY dans sa communication « Processus de diffusion lors de la propagation dans un milieu statistiquement inhomogène », traite le problème de la propagation dans un milieu qu'il décrit comme rempli par de petites sphères diélectriques en état de turbulence. Partant de conditions aux limites sur une surface, il les étend au cas de plusieurs surfaces et étudie des valeurs moyennes des fonctions solutions. Il introduit des approximations et une extension des équations de Maxwell. L'auteur insiste sur le fait que, partant de l'expérience, il construit une théorie qu'il contrôle ensuite par l'expérience. Le problème est celui de la comparaison d'un comptage et d'une distribution théorique.

L'expérimentation est réalisée à l'aide de boules de mousse plastique maintenues en mouvement par un violent courant d'air ascendant ; un faisceau sortant d'un guide d'ondes traverse le centre de cette colonne et on mesure le champ de l'autre côté.

Dans la discussion Samuel SILVER (Professeur à l'Université de Berkeley, Président de la Commission VI) a fait observer que la théorie est basée sur la possibilité d'inverser l'ordre de certaines intégrations : ceci n'est possible que si les variables sont séparables ; en outre, on postule que les propriétés statistiques du système sont stationnaires. Effectivement, en considérant les relations :

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad \vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

on peut affirmer que dans le cas de variations faibles et lentes, les ε et μ moyens ont un sens et qu'on peut leur ajouter un terme de perturbation. Dans le cas de variations rapides, il y a lieu de partir d'équations de Maxwell modifiées par l'addition d'un terme supplémentaire dépendant des moments magnétique et électrique des éléments diffusants.

Ces deux modes de traitement de la question supposent en outre que chaque élément est petit devant la longueur d'onde et que, les vitesses étant faibles, l'effet Doppler-Fizeau peut être négligé.

TWERSKY a répondu que les équations de Maxwell supposant a priori l'existence d'une continuité, il préfère partir d'un modèle discret et prendre ensuite des moyennes, ce qui exige le minimum d'hypothèses physiques. Le dispositif expérimental employé est tel qu'effectivement les vitesses ainsi que l'effet Doppler qui en résulte sont négligeables. Il précise en outre qu'il a supposé que la distribution des diffuseurs n'était pas influencée par le champ électromagnétique, comme cela pourrait se produire si ces éléments étaient des électrons.

L'auteur remarque enfin qu'il apporte une méthode d'ordre général, sans référence spéciale à la troposphère. Dans chaque cas, il faut introduire la physique du système par le choix d'une distribution de probabilité. Les possibilités de détermination de cette distribution conditionnent l'application de la théorie à un problème physique déterminé.

1.2. J.C. SIMON a exposé le travail fait à la C.S.F., avec la collaboration du C.N.E.T. sur l'« Etude expérimentale de la structure fréquentielle instantanée de la propagation en milieu hétérogène ». On a déterminé les propriétés statistiques d'un trajet de propagation troposphérique transhorizon à l'aide d'un émetteur modulé en fréquence par des dents de scie. A chaque balayage on obtient à la réception un résultat qui varie d'un balayage à l'autre ; en somme un résultat est tiré au sort ; on peut étudier son spectre moyen et diverses statistiques. D'après l'analyse statistique, il semble qu'il n'y ait pas de corrélation entre le niveau moyen et le nombre de dépassements d'un niveau donné. M. SIMON a attiré l'attention sur la prudence avec laquelle il faut considérer des statistiques portant sur un temps long. L'intérêt principal de ces expériences est de séparer les variables temps et espace. L'objet de ces études est d'aboutir à la conception d'un système pratique de liaison qui permettrait d'assurer une certaine économie de puissance et de matériel (par exemple en utilisant deux antennes au lieu de quatre) en choisissant à chaque instant et automatiquement la fréquence porteuse la plus favorable.

1.3. En leur absence M. STUMPERS a lu une communication de SIFOROV, PROSIN et TSIKABOV sur les propriétés des voies de radiocommunications contenant des milieux statistiquement inhomogènes.

C'est une revue étendue et assez détaillée des méthodes suivies et des principaux résultats des études menées en U.R.S.S. et ailleurs sur :

a) la propagation dans les milieux turbulents : questions de bande passante, de phénomènes transitoires, de distorsions, de comparaison des différents types de modulation, de trajets multiples.

b) La capacité des voies dont les propriétés varient dans le temps (travaux de SIFOROV cités ci-dessous et d'autres auteurs).

Une abondante bibliographie est donnée.

2. Application de la théorie de l'information à l'étude des voies dont les propriétés varient dans le temps

2.1. M. LOEB a résumé le très intéressant travail où SIFOROV a cherché à déterminer la capacité d'une voie dont les propriétés varient dans le temps d'une façon assez lente (c'est-à-dire par exemple dans le cas où la variation est négligeable pendant la durée d'un signal élémentaire ou pendant la durée maximale admissible de l'intervalle d'échantillonnage). L'auteur distingue deux cas, traités de façon inégale :

A. Le cas général, très proche des cas réels, des voies à trajets multiples comportant un nombre fini de trajets, chacune étant affectée d'une variation d'absorption et d'une variation de temps de parcours, toutes deux aléatoires.

Quand la largeur de bande totale des variations (c'est la somme des largeurs de bande, supposées limitées, des fonctions aléatoires stationnaires du temps décrivant tous les paramètres variables des trajets) est suffisamment faible par rapport à la largeur de bande de la voie, la capacité n'est pas affectée par ces variations, c'est-à-dire qu'elle est limitée par le bruit comme pour les voies à propriétés fixes. Quand la largeur de bande totale des variations augmente, la largeur de bande de la voie restant fixe, il arrive un point où la capacité baisse brusquement, même en l'absence de bruit. A partir de cette valeur, ce n'est plus le bruit additif qui limite la capacité de la voie, mais le bruit des variations.

B. Le cas simple d'une voie à trajet unique (pas de retard aléatoire) affectée d'une absorption aléatoire (que l'on peut considérer comme un bruit multiplicatif). Ce cas peut être traité quantitativement d'une façon beaucoup plus complète que le précédent.

Quand les variations de l'absorption sont lentes, la diminution de capacité de la voie est faible. L'auteur donne des inégalités qui permettent de déterminer si on se trouve dans l'un des trois cas :

a) capacité déterminée par les variations de l'absorption seule ;

b) capacité déterminée par l'effet combiné de ces variations et du bruit additif ;

c) capacité déterminée par le bruit additif.

Enfin, pour employer au mieux une telle voie, on a intérêt à employer une partie de la bande disponible comme voie de mesure de niveaux, et à effectuer une commande automatique du gain.

Cette théorie de SIFOROV se heurte aux difficultés déjà connues à propos de la théorie de l'information de SHANNON :

a) celle de la construction d'un code optimal.

b) celle des conditions de validité de la formule de HARTLEY SHANNON.

2.2. Dans un travail présenté par M. ZADEH, SILVERMAN et SZE-HOU-CHANG ont cherché à déterminer les différentes probabilités intéressantes dans le cas d'une voie binaire (en général sans mémoire, ou avec une faible mémoire à la MARKOV) dont les propriétés varient dans le temps.

Cette variation est considérée comme un choix exercé par la Nature sur le signal transmis par la voie. On distingue d'abord quatre cas, selon que l'émetteur et le récepteur connaissent ou non le choix de la Nature. On distingue en outre ceux où la Nature est indifférente (brouillage accidentel) et ceux où la Nature est

malveillante (brouillage intentionnel : d'après l'étude de BLACKWELL et alia dans *Ann. Math. Soc.* 1960 : « Capacity of Channels under Jamming »).

M. FORTET a fait remarquer qu'il faudrait en outre distinguer le cas où le récepteur sait que l'émetteur connaît le choix de la nature, et le cas contraire.

2.3. M. ZADEH a présenté ensuite un travail analogue de G.L. TURIN intitulé « Probabilité d'erreur », dans le cas d'une réception idéale, binaire et symétrique, en présence de bruit et de fluctuations lentes non sélectives ». On considère une voie avec fluctuations, sur lesquelles on fait des hypothèses, et on se ramène au problème du choix d'une fonction $f(t)$ qui est transformée en :

$$a f(t - \tau) e^{i(2\pi f_0 t - \theta)}$$

en supposant que a et θ seuls sont aléatoires et que $f(t)$ est limitée dans le temps.

2.4. M. J. LOEB a exposé les résultats d'un travail intitulé « Note sur les voies variant aléatoirement dans le temps » où il vérifie et précise les conclusions de SIFOROV, dans le cas particulier des voies binaires. Comme dans les travaux qu'il a déjà publiés (Annales des Télécommunications, février 1954 et janvier-février 1958) l'auteur caractérise les propriétés stochastiques de la voie par la matrice de probabilités :

$$M = \begin{bmatrix} a & 1-b \\ 1-a & b \end{bmatrix}$$

Dans ces conditions, plusieurs voies en cascade sont caractérisées par un produit de matrices et les voies variant aléatoirement dans le temps sont caractérisées par des matrices de même forme, mais dont les éléments sont aléatoires.

Le déterminant de ces matrices donne une idée de la qualité de la communication.

Il faut estimer a et b et choisir le code correspondant ; si les éléments varient lentement, le code peut être construit et l'erreur peut être rendue arbitrairement petite, particulièrement dans le cas où la voie est symétrique ; dans le cas contraire, l'auteur n'a pu indiquer de moyen pratique de détermination. Il fait remarquer que le point de vue de TURIN est différent car, dès le départ, ce dernier suppose que les fluctuations sont lentes.

2.5. Enfin GREEN a discuté les propriétés statistiques de la voie du système de transmission JANET, qui utilise comme réflecteur les traînées ionisées des météorites. Cette théorie utilise le modèle mathématique de G.L. TURIN exposé dans la même séance.

3. Codage des informations

3.1. Dans une communication générale intitulée « Codage applicable à des systèmes pratiques de communication », P. ELIAS réfute les objections qui ont été faites contre les systèmes de codage théoriques et qui tendent à démontrer que ceux-ci ne peuvent être mis en pratique :

a) il n'est plus vrai aujourd'hui que l'on ne sache pas réaliser les machines de codage et décodage.

b) Le prix de ces machines n'est pas disproportionné avec le prix total d'installation d'une liaison radioélectrique à grande distance.

c) La construction d'un code suppose bien connues les propriétés statistiques de la source : ceci est effectivement vrai pour le code « optimal », mais si ces propriétés sont mal connues, l'emploi d'un code est susceptible d'améliorer le « rendement » de la liaison, sans le rendre maximal.

d) Il est de même nécessaire de connaître les propriétés statistiques de la voie : mais ces propriétés n'étant que lentement variables en général, il est suffisant de les connaître grossièrement.

e) L'emploi des « codes séquentiels » est susceptible de lever les objections relatives à la lenteur des opérations de codage et de décodage.

En conclusion, l'auteur estime qu'il faut envisager sérieusement l'emploi pratique des systèmes de codage et donne quelques indications sur le travail à faire dans cette direction.

3.2. H.C.A. Van DUUREN a présenté l'essentiel des travaux exposés complètement dans le document intitulé « Probabilité de l'erreur et vitesse de transmission sur les liaisons où l'on assure la détection des erreurs et la répétition automatique des signaux ».

En termes généraux, le problème envisagé dans ce rapport peut s'énoncer ainsi :

il existe des détecteurs d'erreur, c'est-à-dire des organes qui, recevant un caractère, décident qu'il est correct, ou au contraire qu'il est erroné ; mais on peut concevoir un détecteur qui, suivant le cas :

— décide que le caractère est correct ;

— décide que le caractère est erroné ;

— ou encore décide qu'il y a doute et demande une répétition de l'émission du caractère : le bruit n'étant pas le même à l'émission et à la répétition, celle-ci apporte un supplément d'information, qui permettra mieux de décider entre correct et erroné, mais au prix naturellement d'une perte de temps.

L'idée est très voisine de celle de l'Analyse Séquentielle en Statistique.

Mais ce problème de caractère très général est discuté par M. Van DUUREN d'un point de vue structurel pratique, et dans un cadre très circonscrit, celui d'un système analogue à celui qui porte son nom (connu des radioélectriciens sous le nom de T.O.R.) et qui est spécialement adapté à la télégraphie.

3.3. M. SIFOROV a adressé à l'U.R.S.I. un rapport d'ensemble sur les recherches concernant le codage effectuées en U.R.S.S. par un groupe important ayant à sa tête A.N. KOLMOGOROV. Il cite comme travaux précurseurs ceux de KOTELNIKOV, SHANNON, AGEYEV, MOMOT ; ensuite comme théories de base celles de KOLMOGOROV, KHINCHIN, YAGLOM, DOBRUSHIN.

Il est difficile de résumer ce rapport d'ensemble accompagné d'une importante bibliographie (63 références Russes). Quelques points particuliers peuvent être signalés :

a) Les Russes se sont intéressés à l'idée du décodage séquentiel.

b) Ils ont étudié le choix optimal (c'est-à-dire rendant minimale la probabilité d'erreur) des signaux représentant les caractères. Ce problème est étudié également à la Faculté des Sciences de Paris.

c) SIFOROV signale des applications à l'économie, idée qui ne semble pas avoir été présentée ailleurs.

3.4. Quelques points de la discussion relative aux codes méritent d'être retenus :

a) Dans le cas d'une voie binaire symétrique, un code valable dans des conditions peu favorables est a fortiori valable dans des conditions plus favorables ; ceci n'est plus vrai pour une voie dissymétrique (d'après BLACKWELL et BRAIMANN).

b) Des codes non linéaires peuvent être préférables à des codes linéaires. Mais d'une façon générale il est difficile de comparer les efficacités de systèmes différents ; des procédés de simulation pourraient rendre service à cet égard.

4. Méthodes de l'électromagnétisme : problèmes de valeurs aux limites

4.1. M. R. TIMMANN a présenté une communication sur « la représentation du champ diffracté par une bande au moyen d'intégrales », étude dûe à lui-même et à M. R.E. KLEINMAN.

Ces auteurs donnent les solutions rigoureuses, sous forme d'intégrales, des deux problèmes suivants :

1° diffraction d'ondes électromagnétiques par un écran plan parfaitement conducteur qui comporte une fente ;

2° diffraction produite par une bande parfaitement conductrice en présence d'une source électromagnétique linéaire.

A cet effet, les auteurs considèrent d'abord des familles de solutions de l'équation de Helmholtz en coordonnées elliptiques (deux dimensions), qui satisfont à des limites variables. Les sources sont représentées par des expressions adaptées à ces solutions.

Sur une question de M. L. ROBIN, M. TIMMANN répondit qu'aucun calcul numérique n'a encore été fait sur ces deux problèmes. Des calculs pourraient être envisagés dans le cas d'ondes planes, mais une étude mathématique complémentaire serait d'abord nécessaire, en vue de la simplification des formules obtenues.

4.2. M. K.M. SIEGEL a présenté ensuite une communication sur la diffraction dans « la région de résonance », c'est-à-dire celle qui est intermédiaire entre la région des grandes longueurs d'ondes (*Rayleigh*) et celle des petites longueurs d'ondes (*Kirchhoff*). Le problème de cette « région de résonance » consiste d'une part à déterminer les amplitudes de diffraction dans la région où aucun développement asymptotique (ou convergent) n'est valable ; d'autre part à déterminer la longueur de cette région.

En ce qui concerne la longueur de la région de résonance, l'auteur pense qu'en l'absence de singularité sur le corps diffractant, la longueur de cette région est fonction du rapport de la dimension maximale du corps parallèlement à la direction moyenne du vecteur de Poynting (direction de propagation) à la dimension maximale perpendiculaire à ce vecteur : lorsque ce rapport est grand, la région de résonance est grande et inversement.

M. SIEGEL étudie notamment les cônes (fermés) et les ellipsoïdes de révolution allongés. De nombreuses courbes sont projetées, qui comparent les résultats théoriques (développements asymptotiques) et expérimentaux. Il résulte de celles-ci que les

développements asymptotiques sont excellents pour les cônes, même dans la « région de résonance », et au contraire sans valeur, dans cette même région, pour les ellipsoïdes.

En conclusion, la « région de résonance » ne constitue un vrai problème que dans le cas d'objets diffractants grands dans le sens de la direction de propagation et petits dans le sens perpendiculaire, et lorsque, en outre, il n'existe pas de sources locales de réflexion importantes. Un exemple d'une telle source importante est la base d'un cône.

4.3. M. V. FOCK a exposé ses idées sur la diffraction et parlé des travaux sur cette question, effectués en U.R.S.S. de 1957 à 1960.

L'auteur rappelle d'abord que les propriétés des corps diffractants sont caractérisées par la valeur de la constante diélectrique complexe,

$$\eta = \varepsilon + i \frac{\tau}{\omega}$$

où ε désigne la constante diélectrique, τ la conductivité et ω la pulsation. Si $\sqrt{|\eta|}$ est très grand, cas fréquent, le champ à l'intérieur du corps est très petit, excepté dans la coque de KELVIN. On peut tenir compte de l'influence de celle-ci en imposant les conditions de FOCK-LEONTOVICH au champ extérieur, le long de la surface diffractante :

$$\vec{j} = \gamma^{1/2} (\vec{E} - n E_n) = \vec{n} \wedge \vec{\mathcal{H}}$$

où \vec{n} désigne le vecteur unité sur la normale extérieure, E_n la composante normale du champ \vec{E} , et \vec{j} la densité vectorielle de courant superficiel. Il suffit alors d'étudier le champ électromagnétique, à l'extérieur du corps diffractant, d'où une importante simplification.

Pour un tel solide dont toutes les dimensions et tous les rayons de courbure sont de l'ordre de a , trois domaines de fréquences sont à considérer ($k = \frac{\omega}{c}$) :

1° le domaine quasi-statique : $ka \ll 1$,

2° le domaine intermédiaire : $ka \simeq 1$,

3° le domaine optique : $ka \gg 1$.

A ces domaines, correspondent les méthodes suivantes :

Pour le premier, les solutions de l'électrostatique auxquelles on ajoute des termes correctifs (développements limités suivant les puissances de ka , et éventuellement un facteur logarithmique).

Dans le second, les solutions rigoureuses et les méthodes numériques.

Dans le troisième, l'optique géométrique avec ses modifications et généralisations variées, l'optique physique et les solutions asymptotiques.

L'auteur insiste sur les méthodes numériques, utilisables dans le domaine intermédiaire, et sur les méthodes asymptotiques valables dans le cas quasi-optique. Les méthodes numériques, qui ont donné lieu à divers travaux russes intéressants, consistent fréquemment à réduire les problèmes posés à la résolution d'équations intégrales linéaires, cette résolution étant ramenée elle-même à celle d'un système infini d'équations algébriques linéaires, par approximations successives. De leur côté, les expressions asymptotiques sont précieuses dans le domaine quasi-optique, où, bien que simples, elles peuvent être pratiquement exactes.

4.4. M. FOCK a signalé ensuite le travail de L. VAINSHTEIN donnant de nouvelles solutions de problèmes de valeurs aux limites, relatifs à des conducteurs cylindriques de longueur finie, sous forme de sommes de produits $f(x) e^{ikx}$, où x est la longueur le long du conducteur et $f(x)$ une fonction qui varie beaucoup plus lentement que e^{ikx} .

Enfin le conférencier a fait remarquer que les méthodes numériques et celles du domaine quasi-optique sont complémentaires. Plus les méthodes du domaine quasi-optique seront bonnes, moins on aura besoin de calculs numériques directs et vice versa.

4.5. Les orateurs suivants sont intervenus dans la discussion générale :

M. TWERSKY a donné un exemple d'application de la transformation de LAPLACE aux problèmes de diffraction.

M. SAERMARK a exposé brièvement la résolution du problème de la diffraction d'une onde plane par un système de bandes parallèles et celle du problème complémentaire de la diffraction d'une telle onde par des fentes parallèles dans un écran plan parfaitement conducteur. Ces travaux comportent un nouveau théorème d'addition des fonctions de MATHIEU et ont été poussés jusqu'aux calculs numériques inclusivement.

M. ROBIN a signalé un travail de M. POINCELOT sur la question de l'unicité des solutions des problèmes de diffraction d'ondes électromagnétiques. Cette étude montre que l'unicité est assurée, dans le cas des surfaces lisses, par l'observation des conditions aux limites classiques et par la condition de rayonnement à l'infini. Dans le cas de surfaces présentant des arêtes, la condition aux arêtes de BOUWKAMP et MEIXNER est, en outre, nécessaire.

M. POINCELOT généralise cette condition pour une arête courbe plane. Au sujet de ce travail, M. SILVER rappelle que les questions d'existence et d'unicité des solutions des équations de Maxwell ont été étudiées par Cl. MULLER dans son livre « *Grundprobleme der mathematischen Theorie elektromagnetischer Schwingungen* ».

4.6. Dans une séance supplémentaire, le Professeur V. FOCK a donné deux exemples d'application des méthodes numériques à la résolution des problèmes de valeurs données aux limites. Ces deux exemples sont relatifs à un cylindre circulaire creux de longueur finie et ont été traités par P.L. KAPITSA, V.A. FOCK et L.A. VAINSHTEIN.

Dans le premier, il s'agit du problème d'électrostatique. Les auteurs calculent d'abord le potentiel d'une simple couche, formée d'une distribution de charges superficielles de densité donnée. Ils étudient ensuite le système infini d'équations intégrales linéaires du type FREDHOLM de première espèce, qui relie ce potentiel à la densité de charge, celle-ci étant l'inconnue. En représentant ce potentiel, calculé à la surface du cylindre et la densité de charge sous forme de séries de polynômes de CHEBYSHEV, le problème précédent est ramené à la résolution de systèmes infinis d'équations algébriques linéaires. Les solutions numériques de ces systèmes sont obtenues par des méthodes d'itération. Les éléments des matrices de ces systèmes sont eux-mêmes calculés par intégration d'équations différentielles ou, pour des cylindres courts, par sommation de séries. Des fonctions spéciales classiques (de BESSEL et de LEGENDRE), en outre des polynômes précédents, interviennent dans cette étude.

Dans le second exemple, il s'agit d'oscillations électromagnétiques symétriques, le cylindre étant infiniment conducteur. La symétrie consiste en ce que le courant est partout parallèle aux génératrices du cylindre et a une distribution uniforme sur la

section droite de celui-ci. Naturellement, le champ exciteur possède la symétrie correspondante. On a ici à résoudre une seule équation intégrale linéaire du type FREDHOLM de première espèce, mais dont le second membre n'est pas complètement connu. La résolution de cette équation est elle-même ramenée à celle d'une infinité d'équations algébriques linéaires. Les raisonnements et les transformations sont assez longs et compliqués. Les équations algébriques sont encore résolues par une méthode d'itération. On compare les résultats de la méthode proposée avec ceux de la théorie des antennes minces à l'émission (HALLEN, LEONTOVICH et LEVIN). Une autre comparaison est faite avec la méthode de résolution précédente des problèmes statiques analogues : pour être praticable, celle-ci suppose qu'on a affaire à des cylindres assez courts.

Cet important travail des trois auteurs russes est à comparer avec celui fait en France par P. POINCELOT « La répartition du courant le long d'une antenne cylindrique à l'émission » (1955).

5. Méthodes de l'électromagnétisme : ondes de surface

5.1. Une grande partie de la séance sur les ondes de surfaces a été consacrée à l'exposé du rapport du groupe de travail de l'URSI sur les « ondes de surface électromagnétiques » par WAIT, ZUCKER et BARLOW.

WAIT, après avoir examiné les principales formules relatives à la propagation le long d'un sol plan, à partir d'un dipôle (travaux de SOMMERFELD et de NORTON) montre que l'on ne peut donner une définition unique de l'ordre de surface, car la propagation, dans ce cas, peut se ramener à l'addition de trois ondes différentes, soit une onde d'espace et deux ondes de surface dont l'une peut être appelée « Onde de surface de NORTON », l'autre « Onde de surface piégée »

ZUCKER étend la discussion à d'autres cas : guide fermé, guide ouvert, surfaces cylindriques et sphériques et montre que dans ces différents cas, les définitions de la ou des ondes de surfaces ainsi que leurs propriétés sont différentes.

BARLOW propose finalement la définition suivante : « Une onde de surface est une onde qui se propage le long de la surface de séparation entre deux milieux, sans rayonnement ; un tel rayonnement étant considéré comme signifiant que de l'énergie empruntée au champ de l'onde de surface a été transformée en une autre forme d'énergie ».

5.2. M. SIMON a exposé les études faites à la C.S.F. sur deux types nouveaux d'antennes considérées comme des antennes à onde de surface. La première, due à MM. BROUSSAUD et SPITZ est l'« Antenne saucisson » à rayonnement axial, constituée par une hélice conductrice entourant une ligne bifilaire.

La deuxième due à MM. ROBIEUX et MAILLET, est dérivée de la précédente par le raisonnement dit de BABINET. Elle se compose de deux longues fentes, pratiquées dans un plan métallique et comprise entre deux plaques diélectriques. Elle est alimentée par un câble coaxial.

Les deux antennes donnent un gain assez élevé (15 à 20 dB par rapport à l'isotrope) dans une bande d'une octave.

5.3. Les travaux de MILLER et TALANOV constituent une revue d'ensemble, analogue à celle du groupe de travail, des travaux effectués sur les ondes de surfaces. Les différents cas sont passés en revue encore plus complètement : 93 références bibliographiques sont citées ; une revue de cette envergure ne peut guère être résumée.

QUELQUES ASPECTS DE L'ÉLECTRONIQUE MODERNE (Commission VII)

PAR

P. GRIVET, M.Y. BERNARD et A. SEPTIER

*Laboratoire d'Electronique de la Faculté des Sciences
Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires*

La Commission VII est la dernière née de l'Union Radio-scientifique Internationale ; elle porte le titre de « Radioélectronique » ce qui lui confère le droit de s'occuper un peu de tout... Fort heureusement un programme limitatif avait été sagement choisi, et s'il fallait trouver un titre général pour le définir, on pourrait adopter « Electronique appliquée à la recherche spatiale ». Le sujet central était constitué par les *amplificateurs à faible bruit* (amplificateurs moléculaires et paramétriques) auxquels la première réunion a été consacrée. Mais il fallait bien étudier également les éléments des circuits nécessaires, et une séance a été attribuée aux *propriétés des ferrites en hyperfréquences* ; une séance portant sur les *circuits entièrement à l'état solide* avait été organisée par la Commission VI ; la Commission VII y a aussi participé. Dans l'espace, la seule source d'énergie qui puisse être utilisée est le soleil ; la commission a donc consacré une séance à la *conversion de l'énergie*. Ces quatre séances préparatoires ont mené à une séance commune, organisée conjointement par les Commissions V, VI et VII, sur les *récepteurs à très haute sensibilité*.

Signalons enfin que la Commission VII a consacré une dernière séance aux *phénomènes de plasma*, sujet d'actualité indépendant des cinq autres précédentes rubriques.

Amplificateurs moléculaires et paramétriques

Séance tenue le mardi matin 6 septembre, sous la présidence de A.M. PROKHOROV (U.R.S.S.).

N. BLOEMBERGEN (U.S.A.) a présenté un rapport remarquable sur les MASERS qui ne sont pas, comme pourrait le croire le lecteur bien intentionné de l'Oxford English dictionary « A large drinking bowl originally made of hard wood, probably maple... » mais plutôt, depuis TOWNES, des « Molecular Amplifiers by Stimulated Emission of Radiation ». Le fonctionnement de ces appareils suppose que le niveau quantique de plus haute énergie est plus peuplé que le niveau de basse énergie, ce qui est en opposition avec la thermodynamique des états d'équilibre. Pour arriver à une telle distribution, trois procédés sont employés qui relèvent tous de l'analyse très poussée de FEYNMANN :

— la *séparation dans l'espace* des particules situées sur chaque niveau, ce qui permet, par des diaphragmes convenables, d'agir sur la population de chaque niveau. C'est le principe du premier maser à ammoniac de C.H. TOWNES ;

— *inversion brutale de deux niveaux* dont l'énergie est permutée, mais pas la population ; ordinairement, ce système ne fonctionne en maser que pendant un court instant, la relaxation thermique ramenant l'équilibre de BOLTZMANN ; cet amplificateur pulsé reste intéressant pour le radar. D'autre part, on imagine en France (BENOIT, GRIVET) un maser nucléaire à fonctionnement continu basé sur l'utilisation d'un courant d'eau ;

— *utilisation de trois niveaux quantiques* ; un pompage (optique, acoustique, hertzien...) fait monter les particules du plus bas niveau jusqu'au plus haut, d'où elles redescendent sous l'influence de la relaxation thermique. C'est la technique imaginée en France par M. KASTLER.

Après cette présentation des procédés de fabrication de l'état instable à populations inversées, le rapporteur décrit un maser fonctionnant avec des ions paramagnétiques (Cr^{+++}) et utilisé pratiquement comme préamplificateur à faible bruit ; on obtient un circuit donnant un gain de 20 dB, dont la température de bruit « totale » est de l'ordre de 100 °K ; mais la seule partie de ce bruit originaire du maser lui-même (essentiellement de bruit JOHNSON) correspond à une température de 2 °K.

