

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Auteur collectif - Revue
Titre	L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1949-2003
Collation	167 vol.
Nombre de volumes	167
Cote	INDNAT
Sujet(s)	Industrie
Note	Numérisation effectuée grâce au prêt de la collection complète accordé par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale (S.E.I.N.)
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039224155
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?INDNAT
LISTE DES VOLUMES	
	1949, n° 1 (janv.-mars)
	1949, n° 2 (avril-juin)
	1949, n° 3 (juil.-sept.)
	1949, n° 4 (oct.-déc.)
	1949, n° 4 bis
	1950, n° 1 (janv.-mars)
	1950, n° 2 (avril-juin)
	1950, n° 3 (juil.-sept.)
	1950, n° 4 bis
	1951, n° 1 (janv.-mars)
	1951, n° 2 (avril-juin)
	1951, n° 3 (juil.-sept.)
	1951, n° 4 (oct.-déc.)
	1952, n° 1 (janv.-mars)
	1952, n° 2 (avril-juin)
	1952, n° 3 (juil.-sept.)
	1952, n° 4 (oct.-déc.)
	1952, n° spécial
	1953, n° 1 (janv.-mars)
	1953, n° 2 (avril-juin)
	1953, n° 3 (juil.-sept.)
	1953, n° 4 (oct.-déc.)
	1953, n° spécial
	1954, n° 1 (janv.-mars)
	1954, n° 2 (avril-juin)
	1954, n° 3 (juil.-sept.)
	1954, n° 4 (oct.-déc.)
	1955, n° 1 (janv.-mars)

	1955, n° 2 (avril-juin)
	1955, n° 3 (juil.-sept.)
	1955, n° 4 (oct.-déc.)
	1956, n° 1 (janv.-mars)
	1956, n° 2 (avril-juin)
	1956, n° 3 (juil.-sept.)
	1956, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° 2 (avril-juin)
	1957, n° 3 (juil.-sept.)
	1957, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° spécial (1956-1957)
	1958, n° 1