A la fin de l'exposé, les principales applications du maser ont été passées en revue (horloge atomique, magnétomètre, amplificateurs à faible bruit, maser infrarouge et optique...). Tous ces appareils fonctionnant, formellement, comme des circuits à contre réaction ; le gain G est lié à la largeur de bande par la relation $\sqrt{G} \Delta f = \text{cte}$ de sorte qu'il y a intérêt à avoir des fréquences élevées.

H. HEFFNER (U.S.A.) a présenté ensuite un exposé sur les amplificateurs paramétriques, qui sont connus depuis fort longtemps, surtout sous la forme des « oscillateurs paramétriques » comme le circuit oscillant LC où la capacité est modulée à une fréquence double de la fréquence propre du circuit. Si la phase de cette modulation est convenable, des oscillations prennent naissance et s'amplifient. L'auteur explique ensuite l'intérêt des relations dites de « MANLEY et ROWE ». Ces auteurs

ont montré que tout circuit dans lequel un élément non linéaire assure le couplage entre plusieurs impédances, peut fonctionner en amplificateur paramétrique. Si l'on injecte dans un tel élément une puissance P_0 à la fréquence f_0 (pompage) et une puissance P_1 à la fréquence f_1 (signal d'entrée) il apparaît dans le circuit toutes les fréquences de la suite :

$$f_{mn} = mf_1 + nf_2$$

à cause de l'existence d'un élément non linéaire. On montre que si P_{mn} est la puissance créée par l'élément non linéaire à la fréquence f_{mn} , on a les relations :

$$\sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} n \frac{P_{mn}}{f_{mn}} = 0 \quad \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} m \frac{P_{mn}}{f_{mn}} = 0$$

Dans le cas particulier où le montage est conçu de telle façon qu'outre les fréquences f_1 et f_0 , seule la fréquence f_2 , telle que $f_2 = f_1 + f_0$ puisse exister, ces relations deviennent

$$\frac{P_0}{f_0} + \frac{P_2}{f_2} = 0 \quad \frac{P_1}{f_1} + \frac{P_2}{f_2} = 0$$

Elles expliquent un fonctionnement possible de l'amplificateur paramétrique ; on injecte, à la fréquence f_1 la puissance P_1 et on obtient à la fréquence f_2 la puissance P_2 (P_1 et P_2 sont bien de signe contraire) ; le gain est f_2/f_1 . Mais pour que ce schéma fonctionne il faut injecter à la fréquence de pompage f_0 une puissance P_0 (P_0 est bien positif, si P_2 est négatif).

Toute la difficulté réside dans la réalisation d'une impédance non linéaire, de qualité adéquate : elle doit être facile à « pomper », elle doit permettre la réalisation d'un appareil de largeur de bande assez grande, sans pour cela mettre en œuvre des éléments, qui soient des sources de bruit.

L'auteur décrit trois types de réalisations pratiques :

— l'amplificateur à ferrites ; un appareil réalisé par DENTON, avec un grenat d'yttrium à une largeur de bande de 100 kHz à 4 500 MHz. Il faut 400 mW pour actionner le « pompage ».

— l'amplificateur utilisant, comme élément non linéaire une diode jonction polarisée à l'envers, équivalente à une capacité dont la valeur dépend du voltage. JONES et HONDA ont réalisé un tel montage dont les caractéristiques sont :

fréquence d'entrée	410 MHz
fréquence de sortie	9 227 MHz
puissance de pompage	25 mW
gain	14 dB
largeur de bande	3,8 MHz
niveau de bruit	0,6 dB

— l'amplificateur à faisceaux d'électrons, mettant en œuvre soit la fréquence de plasma (onde de charge d'espace) soit la fréquence cyclotronique, comme l'appareil réalisé par ADLER et WADE qui donne un gain de 20 dB et une largeur de bande de l'ordre de 90 MHz. C'est l'importance de cette large de bande qui fait l'intérêt des tubes hyperfréquences.

Après ces deux exposés généraux, trois courtes communications ont terminé la séance.

B. LAX (U.S.A.) a présenté quelques récents travaux du « Lincoln laboratory », décrivant en particulier un maser utili-

sant un rubis, qui donne un gain de 27 dB avec une largeur de bande de 10 MHz autour de 41 500 MHz.

P.K. TIEN (U.S.A.) décrit quelques montages réalisés dans les laboratoires du Bell telephone laboratory, en particulier un amplificateur paramétrique, utilisant des diodes à Ga.As.

Enfin KIDA et ses collaborateurs (Japon) présentent un amplificateur paramétrique à diode, donnant 10 dB. de gain et 300 MHz de largeur de bande autour de 6 000 MHz. Le pompage s'effectue sous la fréquence de 12 100 MHz. et exige une puissance de 36 mW. La diode se compose d'une « moustache » d'un alliage d'argent à 4 % de gallium sur une plaque de germanium type n.

Propriétés des ferrites en hyperfréquences

Séance tenue, en commun avec la commission VI, le mercredi matin 7 septembre, sous la présidence de M. POLDER (Pays-Bas).

B. LAX (U.S.A.) présente un rapport général traitant plus particulièrement des divers points ayant donné lieu à des recherches importantes durant les dernières années. L'exposé a porté sur trois types de problèmes :

— le comportement des ondes électromagnétiques dans les guides ou les cavités, en présence d'un matériau ferromagnétique ;

— les propriétés physiques de base des matériaux limitant les applications possibles vers les hautes puissances H.F. ;

— enfin, les applications à différents problèmes particuliers : générateurs d'harmoniques et coupleurs unidirectionnels.

L'auteur examine tout d'abord les propriétés d'une cavité rectangulaire remplie totalement de diélectrique et, montre que, suivant les directions respectives du champ magnétique continu \vec{H}_0 appliqué à la cavité et du champ électrique haute fréquence \vec{E} .

on peut obtenir 3 modes fondamentaux, si \vec{H}_0 est parallèle à \vec{E} et un seulement, si \vec{H}_0 est perpendiculaire à \vec{E} . Ce cas peut être traité par une analyse mathématique relativement simple. L'auteur envisage ensuite le cas d'une cavité cylindrique de section circulaire ayant un cylindre de ferrite disposé suivant son axe Oz et soumis à un champ magnétique \vec{H}_0 parallèle à Oz.

B. LAX signale ensuite les recherches, tant théoriques qu'expérimentales, qui ont trait aux phénomènes apparaissant aux niveaux d'énergie élevés, et perturbent le mécanisme de résonance, en particulier les ondes de spin qui provoquent des absorptions supplémentaires. On peut calculer une limite supérieure du champ H.F. à ne pas dépasser pour éviter ces phénomènes parasites ; cette valeur est proportionnelle à la largeur ΔH de la courbe de résonance à faible niveau H.F., et inversement proportionnelle à la racine carrée de l'aimantation à saturation M_s , ce qui explique la difficulté de réaliser des systèmes fonctionnant à haut niveau et à fréquence basse, puisque ce dernier point implique au contraire de faibles valeurs de ΔH . L'auteur signale également les précautions à prendre dans les études de résonance effectuées à l'aide de sphères de ferrite, en particulier l'influence énorme du polissage sur la valeur de ΔH .

Les recherches récentes sur les applications en H.F. ont porté surtout sur les effets non linéaires, conduisant aux générateurs d'harmoniques à ferrites, et aux effets unidirectionnels, en particulier les isolateurs à résonance en guide rectangulaire pour forte puissance. Le rapport des atténuations des ondes inverses et directes R est inversement proportionnel à $\gamma \Delta H$ ($\gamma =$ rapport

gyromagnétiques, ΔH largeur de raie). On a donc intérêt à rechercher des ferrites à faible ΔH ; une étude effectuée sur des ferrites de nickel et d'aluminium (NiO_2 , $\text{Fe}_{(2-t)}$, $\text{Al}_t \text{O}_3$) montre que ΔH et γ varient en même temps et dans le même sens. L'auteur décrit pour finir un isolateur à grenat d'yttrium utilisant des lignes à bandes croisées, un circulateur à hautes performances et différents types de déphaseurs en guides rectangulaires.

La séance est ensuite consacrée à la présentation de courtes communications.

G. BARZILAI (Italie) donne les résultats d'une étude sur la propagation d'une onde E.M. dans un guide rectangulaire partiellement rempli de ferrite, en particulier dans une structure formée de barreaux de ferrites parallèles au grand côté du guide et régulièrement espacés.

M. DEUTSCH (Allemagne) expose ensuite les recherches effectuées pour obtenir des ferrites utilisables dans la zone des ondes décimétriques (quelques centaines de MHz), et compare les mérites respectifs des ferrites et des grenats. Pour $F > 500$ MHz, les nouveaux ferrites renfermant Mg et Al, pour lesquels $M_s \sim 730$ et $\Delta H = 150$ Oe donnent des rapports R supérieurs à ceux fournis par le grenat d'yttrium ($M_s \sim 600$ et $\Delta H \sim 50$).

A.V. GAPONOV (U.R.S.S.) expose les travaux soviétiques sur les effets non linéaires dans les ferrites; il considère les conditions de formation et de développement des ondes de choc électromagnétiques dans un milieu ferromagnétique indéfini, puis dans des lignes de transmission remplies de ferrites.

Après une brève communication de GODFREY (Angleterre) décrivant des travaux récents de Mullard laboratory de Cambridge, JOSEPHSON (Suède) fournit les propriétés de différents ferrites (Mg, Mn ou Mg Cr, ou Ni Cr) en ce qui concerne les paramètres M_s , ΔH , et leurs possibilités d'utilisation vers les fortes puissances.

Après WALDRON (Angleterre), qui lit un résumé des recherches effectuées en Grande-Bretagne sur ce sujet, la séance s'est terminée par une communication de ROBIEUX (France), qui expose les principaux résultats obtenus par la C.S.F. aussi bien dans le domaine de la réalisation de nouveaux matériaux que dans celui des applications des ferrites en V.H.F. et en ondes décimétriques. Des ferrites ayant des valeurs faibles de M_s et de ΔH ont permis de fabriquer des isolateurs et des déphaseurs; des systèmes particuliers de guides diviseurs de puissance permettent un fonctionnement à très haut niveau, ce principe étant applicable à toutes les fréquences supérieures à quelques centaines de MHz.

Conversion de l'énergie

Séance tenue le lundi 12 septembre, dans l'après-midi, sous la présidence de H.G. WRIGHT (U.S.A.).

L'exposé général de P. AIGRAIN (France) a permis de dresser un tableau très complet de l'état actuel de la thermoélectricité vue sous l'angle de la conversion de l'énergie thermique en énergie électrique.

Après avoir brièvement rappelé l'historique de la question, l'auteur introduit le facteur de mérite d'un corps, qui fait intervenir la conductibilité thermique K (qui doit être faible), la conductibilité électrique σ (qui doit être grande) et le pouvoir diélectrique α qui doit être élevé; on appelle facteur de mérite à la température T la quantité :

$$M = \frac{\alpha^2 \sigma T}{K}$$

tandis que l'efficacité de la transformation d'énergie thermique en énergie électrique est donné par :

$$\eta = \frac{\Delta T}{T} \cdot \frac{\sqrt{1+M} - 1}{\sqrt{1+M} + T_1/T_0}$$

Or ce facteur varie avec la densité des porteurs de charge dans les milieux et passe par un maximum pour une densité qui correspond aux semiconducteurs.

L'auteur passe alors en revue les principaux couples actuellement utilisés dans les divers domaines de température; on peut admettre que le rendement « pratique » est de l'ordre de 25%. L'exposé se termine en signalant les principales applications (frigorifique, générateurs pour satellites, générateurs électriques continus, de basse tension,...).

La séance a été ensuite consacrée à cinq courtes communications, quatre présentées par des physiciens britanniques (MM. DUNN, GLODSMITH, MAUND et PARROT) et la cinquième par H. WEBSTER (U.S.A.) qui décrit certaines expériences entreprises à la General Electric, en particulier la conversion de l'énergie dans une diode: la cathode, à 1 500 °C, émet des électrons à une vitesse suffisante pour qu'ils atteignent la plaque à une tension négative. On récupère ainsi de l'énergie.

Récepteurs à très haute sensibilité

Séance tenue le jeudi 8 septembre, dans l'après-midi, en commun avec les commissions V et VI, sous la présidence de J.R. PIERCE (U.S.A.).

Le rapporteur G.F. SMYTH (Grande Bretagne) a orienté cette séance sur les applications à la radioastronomie; le compte rendu de cette réunion est donc davantage à sa place dans l'article rédigé par la commission V.

On soulignera seulement ici les points essentiels du rapport de SMYTH, en particulier le fait qu'un récepteur de radioastronomie réalise un banc d'essai fort intéressant pour les amplificateurs à faible bruit. Néanmoins, c'est une application un peu trop spéciale, car le signal y est constitué par du bruit: elle obéit à des lois particulières, par exemple l'indice de qualité y prend la forme

$$1,4 (B.T.)^{-1}$$

B étant la largeur de bande d'entrée et T la constante de temps du circuit de sortie. Les emplois ordinaires (télécommunications, radars), diffèrent très notablement de la radioastronomie sur ce point; la spectroscopie UHF, si elle avait été retenue, aurait constitué un autre banc d'essai des masers et des amplificateurs paramétriques un peu particulier lui aussi, mais plus proche des fonctions courantes.

A part cette réserve de principe, la radioastronomie permet d'éprouver les qualités pratiques des masers et amplificateurs paramétriques et de connaître les impressions d'utilisateurs avertis et exigeants. La conclusion personnelle de SMYTH est que le tube de ADLER est l'engin le plus commode actuellement. D'autres astronomes ont cependant fait un excellent usage d'installations moins complètement développées; par exemple, le maser à hélium liquide de Harvard, a donné satisfaction et a mené déjà à de belles découvertes. Il en va de même à l'Université de Michigan où WILLOWKUN a réalisé un maser symétrique à double pompage fonctionnant à 8 700 MHz.

Par contre les astronomes sont unanimes à souligner l'intérêt de l'étude complète du système de réception, du circuit d'adaptation et de l'inverseur éventuel de comparaison. Tous les détails

de cet ensemble compliqué doivent être étudiés soigneusement pour éviter l'introduction du bruit de paroi ou de circuit : le bruit de terre ou d'objet céleste parasite peut ensuite être utilement étudié et éventuellement réduit, par un choix de la région étudiée, celle de l'antenne et de sa directivité, etc.

Parmi les accessoires pratiques signalés à ce propos, figurent les circulateurs en Y et l'emploi de bobines supraconductrices (fil de tantale, ou mieux d'alliage rhénium-molybdène) pour obtenir les champs magnétiques de l'ordre de 3 à 6 000 gauss nécessaires pour les masers (le dernier alliage permet de monter jusqu'à 16 000 gauss).

Enfin on notera que les qualités de stabilité à long terme sont fort importantes et qu'en particulier les conditions sur la constante de la puissance de pompage sont sévères : les astronomes n'ont encore indiqué aucune préférence pour un type ou un autre de maser ou d'amplificateurs paramétriques. Mais les physiciens ont souligné l'intérêt des appareils à ondes progressives ralenties, qui semblent jouir d'un net avantage sur ce point.

Phénomènes de plasma

Séance tenue le mardi 13 septembre, dans l'après-midi, sous la présidence de H.S. MASSEY (Grande Bretagne).

R.W. GOULD (U.S.A.) présente un rapport général. Ne pouvant évidemment pas traiter l'ensemble du sujet, il avait limité son exposé aux oscillations de divers types qui peuvent exister dans un plasma et aux interactions entre ces ondes et les faisceaux électroniques.

L'auteur passe d'abord en revue les modèles simples auxquels on peut ramener les oscillations de plasma :

- ondes électromagnétiques ;
- onde hydromagnétique de ALFVEN ;
- onde de charge d'espace purement électronique ;
- onde de charge d'espace électronique et ionique ;
- modes « siffleur » de WHISTLER ;

en établissant dans les cas les plus typiques la relation de dispersion. Mais les plasmas utilisables en pratique étant « confinés », il convient d'examiner comment les conditions aux limites perturbent les résultats précédents, établis dans le cas de plasma infinis. Quelques problèmes pratiques ont été étudiés, en particulier ceux qui conduisent à l'utilisation d'ondes guidées dans des plasmas cylindriques infiniment longs, pour des accélérateurs, des lignes à retard des transformateurs de phase ou des tubes à ondes progressives.

L'auteur a terminé sa conférence en étudiant quelques cas où l'interaction d'un faisceau et d'une colonne de plasma entraînerait des instabilités.

La séance a été ensuite consacrée à l'exposé de sept courtes communications.

B. AGDUR (Suède) a décrit un tube amplificateur à ondes progressives ; un faisceau d'électrons crée un plasma qui est confiné par un champ magnétique ; on constate que le gain est maximal pour une fréquence égale à la fréquence cyclotronique.

W. JEPHCOT (Grande Bretagne) a décrit les expériences concernant la propagation d'un train d'ondes hydromagnétiques dans un plasma ; ce dernier est créé par une décharge linéaire, durant une milliseconde, tandis que le train d'ondes est excité pendant une microseconde.

M.Y. BERNARD (France) a présenté quelques travaux français récents, issus des laboratoires du C.E.A. où MM. CONSOLI

et DAGAI ont réalisé un appareil permettant de mesurer la densité d'un plasma grâce à l'effet de polarisation rotatoire produite sur des ondes électromagnétiques polarisées par effet Faraday. Cette méthode est très sensible et sa gamme d'utilisation est grande. Dans le même laboratoire, MM. MANUS, BRIFFOD et BONNAL étudient le bruit hertzien émis par une décharge « reflex » ; ce bruit augmente considérablement lorsque l'on dépasse un champ magnétique critique ; la diffusion latérale des électrons augmente en même temps. Le dernier travail présenté est celui de M. BOUCHER, du laboratoire de la C.S.F., qui a mis au point une « diode à plasma » susceptible de redresser des courants de fréquences industrielles avec un rendement de 95 % ; si le phénomène est théoriquement explicable à 50 Hz, il l'est beaucoup plus malaisément à 1 000 MHz où il a toujours lieu avec un rendement inférieur, mais pourtant fort honorable (20 %).

A.V. GAPONOV (U.R.S.S.) ainsi que K. GINSBURG et Z. ZHELEZNYAROV (U.R.S.S.) ont présenté des communications théoriques sur l'excitation des ondes dans les plasma sur la fréquence caractéristique ω_p et sur les fréquences multiples. Enfin, F.B. KNOX (Nouvelle Zélande) a présenté ses travaux concernant le confinement des plasma par la pression de radiation due aux champs électromagnétiques de haute fréquence, et W.B. THOMPSON (Grande Bretagne) a présenté une communication théorique concernant la longueur de Debye.

Fonctionnement de la commission VII

Le bureau de la Commission a été ainsi constitué, lors de la séance administrative qui a eu lieu le mercredi 14 après-midi.

Président	: W.G. SHEPHERD	U.S.A.
Vice présidents	: R.E. BURGESS	Canada
	: C.W. OATLEY	Grande Bretagne
Secrétaires	: G.M. HATOYAMA	Japon
	: M.Y. BERNARD	France.

La commission a décidé de conserver un programme d'études assez semblable pour la prochaine Assemblée Générale (Tokyo, 1963) ; elle tiendra une séance sur les amplificateurs paramétriques, une sur les masers, une sur les matériaux d'électronique moderne et probablement une sur les plasma. Mais il est difficile de définir trois ans à l'avance, ce que pourra être l'actualité électronique en 1963.

Enfin, outre la réunion de Tokyo, il est prévu d'organiser un colloque sur le « bruit » et d'assurer une liaison avec les organisations du Congrès sur les Tubes hyperfréquences, qui se tiendra à Copenhague en 1962. M. CHODOROW est chargé d'assurer cette liaison.

Avant de terminer ce rapport, signalons que la Commission VII a entendu 40 orateurs durant l'Assemblée Générale ; 39 se sont exprimés en anglais, et un seul a utilisé le français, autre langue officielle...

D'après l'activité de la discussion cette communication n'a pas souffert semble-t-il d'avoir été exposée en français ; il est donc permis de penser qu'il n'est pas téméraire de défendre, plus activement qu'on ne le fait généralement, la langue française dans le domaine scientifique.

Enfin, il est bon de souligner que le rapport national américain avait été préparé cette année avec un soin tout particulier et qu'il était présenté sous une forme très heureuse ; il constitue, par sa clarté et son étendue, une bibliographie critique remarquable sur l'activité américaine. Dans ce domaine, il offre le même intérêt que le rapport annuel des P.I.R.E. (Progress report).

TÉLÉCOMMUNICATIONS SPATIALES ET TRANSMISSIONS A GRANDE DISTANCE PAR SATELLITES ARTIFICIELS ⁽¹⁾

PAR

J. VOGÉ

*Ingénieur en Chef des Télécommunications
au Centre National d'Etudes des Télécommunications*

Les techniciens des télécommunications sont tenus d'attacher aux recherches spatiales une particulière importance, qui sollicite de leur part une attention immédiate. Ils ont en effet — ou ils auront — à assurer les liaisons entre la terre et les engins ou véhicules spatiaux, en attendant d'avoir à les réaliser avec les stations qui seront édifiées sur la lune et sur les planètes du système solaire. Mais, même en ce qui concerne les relations terrestres, la conquête de l'espace laisse entrevoir de nouveaux procédés de transmission qui permettront de développer très largement, tout en les améliorant, les communications entre pays éloignés.

* * *

Les ondes radioélectriques constituent le seul lien entre le sol et les satellites ou fusées interplanétaires : c'est par elles que sont acheminés les observations recueillies — par elles aussi que des ordres peuvent être donnés à des distances énormes, comme celui d'éjecter un nuage de sodium qui deviendra luminescent ou de transmettre des données enregistrées sur bande magnétique, lorsqu'un engin passe en position favorable par rapport à des stations de réception déterminées. Les problèmes ainsi posés aux ingénieurs radioélectriciens n'ont qu'un lointain rapport avec ceux qu'ils ont habituellement à résoudre. Les distances à couvrir sont beaucoup plus considérables. Les dimensions et le poids des équipements à placer à bord des engins sont extrêmement limités ; leur sécurité de fonctionnement doit être absolue, et cela souvent sur de longues périodes. Enfin le milieu dans lequel ils évoluent comme celui qu'ont à traverser les radiations émises ont des caractéristiques bien différentes de celles des couches basses de l'atmosphère terrestre.

L'augmentation de portée conduit à rechercher des émetteurs plus puissants, des antennes à rayonnement plus directif, des récepteurs plus sensibles, et aussi de nouveaux procédés de modulation et de

codage qui permettront de transmettre davantage d'informations sur une liaison de caractéristiques données. Il faut mettre au point, pour alimenter les équipements transportés dans l'espace, des sources d'énergie à longue durée de vie, telles que des batteries solaires ou nucléaires. Le rendement de conversion de cette énergie en énergie radioélectrique peut être encore amélioré. L'apparition des « transistors » et des circuits imprimés ne constitue qu'une étape dans la voie d'une miniaturisation toujours plus poussée, et qui laisse prévoir de nouvelles découvertes révolutionnaires. Mais ces résultats seraient sans intérêt si les éléments ou appareillages réalisés risquaient de se détériorer ou même de se dérégler au bout d'un temps relativement court, en présence des conditions mécaniques ou thermiques exceptionnelles auxquelles ils se trouvent soumis ; il leur faut être aussi capables de résister à l'action des rayonnements de grande énergie et à l'impact des météorites — ou en être convenablement protégés.

L'étude de ces problèmes techniques est activement poussée dans tous les pays qui veulent entreprendre des recherches spatiales. Les solutions que l'on peut envisager soulèvent parfois d'autres problèmes, non moins complexes. C'est ainsi que les antennes à faisceau directif ne seront utilisables sur engin que lorsque l'on saura stabiliser leur orientation par rapport aux stations terrestres avec lesquelles une communication doit s'établir. Quand on sera parvenu, grâce à de nouveaux types d'amplificateurs, à réduire sensiblement le bruit propre des récepteurs actuels, leur sensibilité se trouvera limitée par des parasites d'origine extra-terrestre, solaire ou cosmique ; on doit donc établir des cartes de plus en plus précises de la distribution dans l'univers des « radio-sources » génératrices de ces parasites : c'est un travail de longue haleine, qu'ont entrepris depuis quelques années les « radio-astronomes », et qui leur demandera encore de sérieux efforts.

La connaissance que l'on a des caractéristiques physico-chimiques et électriques des couches les plus hautes de notre atmosphère, comme de l'espace

(1) Conférence prononcée le 17 novembre 1960 devant la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, et à laquelle avaient été invités les membres de la Société Française des Electroniciens et des Radioélectriciens.

extra-atmosphérique, est encore insuffisante pour que l'on soit en mesure de prévoir de façon assez exacte les conditions de propagation des différentes gammes d'ondes. Les phénomènes de réfraction et d'absorption des ondes ultra-courtes par la basse atmosphère terrestre, des ondes plus longues par les nuages de particules électrisées qui constituent l'ionosphère, à une altitude comprise entre soixante et quelques centaines de kilomètres, sont relativement bien compris. Mais en ce qui concerne les atmosphères d'autres planètes, ou l'espace interplanétaire, ou même les régions les plus élevées de notre atmosphère (au-delà de 500 kilomètres d'altitude), des mesures nombreuses sont encore nécessaires. La perturbation apportée au milieu extérieur par le passage d'un engin à grande vitesse est également à considérer ; il semble prouvé qu'elle affecte parfois sensiblement la propagation de certaines gammes d'ondes.

Considérons une liaison spatiale en visibilité directe de longueur d'onde λ , de portée d , réalisée avec des antennes d'émission et de réception ayant des gains par rapport à une antenne omnidirectionnelle (1) égaux à G_E et G_R ou des surfaces équivalentes (2) égales à A_E et A_R . Le rapport de la puissance reçue P_R à la puissance émise P_E est donné par l'une quelconque des formules équivalentes :

$$\frac{P_R}{P_E} = \frac{\lambda^2 G_E G_R}{(4 \pi d)^2} = \frac{A_E A_R}{(\lambda d)^2} = \frac{G_E A_R}{4 \pi d^2} = \frac{A_E G_R}{4 \pi d^2} \quad (1)$$

On sait que gain et surface équivalente d'une antenne sont liés par la relation, qui est également fonction de λ :

$$G = \frac{4 \pi A}{\lambda^2} \quad (2)$$

et que l'ouverture angulaire α du faisceau rayonné par une antenne ne dépend que de son gain, en première approximation, suivant la formule :

$$\alpha \simeq \frac{165}{\sqrt{G}} \text{ (degrés)} \quad (3)$$

On sait aussi qu'en ondes très courtes (décimétriques et plus courtes) on utilise souvent comme antennes directives des projecteurs d'ondes, tels que des cornets ou des miroirs paraboliques, pour lesquels A se confond à un coefficient de réduction de 0,4 ou 0,6 près, avec la surface réelle d'ouverture de l'antenne.

D'après les formules (1), la distance maximum réalisable est d'autant plus grande que la puissance

d'émission P_E est plus grande, que les gains ou surfaces équivalentes des antennes sont plus grands, et que l'on peut réduire davantage la puissance reçue P_R , sans tomber évidemment au-dessous du seuil minimum qui correspond à une qualité de réception satisfaisante.

Passons en revue ces différents paramètres. C'est sur un engin spatial et non au sol que l'on est de beaucoup le plus limité en puissance d'émission et c'est pourquoi les liaisons engin vers sol sont plus difficiles que les liaisons sol vers engin. Nous considérerons donc désormais le cas d'une émission sur engin et d'une réception au sol.

Les sources d'énergie de très longue durée auxquelles on recourt pour alimenter les équipements radioélectriques sur un engin sont à l'heure actuelle presque toujours des batteries solaires. La transformation du rayonnement solaire en énergie radioélectrique peut résulter de divers mécanismes physiques : photovoltaïque, photoélectrique, thermoélectrique, thermoionique. Les dispositifs en usage utilisent l'effet photovoltaïque de cellules au silicium ayant des surfaces de quelques centimètres carrés et pesant quelques décigrammes. Le rendement énergétique est de 10 à 12 % au laboratoire, mais ne dépasse pas 5 à 7 % sur les engins réels. A une distance de l'ordre de celle de la terre, le flux de rayonnement solaire est de 140 mW/cm², ce qui conduit à une puissance électrique de 8 à 10 mW/cm² de cellule active.

Par groupement d'un grand nombre de cellules, on obtient des puissances qui, pour les satellites qui ont été mis en orbite, vont jusqu'à près de 100 W. Le prix est relativement élevé : 50 à 100 \$ par watt. Les cellules peuvent être protégées contre les rayonnements de grande énergie et les météorites, par exemple par une pellicule de quartz ou de verre de 1 à 2 mm d'épaisseur.

Les batteries solaires ne fonctionnent plus lorsqu'un engin passe dans l'ombre de la terre ; elles délivrent par ailleurs une puissance bien déterminée qu'il n'est pas possible de modifier au cours du temps en fonction des besoins. C'est pourquoi il est nécessaire de disposer, en plus de ces sources primaires, de batteries chimiques dont la capacité est réduite, mais qui sont rechargées par les batteries solaires et jouent ainsi le rôle d'accumulateur d'énergie. On utilise le plus souvent, malgré certains défauts, des batteries nickel — cadmium, dont la capacité est de l'ordre de 35 Wh/kg et, plus rarement des batteries zinc — argent dont la capacité atteint 90 Wh/kg. On peut pendant des périodes limitées obtenir ainsi des puissances de l'ordre du kilowatt à partir de sources solaires dont la puissance moyenne, lorsqu'elles sont éclairées, ne dépasse pas quelques dizaines de watts.

En ce qui concerne le poids d'une alimentation de ce type (cellules solaires et batterie chimique), les puissances moyennes réalisables en pratique sont de l'ordre de 0,6 W/kg, sur un engin non stabilisé en orientation par rapport au soleil, et de l'ordre de 3,5 W/kg sur un engin stabilisé dont toutes les

(1) On rappelle que le gain d'une antenne est un coefficient qui caractérise ses propriétés directives, relativement au rayonnement qu'elle émet ou qu'elle reçoit. C'est le coefficient d'économie de puissance que l'on réalise à l'émission ou à la réception en utilisant des antennes à rayonnement dirigé plutôt que des antennes à rayonnement omnidirectionnel.

(2) La surface équivalente est un autre paramètre caractéristique d'une antenne, relié au gain par la formule (2).

cellules peuvent être ainsi illuminées de façon optimum.

Des études sont en cours pour améliorer ces performances. On espère atteindre bientôt des rendements réels de 10 % et des puissances de 8 à 10 W/kg (pour un engin stabilisé) avec des cellules au silicium, les rendements s'élevant à 20 ou 30 % avec d'autres types de cellules photovoltaïques, telles que des cellules à couche mince, à large surface individuelle. Avec des dispositifs thermoélectrique ou photoélectrique, les puissances réalisables par kilogramme semblent respectivement de l'ordre de 50 W et de plusieurs centaines de watts, mais avec des rendements limités à 2 ou 3 %.

En dehors des batteries solaires, on a songé évidemment à des batteries nucléaires utilisant l'énergie libérée lors de la désintégration d'isotopes radioactifs ou constituant de véritables réacteurs nucléaires. Les premières ont une durée de vie qui, suivant l'isotope utilisé, est de quelques mois à quelques années, mais la puissance délivrée est en général très faible (inférieure à 0,1 W/kg). Cependant, en transformant la chaleur résultant de la désintégration en électricité, par effet thermoélectrique ou thermoionique, on a obtenu récemment des puissances de 2 W/kg et même, au laboratoire, de 8 W/kg. Certains modèles de réacteurs nucléaires pourraient délivrer théoriquement plusieurs kilowatts par kilogramme, mais les dispositifs de protection nécessaires contre les radiations dégagées risquent de réduire très fortement ces performances. Par ailleurs, les prix des batteries nucléaires à faible puissance sont si considérables (de l'ordre de plusieurs milliers de dollars par watt) qu'elles ne semblent pas pouvoir concurrencer les batteries solaires, tant que l'on n'aura pas besoin de puissances très élevées.

Je voudrais mentionner aussi les études qui sont actuellement poussées sur un type particulier de batterie chimique, utilisant comme éléments l'oxygène et l'hydrogène. La capacité atteindrait 1,5 kWh/kg. Mais les problèmes posés pour l'emploi sur un engin spatial ne sont pas encore résolus.

En ce qui concerne les rendements de conversion de l'énergie électrique en énergie radioélectrique, ils sont le plus souvent en pratique de l'ordre de 10 %, bien qu'on sache faire mieux et que l'on puisse aller dans certaines conditions jusqu'à près de 30 %. C'est un point sur lequel on devra porter son effort.

Compte tenu de tout ceci, on peut considérer que les puissances d'émission les plus élevées que l'on sache mettre en œuvre sur un engin sont, dans le présent, de l'ordre d'une dizaine de watts en régime permanent, de quelques kilowatts en régime intermittent, pour des sources primaires d'alimentation dont la puissance est de quelques dizaines de watts. On espère que ces chiffres pourront, d'ici 2 ou 3 ans, être augmentés dans un rapport compris entre 10 et 100.

Passons aux caractéristiques des antennes.

A l'heure actuelle, il est encore difficile de stabiliser l'orientation d'un engin par rapport à une

station terrestre. Les antennes d'émission sur engin sont donc sensiblement omnidirectionnelles et leur gain voisin de 1. Au sol, on est limité plutôt par les dimensions maximum acceptables des antennes, qui dépendent de considérations mécaniques et aussi évidemment du prix. Il existe à Jodrell Bank un miroir parabolique de 75 m de diamètre ; des miroirs de 100 m et même davantage sont en étude aux Etats-Unis. Mais les grands miroirs réalisés industriellement ont des diamètres maximum de 18 à 25 m, et plus couramment de 10 à 12 m. C'est donc, pour l'antenne de réception, la surface d'ouverture, et donc la surface équivalente A_R , qui sont limitées plutôt que le gain G_R . Il faut alors considérer la troisième des formules (1). Pour P_E , P_R , G_E et A_R fixés, la distance réalisable est indépendante de la longueur d'onde.

Ceci peut changer dans l'avenir. On espère stabiliser bientôt l'orientation des engins et pouvoir y placer ainsi une antenne directive : c'est alors sans doute les dimensions de cette antenne, et donc A_E , qui seront limitées. Au contraire, au sol, on espère pouvoir augmenter les surfaces d'antenne à tel point que la limitation portera en dernière analyse sur la finesse de son faisceau et par conséquent sur le gain G_R , lié à l'angle d'ouverture α . En effet, un faisceau trop fin ne permettrait plus de suivre un engin, compte tenu de légères modifications ou vibrations de la structure mécanique de l'antenne et surtout de fluctuations dans les directions d'arrivée au sol des ondes radioélectriques, dues à la propagation. Les finesses minimum acceptables semblent de l'ordre d'une fraction de degré, ce qui correspond à des gains maximaux G_R de quelques 10^5 .

Cherchons maintenant quelle est la puissance de réception P_R minimale qui est nécessaire pour assurer une réception satisfaisante. Ce qui impose en pratique ce minimum de P_R , c'est le fait qu'il existe toujours, à la réception, des bruits ou parasites qui se superposent au signal utile et peuvent ainsi, sinon le masquer complètement, du moins lui apporter une perturbation sensible. La qualité d'une transmission n'est acceptable que lorsque le rapport entre le niveau du signal utile à la réception et celui du bruit perturbateur est suffisant.

Evaluons d'abord le niveau de bruit.

Un récepteur, dont le faisceau d'antenne est dirigé vers un milieu de température absolue T_A , capte par cette antenne une puissance moyenne de bruit, d'origine thermodynamique, égale à $kT_A B$, où B est largeur de bande du récepteur, c'est-à-dire la bande de fréquences qu'il amplifie et détecte pour donner le signal de sortie désiré ; k est la constante de Boltzmann, égale à $1,38 \cdot 10^{-23}$ W/°K/Hz.

En général, sur les liaisons usuelles, les faisceaux d'antennes sont dirigés, au moins en partie, vers le sol et $T_A \simeq 300^\circ\text{K}$. Mais on s'est aperçu, depuis quelques années, que la température de l'espace ou, comme on dit, du ciel était bien inférieure à 300°K . Elle serait même nulle, s'il n'existait pas dans l'univers un grand nombre de sources de parasites radioélectriques, les « radiosources » ou « radioétoiles », étudiées par les radioastronomes. Ces

sources sont discrètes, mais leurs effets superposés s'ajoutant, elles donnent lieu à une sorte de fond continu. Nous examinerons un peu plus loin comment varie la température d'une antenne T_A , en fonction de la fréquence, quand son faisceau est orienté vers le ciel. On verra que T_A peut, dans une gamme étendue de fréquences, descendre à des valeurs très faibles, de l'ordre d'une dizaine ou d'une vingtaine de °K.

À côté du bruit d'antenne, il existe également un bruit propre du récepteur, dû à des causes variées telles que l'agitation thermique dans les résistances ou les fluctuations électroniques dans les tubes. On peut caractériser ce bruit par une température équivalente de bruit propre du récepteur T_R , la puissance totale de bruit étant alors donnée par la formule :

$$P_B = k (T_A + T_R) B \quad (4)$$

Les radioélectriciens utilisent souvent un autre paramètre caractéristique du bruit d'un récepteur : c'est le facteur de bruit F , rapport de la puissance totale de bruit (antenne + récepteur) à la puissance de bruit d'antenne seule, mais ceci en supposant que l'antenne est par convention à une température T_A de référence de 290 °K, soit 17 °C. F et T_R sont liés par la relation :

$$T_R = (F - 1) 290 \text{ °K} \quad (5)$$

La figure 1 représente des courbes donnant la température d'antenne T_A , pour des antennes dont le faisceau dirigé vers le ciel est incliné d'un angle φ sur l'horizon. Comme on le voit sur la partie gauche, T_A diminue rapidement en fonction de la fréquence. Les deux courbes maximum et minimum correspondent aux valeurs extrêmes qui peuvent être observées, suivant la région du ciel ou de la voie lactée qui se trouve en regard de l'antenne.

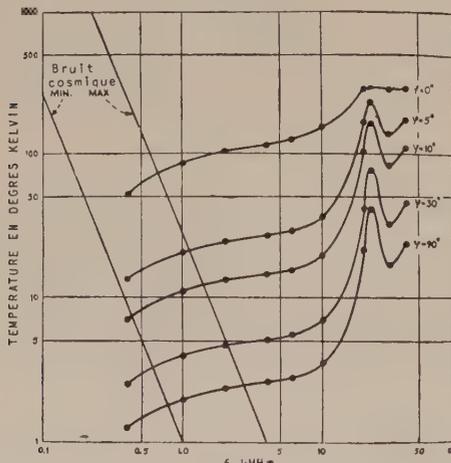


FIG. 1.

À partir d'une certaine fréquence, une remontée se produit. Elle est due au fait qu'aux fréquences très élevées la basse atmosphère terrestre absorbe sensiblement les radiations qui lui parviennent de

l'espace. L'interaction correspondante entre l'atmosphère et les radiations donne lieu inversement à une augmentation du bruit émis, c'est-à-dire de la température d'antenne T_A . L'effet est d'autant plus marqué que le faisceau reçu est moins incliné sur l'horizon et qu'il traverse ainsi la basse atmosphère sur un parcours plus long.

La figure 1 montre qu'avec des antennes dont le faisceau est incliné d'au-moins 10° sur l'horizon, T_A peut être inférieure à 20 ou 25 °K, dans toute la gamme de 1 000 à 5 000 ou 6 000 MHz (soit 30 cm à 5 ou 6 cm de longueur d'onde). Ceci exige cependant que l'on élimine rigoureusement, dans le diagramme de rayonnement des antennes, tout lobe parasite qui pourrait être dirigé vers le sol et capterait ainsi un bruit correspondant à une température T_A beaucoup plus élevée. Les antennes usuelles sont à cet égard très insuffisantes. Mais il faut aussi, pour qu'il vaille la peine de descendre aussi bas dans la valeur de T_A , que la température du récepteur T_R soit elle-même très réduite. Or les récepteurs usuels, dans ces gammes de fréquences élevées, ont des températures équivalentes qui sont couramment de l'ordre de plusieurs milliers de degrés Kelvin. Heureusement, de nouveaux types d'amplificateurs utilisés aux hyperfréquences, qui ne sont pas constitués en général par des tubes électroniques mais par des dispositifs entièrement nouveaux à éléments solides, ont permis, depuis 4 ou 5 ans au laboratoire et depuis 1 ou 2 ans dans des réalisations diverses, de diminuer énormément T_R . Des amplificateurs « paramétriques », à diodes semi-conductrices, ont déjà conduit à des valeurs de T_R inférieures à 100 °K. Des amplificateurs « quantiques » (que les anglo-saxons désignent sous l'expression de « masers »), dont l'élément actif est le plus souvent un cristal paramagnétique de rubis plongé dans une enceinte refroidie à l'hélium liquide, peuvent avoir des températures T_R de l'ordre de la dizaine de degrés Kelvin ou inférieures.

Il reste à voir comment la puissance de bruit P_B dans le récepteur détermine la puissance utile minimale P_R admissible à la réception. Supposons que le signal à transmettre ait un spectre de fréquences de largeur b , que nous appellerons la bande d'information. b est de 3 à 4 kHz pour un signal téléphonique ; il serait de quelques dizaines de Hz pour un signal télégraphique manipulé, de quelques centaines de Hz pour un signal télégraphique enregistré sur bande perforée et transmis à grande vitesse, de quelques MHz pour une image de télévision.

La transmission de ce signal dans l'espace est obtenue en lui faisant moduler un porteur radio-électrique de fréquence élevée et le spectre de fréquence de cette onde HF modulée s'étendra sur une bande de fréquences B , que nous désignerons comme bande de transmission. Le récepteur devra avoir lui-même une largeur de bande égale à B pour ne pas déformer les signaux radioélectriques qui lui parviennent.

Les systèmes de modulation effectivement utilisés dans la pratique sont nombreux ; mais de façon

générale, lorsque l'on désire une transmission de bonne qualité, c'est-à-dire avec un pourcentage d'erreurs sur les mots très faible en télégraphie, avec un bruit audité très faible en téléphonie, on est conduit à transmettre sur une bande B très supérieure à la bande d'information b . Que l'on emploie par exemple la modulation de fréquence à grand indice de modulation ou la modulation en impulsions codées — toutes deux bien connues des spécialistes des communications — on a le plus souvent des valeurs de B qui sont au moins de l'ordre de 10 à 20 b .

De plus, lorsqu'on a affaire à des transmissions à partir d'un mobile vers le sol, la fréquence reçue diffère légèrement, par suite de l'effet Doppler, de la fréquence émise. Le glissement de fréquence est, en valeur relative, sensiblement égal au rapport de la vitesse radiale du mobile relativement à la station terrestre à la vitesse de la lumière dans le vide, soit 300 000 km/s. Pour une vitesse radiale de 10 km/s, voisine de la vitesse minimum qui permet à un engin d'échapper à l'attraction terrestre, le glissement de fréquence serait de $3 \cdot 10^{-5}$. Ceci correspond à une variation de 3 kHz pour une fréquence émise de 100 MHz (3 m de longueur d'onde) et de 30 kHz pour une fréquence de 1 000 MHz (30 cm de longueur d'onde).

La bande B est évidemment augmentée de ce glissement dû à l'effet Doppler, et c'est une raison supplémentaire pour que B soit largement supérieur à b .

Ceci étant, on doit ajouter qu'avec les procédés de modulation et les récepteurs usuels on n'arrive à extraire un signal de qualité du bruit qui l'accompagne à la réception que lorsque la puissance reçue P_R est elle-même beaucoup plus élevée que la puissance de bruit P_B ; le rapport minimal η qui doit exister entre ces puissances est, pour les systèmes en usage, de l'ordre de 10 à 20. Ce seuil agit en général de façon brutale, et, lorsqu'on le franchit, la qualité devient absolument inacceptable.

On peut écrire :

$$(P_R)_{\text{minimal}} = k(T_A + T_R)B\eta = k(T_A + T_R)b\beta \quad (6)$$

en posant :

$$\beta = \frac{B}{b} \eta \quad (7)$$

D'après ce que nous avons vu, le facteur β est en général au moins de l'ordre de la centaine et même souvent de plusieurs centaines.

On a tenté, depuis un petit nombre d'années, de réduire cette puissance reçue minimale, pour une transmission de type et de qualité données. Il est intéressant pour apprécier les résultats obtenus de considérer une puissance de référence égale à $k(T_A + T_R)b$ (1) : c'est elle que l'on aurait si la bande de transmission était réduite à la bande

d'information b et si on arrivait d'autre part à extraire le signal reçu du bruit, jusqu'à la limite où la puissance reçue serait juste égale à la puissance de bruit, c'est-à-dire pour $\eta = 1$. On peut mettre ainsi la puissance reçue minimum sous la forme (6), le coefficient β étant en pratique toujours supérieur à l'unité, mais devant être réduit autant qu'il est possible de le faire.

On a vu que B est normalement très supérieur à b . Mais, dans le signal reçu, de bande B , l'information utile, celle qui est vraiment inconnue, ne doit occuper qu'un spectre de fréquences de largeur totale égale à la bande d'information b . Le reste de la bande, soit $B - b$, doit correspondre au contraire à des informations connues ou prévisibles, telles que les caractéristiques connues de l'émetteur et de la modulation ou certaines caractéristiques statistiques du signal reçu, que l'on peut déduire par extrapolation d'une observation antérieure de ce signal portant sur une période de temps assez longue. On a pu, en fait, par différents procédés, arriver à filtrer en quelque sorte, dans la bande reçue B , une portion de bande plus réduite, qui serait à la limite de largeur b , et qui contient cependant toute l'information utile. Cette réduction de la bande de réception conduit évidemment aussi à une réduction du bruit, et on peut ainsi abaisser la puissance de bruit reçue jusqu'à une valeur qui, dans le cas le plus favorable, se confondrait avec la puissance de référence $k(T_A + T_R)b$. En même temps, et d'ailleurs non indépendamment, on a cherché des types de modulation et de codage du signal à transmettre qui permettent de discriminer le signal reçu du bruit jusqu'à des valeurs de seuil entre puissance utile et puissance de bruit qui soient inférieures aux valeurs usuelles de 10 à 20. Il est impossible d'étudier ici en détail les solutions auxquelles ont été amenés, dont certaines sont fort complexes et certaines en partie secrètes. Nous nous contenterons de signaler quelques résultats. Le système de télémesure « télébit », utilisé pour transmettre les observations de la fusée interplanétaire américaine Pionnier V, a permis d'obtenir une valeur de β inférieure à 5. C'est un système digital, à modulation en impulsions codées, le porteur radioélectrique étant modulé en phase (1). Un autre dispositif de télémesure américain, le « microlock », utilisé pour les fusées Pionnier I et II, est moins poussé : β est de l'ordre de 45 (2). Pour la transmission téléphonique, on a préconisé une modulation de fréquence classique à l'émission, mais avec un filtrage du signal reçu, par un procédé dit de « compression de fréquence ». On obtiendrait ainsi des valeurs de β de l'ordre de 30 à 50, alors que, sans compression de fréquence, on aurait des valeurs beaucoup plus élevées. Toujours pour la transmission téléphonique, l'emploi d'une modulation en impulsions codées à l'émission pourrait conduire aussi à des valeurs de β de 50 à 100,

(1) Système PCM-PM (Pulse Code Modulation — Phase Modulation). Les valeurs de β indiquées pour le « télébit » et le « microlock » sont exactes en toute rigueur si b est défini comme le taux d'information des signaux (en bits/seconde).

(2) C'est un système analogique FM - PM à modulation de fréquence, le porteur étant modulé en phase (Frequency Modulation — Phase Modulation).

(1) On peut établir par la théorie de l'information que cette puissance de référence correspond sensiblement à une limite inférieure théorique de la puissance minimale de réception, si b est défini comme le taux d'information (en bits/seconde) du signal à transmettre.

si on effectue à la réception une « démodulation synchrone » qui est encore équivalente à une diminution de la bande reçue.

En plus de la réduction de β , il est parfois possible de réduire la bande d'information b correspondant à un signal donné. Des signaux comme la parole ou une image de télévision comportent en effet certaines « redondances », c'est-à-dire certains éléments répétés ou superflus, dont l'élimination ne réduit pratiquement pas la qualité auditive ou visuelle. D'autre part, lorsqu'une transmission n'a pas à être absolument instantanée, on peut enregistrer avant émission les signaux utiles, par exemple sur une bande magnétique, et moduler ensuite à vitesse lente l'émetteur de radio, en faisant défiler la bande enregistrée à une vitesse qui, comparée à celle d'enregistrement, est réduite dans un rapport n . La bande d'information se trouve alors réduite également dans le rapport n ; mais, en contrepartie, la durée totale de la transmission est accrue proportionnellement à n .

Nous considérerons, à titre d'exemple, le cas de la fusée interplanétaire américaine Pionnier V, qui détient depuis le mois de juillet 1960 le record de portée des communications radioélectriques. La figure 2 représente l'orbite de Pionnier V autour du

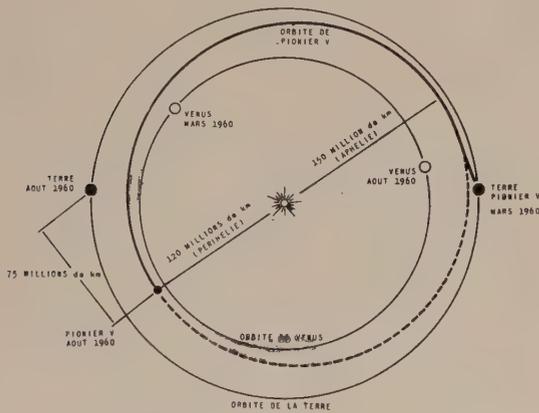


FIG. 2.

soleil. Les données de télémesure devaient être reçues au sol jusqu'à une distance de plus de 75 millions de kilomètres. La portée maximum a été en fait de 36 millions de kilomètres par suite d'une panne d'émetteur (probablement des batteries nickel-cadmium). On voit sur la figure 3 une photographie de Pionnier V. Les cellules solaires sont portées par les quatre pales. Les dessins en noir et blanc visibles sur l'engin n'ont pas qu'un intérêt artistique. Par un choix judicieux de la nature des revêtements et des dimensions respectives de leurs surfaces, on détermine un équilibre entre l'absorption du rayonnement solaire et la radiation thermique de l'engin et on contrôle ainsi dans une certaine mesure la température interne. Celle-ci était d'ailleurs régulée par un dispositif spécial et restait voisine de 24 °C. Le tableau I résume les caractéristiques de Pionnier V. Le système de télémesure « télébit » pouvait

transmettre les données enregistrées à trois vitesses différentes, la vitesse la plus faible correspondant à la bande d'information la plus faible et par suite à une puissance de réception minimum plus faible

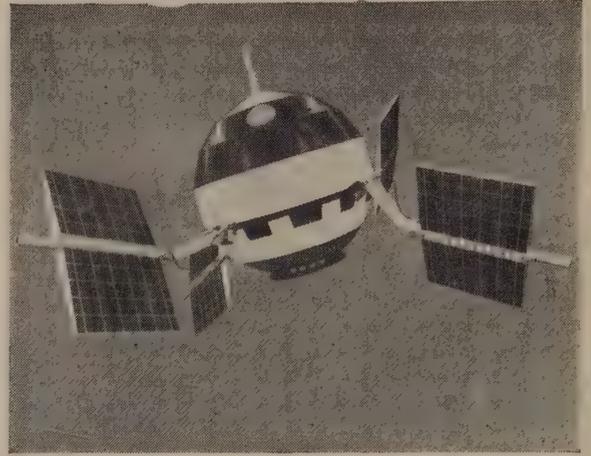


FIG. 3.

Tableau I

PIONNIER V

- Lancé le 11-3-60. Satellite solaire (Périhélie et aphélie : 121 et 148 millions de km. Période 311 jours).
- Diamètre : 66 cm. Poids : 41 kg (18, 5 kg d'instruments).
- Alimentation : 24 batteries Ni-Cd chargées par 4 800 cellules solaires (puissance 15 W).
- Température interne régulée aux environs de 24 °C.

— Télémesure

Emissions du satellite : 378 MHz, 5 ou 150 W commandées du sol. Antennes omnidirectionnelles.

Paramètres transmis : champ magnétique, rayonnement corpusculaire, micrométéorites, fonctionnement interne, enregistrés sur mémoire transistorisée.

Type de modulation : PCM-FM à 1, 8 ou 64 bits/s. (« Telebit ».)

Réception au sol : paraboles de 75 m (Jodrell Bank) ou 18 m. $T_A = 50$ °K. Ampli paramétrique : $T_R = 120$ °K.

Portée maximale : Théorique : 80 millions de km
Réalisée : 36 millions de km
(Panne d'émetteur le 26-6-60)

— Poursuite au sol : Mêmes équipements que pour la télémesure.

— Commande du sol : 400 MHz, 1 ou 10 kW. Mêmes antennes que pour la réception de la télémesure.

Participants principaux : NASA, U.S. Air Force, Space Technology Lab.

elle était donc utilisée pour les distances les plus grandes. Les vitesses d'information sont données en « bits/seconde », unité normalisée. On peut considérer qu'une vitesse de b bits/seconde correspond à peu près à une bande d'information de n Hz. Pour maintenir le faisceau de l'antenne de réception dirigé vers l'engin, on se repérait sur les signaux émis : on déterminait l'écart angulaire entre l'axe du faisceau et la direction d'arrivée au sol des signaux et l'on modifiait en conséquence l'orientation des paraboles. Lorsque cette réorientation est assurée par des procédés automatiques, on réalise une « poursuite automatique » : mais ce n'était pas le cas dans les stations qui suivaient Pionnier V. Les figures 4 et 5 reproduisent des photographies de



FIG. 6.

Les différents éléments constituant des circuits radioélectriques, éléments passifs tels que résistances, inductances et capacités, ou actifs tels que diodes semi-conductrices et transistors, peuvent être disposés sur des plaquettes de céramique ou de matériau isolant. La figure 7 représente l'avant et l'arrière

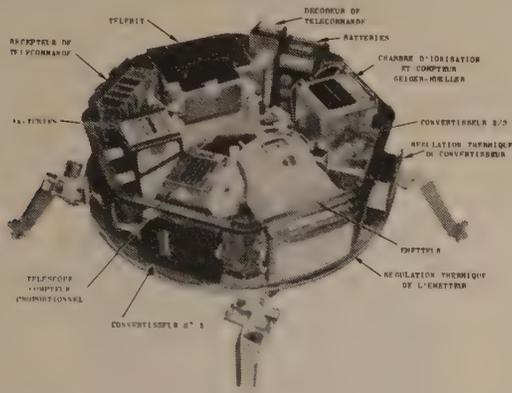


FIG. 4.

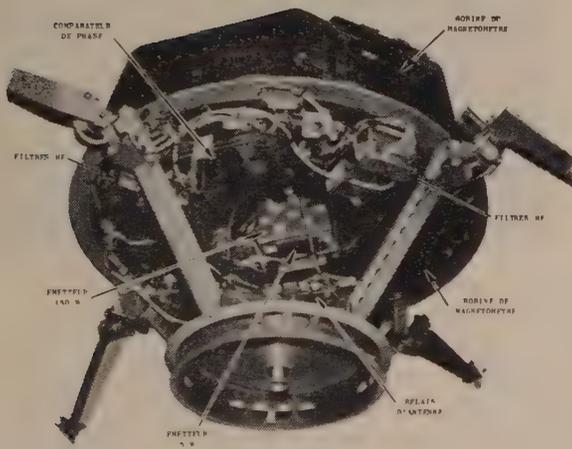


FIG. 5.

l'équipement interne, où l'on distingue les émetteurs et différents appareils de mesure, ainsi que sur la figure 4 les batteries chimiques, le « télébit » et les récepteurs de télécommande. On voit sur la figure 6 l'antenne parabolique de 75 m de diamètre de l'Université de Manchester, à Jodrell Bank, qui a permis la communication de portée maximum.

Les figures 7 à 11 fournissent quelques indications sur les techniques les plus modernes de microminuturisation applicables aux engins spatiaux.

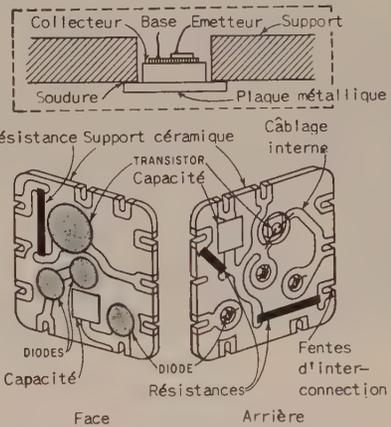


FIG. 7.

d'une de ces plaquettes, dont les dimensions sont $1,2 \times 1,2 \times 0,075$ cm³, ainsi que le schéma de montage d'un transistor encastré. Les résistances sont formées par des dépôts de films métalliques ou d'oxydes ; le support céramique peut servir de diélectrique pour les condensateurs ; les bobinages des selfs sont des tores encastrés de dimensions microscopiques. Une plaquette porte un ou plusieurs éléments. Les encoches latérales permettent de loger les fils de connexion entre plaquettes.

La figure 8 montre comment on peut empiler des plaquettes (il s'agit ici de plaquettes normalisées par RCA pour l'armée américaine, de dimensions $7,8 \times 7,8 \times 0,25 \text{ mm}^3$) : l'ensemble obtenu constitue ce qu'on appelle un micromodule, dont on assure en

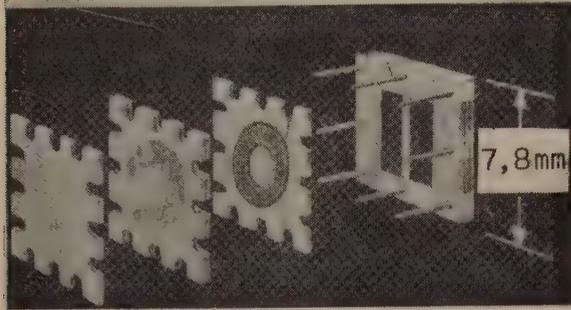


FIG. 8.

général la rigidité mécanique par moulage dans une résine. On arrive ainsi à des densités d'éléments de l'ordre de 10 à 20 par cm^3 , chiffre que l'on espère augmenter encore, peut-être jusqu'à 100.

La figure 9 représente un calculateur électronique formé de 13 plaquettes interconnectées, comportant 17 circuits électroniques élémentaires dont 7 circuits amplificateurs et un circuit de multivibrateur (celui de la figure 7). Le calculateur complet occupe un volume de 4 cm^3 , avec une densité de 22 éléments par cm^3 .

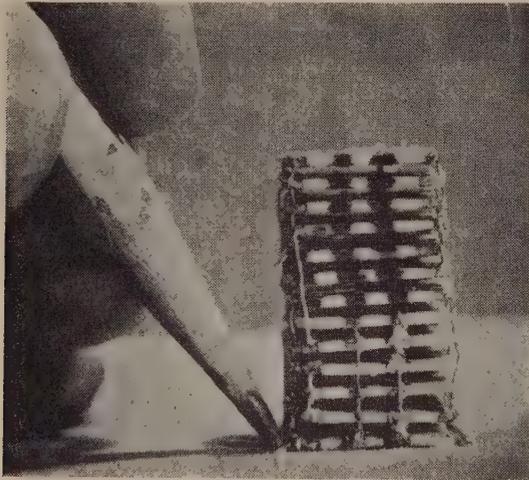


FIG. 9.

Une autre technique encore plus spectaculaire qui se développe aux Etats-Unis est « l'électronique moléculaire ». Les différents éléments actifs ou passifs constituant un montage radioélectrique sont alors formés au sein même d'un bloc élémentaire de matériau semi-conducteur, par différentes combinaisons de procédés tels que la diffusion, le dépôt ou l'attaque électrolytique, l'usinage par faisceau électronique, la coupe et l'abrasion, l'alliage, la photographie ou l'influence des radiations. On réalise ainsi, sans aucune connexion, des montages complets de dimensions extrêmement faibles.

On voit sur la figure 10 trois ensembles électroniques, présentés il y a quelques mois par Westinghouse. La longueur du trombone est de 4 cm. Le

bloc de gauche, de 1,75 cm de diamètre, est un amplificateur BF, pour électrophone de 5 W de sortie, de bande s'étendant de 0 à 20 000 Hz. L'am-

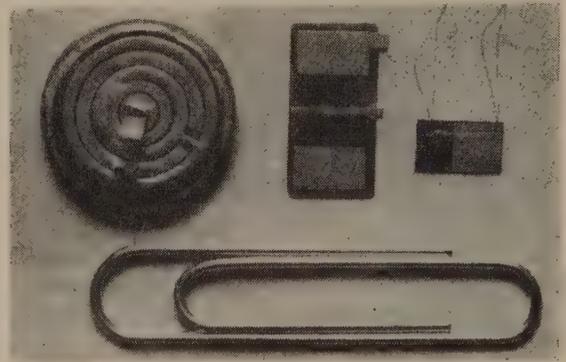


FIG. 10.

plificateur proprement dit est gros comme une tête d'épingle et ce qui apparaît en fait est le radiateur destiné à dissiper la chaleur produite. On a au centre un multivibrateur, et à droite un amplificateur « vidéo » de télévision à deux étages.

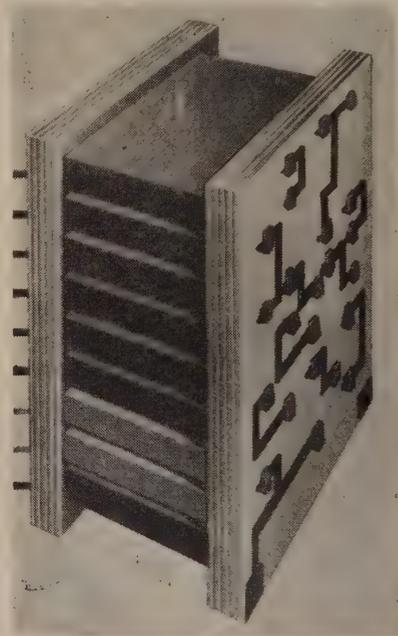


FIG. 11.

La figure 11 reproduit le dessin très grossi d'un circuit de calculateur électronique, comportant 9 blocs élémentaires de semi-conducteur dont on voit les connexions. L'ensemble est équivalent à un montage comportant 10 transistors, 8 diodes, 6 inductances et 32 résistances. Il occupe un volume de $0,21 \text{ cm}^3$, ce qui correspond à une densité de 270 éléments par cm^3 , et il pèse 1,3 g.

Ces nouveaux types de circuits seront d'un intérêt énorme, non seulement par leur poids et leurs dimensions extrêmement réduites, mais aussi par leur sécurité de fonctionnement (il n'y a plus de connexions internes, causes de défauts ou de pannes) et même, beaucoup le pensent, par leur prix futur, une fois que ces techniques seront complètement industrialisées.

Plusieurs parmi les recherches mentionnées ci-dessus visent à améliorer les performances des équipements électroniques ; elles auront donc une influence directe sur le développement et la qualité des communications terrestres. Mais c'est une complète innovation dans les procédés actuels de communication à grande distance que constitue la possibilité d'utiliser des satellites artificiels de la terre comme relais amplificateurs ou même simplement comme réflecteurs d'ondes radioélectriques, pour effectuer des liaisons entre stations au sol. Ainsi ces ondes n'auront plus à contourner la surface sphérique de notre globe — ce qui entraîne pour elles un affaiblissement considérable — ou à se réfléchir sur une ionosphère formée de couches mouvantes d'électrons, dont les modifications produisent de sérieuses fluctuations des signaux reçus et causent parfois de graves interruptions du trafic radiotéléphonique et radiotélégraphique.

Les techniciens américains et russes pensent parvenir à placer sur des orbites équatoriales — à des altitudes de l'ordre de 36 000 kilomètres — des satellites dont la durée de révolution serait exactement de vingt quatre heures et qui ainsi apparaîtraient comme fixes à un observateur terrestre (1). Il suffirait de trois ou quatre de ces satellites, régulièrement échelonnés le long de l'équateur, pour assurer la transmission de signaux entre deux points quelconques du globe (figure 12). D'autres projets

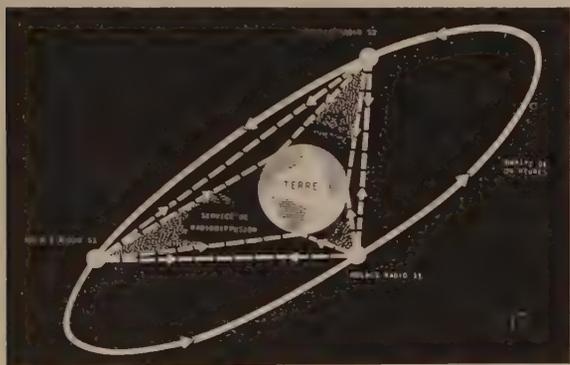


FIG. 12.

— réalisables peut-être à plus courte échéance — envisagent le recours à des satellites évoluant à des altitudes plus basses, de l'ordre de 2 000 à 10 000 kilomètres. Comme leur période de révolution, qui diminue avec l'altitude, serait réduite, ils se déplaceraient par rapport au sol. Un ensemble de plusieurs dizaines de satellites serait alors nécessaire pour constituer un réseau mondial, compte tenu de l'impossibilité où l'on sera en pratique de synchroniser leur mouvement et de l'obligation d'avoir toujours

(1) Le temps de transmission, pour un trajet sol-satellite-sol, sera relativement long (0,25 seconde). C'est un point qui mérite un sérieux examen (particulièrement dans le cas d'un service téléphonique entre abonnés) : on risque des échos à long retard ou, si l'on utilise des « supprimeurs d'échos », des coupures d'éléments importants de la conversation. Il faut d'ailleurs noter que, d'après les recommandations internationales 0,25 s constituent précisément la durée maximum admise pour le temps de transmission total d'une communication téléphonique, la part allouée au circuit international ne devant pas dépasser 0,15 s. Ce fait peut donc introduire une limitation sérieuse dans l'utilisation des communications par satellites pour la téléphonie.

au moins un satellite en visibilité simultanée de stations distantes de plusieurs milliers de kilomètres (figure 13). Les antennes des stations au sol devront rester constamment pointées sur ce satellite. Chaque station devra comporter au moins deux antennes, de façon qu'il n'y ait pas d'interruption au moment où l'on doit passer d'un satellite à celui qui sera utilisé ensuite.

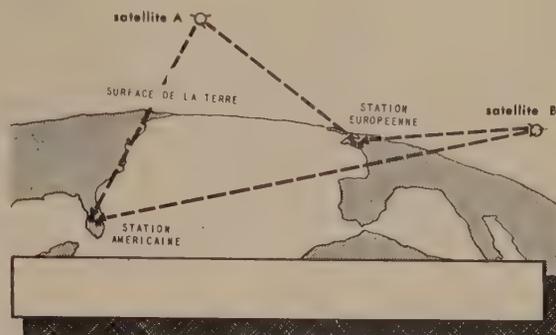


FIG. 13.

L'emploi de satellites constituant des simples réflecteurs (satellites « passifs ») peut paraître, au premier examen, plus simple que celui de satellites-relais (satellites « actifs ») qu'il faudra doter d'ensembles récepteur-amplificateur-réémetteur. Mais les puissances des émetteurs au sol devront par contre être beaucoup plus élevées dans le cas où l'énergie incidente sur les satellites sera seulement réfléchi et non amplifiée avant d'être retransmise. Les deux solutions présentent donc des avantages et des inconvénients et il est difficile de prévoir celle qui sera retenue dans le futur, bien que les satellites actifs semblent avoir actuellement le maximum de partisans. On a également songé — c'est une variante des satellites-relais — à des satellites qui, passant au-dessus d'une station, capteraient des messages, les enregistreraient (par exemple sur bande magnétique) et les diffuseraient ultérieurement, quand ils seraient en visibilité de la station destinatrice (figure 14). Cette méthode, plus économique au point de vue du nombre des satellites nécessaires à la constitution d'un réseau de communication, n'est malheureusement pas utilisable pour des transmissions instantanées, telles que des transmissions téléphoniques.

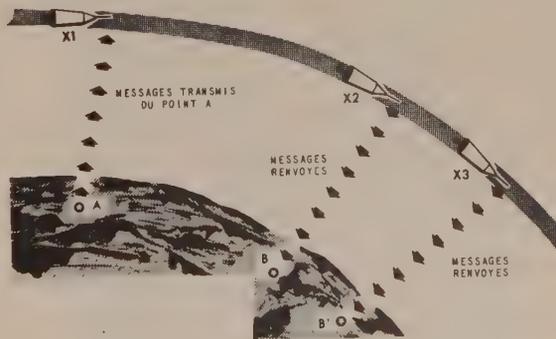


FIG. 14.

En pratique, le besoin de faire appel à ces nouveaux types de liaisons se fait sentir avec une acuité particulière dans deux cas précis : les communications

avec les régions polaires (qui sont, avec les liaisons radioélectriques existantes sujettes à des perturbations presque continuelles, et dont l'intérêt est surtout stratégique) et les communications intercontinentales sur des artères à grand trafic (tout spécialement sur les trajets Europe — Amérique du Nord).

Le premier câble téléphonique sous-marin transatlantique, d'une capacité de trente-six voies, fut mis en service en septembre 1956 entre le Canada et la Grande-Bretagne. Auparavant toutes les communications téléphoniques étaient acheminées par radio, sur ondes courtes, et leur qualité laissait souvent à désirer. Un autre câble à trente-six voies relie directement, depuis 1959, le Canada à la France, via Terre-Neuve (1). Mais l'accroissement du trafic est si rapide que les circuits ainsi disponibles seront sans doute saturés dès 1962. Et la pose de nouveaux câbles sous-marins, qui est une opération longue, paraît dès maintenant ne plus pouvoir suivre le développement futur des besoins.

Au contraire, on estime dans les milieux industriels américains que la capacité d'une transmission par satellite pourrait atteindre en quelques années plusieurs centaines de voies téléphoniques, et même permettre l'échange de programmes de télévision en direct. Selon des experts autorisés, le prix de revient par voie serait de cinq à dix fois plus faible que celui d'un câble (2).

Les formules (1) permettent l'étude théorique des liaisons par satellites actifs, qui comportent en réalité deux transmissions successives sol-satellite et satellite-sol. Dans le cas d'une liaison par satellite passif, entre deux stations terrestres E et R , le rapport de la puissance reçue P_R à la puissance émise P_E est donné par l'une ou l'autre des relations :

$$\frac{P_R}{P_E} = \frac{G_E G_R \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 d_1^2 d_2^2} = \frac{A_E A_R \sigma}{4\pi \lambda^2 d_1^2 d_2^2} \quad (8)$$

d_1 et d_2 désignent les distances de E et R au satellite, G_E et G_R les gains d'antenne, A_E et A_R leurs surfaces équivalentes. Quant à σ c'est un paramètre qui caractérise les propriétés de réflexion du satellite, appelé « surface équivalente de diffusion » de celui-ci. A puissance d'émission égale, la puissance reçue augmente avec les gains d'antenne et avec σ .

On trouve au tableau II les valeurs de σ pour quelques réflecteurs types. La première ligne correspond à un réflecteur sphérique de diamètre D , la seconde à un réflecteur plan à contour circulaire, ayant également un diamètre D et qui serait disposé sur un satellite pour lui servir d'élément réfléchissant sous une incidence θ . Si D est nettement supérieur à λ , σ peut être beaucoup plus élevé dans le second cas que dans le premier. Mais, par contre, le faisceau réfléchi n'est plus alors omnidirectionnel

et le réflecteur doit être orienté de façon assez précise par rapport à la liaison, ce qui nécessite une stabilisation sur le satellite.

Tableau II

Surface équivalente de réflecteurs passifs

Réflecteur	σ	Faisceau réfléchi
Sphère de diamètre D	$\pi D^2 / 4$	Omnidirectionnel
Plaque circulaire de diamètre D	$0,6 \frac{\pi^2 D^4}{\lambda^2} \cos^2 \theta$	$\alpha = 60 \lambda / D$ (degrés)
Nuage de dipôles demi-onde d'orientation aléatoire	$0,16 \lambda^2$ en moyenne par dipôle (bande de résonance à 3 dB : 10 %)	Omnidirectionnel

La troisième ligne correspond à un type très différent de réflecteurs : il s'agit de dipôles demi-onde, c'est-à-dire d'éléments métalliques filiformes de longueur égale à une demi longueur d'onde. On a proposé récemment de placer en orbite terrestre des nuages formés d'un grand nombre de tels dipôles qui pourraient même constituer de véritables anneaux entourant complètement la terre, un peu comme les anneaux de Saturne. L'expression de σ indiquée au tableau II n'est alors valable en toute rigueur que pour la longueur d'onde de résonance, c'est-à-dire celle qui est égale à deux fois la longueur des dipôles ; mais, en pratique, on peut faire en sorte que σ varie peu, dans une gamme de longueurs d'onde ayant une étendue de l'ordre de 10 % autour de la longueur d'onde de résonance. Les nuages de dipôles, comme les réflecteurs sphériques, réfléchissent l'énergie incidente uniformément dans toutes les directions.

Nous allons maintenant décrire un certain nombre d'expériences de communications par satellites qui sont en cours, ainsi que divers projets qui sont envisagés pour la réalisation de réseaux exploitables.

1) PROJETS UTILISANT DES SATELLITES PASSIFS

a) *Projet Echo*

La figure 15 représente le satellite Echo, ballon aluminisé de 30 m de diamètre, mis en orbite en août 1960 pour l'étude des transmissions par réflexion. On trouvera au tableau III les caractéristiques du satellite et celles des liaisons expérimentales les plus importantes qui ont pu être réalisées grâce à lui entre points du continent américain. On notera particulièrement, dans la première série d'essais, l'ensemble de réception à faible bruit édifié aux laboratoires Bell à Holmdel. L'antenne de réception dont

(1) On a pu augmenter les capacités à 47 et 62 voies commerciales, respectivement pour le premier et le second câble.

(2) Selon le Dr H. BUSIGNIES, directeur technique de l'International Telephone and Telegraph, le coût par voie-kilomètre d'une liaison par satellite à cinq cents voies téléphoniques serait de l'ordre de 35 dollars, au lieu de 250 pour un câble sous-marin.

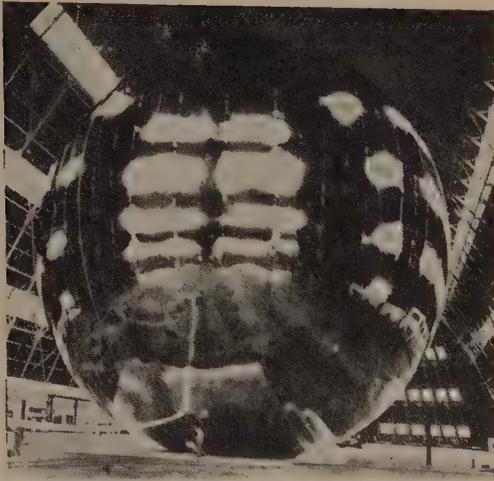


FIG. 15.

Tableau III
ECHO I (Réflecteur passif)

- Lancé le 12-8-1960. Satellite terrestre (Périgée et apogée : 1 520 et 1 690 km. Période 1 h 59 mn. Inclinaison 48° sur l'équateur).
- Diamètre 30 m (ballon plastique aluminisé). Poids : 59 kg.
- Alimentation des émetteurs balises : 5 batteries Ni-Cd, chargées par 70 cellules solaires.
- 2 émetteurs balises : 108 MHz, 50 mW, pesant 310 g chacun.

Expériences de communication

1. Holmdel (N.J., Bell Telephone Lab.) – Goldstone (Californie, Jet Propulsion Lab.).

Ondes entretenues ou 1 voie téléphonique 3 kHz en FM (± 30 kHz).

Fréquences : 960,05 MHz (Emission N.J.), 2 390 MHz (Emission Calif.).

Emission : 10 kW. Paraboles 18 m (N.J.) et 25 m (Calif.).

Réception : Cornet 6×6 m² (N.J.) Parabole 25 m (Calif.). Compression de fréquence.

Maser : $T_A + T_R = 25$ °K (N.J.).

Ampli paramétrique : $T_A + T_R = 300$ °K (Calif.). Polarisation circulaire.

Orientation antennes : commandée par centre de calcul d'orbite ou éventuellement par poursuite optique ou radar.

2. Cedar Rapids (Iowa) – Richardson (Texas) (Collins Radio).

Ondes entretenues ou télégraphe ou téléphone ou fac-similé.

Fréquences : 955 MHz (Emission Iowa), 810 MHz (Emission Texas).

Emission : 10 kW. Paraboles 9 m.

Réception : Paraboles 9 m (Iowa) et 12 m (Texas).

Amplis paramétriques.

Orientation antenne : par poursuite radio sur 108 MHz ou radar.

3. Trinité (Antilles) – Floyd (N.Y.) (U.S. Air Force). Télétype ou 1 voie téléphonique.

Fréquences : voisines de 2 000 MHz.

Paraboles de 24 m (Antilles) — 10 m (N.Y.).

Participants principaux : NASA, et les organismes indiqués ci-dessus.

on voit une photographie à la figure 16, est un cornet spécial à lobes parasites très réduits. Le récepteur lui-même comporte un « maser ». La figure 17 représente l'antenne parabolique de 25 m de diamètre utilisée à la réception dans la station de Goldstone. Dans la même série d'essais, et bien que le satellite transporte de petits émetteurs destinés à faciliter sa poursuite par les antennes au sol, suivant la méthode indiquée plus haut à propos de Pionnier V, on a cherché à s'affranchir de la sujétion d'émettre sur le satellite. Dans ce but, l'orientation des antennes pouvait être commandée à distance par un centre de calcul électronique, disposant de données précises sur les orbites du ballon, données obtenues grâce aux réseaux d'observation américains.

Indépendamment des expériences purement américaines, des essais de transmission transatlantique

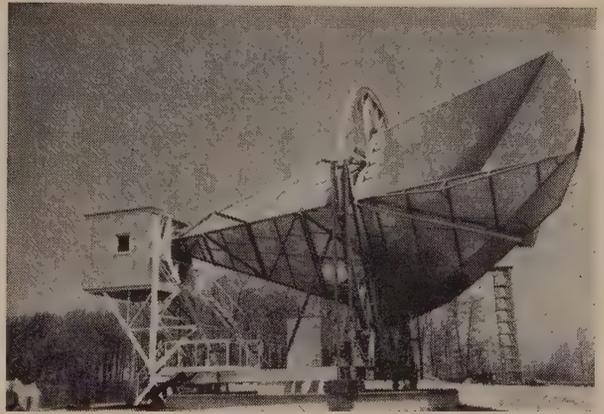


FIG. 16.

par réflexion sur le satellite Echo ont aussi été effectués. Le signal émis à Holmdel sur 960 MHz a pu être ainsi capté pendant plus d'une minute, le 18 août 1960, par un équipement de réception du Centre National d'Etudes des Télécommunications à Issy-



FIG. 17.

les-Moulineaux⁽¹⁾. On voit sur la figure 18 l'amplitude de ce signal et sur la figure 19 l'enregistrement simultané de la dérive de fréquence Doppler, qui identifie

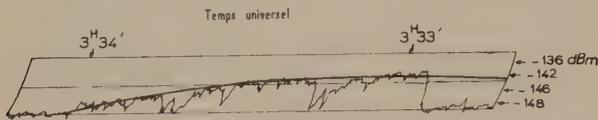


FIG. 18.

sans doute possible l'origine des signaux. Ceci constituait la première liaison transatlantique par satellite. Quelques jours plus tard, les techniciens anglais ont réussi à Jodrell Bank une expérience similaire, mais en enregistrant cette fois un signal téléphonique et même musical.

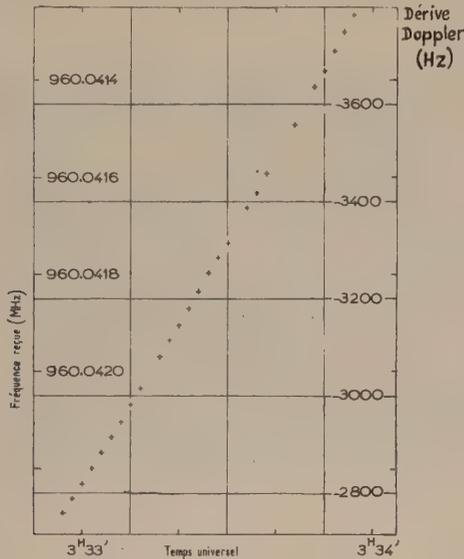


FIG. 19.

b) Autres projets

D'autres essais de liaisons par réflecteurs passifs sont envisagés. La NASA doit mettre en orbite, au début de 1962, un réflecteur sphérique de 40 m de diamètre à armature rigide, et tenter, au début de 1963, la transmission transatlantique d'une image de télévision (bande d'information de 2 MHz) sur une fréquence voisine de 6 000 MHz, avec des puissances d'émission de 40 kW et des antennes ayant près de 500 m² de surface d'ouverture (Projet Rebound).

Nous avons indiqué plus haut la proposition qui a été faite de placer autour de la terre un ou plusieurs anneaux réflecteurs formés d'un grand nombre de dipôles (figure 20). Un poids total de 100 kg de matière suffirait pour constituer un anneau, à 5 000 km d'altitude, comportant un total de 10⁹ dipôles de 2 cm de long, 25 microns de diamètre et 80 microgrammes de poids. Des émetteurs de 10 kW opérant sur des longueurs d'onde de 4 cm et associés

(1) D'autres réceptions des signaux de Holmdel ont été effectuées par le CNET et la Compagnie Générale d'Electricité, en décembre 1960, à Nançay dans le Cher, où a été réalisée en juin 1961 la première liaison Etats-Unis - France par réflexion sur la Lune.

à des paraboles de 20 m de diamètre pourraient assurer des liaisons télégraphiques à 32 voies simultanées entre deux points quelconques du monde, avec seulement deux anneaux du type indiqué, l'un en orbite équatoriale et l'autre en orbite polaire. Ces anneaux auraient une durée de vie de l'ordre d'une année. Un essai préliminaire pourrait avoir lieu aux Etats-Unis en 1961 (Projet Westford).

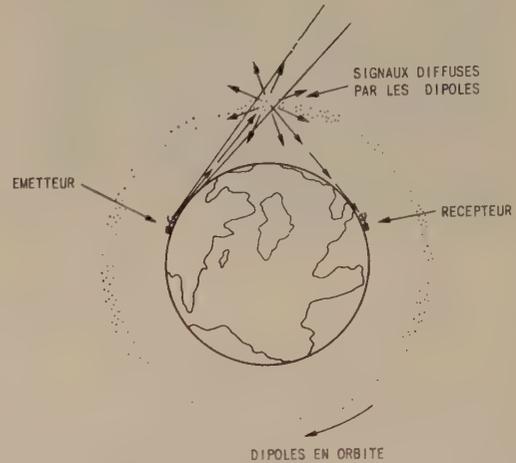


FIG. 20.

2) PROJETS UTILISANT DES SATELLITES ACTIFS

a) Projet militaire COURRIER à transmission différée

Le premier satellite de ce projet a été mis en orbite au début d'octobre 1960 par l'armée américaine ; c'est un relais, à transmission différée, dont on voit la photographie à la figure 21. La surface est couverte par les cellules solaires et l'équipement électronique se trouve fixé à un anneau diamétral. Le



FIG. 21.

tableau IV fournit des renseignements détaillés sur cet équipement et sur les essais effectués. Les signaux, provenant de 20 télétypes opérant en permanence, sont enregistrés dans chaque station au sol sur une bande magnétique ; lorsque le satellite

Tableau IV

COURRIER IB (Relais actif à transmission différée)

— Lancé le 4-10-1960. Satellite terrestre (Périgée et apogée : 1 100 et 1 400 km. Période 1 h 47 mn. Inclinaison sur l'équateur 28,3°. Panne d'émission en décembre 1960.

— Diamètre 1,3 m. Poids 275 kg (dont 135 kg de d'équipements électroniques). Tout transistorisé sauf tubes de sortie 2 000 MHz.

— Alimentation par batteries Ni-Cd, chargées par 19 152 cellules solaires (puissance captée 62 W). Consommation : 10 W ou, en période d'activité, 225 W.

Capacité : Echanges bilatéraux avec le sol pendant des durées de 5 minutes de messages télétypes à 55 kilobits/s (environ 70 000 mots-minute) ou, dans un sens, de signaux téléphoniques ou analogiques dans une bande BF de 50 kHz. Correspond environ à 20 télétypes à 100 mots-minute, en fonctionnement continu, en chaque station.

Stations d'essais au sol : Fort Monmouth (N.J.) - Salinas (Porto-Rico).

Antennes au sol : Parabole de 9 m, utilisée à toutes les fréquences et pour Emission-Réception.

Equipements de transmission

Fréquences : voisines de 2 000 MHz.

Transmissions bilatérales, par commande du sol, sur deux fréquences dans chaque sens.

Modulation FM (\pm 100 kHz).

Equipements au sol :

Emission : 1 kW.

Réception : ampli paramétrique $F = 2$ dB/quadru-
ple diversité : (2 fréquences, 2 polarisations).

Equipements sur satellites :

2 Emetteurs (+ 2 rechanges) 5 à 8 W.

4 Récepteurs. $F = 12$ dB. Diversité quadruple.

5 Enregistreurs magnétiques. Durée 5 minutes.

Remarque : Peut opérer éventuellement en relais instantané.

Commande du sol : 135 MHz, 1 kW.

2 récepteurs sur satellite, $F = 6$ dB.

Télémesure : 108 MHz, 2 émetteurs, 1,5 W.

35 paramètres (Milieu et contrôle fonctionnement).

Modulation PAM-FM-FM, à 7 canaux (\pm 6 kHz).

Réception : $F = 4$ dB. Diversité double de polarisation.

Poursuite au sol : poursuite automatique sur signaux émis par 2 balises (108 MHz-50 mW) du satellite.

Participants principaux : U.S. Army, Philco (équipements satellites), I.T.T. (équipements au sol).

passé en visibilité de l'une de ces stations, les informations stockées sur bande lui sont transmises à grande vitesse, de sorte que l'on peut, en cinq minutes, faire parvenir au satellite, où l'on dispose également d'enregistreurs magnétiques, tous les messages recueillis depuis son dernier passage. Quand le satellite arrive en visibilité de la station correspondante, les mêmes opérations s'effectuent en sens inverse. On notera également la réception en « diversité » au sol et sur le satellite : on combine les signaux transmis sur deux fréquences légèrement différentes

et (ou) ceux recueillis sur deux antennes différentes, de façon à augmenter la stabilité du signal résultant de cette combinaison par rapport à celle des signaux individuels. On notera également que l'on réalise une télémaintenance du satellite : le fonctionnement est contrôlé au sol par une liaison de télémesure et l'on peut, en cas de panne, par la liaison de télécommande qui déclenche les transmissions du satellite, commuter des équipements de rechange, à la place des équipements défectueux.

La figure 22 représente l'antenne parabolique



FIG. 22.

de 9 m de diamètre utilisée dans les stations au sol : elle opère simultanément à l'émission et à la réception, sur toutes les fréquences (108, 135 et 2 000 MHz), et suit le satellite en poursuite automatique.

Le satellite mis en orbite en octobre 1960 et les deux stations qui ont été édifiées au sol constituent les premiers éléments d'un réseau militaire.

b) Projets civils, à transmission instantanée

La retransmission instantanée est nécessaire pour les communications téléphoniques et la diffusion d'images de télévision en direct. Comme on peut le penser, les compagnies privées américaines d'électronique spatiale et celles qui sont chargées de l'exploitation des réseaux téléphoniques, télégraphiques et de télévision aux Etats-Unis s'intéressent passionnément à ce nouveau type de transmission à grande distance. Divers projets de réseaux commerciaux, à l'échelle mondiale, ont été soumis à la NASA (National Aeronautics and Space Administration), organisme gouvernemental américain des recherches spatiales. L'American Telephone and Telegraph (ATT) a même proposé d'assumer intégralement le financement de son projet, en demandant seulement à la NASA de lancer ses satellites et d'en déterminer avec précision les orbites, moyennant remboursement des dépenses correspondantes.

Tableau V

Projet A.T.T. Télécommunications mondiales par satellites actifs.

Satellites : 50 (30 pour réseau simplifié U.S.A - Europe - Hawaï).

Orbites : polaires, altitude 6 000 à 10 000 km.

Poids : 70 à 120 kg.

Alimentation par batteries Ni-Cd, chargées par cellules solaires.

Capacité : 1 ou 2 canaux bilatéraux, chacun pour 600 voies téléphoniques, ou 1 voie TV.

Fréquences : ordre de 6 000 MHz de sol vers satellite, 4.000 MHz de satellite vers le sol. Bande de 60 MHz par canal dans chaque sens pour une bande BF de 5 MHz.

Modulation : FM a large indice (± 25 MHz par canal) avec compression de fréquence à la réception.

Equipements au sol : 2 émetteurs (+ 1 rechange) 2 kW. Paraboles 18 m.

— 2 Récepteurs (+ 1 rechange). Cornet 18 m \times 18 m : $T_A \simeq 15^\circ\text{K}$ (site minimum $7,5^\circ$). Maser : $T_R \simeq 15^\circ\text{K}$.

— Orientation des antennes : commandée par calculateur d'orbite et poursuite automatique radio ou radar.

Equipements des satellites-relais

Antennes : directives (stabilisation) : gain ordre de 10. Récepteurs F = 10 dB.

Amplis de sortie : Tube Onde Progressive 2 W.

Prix d'un satellite : 1 (1 canal) à 2 (2 canaux) millions de dollars ;

Durée escomptée : 5 à 10 ans.

Prix global : 115 (1 canal) à 170 (2 canaux) millions de dollars ;

50 (1 canal) à 82 (2 canaux) pour le réseau simplifié.

Début des essais : 1962 ? de l'exploitation : 1965 ?

La NASA a décidé d'effectuer des essais préalables et d'étudier un satellite expérimental de poids réduit, devant évoluer à une altitude comprise entre 2 000 et 5 000 km, qui pourrait être mis en orbite au troisième trimestre 1962 (Projet Relay). Ce satellite assurerait des transmissions transatlantiques bilatérales de télévision ou d'un grand nombre de voies téléphoniques (en principe jusqu'à 600), sur des fréquences qui seront sans doute de l'ordre de 2 000 MHz (sol vers satellite) et de 4 000 MHz (satellite vers sol). On peut estimer que des émetteurs de 10 kW au sol et de 5 à 10 W sur le satellite, associés à des antennes au sol de 400 à 500 m² de surface d'ouverture et à des ensembles de réception de température globale ($T_A + T_R$) de quelques dizaines de degrés Kelvin (maser) conviendraient à ces expériences. Un accord de coopération a été passé entre la NASA, le Ministère des Postes de Grande-Bretagne et le Centre National d'Etudes des Télécommunications, à la suite duquel les stations terrestres nécessaires aux essais sont en cours d'installation aux Etats-Unis, en Angleterre et en France (à l'annexe du CNET de Lannion, en Bretagne). L'altitude prévue du satellite Relay doit permettre d'étudier l'influence sur les équipements électro-

niques de bord (en particulier les cellules solaires) des particules de grande énergie qui constituent la première ceinture de radiation entourant le globe.

Le tableau V résume, à titre d'exemple, les caractéristiques d'un projet présenté par l'A.T.T. en juin 1960, compte tenu d'un certain nombre de modifications ultérieures (les chiffres indiqués sont donnés sous toute réserve et ne peuvent être considérés comme définitifs). On voit sur la figure 23 le schéma initial d'un satellite A.T.T.

Signalons aussi que la Federal Communications Commission (F.C.C.), chargée aux Etats-Unis des allocations de fréquences pour les besoins des radio-communications, a proposé récemment, pour les liaisons par satellites artificiels, l'utilisation des

Tableau VI

Projets U.S. Army

(Réseau de communications par satellites actifs stationnaires) 3 ou 4 satellites équatoriaux à 36 000 km d'altitude

	Phase I	Phase II
Capacité par satellite	10 canaux HF de 1MHz chacun pour 12 voies en Phonie PCM (nombre plus élevé en courants porteurs)	6 canaux HF de 100 MHz chacun pour 1 000 voies Phonie + 1 TV (100 voies ou 1 TV cryptographiées)
Modulation Radio	FM	FM
Satellite :		
Poids total :	450 kg	1 350 kg
(communications)	115 kg	500 kg
alimentation	115 kg	225 kg
guidage, contrôle)	90 kg	200 kg
Fréquen. Emission	1 700-2 400 MHz	4400-5 000 MHz
Puissance Emis.	1 W par canal (Triodes)	5 W par canal (Tub.Ond.Progr)
Diam. antenne émission	0,5 m (faisceau de 20°)	1,5 m (fais. de 2,8°)
Stabilisation orientation	$\pm 2^\circ$	$\pm 0,5^\circ$
Télémesure	FM-FM (75 paramètres)	PCM-FM (150 paramètres)
Puissance alimentation : (cellules solaires + batteries chimiques)	300 W	1 kW
Durée	0,5 à 1 an	Plus de 2 ans
Equipem. au sol		
Puis. émission	1 kW	10 kW
Diam. antenne	9 m	18 m
Récept. : $T_A + T_R$	100 °K	100 °K

Position stabilisée par localisation au sol et télécommande ; orientation stabilisée par contrôles sur satellite : infrarouge (verticale sol) et optique (étoile polaire).

Remarque. — Ces projets semblent voisins du Projet ADVENT, de caractéristiques non publiées, auquel participent : l'U.S. Army, General Electric (satellite) Bendix (équipements de communications).

gamme de fréquences 3 700 - 4 200 MHz (satellite vers sol), 5 925 - 6 425 MHz (sol vers satellite), 6 425 - 7 200 MHz (bilatéral), 7 200 - 7 700 MHz (satellite vers sol), 7 700 - 7 900 MHz (bilatéral), 7 900 - 8 400 MHz (sol vers satellite). Ces gammes de fréquences seraient partagées avec les faisceaux hertziens terrestres, fixes ou mobiles, à l'exclusion des bandes 7 650 - 7 700 et 8 350 - 8 400 MHz, qui pourraient être réservées en exclusivité aux liaisons spatiales.

c) Projet militaire ADVENT, à transmission instantanée.

De leur côté, les militaires américains ont déjà amorcé pour leurs propres besoins la réalisation d'un réseau mondial de communications, utilisant des satellites actifs à transmission instantanée. Ils semblent avoir adopté d'emblée la solution des satellites stationnaires à 36 000 km d'altitude. Les premiers contrats relatifs à ce projet, le projet ADVENT, ont été passés il y a quelques mois. Les caractéristiques détaillées n'ont pas été publiées, mais on peut se référer à un projet qui a été décrit récemment par des techniciens de l'armée américaine, et se trouve condensé au tableau VI.

les émissions des satellites, par recours à une cryptophonie ou une cryptographie des signaux de téléphonie ou de télévision transmis. Les satellites doivent être stabilisés à la fois en position (celle-ci étant en principe fixe par rapport au sol) et en orientation (puisqu'on y utilisera des antennes directives). Un glissement de position peut être détecté par les réseaux d'observation au sol et corrigé par action d'une télécommande sur de petites tuyères de réaction. Pour stabiliser en orientation, on doit disposer sur le satellite de directions de références. Celles-ci sont la verticale terrestre et la direction du nord (ou plutôt de l'étoile polaire), repérées respectivement par des dispositifs infrarouge et optique.

En ce qui concerne les dates de mise en service en exploitation réelle, on a parlé de 1963 pour la première phase, de 1967 ou 1968 pour la seconde. Il est impossible de savoir si ces précisions sont fondées et cela dépendra aussi des difficultés qui seront rencontrées. Mais on peut penser que d'ici dix ans, peut-être cinq, les communications de toute nature par satellites artificiels seront devenues une réalité courante.

* *

Il est naturel, en terminant, de se poser une question : que pouvons-nous faire en France, dans ces domaines d'avant-garde mais de grand avenir ? Les recherches portant sur l'amélioration des divers éléments des appareillages radioélectriques peuvent être entreprises sans retard dans nos laboratoires, et certaines le sont déjà. Par contre, il semble bien que nous ne disposerons pas avant plusieurs années de satellites artificiels, ni de fusées à grande portée.

La seule chance qui nous soit donnée de participer à bref délai à des programmes d'exploration lointaine de l'espace ou de communications par satellites et de pouvoir suivre dans nos laboratoires et notre industrie l'évolution de l'électronique spatiale, est donc une collaboration internationale : collaboration avec les Etats-Unis d'abord, sur le plan européen et peut-être même mondial ensuite. Les contacts pris avec les organismes américains sont à cet égard très encourageants et, comme on l'a vu plus haut, le CNET doit, en particulier, coopérer activement aux premiers essais de communications transatlantiques par satellites, qui seront entrepris au cours de l'année 1962.

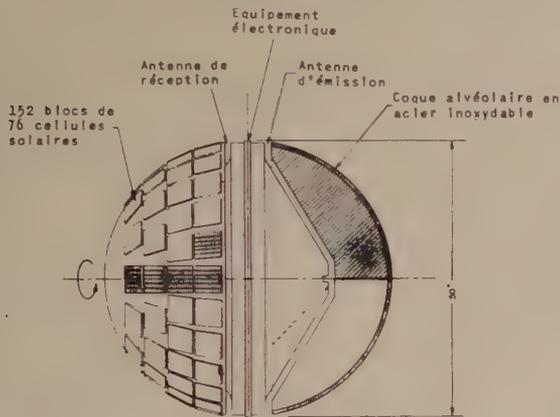


FIG. 23.

Comme il s'agit d'un projet militaire, les images de télévision, dont la transmission est prévue dans la phase II, peuvent correspondre à des écrans de radar. On a prévu une éventuelle protection contre les indiscretions vis à vis de ceux qui détecteraient

L'ÉVOLUTION DES SERVICES DE RADIOCOMMUNICATION A LA LUMIÈRE DES RÉSULTATS DE LA CONFÉRENCE DE GENÈVE *

(17 août — 21 décembre 1959)

PAR

A. HENRY

Ingénieur en Chef des Télécommunications

Pendant les quinze années qui se sont écoulées depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, les services de radiocommunication évoluent de façon notable, en raison des progrès techniques réalisés et des nouvelles méthodes d'exploitation mises en œuvre. Cette période est également marquée par un grand nombre de conférences internationales de radiocommunication réunies sur une base mondiale ou régionale.

C'est en 1947, à Atlantic-City, qu'est mis au point le Règlement des radiocommunications qui est actuellement en vigueur et qui cessera d'être appliqué le 1^{er} mai 1961. De nombreuses autres conférences ont lieu ensuite pour mettre en application les décisions prises à Atlantic City. On peut citer en particulier :

- Comité provisoire des fréquences,
(Genève, 15 janvier 1948 — 28 février 1950).
- Conférence européenne de radiodiffusion et conférence régionale maritime des radiocommunications
(Copenhague, 1948)
- Conférence internationale de radiodiffusion à hautes fréquences
(Mexico, 22 octobre 1948 — 10 avril 1949)
- Conférence régionale Nord-Américaine de radiodiffusion
(Montréal/Washington, 1949-50)
- Conférence internationale de radiodiffusion à hautes fréquences
(Florence/Rapallo, 1^{er} avril 1950 — 19 août 1950).
- Conférence internationale administrative des radiocommunications de l'aéronautique
(Genève : 1^{re} session : 15 avril 1948 — 25 septembre 1948 — 2^e session : 1^{er} août 1949 — 17 octobre 1949).

— Conférence administrative des radiocommunications pour la Région 1
(Genève, 18 mai 1949 — 17 septembre 1949).

— Conférence administrative des radiocommunications pour la Région 3
(Genève, 18 mai 1949 — 4 novembre 1949).

Cependant, les travaux du Comité provisoire des fréquences se terminent le 28 février 1950 sans que la Liste internationale des fréquences ait pu être préparée en raison du volume important des demandes, en particulier pour le service fixe et le service mobile dans les bandes comprises entre 4 et 27,5 MHz.

Une conférence administrative extraordinaire des radiocommunications se réunit alors du 16 août au 3 décembre 1951 et prend les mesures appropriées pour permettre une application aussi étendue que possible du Règlement d'Atlantic City.

Entre 1951 et 1959 d'autres conférences étudient des problèmes particuliers ; on peut citer :

- Conférence européenne de radiodiffusion
(Stockholm, 1952)
- Conférence radiotéléphonique maritime de la Mer du Nord et de la Mer Baltique
(Göteborg, 1955).
- Conférence du service radiotéléphonique maritime international sur ondes métriques
(La Haye, 1957).

La mise en application des mesures prises par la Conférence extraordinaire de 1951 ayant donné des résultats encourageants, il devenait possible de réunir à Genève en 1959 une « Conférence administrative des radiocommunications ».

1. La Conférence administrative des radiocommunications (Genève, 1959)

La Conférence administrative des radiocommunications s'ouvre le lundi 17 août 1959 à 15 heures dans la grande salle du Bâtiment Electoral à Genève.

Selon les dispositions de l'article 11 de la Convention internationale des télécommunications (Buenos Aires, 1952), elle a pour tâche :

* Conférence faite à la Société Française des Electroniciens et des Radioélectriciens le 26 novembre 1960.

— de reviser le Règlement des radiocommunications et le Règlement additionnel des radiocommunications,

— de traiter, dans les limites de la Convention et du Règlement général et des directives données par la Conférence de plénipotentiaires, toutes les autres questions jugées nécessaires.

— d'élire les membres du Comité international d'enregistrement des fréquences (I.F.R.B.).

— d'apprécier les activités de ce Comité.

Le schéma d'organisation de la Conférence est le suivant :

Commission N°	Fonctions	Présidents
1	Direction	M. C. J. ACTON (Canada)
2	Vérification des pouvoirs	Dr F. NICOTERA (Italie)
3	Contrôle budgétaire	M. G. SEARLE (Nouvelle Zélande)
4	Répartition des bandes de fréquences	M. G. PEDERSEN (Danemark)
5	Procédure d'enregistrement des fréquences et liste internationale des fréquences	Dr M. JOACHIM (Tchécoslovaquie)
6	Technique	M. M. N. MIRZA (Pakistan)
7	Exploitation	M. EHNLE (Pays-Bas)
8	Rédaction	M. A. HENRY (France)

Les délégués de 84 pays ainsi que des observateurs (soit au total 800 personnes) prennent part aux travaux de la Conférence.

Les discussions au sein des groupes de travail, des Commissions, de l'Assemblée plénière ont été relativement difficiles pour plusieurs raisons parmi lesquelles on peut noter les suivantes :

— Parmi les 84 pays participants il y avait un certain nombre de pays qui avaient accédé à l'indépendance depuis la Conférence d'Atlantic City de 1947 et qui étaient venus à Genève avec l'intention de manifester leur existence dans les différents domaines d'application des radiocommunications.

— Le problème de la radiodiffusion à ondes décimétriques restait brûlant étant donné que les projets de plan établis par l'I.F.R.B. étaient jugés peu acceptables et que de nombreux pays attachaient une très grande importance à pouvoir exploiter un service de radiodiffusion à grande portée soit

pour des raisons d'étendue de leur territoire soit pour des raisons inavouées mais réelles de propagande.

— La course à l'espace était ouverte depuis deux ans et chacun pressentait que l'utilisation future des véhicules spatiaux comme relais de radiocommunication était peut-être plus proche qu'on ne pouvait le supposer quelques années auparavant.

— Les conditions d'emploi des assignations de fréquence, les priorités relatives, l'inscription d'assignations nouvelles préoccupaient tous les délégués puisqu'elles conditionnaient l'utilisation commune du spectre des fréquences radioélectriques, avec le minimum de brouillages.

Tels étaient donc, à l'ouverture de la Conférence, les principaux facteurs qui en constituaient le « climat ». En fait, ils résultaient tous de l'évolution des services de radiocommunication pendant les douze années qui séparaient la Conférence d'Atlantic City de celle de Genève.

2. L'évolution des services de radiocommunication

Les services de radiocommunication font l'objet de définitions contenues dans le premier chapitre du Règlement des radiocommunications. Ce sont :

Service fixe : Service de radiocommunication entre points fixes déterminés.

Service de radiodiffusion : Service de radiocommunication dont les émissions sont destinées à être reçues directement par le public en général. Ce service peut comprendre des émissions sonores, des émissions de télévision ou d'autres genres d'émissions.

Service mobile aéronautique : Service mobile entre stations aéronautiques et stations d'aéronef, ou entre stations d'aéronef, auquel les stations d'engin de sauvetage peuvent également participer.

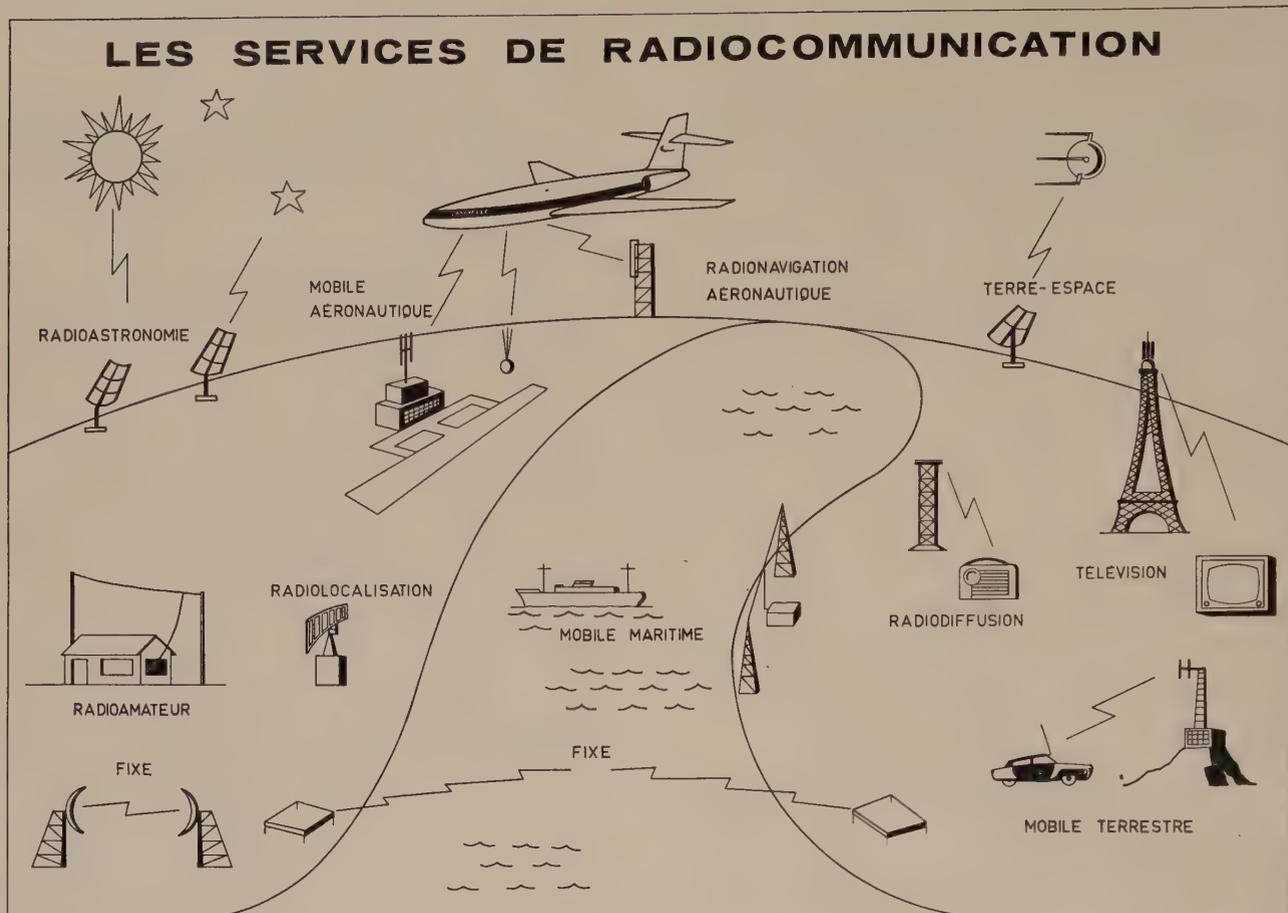
Service mobile maritime : Service mobile entre stations côtières et stations de navire, ou entre stations de navire, auquel les stations d'engin de sauvetage peuvent également participer.

Service mobile terrestre : Service mobile entre stations de base et stations mobiles terrestres, ou entre stations mobiles terrestres.

Station mobile terrestre : Station mobile du service mobile terrestre susceptible de se déplacer en surface à l'intérieur des limites géographiques d'un pays ou d'un continent.

Radiorepérage : Détermination d'une position ou obtention de données relatives à une position, à l'aide des propriétés de propagation des ondes radioélectriques.

Radionavigation : Application du radiorepérage à la navigation, y compris le repérage d'objets gênants.



Radiolocalisation : Application du radiorepérage à d'autres fins que la radionavigation.

Service espace : Service de radiocommunication entre stations spatiales.

Service terre-espace : Service de radiocommunication entre stations terriennes et stations spatiales.

Station spatiale : Station du service terre-espace ou du service espace, située sur un objet se trouvant, ou destiné à aller, au-delà de la partie principale de l'atmosphère terrestre, et non destiné à un vol entre des points de la surface de la terre.

Station terrienne : Station du service terre-espace, située soit à la surface de la terre, soit sur un objet dont le vol s'effectue seulement entre des points de la surface de la terre.

Radioastronomie : Astronomie fondée sur la réception des ondes radioélectriques d'origine cosmique.

Service des auxiliaires de la météorologie : Service de radiocommunication destiné aux observations et aux sondages utilisés pour la météorologie, y compris l'hydrologie.

Service d'amateur : Service d'instruction individuelle, d'intercommunication et d'études techniques effectué par des amateurs, c'est-à-dire par des personnes dûment autorisées, s'intéressant à la techni-

que de la radioélectricité à titre uniquement personnel et sans intérêt pécuniaire.

Service des fréquences étalon : Service de radiocommunication assurant, à des fins scientifiques, techniques et diverses, l'émission de fréquences spécifiées, de précision élevée et donnée, et destinées à la réception générale.

Service des signaux horaires : Service de radiocommunication assurant la transmission de signaux horaires de précision élevée et donnée qui sont destinés à la réception générale.

LE SERVICE FIXE

Ce service de radiocommunication entre points fixes déterminés est sans doute celui qui peut utiliser le mieux toutes les possibilités résultant des progrès techniques puisque :

- les installations d'émission et de réception sont situées en des emplacements choisis,
- le trajet des ondes radioélectriques se trouve ainsi déterminé,
- les problèmes de poids ou d'encombrement du matériel n'interviennent pratiquement pas alors qu'ils peuvent se poser pour d'autres services,
- les installations en présence sont en nombre relativement réduit et sont exploitées par les techniciens des administrations ou des compagnies.

Pour ces raisons, le service fixe est rapidement en mesure d'utiliser les procédés techniques lui permettant d'améliorer sans cesse sa sécurité de fonctionnement, tels que : antennes dirigées à gain élevé, procédés de modulation à haut rendement (télégraphie par déplacement de fréquence, multiplex, bande latérale unique, correction automatique des erreurs, etc.).

Sur le plan de l'utilisation des fréquences, le service fixe continue à utiliser la partie du spectre comprise entre 10 et 150 kHz pour des liaisons à moyenne distance et celle comprise entre 4 et 28 MHz pour ses liaisons à grande distance en ondes décimétriques qui forment l'ossature actuelle des radiocommunications intercontinentales. En plus de ces liaisons de type « classique » le service fixe utilise des fréquences supérieures à 30 MHz pour des liaisons à courte distance telles que celles des îles et des montagnes, pour des faisceaux hertziens à grand nombre de voies constitués par des chaînes de stations assurant les relais entre les stations terminales.

En outre, l'utilisation de la diffusion dans l'ionosphère ou dans la troposphère permet de franchir la distance de visibilité optique et de réaliser des liaisons « transhorizon ». À ce sujet, il n'est pas inutile de rappeler qu'une liaison « transhorizon » entre le Continent et la Corse est assurée depuis de nombreuses années sur des fréquences comprises entre 50 et 80 MHz. Actuellement, on assiste au développement de faisceaux hertziens « transhorizon » en Algérie et au Sahara, où il importe de réduire le nombre de stations relais, donc d'augmenter la valeur des portées intermédiaires ; ces liaisons sont essentiellement réparties dans les bandes voisines de 160 MHz, de 450 MHz et de 900 MHz.

Le Règlement de Genève a tenu compte de cette évolution :

— les systèmes utilisant la diffusion ionosphérique pour des distances supérieures à 800 km, devront, en Région 1, se limiter aux bandes :

32,6 — 33 MHz

36,2 — 36,6 MHz

39,0 — 39,4 MHz

car, ils provoquent des brouillages affectant les liaisons à courte distance des services fixe et mobile.

— la bande 860-960 MHz est partagée, en France, entre le service fixe et le service de radiodiffusion ; l'attribution au service fixe comprend les systèmes utilisant la diffusion troposphérique.

— dans les parties supérieures du spectre, le service fixe reçoit de nombreuses attributions en partage avec le service mobile. C'est ainsi que, dans les bandes comprises entre 10 500 et 40 000 MHz, ces deux services ont accès à un total de 17 200 MHz, soit 57 %.

LE SERVICE DE RADIODIFFUSION

Le service de radiodiffusion, qui comprend la télévision, utilise actuellement un certain nombre de bandes de fréquences :

150-255 kHz ondes kilométriques (ou longues),
525-1 605 kHz ondes hectométriques (ou moyennes).

Pour la zone européenne de radiodiffusion, ces deux bandes ont été planifiées au cours de la conférence de Copenhague de 1948.

Dans la gamme des ondes décimétriques, plusieurs bandes lui sont attribuées pour ses émissions à grande distance.

En ondes métriques, les bandes 41-68 MHz et 162-216 MHz sont principalement utilisées pour la télévision cependant que la bande 87,5-100 MHz est affectée aux émissions à modulation de fréquence.

Ces trois bandes font l'objet de plans établis au cours de la Conférence de Stockholm (1952).

Cependant les besoins du service de radiodiffusion, et, en particulier, la nécessité de prévoir d'autres programmes de télévision en noir et blanc, et ultérieurement en couleur, nécessiteront l'emploi des fréquences comprises entre 470 et 960 MHz ; cette utilisation est prochaine en Europe ; c'est la raison pour laquelle la Conférence de Genève a recommandé la convocation d'une conférence européenne de radiodiffusion qui se tiendra en mai et juin 1961 à Stockholm.

En ce qui concerne les émissions de radiodiffusion à ondes décimétriques, la Conférence de Genève a adopté certaines dispositions qui seront examinées plus loin dans le cadre général de l'utilisation des assignations de fréquence sur le plan international.

LE SERVICE MOBILE AÉRONAUTIQUE

Le service mobile aéronautique doit suivre, et souvent précéder, l'évolution de l'aviation moderne car il est bien connu que la sécurité des vols repose essentiellement sur un système complexe de radiocommunication qui nécessite une infrastructure développée et sans cesse adaptée.

En dix années, le trafic aérien civil s'est développé de façon considérable ; la vitesse des avions a sensiblement doublé avec l'apparition d'appareils biréacteurs (Caravelle) ou quadriréacteurs (Boeing 707 et Douglas DC 8) ; la densité de trafic au voisinage des aéroports importants tels que Le Bourget ou Orly en France, ou celui d'Idlewild près de New York, a atteint des valeurs telles que la sûreté de fonctionnement des radiocommunications du service mobile aéronautique a pris une importance réellement vitale.

Ces radiocommunications sont assurées dans la gamme des ondes métriques toutes les fois que les stations à terre peuvent garder le contact avec les avions (tours de contrôle des aéroports, émetteurs-récepteurs télécommandés...) et dans la gamme des

ondes décamétriques lorsque l'espacement entre stations est trop important (vols transocéaniques ou au-dessus de régions désertiques).

Le Règlement de Genève accroit de 30 % la bande des ondes métriques attribuée au service mobile aéronautique (R) (118-136 MHz au lieu de 118-132 MHz).

S'il est vrai que ce sont les informations en vol qui permettent encore actuellement au pilote de modifier la route de son avion, d'autres procédés, que nous examinerons plus loin, seront peut-être nécessaires dans l'avenir.

LE SERVICE MOBILE MARITIME

C'est le plus ancien des services de radiocommunication ; il a subi, comme les autres services, des transformations profondes.

La radiotélégraphie A_1 (Morse manuel) est, pendant longtemps, le procédé de modulation utilisé, que ce soit en ondes hectométriques, (bande de 405 à 525 kHz) ou en ondes décamétriques.

Puis la téléphonie fait son apparition dans les mêmes gammes d'ondes : ondes hectométriques (1 605 - 2 850 kHz) et ondes décamétriques. Plus récemment, le développement de liaisons à courte distance utilisant la modulation de fréquence en ondes métriques (bande 156 - 162 MHz) conduit à l'adoption, au cours de la Conférence de La Haye (1957), d'un plan de fréquences et de caractéristiques de matériel et d'exploitation.

Sur le plan de la sauvegarde de la vie humaine en mer, au signal d'alarme radiotélégraphique émis sur 500 kHz, vient s'ajouter le signal d'alarme radiotéléphonique transmis sur 2 182 kHz ; ce signal a d'ailleurs été mis au point à la suite d'essais réels conduits au sein du C.C.I.R. par les Etats-Unis, le Royaume-Uni et la France et il n'est pas inutile de rappeler que les caractéristiques du signal adopté par la VII^e Assemblée plénière du C.C.I.R. à Londres (1953) sont, à peu de choses près, celles du signal que l'administration française avait proposé, dès le début, à la suite d'une étude menée en liaison étroite avec l'industrie électronique française.

La Conférence de Genève tient évidemment compte de tous ces résultats et le Règlement des radiocommunications les rend applicables sur le plan mondial ; de plus, les dispositions appropriées sont prises pour permettre au service mobile maritime d'utiliser les techniques modernes telles que : la manipulation à déplacement de fréquence facilitant l'emploi des téléimprimeurs, les systèmes à large bande, le fac simile et la radiotéléphonie à bande latérale unique.

LE SERVICE MOBILE TERRESTRE

Ce service compte parmi les plus modestes des services de radiocommunication puisqu'il ne figure jamais explicitement dans le Tableau de répartition des bandes de fréquence ; il peut utiliser toutes les bandes attribuées au service mobile, qui sont d'ailleurs souvent partagées avec le service fixe. Cette

constatation ne signifie pas que son évolution puisse être tenue pour négligeable, bien au contraire. Indépendamment des applications militaires évidentes, ce service permet l'établissement de liaisons de sécurité (Police — Pompiers — Société Nationale des Chemins de Fer Français — Electricité de France — Gaz de France), de liaisons d'intérêt général (liaisons des médecins et vétérinaires avec leur cabinet — réseaux d'appel de taxis) et même de liaisons de raccordement au réseau téléphonique général des véhicules équipés de l'émetteur-récepteur approprié.

Dans certains pays, il revêt même un aspect unilatéral c'est-à-dire qu'une station de base peut, par appel sélectif, prévenir le conducteur d'un véhicule déterminé qu'il doit appeler, du poste téléphonique le plus proche, l'opérateur de service qui lui transmettra le message ou le mettra en communication avec le demandeur.

En raison du nombre accru de demandes de fréquences pour les différentes liaisons du service mobile terrestre, les gammes de fréquences utilisées sont très variées :

30 - 40 MHz, 68 - 87,5 MHz,
146 - 162 MHz, 406-470 MHz.

LE SERVICE DE RADIONAVIGATION AÉRONAUTIQUE

Le service de radionavigation aéronautique a pleinement contribué, comme le service mobile aéronautique, à l'essor de l'aviation moderne. Il est multiforme puisque la position d'un avion sur sa route entre deux escales doit lui être définie avec des précisions bien différentes selon qu'il s'agit d'un vol à haute altitude ou d'un atterrissage dans des conditions difficiles.

Les dispositifs les plus divers sont utilisés ; ils se répartissent dans toute l'étendue du spectre et on peut citer essentiellement :

- le LORAN, aide à grande distance fonctionnant sur 1 850 kHz et 1 950 kHz, ainsi que, prochainement, au voisinage de 100 kHz,
- le DECCA, dans la bande 110 à 130 kHz,
- le TACAN dans la bande 960 - 1 215 MHz,
- les balises, les radiophares qui fonctionnent en ondes hectométriques, métriques et décimétriques,
- les radiobornes sur 75 MHz,
- les radioalignements de descente, les radioalignements de piste, les radioaltimètres, etc.

Le Règlement de Genève a nettement défini le rôle de ces différents systèmes, mais il est même allé plus loin. En prévision du développement du trafic aérien et de la mise en service des avions supersoniques volant à 2 500 km/h, les bandes :

960 - 1 215 MHz
1 535 - 1 660 MHz
4 200 - 4 400 MHz
5 000 - 5 250 MHz
15 400 - 15 700 MHz

sont réservées dans le monde entier, pour l'utilisation et le développement d'aides électroniques installées à bord des aéronefs et des installations terrestres qui leur sont directement associées.

Dans ces bandes de fréquences, il peut être envisagé de transmettre à l'avion les données résultant du calcul de machines électroniques spécialisées et de prendre les dispositions appropriées pour que ces données puissent agir sur la route de l'avion sans intervention du pilote ; de telles réalisations sont à l'étude et leur mise en application pourrait intervenir dans quelques années. A ce moment il sera devenu bien difficile de faire la distinction entre le service mobile aéronautique et le service de radionavigation aéronautique.

LE SERVICE DE RADIONAVIGATION MARITIME

Son évolution est moins spectaculaire que celle du service de radionavigation aéronautique puisque les conditions d'exploitation des navires (route, vitesse) se sont peu modifiées sauf en ce qui concerne les sous-marins à long rayon d'action naviguant à grande profondeur.

Cependant, de nombreux navires utilisent l'aide des systèmes de radionavigation LORAN ou DECCA qui viennent s'ajouter aux relèvements radiogoniométriques sur les radiophares maritimes ou sur d'autres stations d'emplacement connu.

LE SERVICE DE RADIOLOCALISATION

Dans l'ancien Règlement d'Atlantic City, ce service n'était pas défini et les seules attributions apparaissant dans le Tableau, étaient faites à la radionavigation. Aux termes du Règlement de Genève, les attributions au service de radionavigation sont complétées par des attributions au service de localisation c'est-à-dire, pratiquement, aux radiodétecteurs utilisés à des fins autres que la radionavigation ; mais les attributions à ce service de radiolocalisation sont faites,

— soit dans des bandes différentes de celles attribuées au service de radionavigation,

— soit, s'il s'agit de bandes partagées, à condition de ne causer aucun brouillage aux stations du service de radionavigation.

Le but est de protéger le fonctionnement des installations de radionavigation contre les brouillages résultant des puissances élevées qu'utilisent les radiodétecteurs, tout en permettant la coexistence dans des bandes communes lorsqu'elle est techniquement souhaitable ; dans certains cas, d'ailleurs, la distinction entre les deux services n'est pas nette ; peut-on dire par exemple que le radiodétecteur de contrôle d'Orly appartient au service de radiolocalisation alors que la plupart des informations qu'il fournit sont exploitées pour faciliter la navigation des avions qui évoluent dans l'espace aérien dont il a la charge ?

LES SERVICES ESPACE ET TERRE-ESPACE

Au cours de la quatrième séance plénière tenue le 23 septembre 1959, M. C. ACTON, Président de la Conférence, attire l'attention des délégués sur un rapport préparé à l'intention de l'Assemblée générale des Nations Unies par le Comité spécial des Nations Unies sur l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique ; parmi les différents problèmes posés dans ce rapport, figure naturellement celui des télécommunications avec les véhicules spatiaux.

Un petit nombre de délégations avait présenté plusieurs propositions relatives à l'attribution de fréquences pour les recherches spatiales, fondées sur l'évaluation des besoins immédiats. Par ailleurs, le Comité Consultatif International des Radiocommunications (C.C.I.R.) en créant, au cours de sa IX^e Assemblée plénière tenue à Los Angeles en avril 1959, la Commission d'études n° IV pour les « Systèmes utilisés dans les télécommunications spatiales » marquait le désir des Membres de l'Union d'aborder dès maintenant ces problèmes nouveaux.

Le Président de la Conférence souligne également qu'il est certain que tous les délégués présents reconnaissent qu'il est essentiel que l'U.I.T. en sa qualité d'institution spécialisée dans le domaine des télécommunications, prenne, au cours de la Conférence, les mesures convenables en vue de l'attribution de bandes de fréquences permettant de faire face aux besoins croissants de la recherche dans le domaine des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique.

Afin d'aider la Commission 4 dans ses travaux, l'Assemblée plénière constitue un groupe spécial comprenant, sous la présidence de M. ACTON, les chefs des délégations des Etats-Unis d'Amérique, de la France, du Royaume-Uni, de la Tchécoslovaquie et de l'U.R.S.S.

Ce groupe spécial prépare plusieurs rapports successifs à l'intention de l'Assemblée plénière et de la Commission 4. Au cours des discussions au sein du groupe, et de l'examen des rapports, le principal problème à résoudre est d'attribuer aux services « Espace » et « Terre-Espace » des bandes de fréquences dans différentes parties du spectre des fréquences radioélectriques sans que ces attributions n'apportent une gêne trop importante au fonctionnement des autres services de radiocommunications actuellement exploités ou prévus dans l'avenir.

Au sein de ce groupe, il apparaît d'ailleurs que les représentants de la Tchécoslovaquie et de l'U.R.-S.S. s'attachent essentiellement à protéger les bandes de fréquences qu'utilisent les satellites soviétiques, c'est-à-dire au voisinage de 20 MHz, 40 MHz et 183,6 MHz ; les trois autres membres du groupe, Etats-Unis, France et Royaume-Uni, estiment qu'en plus de fréquences de cet ordre il convient de prévoir d'autres bandes dans toute l'étendue du spectre. Finalement la Conférence décide que les services Espace et Terre-Espace pourront utiliser, pour les

4. Aspect futur des radiocommunications

Il est bien évident que dans une Conférence de ce genre où plus de 6 000 propositions de révision du Règlement sont présentées, certaines d'entre elles font l'objet de discussion mais ne peuvent se transformer en dispositions réglementaires soit parce qu'elles nécessitent une étude complémentaire soit parce que leur application ne doit intervenir que plus tard.

Pour ces raisons, en plus du Règlement des radiocommunications (avec ses 27 appendices) et du Règlement additionnel des radiocommunications (qui vise directement l'exploitation), les Actes Finals de la Conférence contiennent également 15 Résolutions et 37 Recommandations. Certaines d'entre elles incitent les pays Membres de l'U.I.T. à porter leur attention sur des problèmes touchant l'aspect futur des radiocommunications.

Parmi ces problèmes, on peut évoquer les suivants :

ENCOMBREMENT DES BANDES DE FRÉQUENCES COMPRISSES ENTRE 4 ET 27,5 MHz

Le Président de la Commission 4, M. PEDERSEN, avait le 19 octobre 1959, rédigé un mémorandum sur une « Politique future en matière de répartition des bandes de fréquences radioélectriques ». Les idées essentielles contenues dans ce mémorandum étaient les suivantes :

— la partie du spectre des fréquences comprise entre 4 et 27,5 MHz devient de plus en plus encombrée en raison du nombre croissant des demandes et des caractéristiques de la propagation à grande distance des ondes décimétriques,

— des techniques nouvelles fonctionnant dans d'autres parties du spectre pourraient permettre de décongestionner les bandes comprises entre 4 et 27,5 MHz.

— l'évolution du Tableau de répartition des bandes de fréquences devrait pouvoir se faire de façon plus progressive pour tenir compte des progrès techniques et de nouvelles méthodes d'exploitation.

Les décisions prises par la Conférence, dans la Résolution n° 3 et la Recommandation n° 37, sur cette question sont les suivantes :

— création d'un Groupe d'experts dont sept seront choisis dans une liste de candidats présentés par les administrations,

— étude préliminaire confiée à l'I.F.R.B. avant la réunion du Groupe d'experts,

— réunions du Groupe d'experts, pour une durée d'un mois environ, en 1961 et en 1962,

— établissement par le Groupe d'experts d'un rapport au Conseil d'Administration de l'U.I.T. ainsi que de recommandations relatives aux mesures à prendre pour réduire l'encombrement des bandes comprises entre 4 et 27,5 MHz.

Il est permis de penser que si ce Groupe d'experts peut recommander des solutions acceptables par les administrations, une amélioration de l'utilisation du spectre en résultera, ce qui facilitera les travaux des futures conférences administratives des radiocommunications.

AMÉLIORATION DU GROUPEMENT DES LIAISONS DES RÉSEAUX NATIONAUX ET INTERNATIONAUX DE RADIOCOMMUNICATION FONCTIONNANT DANS LES BANDES COMPRISSES ENTRE 4 ET 27,50 MHz

La Recommandation n° 11 est fondée sur les idées suivantes :

— les besoins en fréquences augmentent sans cesse, notamment dans les bandes comprises entre 4 et 27,5 MHz.

— le rendement d'un groupe de liaisons est supérieur à la somme des rendements des liaisons individuelles,

— dans certaines parties du monde il existe des zones et des pays interconnectés par plusieurs liaisons tant radioélectriques que par câbles.

Il est recommandé, en conséquence, aux pays :

— de s'efforcer de réaliser un groupement plus efficace des liaisons à faible trafic pour diminuer l'encombrement des bandes comprises entre 4 et 27,5 MHz,

— d'utiliser en commun les liaisons radioélectriques internationales existantes lorsqu'il existe, entre certains pays, des interconnexions par câble ou par radio.

Il ne faut pas se dissimuler que ces groupements ou ces utilisations communes se heurteront à des considérations politiques ou commerciales évidentes ; cependant, l'utilisation de la partie du spectre comprise entre 4 et 27,5 MHz, plus particulièrement dans les bandes attribuées au service fixe, ne peut, malgré tout, s'étendre indéfiniment ; un calcul simple montre, en effet, que si chaque pays Membre de l'U.I.T. désiret relier sa capitale à toutes les autres capitales par une voie télégraphique F1 et une voie téléphonique à bande latérale unique, le total de ces liaisons occuperait, sur la base d'une seule fréquence par liaison, environ 40 MHz du spectre alors que les bandes accessibles au service fixe entre 4 et 27,5 MHz ne représentent guère que 13 MHz.

Fort heureusement, la notion de trafic intervient utilement pour limiter les demandes ; il n'y a en effet de courants de trafic important que sur certaines liaisons ; de plus, si l'on tient compte des heures d'ouverture des bureaux, des décalages horaires, un grand nombre de ces liaisons ne fonctionnent pas 24 heures par jour. En pratique, d'ailleurs, les nécessités mêmes de l'exploitation radioélectrique conduisent déjà à réaliser des groupements et à utiliser les interconnexions existantes. La Recommandation n° 11 permettra peut-être d'ordonner

ces mesures et de décongestionner cette partie du spectre où les brouillages réciproques sont le plus à craindre.

LE SERVICE MOBILE AÉRONAUTIQUE

Dans l'appendice 26 au Règlement des radiocommunications, sont reproduits les plans d'allotissement de fréquences pour les services mobiles aéronautiques (R et OR) établis par la Conférence aéronautique de 1949, amendés légèrement par la Conférence de Genève 1959 pour tenir compte des vols des avions des pays de l'Est vers les pays Occidentaux.

Ces plans d'allotissement sont fondés sur les zones de passage des lignes aériennes mondiales principales (ZLAMP) et sur les zones des lignes aériennes régionales et nationales (ZLARN).

Depuis 1949, de nouvelles techniques de communications aéronautiques sont appliquées ou à l'étude ; on peut citer parmi elles,

— la plus grande portée utile des communications et l'extension de l'utilisation des ondes métriques,

— les nouvelles techniques permettant d'augmenter la vitesse et la quantité des communications,

— les nouvelles méthodes permettant d'assurer une diffusion plus rapide des renseignements météorologiques,

— des systèmes perfectionnés d'appel sélectif.

Si l'on ajoute les améliorations prévisibles dans les techniques de radionavigation aéronautique, il devient clair que les plans actuellement en vigueur devront être révisés et établis sur des bases nouvelles, à brève échéance. C'est l'objet de la Résolution n° 13 qui prévoit que le Conseil d'administration de l'U.I.T., devra, en temps opportun, convoquer une Conférence administrative extraordinaire des radiocommunications chargée de l'établissement de ces plans.

LE SERVICE DE RADIODIFFUSION

En ce qui concerne ce service, le développement de la télévision dans certaines bandes comprises entre 470 et 960 MHz représente l'évolution marquante des prochaines années ; pour la zone européenne de radiodiffusion, ce développement sera coordonné par la Conférence de Stockholm de mai-juin 1961.

Mais il est un aspect inattendu du service de radiodiffusion qui a été soulevé au cours de la Conférence ; il existe actuellement deux navires l'un entre le Danemark et la partie méridionale de la Suède, l'autre au large des côtes néerlandaises, qui effectuent des émissions de radiodiffusion qui échappent complètement au contrôle des administrations danoise, suédoise ou néerlandaise ; un troisième navire, dénommé « Bonjour » doit, paraît-il, commencer à émettre prochainement en Baltique au large de Stockholm. Certaines dispositions du Règlement

des radiocommunications interdisent de faire des émissions de radiodiffusion en mer ou au-dessus de la mer. Le problème sur le plan juridique est complexe car, bien souvent, le pavillon du navire est celui d'un pays qui n'est pas Membre de l'U.I.T. ; parfois même ce pavillon n'existe pas.

L'objet de la Recommandation n° 16 est d'inviter les Membres de l'Union à attirer l'attention de leurs gouvernements respectifs, puisque cette affaire touche non seulement au domaine des télécommunications mais nécessite aussi l'intervention d'autres départements ministériels (marine, aviation, affaires étrangères, douanes, etc.). Comme la législation sur un tel sujet est souvent muette dans chaque pays, cette Recommandation devrait avoir pour effet d'inciter les gouvernements à promulguer les textes appropriés et à collaborer entre eux pour éviter la généralisation de tels procédés.

LE SERVICE DE RADIOASTRONOMIE

Maintenant reconnu dans le Règlement des radiocommunications, le service de radioastronomie s'est vu attribuer un certain nombre de bandes de fréquences dans lesquelles, d'ailleurs, il sera difficile aux autres services qui partagent ces bandes avec lui, d'assurer avant longtemps la protection désirable lui permettant de recevoir les rayonnements électromagnétiques de niveau extrêmement faible et d'origine extra-terrestre. Dans la Recommandation n° 32 les administrations sont invitées lors de la préparation de la prochaine Conférence administrative des radiocommunications (probablement en 1965), à étudier à nouveau la question des attributions au service de radioastronomie ; en outre les organisations qui s'intéressent à la radioastronomie sont priées de tenir compte des dispositions appropriées du Règlement des radiocommunications et de choisir pour leurs observations des emplacements qui soient, dans toute la mesure du possible, éloignés des sources de brouillages radioélectriques.

LES SERVICES ESPACE ET TERRE-ESPACE

Le Tableau de Genève prévoit l'attribution de certaines bandes aux services « Espace » et « Terre-Espace » pour les besoins de la recherche. Ceci implique que ces bandes sont peu larges (1 à 10 MHz au-dessous de 8 400 MHz ; 100 à 300 MHz au-dessus de 8 400 MHz). Si les programmes de recherche spatiale actuellement en cours d'exécution permettent de déterminer

— les risques de brouillages avec les services fonctionnant dans les mêmes bandes,

— les possibilités de partage entre services,

— les méthodes d'identification et de radiocommande des véhicules spatiaux,

il devrait être possible, dans un proche avenir, de définir des bandes à attribuer aux diverses catégories de radiocommunications spatiales par exemple celles intéressant le service fixe, le service de radiodiffusion (y compris la télévision), le service de radionavigation, etc.

La Recommandation n° 36 envisage la convocation, vers la fin de 1963, d'une Conférence administrative extraordinaire des radiocommunications chargée de modifier le Tableau de Genève en vue d'attribuer les bandes de fréquences appropriées aux radiocommunications spatiales.

Bien entendu, les problèmes techniques à résoudre sont de tous ordres, qu'il s'agisse du comportement du satellite actif ou passif, de la largeur de bande nécessaire à la transmission des voies de télécommunication, du pointage des stations terriennes vers le satellite qui nécessitera sans doute une interconnexion assurant de façon continue la transmission des données appropriées.

Le succès de cette future conférence dépendra évidemment des progrès techniques réalisés au cours du programme de recherches actuellement en cours et des essais réels de transmission et d'interconnexion qui pourraient être effectués.

5. Conclusion

En terminant, j'aimerais vous livrer deux réflexions personnelles :

— s'il est vrai, aux termes de la Convention internationale des télécommunications, que chaque pays a le droit souverain de régler ses propres télécommunications il n'en reste pas moins que, dans le domaine des radiocommunications, les pays sont liés à cause des conditions de propagation des ondes radioélectriques. Il en résulte que, dans chaque pays, il est absolument nécessaire que soit respecté le

Tableau de répartition des bandes de fréquences. Il constitue un guide sûr et l'expérience montre que, s'il n'est pas respecté, des difficultés entre services exploitants finissent toujours par se manifester. Je ne saurais trop insister auprès des représentants des administrations et des constructeurs pour qu'ils conservent présent à l'esprit cette idée qui peut leur permettre d'éviter des erreurs graves dans l'orientation des études du matériel futur.

— ma deuxième remarque est la suivante : les conférences internationales sont souvent l'objet de critiques ; même lorsqu'il s'agit de conférences techniques comme celle de Genève, on peut trouver exagéré le nombre de participants, le volume de papier nécessaire, les dépenses encourues. Il n'en reste pas moins qu'à la fin de la Conférence, il y a un « engagement » des participants qui signent le Règlement, de se conformer à ses dispositions et d'étudier les problèmes nouveaux qui n'ont pas pu aboutir à des dispositions réglementaires.

Ceci est l'aspect purement formel ; mais il y a plus : en dehors des Assemblées plénières, des Commissions, des groupes de travail, il y a les confrontations humaines entre délégués de tous les pays. Dans notre monde en pleine évolution, où les temps de propagation d'un point à un autre ont singulièrement diminué, l'échange des idées, les discussions même difficiles, l'exposé des opinions des autres, constituent indiscutablement une somme d'enrichissement qui ne peut être que profitable au développement harmonieux des radiocommunications mondiales.

DOCUMENTATION TECHNIQUE

COMPARAISONS DE FRÉQUENCES DE GBR 16 kHz et NBA 18 kHz

par rapport à l'Atomichron n° 107 du C.N.E.T. en 10^{-10} .

Moyennes journalières pour l'intervalle de
24 heures se terminant à 15 h T.U.

avril 1961	GBR 15 à 15	NBA
1	— 150,8	— 149,9
2	— 152,6	— 150,5
3	— 151,1	— 148,8
4	— 150,6	— 148,3
5	—	—
6	— 150,7	—
7	—	—
8	— 142,7	— 150,4
9	— 141,8	— 150,3
10	— 146,8	— 149,2
11	— 146,0	— 150,0
12	— 147,2	— 150,3
13	— 149,1	— 149,8
14	— 150,3	— 147,9
15	— 147,1	— 148,8
16	— 145,1	— 148,5
17	— 144,6	— 148,5
18	—	— 148,8
19	—	—
20	— 147,4	— 150,0
21	— 149,4	— 149,3
22	— 152,3	— 150,1
23	— 158,4	— 148,1
24	— 152,1	— 145,5
25	— 144,0	— 146,2
26	— 149,2	— 147,2
27	— 143,6	— 148,5
28	— 147,3	— 149,2
29	— 146,2	— 151,1
30	— 147,5	— 148,8

— Une correction de -74.10^{-10} est appliquée à la fréquence de l'atomichron.

— Cf. Onde Electrique, depuis novembre 1960.

LA NOUVELLE CELLULE PHOTORÉSISTANTE LDR-03

La résistance LDR de la Radiotechnique constitue une petite cellule photorésistante, scellée hermétiquement dans une ampoule, contenant une résine synthétique imperméable. Elle comporte deux fils de connexion en cuivre étamé et forme ainsi un élément de circuit à résistance variable avec la lumière. La source de lumière et la cellule constituent souvent un élément fonctionnel logique, avec ou sans rétroaction optique (un seul circuit ou deux circuits).

Comme dans les cellules photorésistantes déjà connues (ORP 90, ORP 60-61), la résistance interne de la cellule LDR-03 varie avec l'intensité lumineuse qui lui est appliquée. Sa résistance est maximale dans l'obscurité et elle diminue beaucoup lorsque l'intensité lumineuse augmente (de plusieurs mégohms à une centaine d'ohms). Dans les nombreuses applications on exploite principalement deux propriétés du sulfure de cadmium activé : la variation de résistance avec l'éclairement, constituant une commutation de courant, et les temps de décroissance et de rétablissement de la valeur de cette résistance qui permettent

d'obtenir un certain enchaînement des commutations. En résumé, dans son utilisation la plus fréquente, un groupe (LDR-lampe) vient remplacer chaque fois un relais.

En raison de la grande sensibilité de ces cellules et de leurs très faibles dimensions, il est possible de les disposer côte à côte et de les fixer sur des panneaux isolants ou sur des circuits imprimés.



Cette cellule convient spécialement pour des fréquences d'éclairement relativement basses et, en particulier, pour des fonctionnements par « tout ou rien » ou « tout ou peu ».

Du point de vue du fonctionnement interne, on peut considérer la cellule LDR-03, ainsi que toutes nos cellules photorésistantes au sulfure de cadmium activé, comme un semiconducteur du type N.

Des trous (ou lacunes) y sont engendrés grâce à l'excitation par paires électron-lacune et ces trous sont capturés rapidement par les centres d'imperfection du cristal. La mobilité et la durée de vie des porteurs de charges, ainsi engendrés, ont des valeurs extrêmement faibles. En première approximation, les trous produits sont presque immobiles en l'absence d'un effet de champ.

Lorsqu'on applique un champ électrique à une cellule au CdS éclairée, les électrons libres extirpés d'une région du cristal créent, dans cette même région, une charge d'espace positive sous la forme de trous « captés ».

Le rôle de l'activation consiste, justement, à répartir aussi uniformément que possible la distribution de la charge d'espace et des porteurs dans le volume du cristal. Les électrodes à armatures parallèles contribuent, d'une façon importante, à l'obtention d'une bonne uniformité du champ. Le courant obtenu est proportionnel à la surface « active » de la cellule.

CARACTÉRISTIQUES

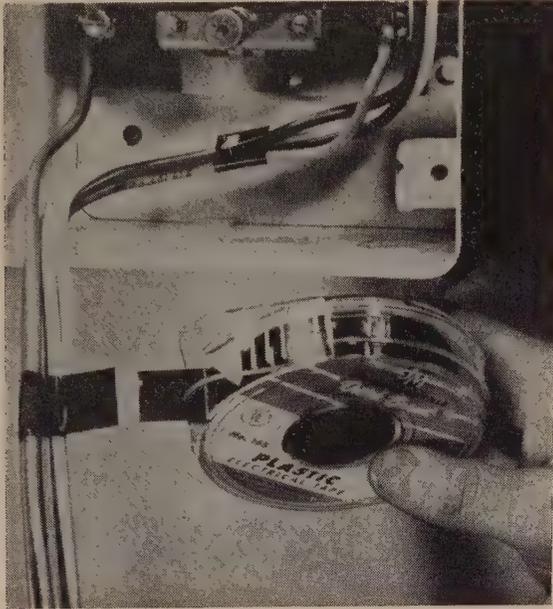
Résistance dans l'obscurité totale .. R_D min = 10 M Ω
 Résistance à la lumière (mesurée à
 1 000 lux) R_L = 75 — 300 Ω
 Taux de rétablissement min = 200 k Ω /s
 (Chute de R par seconde, à intensité lumineuse décroissante)

Tension admissible (valeur de crête)	$= 150 \text{ V}^{(1)}$
Puissance dissipée admissible P_{max}	$= 0,2 \text{ W}$ ($T_{amb} = 40^\circ \text{ C}$)
Température ambiante T_{amb}	$= \text{de } -20^\circ \text{ C à } + 60^\circ \text{ C}$
Capacité C_{max}	$= 6 \text{ pF}$

(¹) A la condition que P_{max} ne puisse pas être dépassé.

UN DISTRIBUTEUR DE RUBAN EN MATIÈRE PLASTIQUE DE CONCEPTION NOUVELLE

L'offre sur le marché international des rubans électriques et industriels Dutch Brand, fabriqués par Johns-Manville, a été rendue possible par la mise au point d'un distributeur de ruban électrique en matière plastique de conception originale. Ce type de ruban n'est que l'une des multiples variétés de rubans plas-



tiques utilisés dans l'électricité, dans l'emballage, dans la fabrication de courroies, et de dispositifs de protection, et qui servent pour toutes les applications industrielles et privées qu'on puisse imaginer. La société Johns-Manville annonce que, parallèlement à son programme de distribution mondiale, elle entreprend le développement de la vente de rubans Dutch Brand utilisables dans les domaines de l'automobile, de l'électricité, de l'industrie, de la quincaillerie et tous autres qui y sont rattachés.

Le nouveau distributeur a été conçu pour pouvoir couper le ruban

plastique par poinçonnement et soudure, ce qui ne nécessite l'usage que d'une seule main, donne des coupures franches et nettes et permet un travail plus propre et des épaisseurs plus solides. En outre, le ruban n'est pas étiré au moment de la coupure, ce qui évite les pertes de force diélectrique et d'adhésivité, qui, selon JOHNS-MANVILLE fabricant du ruban et du distributeur, sont souvent provoquées par la rupture ou l'étirage des rubans plastiques.

Chaque distributeur contient 66 pieds de ruban électrique Dutch Brand en matière plastique, en largeur de 3/4 pouce et en épaisseur de 7 millièmes de pouce. Ce type de ruban existe aussi en d'autres largeurs et épaisseurs, livrables en boîtes et en rouleaux de différentes dimensions, pour les clients qui le désirent. Ce ruban en matière vinylique possède une adhésivité et une déformabilité excellentes, et est capable de résister à la corrosion galvanique, au pourrissement, à la moisissure et aux intempéries ; il convient pour tous les usages où il doit être exposé à l'eau, à l'huile, aux graisses, aux matières alcalines, et à l'alcool. Il a une résistance à la traction élevée et son emploi est recommandé pour des températures allant jusqu'à 80 °C.

UN ÉQUIPEMENT LUMINEUX DU TYPE «LASER»

Les amplificateurs MASER sont déjà utilisés dans de nombreux cas où une amplification avec peu de bruit est requise, et l'un des buts de la recherche ultérieure est d'élargir le domaine des fréquences dans lequel les principes du MASER peuvent être utilisés, y compris leur application au spectre visible.

Les personnes travaillant dans ce domaine apprendront donc avec intérêt qu'une organisation américaine de recherches a déjà développé une source lumineuse LASER autonome marchant par impulsions, et qui est déjà sur le marché.

Conçue pour l'usage expérimental, la source comprend une lampe montée sur trépied un ensemble de capacités et une alimentation. Un télescope pointeur est utilisé pour diriger le faisceau du LASER avec une précision de 2' d'arc dans un domaine allant de + 15° à - 15° dans le plan vertical et de + 90° à - 90° dans le plan horizontal. Un circuit de sécurité est prévu pour protéger l'opérateur de la lumière.

Autres détails

Largeur du faisceau (champ éloigné) : 15' d'arc max. ;

Intensité maximale du faisceau (avec une entrée de 3 000 W) : 100 W minimum ;

Fréquence maximum des éclairs : 4 par minute ;

Précision de pointage : $\pm 2'$ d'arc.

Les fabricants de l'instrument sont la TRG Inc. (Technical Research Group). La vente pour l'Europe est assurée par International Research Consultants, Inc., 7, rue de la Cité, Genève, Suisse, qui se fera un plaisir de donner tous renseignements supplémentaires.

COMMUNIQUÉS

AVEC LA « CROIX DE MILLS » SYDNEY AURA LE PLUS PUISSANT RADIO-TÉLESCOPE DU MONDE

Le centre de radio-astronomie de l'Université de Sydney (Australie) va être doté d'un nouveau radio-télescope appelé la « Croix de MILLS » en l'honneur de son inventeur, le Dr Bernard MILLS du département d'astronomie de l'École de Physique de Sydney.

L'installation présentera la forme d'une croix grecque dont chaque bras, de section parabolique, aura 1 600 mètres de long sur 12 mètres de large. En fait, chacun des bras de cette gigan-

tesque croix constituera une antenne indépendante, formée de 4 à 5 000 éléments bipolaires et capable de capter les ondes courtes : 75 cm pour l'une, 3 mètres pour l'autre.

Un radio-télescope de ce type existe déjà à St-Mary, près de Sydney. Construit en 1954, il se compose de 1 200 éléments disposés le long d'une croix dont chaque bras mesure 450 mètres.

La « Croix de MILLS » dont le prix de revient est évalué à 300 000 £ australiennes doit entrer en service dès 1962.

L'utilisation conjuguée de la « Croix de MILLS » et du radio-télescope parabolique géant de Parkes, appelé à entrer en service le 1^{er} juin prochain, doit permettre l'enregistrement des signaux émis par la Voie Lactée et certaines galaxies telles les nuées magellaniques.

FOURNITURE DE MATÉRIEL FRANÇAIS A LA MARINE PORTUGAISE

Le Département Energie Nucléaire-Télécommunications-Electronique de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques vient de conclure avec la Marine Portugaise un important contrat de maître d'œuvre pour l'équipement en « systèmes d'armes anti-sous-marines » de deux Escorteurs rapides actuellement en construction dans les Chantiers Portugais. La Société Alsacienne de Constructions Mécaniques fournit des appareils de détection, l'ensemble du système d'armes mettant en jeu un groupe de constructeurs parmi lesquels la Compagnie Générale de T.S.F. et la Société Suédoise BOFORS.

Ce contrat, à la conclusion duquel la Marine Nationale a apporté un concours actif, s'ajoute à des marchés précédemment passés entre la marine Suédoise et la S.A.C.M. pour différents équipements de détection sous-marine. Ces succès à l'exportation sanctionnent les efforts que la S.A.C.M. déploie depuis la fin de la guerre en tant que chargé d'études et fournisseur de la Marine Nationale dans le domaine de l'acoustique sous-marine.

EXTENSION DU RÉSEAU DE TÉLÉVISION FINLANDAIS

Poursuivant avec dynamisme son programme d'expansion la Radio-Télévision Finlandaise a récemment confié à la Compagnie générale de télégraphie Sans Fil la fourniture de 6 émetteurs de télévision.

Deux émetteurs, l'un de 10 kW et l'autre de 2 kW, seront affectés à la capitale, Helsinki ; deux émetteurs de 10 kW seront installés à Kuopio et Ylivieska, enfin deux émetteurs de 2 kW sont prévus pour Jyväskylä et Joutseno.

Les émetteurs de télévision CSF ont été commandés en raison de leur conception originale, de leur réalisation en blocs fonctionnels interchangeables, de leur encombrement beaucoup plus faible que celui des matériels classiques et de la facilité avec laquelle leur puissance peut être augmentée.

Le contrat a été complété par une nouvelle commande de relais

de télévision CSF, du type bien connu TM-110 B, adoptés dès l'origine par la Télévision Finlandaise et dont plus de 350 exemplaires sont en fonctionnement dans le monde.

Les émetteurs TV CSF de 2 kW type TV 123/323 et 10 kW type TV 151/351 sont prévus pour fonctionner en Bande I ou en Bande III ; ils comprennent un émetteur « image » modulé en amplitude et un émetteur « son » à modulation de fréquence.

La chaîne video est apte à transmettre avec la qualité requise une image de télévision en couleur. Il est possible de télécommander la mise en route et l'arrêt, grâce à leur fonctionnement automatique.

Enfin leur rendement est élevé, en raison de l'utilisation exclusive de redresseurs au silicium.

Puissance de sortie HF :

— Emetteur TV 123-323 : « Image » 2 kW-crête — « Son » FM 400 W.

— Emetteur TV 151/351 : « Image » 10 kW-crête — « Son » FM 2 kW

RADIO A.I.R. — COMPAGNIE INDUSTRIELLE DES TÉLÉPHONES

La Société RADIO A.I.R. vient de signer un marché d'environ 66 700 000 DM, soit 82 000 000 NF, avec le Ministère de la Défense de la République Fédérale Allemande.

La COMPAGNIE INDUSTRIELLE des TÉLÉPHONES assurera l'exécution de cette commande dans le cadre des accords généraux qui la lient à la Société RADIO A.I.R.

La commande porte sur une très importante série d'émetteurs-récepteurs radioélectriques à bande latérale unique de hautes performances dont la technique, fruit des études de la Société RADIO A.I.R., a été développée grâce au regroupement des moyens de cette Société et de la COMPAGNIE INDUSTRIELLE des TÉLÉPHONES.

Par son volume comme par la haute technicité des matériels à exporter, cette affaire constitue un succès considérable de l'industrie électronique française sur le marché international.

BIBLIOGRAPHIE (suite)

Les systèmes linéaires, par J. GARSOUX. Un vol. 16 × 25 cm, 346 pages, nombreuses figures (Dunod, Paris, 1961). Relié 39 NF.

Le premier tome de cette collection de mathématiques appliquées est consacré aux systèmes linéaires les plus élémentaires, systèmes régis par des équations différentielles linéaires à coefficients constants, l'étude étant pratiquement limitée au calcul des régimes permanents.

La méthode la plus puissante pour l'étude des régimes sinusoïdaux est celle qui utilise la représentation complexe des grandeurs sinusoïdales ou « méthodes de calcul par les imaginaires » ; l'auteur consacre un premier chapitre à la théorie des nombres complexes, sans chercher à contourner les difficultés mais au contraire en les abordant progressivement.

La théorie classique des équations différentielles linéaires à coefficients constants fait l'objet du second chapitre et constitue une préparation aux problèmes qui doivent être traités de manière plus complète dans le second tome.

Entièrement consacré à l'étude du régime sinusoïdal permanent, le troisième chapitre, constitue en raison de l'importance des questions traitées, un exposé volontairement systématique amorcé sur la base des notions les plus élémentaires.

L'auteur procède ensuite dans deux autres chapitres à l'étude élémentaire des séries et des intégrales de Fourier (chap. IV), et introduit la représentation générale des systèmes par diagrammes fonctionnels, les fonctions de transfert et leurs diverses représentations graphiques (chap. V). Enfin, un dernier chapitre contient une brève introduction au calcul matriciel appliqué ensuite à la théorie des quadripôles et à la mise en équation des réseaux de Kirchhoff.

R.O.E.

Méthodes de calcul numérique, tome I, algèbre non linéaire, par A. KORGANOFF. Un vol. 16 × 25 cm, 403 pages, 20 figures (Dunod, Paris 1961). Relié toile : 58 NF.

L'avènement des machines électroniques a non seulement bouleversé la pratique du calcul numérique mais étendu son domaine d'application à des problèmes jugés longtemps inabordable. Le calcul numérique est donc parvenu à ce stade où il fallait faire le point des techniques actuelles pour mesurer le chemin parcouru et pouvoir y incorporer ultérieurement l'acquis de nouvelles branches mathématiques.

Cet ouvrage, présenté par J. CALLIES, est le premier d'une série devant englober tout le calcul numérique. Il fait la synthèse des méthodes existantes et, dans bien des cas, apporte un regard neuf sur des méthodes classiques, les prolonge, les replace dans un contexte d'ensemble d'où il est facile de déduire un grand nombre de méthodes particulières souvent nouvelles.

C'est ainsi que, dans le cas des équations transcendantes, on a distingué récurrences à un point et à plusieurs points, que l'on introduit la composition des récurrences et que la méthode d'Aiken, qui en fait partie, se généralise facilement en même temps qu'elle s'étend au cas de plusieurs variables. De même, le problème général des erreurs, qui fait l'objet d'un chapitre, est étudié sous l'angle — souvent laissé dans l'ombre — de leur propagation et il a été fait place autant au point de vue probabiliste qu'au coût de la précision et qu'au problème de recherche opérationnelle du prix de revient minimal.

Cet ouvrage se situe dans cette perspective qui va du discontinu au continu, c'est-à-dire de l'algèbre à l'analyse et du général au particulier. Il commence donc par plus difficile mais aussi par

un exposé sur les équations du champ établies dans le continuum espace-temps. Le second chapitre, qui traite également de généralités, est consacré à l'étude des propriétés fondamentales du champ, indépendamment d'un système de coordonnées par le plus instructif ; l'algèbre non linéaire ; les tomes suivants aborderont l'algèbre linéaire, le problème des approximations, les équations fonctionnelles, etc. Précédé d'un chapitre sur les erreurs qui devrait être à la base de tout ouvrage traitant du calcul numérique, ce premier tome comprend les équations transcendentes, les équations polynomiales et le calcul des valeurs propres. Il a enfin été complété par un chapitre d'exemples numériques variés, par une introduction aux calculateurs électroniques et par des références bibliographiques générales indépendamment des nombreuses références bibliographiques particulières à chaque chapitre qui permettent au lecteur de suivre l'actualité scientifique internationale dans le domaine du calcul numérique.

R.O.E.

Electroacoustique, par P. ROUARD. Un vol. 11 × 16,5 cm 224 pages, nombreuses illustrations (Armand Colin, Paris, 1960). Broché : 4,50 NF.

L'observation des analogies formelles qui existent entre les équations qui traduisent certains phénomènes mécaniques, acoustiques et électriques a éclairé d'un jour nouveau bien des phénomènes complexes, ce qui a facilité considérablement leur compréhension et leur utilisation. Il en est résulté le développement, à côté de l'acoustique classique, d'une acoustique moderne, certainement moins rigoureuse et faisant un appel beaucoup plus grand à l'intuition, mais dont les succès techniques ne se comptent plus.

Dans cet ouvrage l'auteur essaie de présenter, d'une manière aussi élémentaire que possible, les fondements de l'électroacoustique. Il montre comment, à partir de la généralisation de la notion d'impédance électrique, on peut ramener les problèmes que pose l'étude des systèmes mécaniques et acoustiques à ceux, déjà résolus, que l'on rencontre en électricité. Il étudie enfin, à titre d'exemple, la constitution et le fonctionnement de deux sortes d'appareils, essentiels pour l'enregistrement et la reproduction des sons, les microphones et les haut-parleurs.

R.O.E.

Comprenez la télévision, par P. DURU. Un vol. 15,5 × 21 cm, 640 pages, 502 figures (Bibliothèque technique Philips, Dunod, Paris 1960). Relié : 42 NF.

Cet ouvrage, préfacé par le Général LESCHI, dont le but est de donner une explication physique de la télévision comporte quatre parties, dont la première est consacrée à l'étude physique du comportement des électrons à travers les différents circuits fondamentaux que l'on rencontre dans tout appareil électronique en général et dans les téléviseurs en particulier.

L'étude de la télévision proprement dite n'est donc abordée que dans la seconde partie qui traite des généralités sur le problème et amène progressivement à comprendre le pourquoi et le comment du signal de télécommande rayonné par l'émetteur.

La troisième partie étudie le mécanisme du récepteur qui est une association plus ou moins complexe des circuits de base traités dans la première partie.

La quatrième partie est consacrée au service et débute par une étude des instruments de mesure, propres au dépannage et à l'alignement des téléviseurs.

Les derniers chapitres traitent du service proprement dit : mise en service des appareils, recherche rationnelle des anomalies de fonctionnement, mise au point et alignement des circuits.

R.O.E.

Transistors et diodes. Théorie générale, par G. FONTAINE. Un vol. 15,5 × 21 cm, 478 pages, 445 figures (Bibliothèque technique Philips, Dunod, Paris 1961). Relié : 36 NF.

Dans cet ouvrage remarquablement présenté, l'auteur a essayé en partant des diodes dont la technique est souvent laissée dans l'ombre, de faire comprendre le fonctionnement d'un transistor,

en s'appuyant sur des réalités physiques et en utilisant le moins possible de formules mathématiques. Un grand nombre de schémas, de tableaux et de graphiques, rendus très clairs par l'emploi de couleurs, aident le lecteur à se familiariser avec les différents problèmes.

Après une première partie consacrée aux « phénomènes physiques dans les semi-conducteurs », une deuxième partie traite des « diodes » à jonction et à pointe. La troisième partie, qui occupe les 4/5 de l'ouvrage, traite des transistors à jonction ; les études des réseaux de caractéristiques, de la commande d'un transistor, de la stabilité thermique, des variations des paramètres en fonction du courant collecteur, des différents montages : émetteur commun, base commune et collecteur commun donnent lieu, en particulier, à d'importants développements.

G.J.G.

Enregistrement magnétique du son, par D.A. SNEL. Un vol. 13,5 × 23,5 cm, 220 pages, 199 illustrations (Bibliothèque technique Philips, Dunod, Paris 1961). Relié : 24,50 NF.

Des appareils permettant d'enregistrer le son par voie magnétique se rencontrent aujourd'hui aussi bien chez le particulier qu'à l'usine ou en laboratoire. On enregistre non seulement une conversation ou un morceau de musique, mais aussi le comportement d'un moteur tournant à l'essai, ou les données transmises par un satellite artificiel.

Dans cet ouvrage l'auteur a voulu, d'une part, donner une explication claire de l'enregistrement magnétique et, d'autre part, commenter de façon détaillée les diverses possibilités d'application des enregistreurs aussi bien dans le domaine professionnel que dans le domaine amateur en mettant l'accent sur ce dernier pour les descriptions de matériel. Le sous-titre donné, théorie et pratique de l'enregistrement et de la reproduction, est donc particulièrement bien choisi.

R.O.E.

Directory of nuclear Reactors. Vol. III : Research, Test and Experimental Reactors. Un vol. 20,5 × 29,5 cm, 354 pages, très nombreuses illustrations (International Atomic Energy Agency, Vienne 1960). Broché : \$ 4.

Ce volume est le complément du volume II, analysé dans le numéro 341 d'avril 1960 de notre revue ; comme pour celui-ci il a pour objet de donner des caractéristiques succinctes des différents réacteurs d'études actuellement en service ou en construction.

R.O.E.

Théorie de l'électromagnétisme, par J.A. STRATTON (traduit de l'américain par J. HEBENSTREIT). Un vol. 17 × 25 cm, 702 pages, nombreuses illustrations (Dunod, Paris 1961). Relié : 98 NF.

L'utilisation de fréquences de plus en plus élevées dans les télécommunications, ainsi que les problèmes posés par les liaisons radioélectriques à très grande distance, soulèvent on le sait, un certain nombre de difficultés que, seule, une connaissance approfondie de la théorie de l'électromagnétisme permet de surmonter.

Ce très remarquable ouvrage traite des champs électromagnétiques variables et de la théorie de la propagation des ondes. L'état stationnaire y est étudié mais seulement dans le but d'introduire des notions fondamentales dans des conditions simples et toujours en vue d'une application ultérieure au cas général. Le lecteur doit donc connaître les lois générales de l'électricité et du magnétisme, doit avoir étudié les propriétés générales des circuits, y compris ceux comportant des appareils thermoioniques et électroniques, avoir des notions sur les machines électromagnétiques et connaître les équations de Maxwell. C'est à ce niveau que se situe l'ouvrage.

Dans le premier chapitre on trouvera la formulation générale des équations relatives aux champs et aux potentiels, une révision de la théorie des unités, des notions sur les systèmes de coordonnées curvilignes et les éléments de l'analyse tensorielle et enfin

ticulier, à une analyse dimensionnelle des équations de Maxwell conduisant à des définitions fondamentales des vecteurs E et B et à une étude des relations énergétiques qui permettent de formuler les expressions des forces mécaniques s'exerçant sur des éléments de charge, de courant et de substance neutre.

L'étude des champs stationnaires comme cas particulier des équations du champ dynamique fait l'objet des deux chapitres suivants. Celle de la propagation des ondes est entreprise au chapitre V, qui traite des ondes planes homogènes. Les méthodes d'analyse harmonique y sont étudiées en détail et le problème de la dispersion approfondi.

La propagation des ondes cylindriques et sphériques dans l'espace libre, les données nécessaires sur les fonctions de Bessel et les harmoniques sphériques, ainsi que les solutions vectorielles de l'équation d'onde forment les sixième et septième chapitres. La relation entre le champ et sa source, la théorie générale du rayonnement et les données relatives à la théorie de la diffraction selon Kirchhoff-Huygens sont discutées dans le huitième. Enfin, un dernier chapitre, où est étudié l'effet de surfaces planes, cylindriques et sphériques sur la propagation des champs électromagnétiques, illustre l'application à des problèmes d'ordre pratique de la théorie établie dans les chapitres précédents. Le lecteur trouvera là un exposé sur les lois les plus importantes de l'optique physique et la théorie fondamentale régissant la propagation des ondes le long de conducteurs cylindriques une discussion sur les oscillations dans les cavités et une vue d'ensemble de la théorie de la propagation des ondes le long de la surface terrestre.

En outre chaque chapitre est suivi de problèmes avec solution ou référence.

R.O.E.

The story of stereo : 1881..., par J. SUNIER. Un vol. 14 × 21,5 cm, 160 pages, nombreuses illustrations (Gernsbak, New-York, 1960). Broché \$ 5.

L'auteur expose l'histoire et le développement de la stéréophonie depuis son tout début au siècle dernier jusqu'à nos jours. De plus, il en explique les principes de base et les applications au cinéma, à l'enregistrement magnétique, aux disques et à la radiodiffusion.

R.O.E.

Selected scientific papers par VAN DER POL. Deux vol. 19 × 27 cm, 1340 pages, illustrations (North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1960). Relié : 70 fl.

Dans ces deux volumes, les éditeurs, H. BREMMER et C. J. BOUWKAMP, ont voulu faire le tour de l'œuvre scientifique de Balthasar VAN DER POL, autant que cela était possible à travers les écrits qu'il avait publiés. De nombreux brevets pris par le savant, a très riche matière qu'il a laissée à sa mort sous forme d'une très grande quantité de notes n'ont, bien entendu, pas pu être publiés dans ce livre, il en est naturellement de même de son

ouvrage sur le calcul symbolique. Les éditeurs ont choisi de préférence les articles en langue anglaise.

La liste de toutes les publications du savant est annexée à l'ouvrage à la fin du 2° tome, la sélection a porté sur la moitié des articles environ.

Les travaux ainsi publiés peuvent être classés en trois catégories : propagation des ondes radioélectriques, avec, en particulier l'étude mathématique de la diffraction des ondes émises par un dipôle autour d'une terre sphérique ; théorie des circuits, avec des travaux sur les oscillations, domaine dans lequel l'équation de VAN DER POL est bien connue, qui l'ont conduit à s'intéresser à un cœur simulé et aux machines à analogie ; méthodes générales, avec l'opérateur de Heaviside, la transformation de Laplace et la théorie des nombres.

G.J.G.

Traité des ordinateurs, par D.N. CHORAFAS, Un vol., 24 × 17 cm, 398 pages, nombreuses figures (Hermann, Paris 1960).

Ce traité, qui est un ouvrage d'initiation aux ordinateurs ou calculateurs électroniques, est remarquable par sa clarté et ses nombreuses remarques d'ordre pratique, qui seront certainement très appréciées par ceux qui ont à se mettre au courant des ordinateurs.

L'auteur commence par donner l'organisation générale d'un ordinateur, puis il expose les principes fondamentaux de l'algèbre de Boole et traite ensuite des systèmes de numération.

La deuxième partie s'intitule « Eléments et Matériaux », mais ne présente pas de grande originalité, sauf peut être par un chapitre consacré aux « cryogéniques » et mémoires à éléments supraconducteurs.

La troisième partie traite de l'unité arithmétique et expose d'une manière détaillée et très claire les différentes méthodes pour réaliser un additeur, un soustracteur, un multiplicateur et un diviseur et ceci en numération binaire pure et décimale binaire.

La quatrième partie concerne les mémoires. La cinquième partie aborde des questions que la plupart des auteurs n'ont guère traitées jusqu'à ce jour. Un chapitre traite de l'unité de commande et en particulier du pupitre de commande et de ses signalisations. Un deuxième chapitre constitue une introduction aux questions de sécurité de fonctionnement ou de fiabilité d'un ordinateur. Un troisième chapitre est consacré à la liaison entre signaux analogiques et signaux numériques.

La sixième partie aborde la programmation d'une manière très pratique, donnant même une liste de symboles à utiliser. Après un chapitre d'introduction, un chapitre est consacré aux opérations préparatoires et un autre aux principes de codification. Quelques exemples sont donnés.

La septième partie traite des problèmes de la programmation automatique, en particulier codification automatique, langage scientifique international.

La huitième partie donne des exemples d'applications des ordinateurs.

J.B.J.

OFFRE D'EMPLOI

O.538 C LES ÉTABLISSEMENTS de la C.S.F. CHOLET (M.-et-L.)

recherchent :

DES AGENTS TECHNIQUES — ÉLECTRONICIENS QUALIFIÉS DES ING. MÉCANICIENS

pour DÉVELOPPEMENT MÉTHODES et DES ING. ÉLECTRONICIENS pour études

Ecrire en adressant curriculum vitae à C.S.F. — Boîte Postale 89 CHOLET (M.-et-L.).

O.537 C Recherchons

PROFESSEURS

1° de Mathématiques

2° de Radio Technique

pour école préparant

Ingénieurs électroniciens

Ecrire à la Revue 40, rue de Seine Paris-6°.

O.539 C IMMÉDIAT OU APRÈS VACANCES

IMP GROUPE FRANÇAIS

recherche pour poste de

DIRECTEUR

CENTRE DE RECHERCHES

PHYSICIEN ou INGÉNIEUR

Format. universitaire ou Gdes Ecoles 40-48

ans — dispos. large culture scientif. à

jour (notamm. électronique capb. prendre

en main av. esprit de recherche et réalisme

industriel important service comportant

nombreux ingénieurs et techniciens

SITUATION IMPTE POUR

CANDIDAT 1^{er} PLAN

écrire sous référ. YC 752 A

E.T.A.P. Etude Travail

Applicat. Psychotechn.

4, rue Massenet Paris-16°

DISCRÉTION ASSURÉE



Revue affiliée au Syndicat de la Presse Radioélectrique Française - Paris

NOUVEAUX MEMBRES

MM.	Présentés par MM.	MM.	Présentés par MM.
ALFANDARI Roger, Ingénieur à la C.F.T.H.	BERTEROTTIERE RENONDIN	BERGER Jean, Pierre, élève à l'Ecole de Radio- électricité et d'Electronique de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille	POUGET GAUVAN
CHADELAS Alain, Bernard, élève au Collège Technique d'Argenteuil	Mme WEILL CAUDIU	BRESSON Eugène, élève à l'Ecole de Radioélectri- cité et d'Electronique de la Chambre de Com- merce et d'Industrie de Marseille	POUGET GAUVAN
COLLAS Gérard, élève à l'E.S.E. (Division Radio- électricité et Electronique)	Mme HUTER GAUSSOT	DAVID Jean-Gabriel, Ingénieur à la Compagnie Générale de T.S.F.	AUBERT BRAILLARD
DANON Giuseppe, Ingénieur E.S.E. au Laboratoire des Hautes Energies à Orsay	HUBERT JAMATI	JOYARD Bernard, élève à l'Ecole de Radioélectricité et d'Electronique de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille	POUGET GAUVAN
FISHBEIN Samuel B., Manager, Customer Rela- tions, International Electric. Corp	R.C. BENOIT Jr ANGOT	KNAUF George M., Staff Surgeon Air Force, Missile Test Center	R.C. BENOIT, Jr ANGOT
HULIN René, Ingénieur au C.N.E.T.	FLAMBARD BOULLET	LOUCHE Pierre, Yves, Henri, Ingénieur de l'Ecole Française de Radioélectricité	GAUSSOT
JACQUOT Gérard, Pierre, Antoine, élève au Collège Technique d'Argenteuil	Mme WEILL CAUDIU	RYERSON Joseph L., Senior Scientist Advanad Studies Office	BÉRARD R.C. BENOIT, Jr ANGOT
JURET Jean, Etienne, élève au Collège Techni- que d'Argenteuil	Mme WEILL CAUDIU	ROBERT André, élève à l'E.C.T.S.F.E. et au C.N. A.M.	VILLE HOUZÉ
LAFAY François, Ingénieur Radio E.S.E.	GAUSSOT TABOURIER	ROMANN René, Ingénieur E.S.E. à la C.S.F.	FAGOT RIVIERE
LEBEAU Claude, Jean, Ingénieur Radio E.S.E. .	GAUSSOT TABOURIER	SORRENTINO Richard, élève à l'Ecole de Radioélec- tricité et d'Electronique de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille	POUGET GAUVAN
MANFRINO André, Pierre, élève au Collège Tech- nique d'Argenteuil	Mme WEILL CAUDIU	TRUFFERT Alain, Ingénieur à la Société T.R.T. .	ANGOT SALMET
MENARD Jean, Léon, Secrétaire Général de la Société Européenne de Téléguidage (SETEL) .	BERTEROTTIERE RENONDIN	VOGELMAN, Dr Joseph H., Vice Président, Re- search, Development and Engineering	R.C. BENOIT Jr ANGOT
MINICONI Guy, Henri, Fred, Ingénieur Radio E.S.E.	ROQUES JOSIA	BERENQUIER Pierre, Henri, Ingénieur E.P. et E.N.S.T. à la C.S.F.	POELLE JACQUET
NOBLANC Jean-Pierre, François, Claude, Ingénieur Radio E.S.E.	Mme HUTER TABOURIER	BERNARD Max, élève à l'Institut National des Sciences Appliquées (Villeurbanne)	ARNAL DAVOINE
ROBERTS Willian, Lawrence, Northeast District Manager Thompson-Ramo-Wooldridge, Inc ...	R.C. BENOIT Jr ANGOT	DESJARDINS Christian, élève à l'Institut National des Sciences Appliquées (Villeurbanne)	ARNAL DAVOINE
RONCIN Jean-Claude, Licencié ès Mathématiques et Physique, élève à l'E.N.S.E.E.H. de Toulouse	FREYMANN BOUDOURIS	FILLATRAU Serge, élève à l'Institut National des Sciences Appliquées (Villeurbanne)	ARNAL DAVOINE
THULLIER Alain, André, élève au Collège Tech- nique d'Argenteuil	Mme WEILL CAUDIU	LADET Jean, Marie, Romain, Ingénieur Radio E.S.E.	VAUGEOIS GAUSSOT
Vergara William Charles, Directeur des Recher- ches Avancées « The Bendix Corp »	VOGE ANGOT	LANGLAIS Georges, élève à l'Institut National des Sciences Appliquées (Villeurbanne)	ARNAL DAVOINE
VINCENT Maurice, Jean, Ingénieur I.R.G.	MOUSIEGT BENOIT	STERNLICHT Léopold, Group Leader Electronic Engineering, Research et Development	R.C. BENOIT Jr ANGOT
WAGNER, Stuart A., Président, TR Associates Co (Engineering Liaison and Consulting)	R.C. BENOIT Jr ANGOT		
BARBEY Jean, Paul, Georges, Ingénieur Electri- cien aux Fonderies de Pont-à-Mousson	GUDEFIN MONTIGNOT		

MM.	Présentés par MM.	MM.	Présentés par MM.
AUBERT Michel, Jean, Ingénieur E.E.I.M., élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN	CROCMBETTE François, Antoine, Germain, Ingénieur I.E.G. et I.R.G., Licencié ès Sciences ...	FAGOT MAGNE
AVISSE André, Ingénieur de recherches au Centre de Recherches de la C.G.E.	VALLÉE TOCQUEC	DA COSTA David, élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN
BALESTRACCI Georges, élève à l'Institut National des Sciences Appliquées (Villeurbanne)	ARNAL DAVOINE	DANG VAN MIEN Henri, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE
BARRAULT François, Ingénieur Chercheur, Chef de la Division Laboratoires et Mesures, E.D.F.	CARTERON Mlle HENRY	DEIGAT Fernand, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE
BELIN Paul, élève à l'I.N.S.A. (Villeurbanne) ...	ARNAL DAVOINE	DUBELLOY Alain, élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN
BELLEGGY Jean-Pierre, Ingénieur E.B.P., élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN	DUFLOS Yves, Paul, Ingénieur Radio E.S.E.	GAUSSOT TABOURIER
BERAUDY Philippe, Ingénieur Ecole Bréguet, élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN	DUPUY Guy, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE
BERLAND Richard, élève à l'I.N.S.A. (Villeurbanne)	ARNAL DAVOINE	DUVAL Jean-Pierre, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE
BERNARD Pierre, Jean, Ingénieur E.C.P. et Radio E.S.E.	GAUSSOT SORBA	DUVAL Gabriel, élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN
BERTHIER Guy, élève à l'I.N.S.A. (Villeurbanne)	ARNAL DAVOINE	ERB Gilbert E., Colonel USAF, Deputy Chief of Staff for Operations, RADC	R.C. BENOIT, Jr. ANGOT
BESANÇON Robert, Ingénieur à la C.S.F.	FAGOT CLIQUOT	FILAFERRO René, élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN
BEUCHOT Gérard, élève à l'I.N.S.A. (Villeurbanne)	ARNAL DAVOINE	FLANDRE Piette, Directeur Industriel du Centre de Physique Electronique et Corpusculaire de la C.S.F.	WARNECKE NALOT
BLANC Maurice, Henri, Ingénieur E.E.I.M., élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	GAUVAN POUGET	FRECON Louis, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE
BLOCH Didier, Ingénieur E.S.E.	VARRET GAUSSOT	GAILLARD Pierre, élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN
BOILLET André, élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN	GASTALDI Jean-Jacques, Ingénieur Electronicien E.R.E.C.C.M.	SIDÉRIADÈS VOGEL
BONIJOL Jean, Ingénieur E.E.I.M., élève à l'école de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN	GENIN Michel, Marcel, Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique Ingénieur civil E.N.S.T.	LOCHARD PERRIN
BOURGEAUX Maurice, Marcel, Ingénieur de recherches à la Compagnie de Saint-Gobain ..	Mlle BOURGEAUX CARON	GÉRARD Jean-Bertrand, élève à l'I.S.E.P.	ABADIE DESOILLE
BRUN Maurice, élève à l'I.N.S.A. (Villeurbanne) .	ARNAL DAVOINE	GROSLAMBERT Jacques, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE
BURKHART André, élève à l'I.N.S.A. (Villeurbanne).	ARNAL DAVOINE	HARTEMANN Pierre, Licencié ès Sciences, Ingénieur E.S.E.	VARRET PORTIER
CHAVIN René, Chef de Service à la Société Cotelec-Derveaux	RENOLLAUD COSSON	HOCHMAN Jean-Claude, Ingénieur E.N.S.I., élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN
MM. CLAUDIN Paul, élève à l'I.N.S.A. (Villeurbanne)	ARNAL DAVOINE	HUBER Harry, Ingénieur, Chef de Département à la C.S.F.	GUENARD GUILBAUD
COSTECALDE Michel, élève à l'I.N.S.A. (Villeurbanne)	ARNAL DAVOINE	JARRY Jean, Ingénieur Radio E.S.E.	GAUSSOT TABOURIER
		JULLIAN Francis, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE

MM.	Présentés par MM.	MM.	Présentés par MM.
JUTARD Alain, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE	SAROUL Jean, Ingénieur E.E.I.M., élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN
KELLER René, Henri, Jean, élève à l'I.S.E.P.	ABADIE DESOILLE	Service Etudes de Réseaux — E.D.F.	CARTERON Mlle HENRY
KERDANIEL Pierre, Loïc, (de) élève à l'I.S.E.P. .	ABADIE DESOILLE	Société d'Applications Industrielles de la Physique	KALUSZYNER ANGOT
KUNZE Allan A., Senior Scientist — Advanced Studies Office	R.C. BENOIT Jr. ANGOT	SOÛTE Pierre, Ingénieur I.D.N. et Radio E.S.E. à la Compagnie des Compteurs	DELIBRIAS GUILLERM
Laboratoire Général des Télécommunications...	DANZIN ANGOT	STRACK Pierre, Ingénieur d'étude à la Compagnie I.B.M. France	BOUCHER MIQUEL
LE BARS Arsène, Yves, Agent Technique à la C.G.E.	VALLÉE TOCQUEC	TETAZ Roger, Ingénieur E.S.T.G. à la Compagnie de Saint-Gobain	CARON Mme BOURGEOUX
LEBÉE Gérard, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE	THIBAUT Claude, Lucien, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE
LEBRÉ Jean-Marie, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE	THIRIOT Francis, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE
LEFÈVRE Jacques, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE	TURQUET Bruno, Marie, élève à l'I.S.E.P.	ABADIE DESOILLE
LOOSEN Yves, élève à l'I.S.E.P.	ABADIE DESOILLE	VAGANAY Marcel, Officier Electronicien. Armée de l'Air	BERTHELOT BENTEJAC
MAYRARGUE Yves, élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN	WAECKERLE Gérard, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE
MERCKY Alfred, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE	WOLF Gérard, François, Ingénieur E.P.Z. à la C.F.T.H.	MAYENC CENSIER
MOUNIER Jacques, élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN	ABBAR Mohand, Chef de Travaux à la Faculté des Sciences de Lille	WERTHEIMER LEBRUN
MOURA Michel, Ingénieur E.E.I.M., élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN	AMSTUTZ Pierre, Ingénieur de l'Institut Français de Chronométrie, élève à l'Institut Polytechnique de Grenoble.	MOUSSIEGT LANCIA
Mlle MOUTTET Chantal, Documentaliste	VASSEUR GODELLE	ANGLARD Jean-Claude, Officier de l'Ecole de l'Air .	BENTEJAC VAGANAY
MM.		APTER Henri, Ingénieur E.S.M.E. à la C.S.F. ...	GUÉNARD GUILBAUD
NILL Armand, Ingénieur Principal au Service de la Navigation Aérienne, Chef de Section Etudes, spécialité Télécommunications.	REVIRIEUX PORTIER	AUBRY Jean-Pierre, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS
NYMEYER Albert G., Ingénieur, Directeur du Service des Etudes Commerciales et Economiques de la Société Texas Instruments	VOGEL SIDÉRIADÈS	BEAUJAUULT, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS
POULIQUEN Louis, Ingénieur Radio E.S.E.	Mme HUTER SORBA	Mlle BERNAUDON Annie, élève à l'I.N.S.A. de Lyon.	ARNAL DAVOINE
POUPLIER Jacques, Ingénieur E.E.M.I.	MOUSSIEGT MUNIER	MM.	
RASCLE Jean, Ingénieur E.E.I.M., élève à l'Ecole de Radioélectricité et Electronique de la Chambre de Commerce de Marseille	POUGET GAUVAN	BERTAUD Jean, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS
REBEROL Raymond, élève à l'I.N.S.A.	ARNAL DAVOINE	BERTHIER Michel, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS
RIOLLET Jean-François, élève à l'I.S.E.P.	ABADIE DESOILLE	BIBAUT Jean-Pierre, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité.	BOURASSIN FRANÇOIS
RUBIN Léon, Ingénieur	KAPLAN PORTIER	BIREBENT Raymond, Docteur ès Sciences, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse	DUPOUY DUPIN
SAPANEL Robert, élève à l'E.S.E. (Division Radioélectricité et Electronique)	Mme HUTER GAUSSOT		

MM.	Présentés par MM.	MM.	Présentés par MM.
BLED Jacques, Licencié ès Sciences	LEBRUN LIÉBAERT	DESCAMPS Michel, Assistant à la Faculté des Sciences de Lille	LIÉBAERT LEBRUN
BLOCH André, Ingénieur à la C.S.F. (Etudes pièces détachées électromécaniques)	AUBERT FAGOT	DEVLAEMINCK Michel, Technicien à la Société Alfred Motte et Compagnie (Roubaix)	SEGARD KNOFF
BOEDEC Gilbert, Ingénieur d'Etudes à la C.S.F. .	AUBERT FAGOT	DEWULF Paul, Officier Télémechanicien de l'armée de l'Air.....	BENTÉJAC VAGANAY
BONDU René, Géry, élève à la Faculté des Sciences de Lille	GABILLARD LEBRUN	DUBUS Francis, Agrégé des Sciences Physiques, Chef de Travaux à la Faculté des Sciences de Paris	ARNOULT GRIVET
BORRI Marius, Ingénieur E.B.P. à la Compagnie des Compteurs	LESAGE DELIBRIAS	DUPUIS Jean-Claude, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS
BOURGOIS Louis, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS	EMONET-DENAND Michel, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS
BRIANCEAU Jean-Claude, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité.....	BOURASSIN FRANÇOIS	FABERES Pierre, Ingénieur à la C.S.F.	AUBERT FAGOT
BUFF Henri, Charles, Ingénieur ENSEEHT, Licencié ès Sciences, Examineur à l'Institut International des Brevets (La Haye)	DUPIN LIPOVSKY	FERRAND Daniel, élève à l'I.R.E. de Lille	LIÉBAERT LEBRUN
BURR Marcel, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS	FONFRÈRE Jacques, Pierre, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS
BURSZTEJN Jacques, Simon, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS	FOREST Hugues, Licencié ès Sciences, Assistant à l'Institut de Physique de Lille	WERTHEIMER LEBRUN
BUSY Francis, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS	FRANCEY Roger, Ingénieur à la C.S.F.	AUBERT FAGOT
CAMBOIS Philippe, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS	FROUIN Michel, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS
CARPENTIER Jean (DE), Licencié ès Sciences, Officier de l'Ecole de l'Air.....	BENTÉJAC VAGANAY	FUMÉE Bernard, Ingénieur I.D.N. de la Section Etude du Département Semiconducteurs, C.F.T.H.	MAILLARD BOBENRIETH
CAUVIN Bernard, Marie, Georges, Marcel, Licencié ès Sciences, élève à l'E.S.E. (Division Radio-électricité et Electronique)	GAUSSOT TABOURIER	GALLICE Pierre, élève à l'I.N.S.A. de Lyon	ARNAL DAVOINE
CHAMPVALLIER Henri (DE), Officier Télémechanicien de l'Armée de l'Air	BENTÉJAC VAGANAY	GANNAZ François, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité.....	BOURASSIN FRANÇOIS
Mlle CHAUVET Anne-Marie, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS	GIARD José, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS
MM.		GIRAULT Jean, Ingénieur Arts et Métiers et Radio E.S.E. à la C.S.F.	AUBERT FAGOT
CHEGARAY Hubert, élève à l'I.S.E.P.	ABADIE DESOLLE	GOUESMEL Daniel, élève à l'I.N.S.A. de Lyon ...	ARNAL DAVOINE
CLOUARD Jean, Gérard, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité.....	BOURASSIN FRANÇOIS	GOPY Daniel, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS
CEURET Michel, élève à l'I.S.E.P.....	ABADIE DESOLLE	GUEDEZ Joseph, Technicien au L.E.P.....	SAUCET HAVOT
COMBE Michel, Gabriel, Henri, élève à l'E.S.E. (Division Radioélectricité et Electronique)	GAUSSOT TABOURIER	GUEUDAR-DELAHAYE Jean-François, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité ..	BOURASSIN FRANÇOIS
COURRIER Gilbert, Ingénieur Civil E.N.S.Ac à la Société Industrielle pour l'Aéronautique ...	CARDOT MANDEL	GUILLARD Claude, Louis, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité.....	BOURASSIN FRANÇOIS
DAUTREMAY Alain, élève à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité	BOURASSIN FRANÇOIS		

LE MATERIEL DE QUALITÉ
CABLES
PERENA

GAMME COMPLÈTE DE
FICHES COAXIALES

Pour

ELECTRONIQUE - TÉLÉVISION
SIGNALISATION
TÉLÉCOMMANDE - AVIATION
RADIO - MICROS - H.T.

CABLES
COAXIAUX
MULTICONDUCTEURS
GAINES ET TRESSÉS

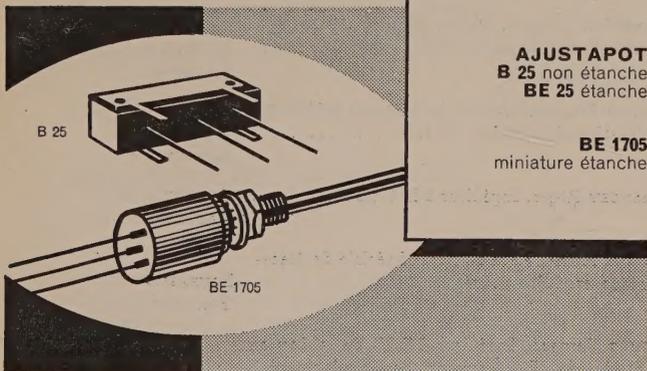
Tous fils spéciaux
sur devis

O.I.P.A.

PERENA

16, Boul^d de CHARONNE
PARIS 20^e - Tél. NAT. 30-93 +

potentiomètres bobinés



AJUSTAPOT
B 25 non étanche
BE 25 étanche

BE 1705
miniature étanche



Variohm

Rue Charles Vapereau
Rueil-Malmaison (S & O) - Tél. 967-24-54

RAPY 22

- marquez
- codez
- repiquez
- référencez
- datez ...

...vos condensateurs, résistances,
transistors, diodes, capacitors, piles
lampes, relais, connecteurs etc...

petites et grandes séries
avec les
**nouvelles gammes de
machines à imprimer**

REJAFIX
(fabrication anglaise)

Les encres **REJAFIX** assurent:
- une impression nette
- une impression permanente
- un séchage ultra-rapide



Un
de nos modèles
La DEVON 10 E

DARGOLS

IMPORTATEUR POUR LA FRANCE



DARGOLS

société anonyme au capital de 150.000 N.F.
8, RUE DES FRANCS-BOURGEOIS - PARIS 3^e - ARC. 52-71

Pour gagner du temps et développer les connaissances de vos

AGENTS TECHNIQUES

voici des outils de travail indispensables :

Les Cahiers de l'Agent technique Radio et TV

R. ASCHEN. — Cahier I. Calculs et schémas des radio-récepteurs (deuxième édition)	3,90 NF
R. ASCHEN. — Cahier II. Schémas et calculs des appareils de mesure	3,90 NF
R. ASCHEN et P. HEMARDINQUER. — Cahier III. Résistances et condensateurs	5,70 NF
R. ASCHEN. — Cahier IV. Théorie et pratique de l'émission : schémas et calculs des émetteurs	3 90 NF
R. ASCHEN. — Cahier V. Théorie et pratique de l'émission (suite) : Antennes, propagation	3 90 NF
R. ASCHEN. — Cahier VI. Réglage et manipulation des émetteurs	3 90 NF

J. QUINET. — Cahier VII. Le calcul des imaginaires et ses applications à l'électricité et à la radio	3,90 NF
J. ROUSSEAU. — Cahier VIII. Caractéristiques et emplois des tubes électroniques « Rimlock »	10,20 NF
J. ROUSSEAU. — Cahier IX. Caractéristiques et emplois des tubes électroniques « Miniature »	10,20 NF
L. CHRÉTIEN. — Cahier X L'amplification moyenne fréquence en télévision	5,10 NF
L. CHRÉTIEN et R. ASCHEN. — Cahier XI. La pratique des téléviseurs multicanaux et multistandards	3,90 NF
L. CHRÉTIEN. — Cahier XII. Télévision. L'amplification à video-fréquence	5 10 NF

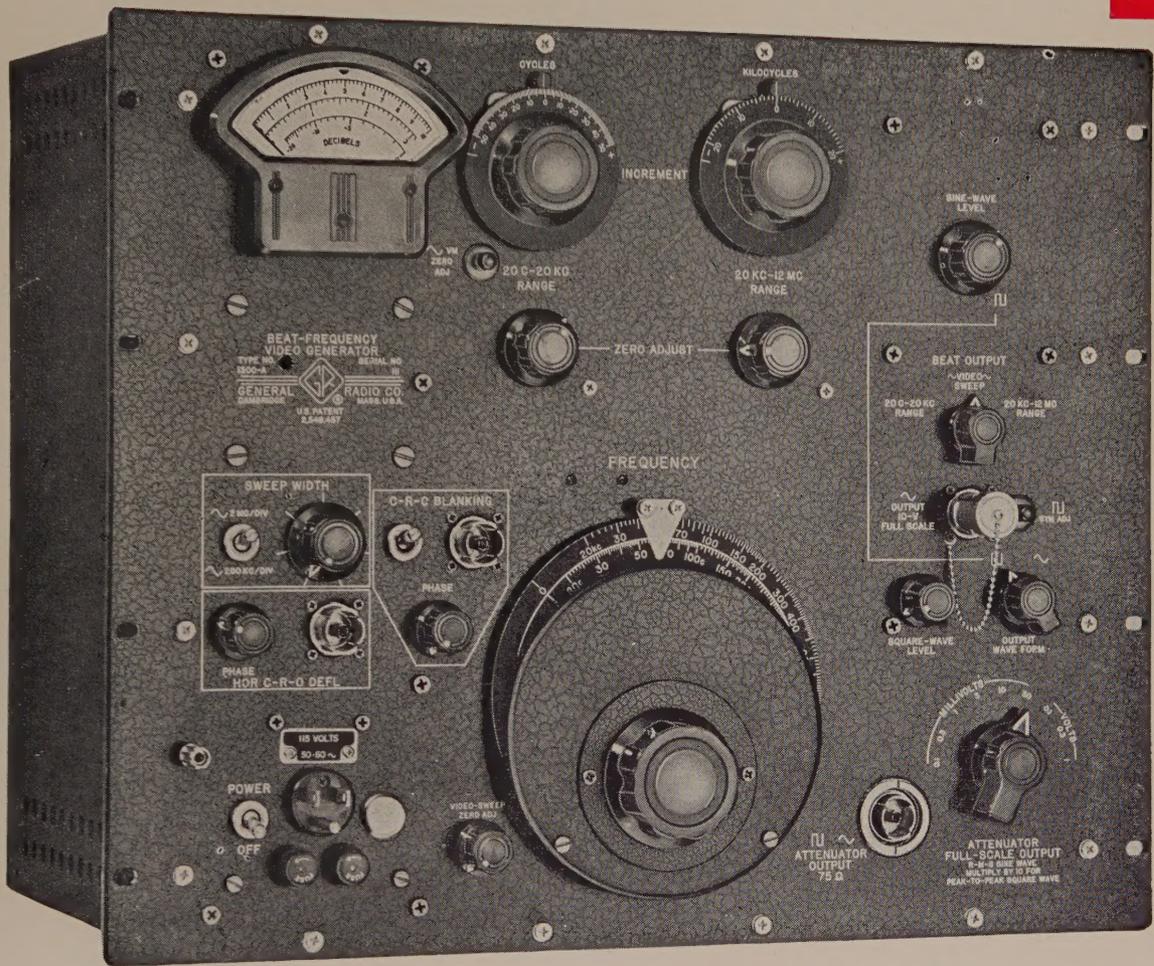
Ces prix s'entendent franco, port compris.

ÉDITIONS CHIRON, 40, rue de Seine, PARIS-VI^e — C. C. P. Paris 53-35

Nouveau GÉNÉRATEUR à BATTEMENT

pouvant délivrer

- des fréquences sinusoïdales de 20 c/s à 12 Mc/s
- des signaux carrés
- des fréquences wobulées



PRIX Hors taxes: NF: 15.600

Les avantages des générateurs à battement, si appréciés en basse fréquence, peuvent maintenant être utilisés pour les mesures aux fréquences ultrasoniques et vidéo. Quelques-uns de ces avantages sont : fréquences BF et vidéo couvertes en une seule gamme, supprimant l'inconvénient des commutations... degré élevé de résolution pour le relevé point par point des courbes de réponse, au moyen de deux verniers de fréquence... réglage continu de l'excursion de fréquence... fréquence centrale jusqu'à 12 Mc/s pour les mesures en vidéo... enregistrement automatique sur papier ou sur oscilloscope avec l'accessoire General Radio pour entraînement de cadran de générateur... production de signaux carrés, pour le contrôle des courbes de réponse par la méthode des signaux transitoires (mesure du temps de montée et du ramp off)... excursion réglable à ± 6 Mc/s entre 36 et 42 Mc/s pour le contrôle des MF de télévision.

La variété de signaux que délivre cet appareil ainsi que sa grande stabilité en fréquence et son niveau de sortie élevé sur toute la gamme de fréquences, en font l'appareil le plus complet que l'on puisse trouver sur le marché pour les contrôles en basse fréquence et en vidéo fréquence.

CARACTÉRISTIQUES DU GÉNÉRATEUR VIDÉOFRÉQUENCE A BATTEMENT, TYPE 1300 A

SIGNAL SINUSOÏDAL de 20 c/s à 12 Mc/s.

SIGNAUX CARRÉS de 20 c/s à 2 Mc/s.

SIGNAL WOBULE (fréquence de wobulation 50 c/s) excursion de fréquence réglable de façon continue de 0 à ± 6 Mc/s pour des fréquences centrales jusqu'à 12 Mc/s.

Les tensions de balayage horizontal et les tensions d'extinction de faisceau, pour l'utilisation d'un oscilloscope, sont fournies par le générateur.

PRÉCISION D'ÉTALONNAGE :

de 20 c/s à 20 Kc/s $\pm (1\% + 1 \text{ c/s})$
de 20 Kc/s à 500 Kc/s $\pm (2\% + 1 \text{ Kc/s})$
de 500 Kc/s à 12 Mc/s $\pm (1\% + 1 \text{ Kc/s})$

Le générateur est équipé de deux verniers de fréquence permettant un Δf de -50 c/s à $+50$ c/s

et -20 Kc/s à $+20$ Kc/s avec une précision de ± 1 c/s et $\pm 0,5$ Kc/s respectivement.

DISTORSION HARMONIQUE :

de 20 c/s à 20 Kc/s : $< 1,5\%$ du niveau de sortie,
de 20 Kc/s à 12 Mc/s : $< 4\%$ du niveau de sortie.

SIGNAUX CARRÉS :

Temps de montée inférieur à $0,075 \mu$ seconde au-dessus de 300 Kc/s.

à 60 c/s tension de palier constante à 2 % de l'amplitude crête à crête.

à 20 c/s tension de palier constante à 5 % de l'amplitude crête à crête.

RONFLEMENT RÉSIDUEL :

inférieur à 0,1 % de la tension de sortie.

	Gammes de tension de sortie		Précision	Caractéristique de fréquence	Impédance de sortie
	Signal sinusoïdal (valeur efficace)	Signaux carrés (crête à crête)			
Sortie atténuée	0,1, 0,3, 1, 3, 10 et 30 mV 0,3 et 1 V tensions maxima, à circuit ouvert	1, 3, 10, 30, 100 et 300 mV 1, 3 et 10 V tensions maxima, à circuit ouvert	$\pm 3\%$ de la déviation totale Précision de l'atténuateur : $\pm 1\%$	plate à $\pm 0,25$ db entre 40 c/s et 20 Kc/s ($\pm 0,75$ db à 20 c/s) ± 1 db entre 20 Kc/s et 12 Mc/s (à circuit ouvert)	75 Ω $\pm 2\%$
Sortie niveau élevé	0 à 10 V	0 à 10 V	$\pm 3\%$ de la déviation totale	plate à $\pm 0,25$ db entre 20 c/s et 20 Kc/s - ± 1 db de 20 Kc/s à 12 Mc/s (à circuit ouvert)	820 Ω $\pm 2\%$

AGENT EXCLUSIF FRANCE ET C.F.

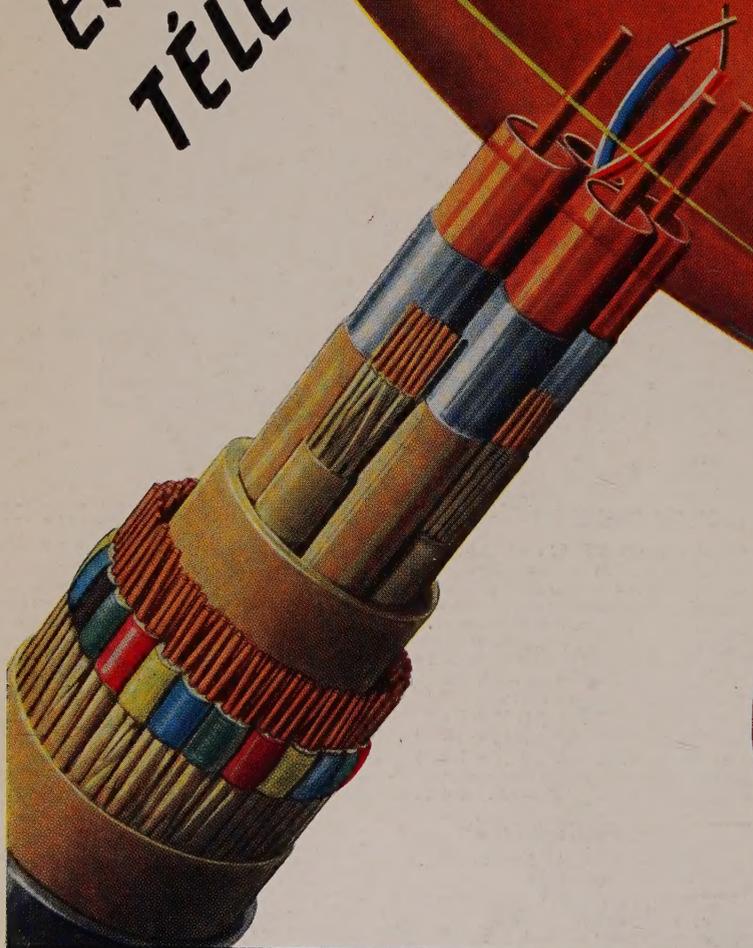


ETS RADIOPHON

AUX U. S. A. : RADIOPHON CORP.
509, Madison avenue - New-York

148, AV. MALAKOFF - PARIS - 16^e - TÉL. : KLE. 32 - 50

**ÉNERGIE NUCLÉAIRE
TÉLÉCOMMUNICATIONS
ÉLECTRONIQUE**



SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

ÉNERGIE NUCLÉAIRE • TÉLÉCOMMUNICATIONS • ÉLECTRONIQUE

69. RUE DE MONCEAU. PARIS 8^e. LAB. 60-50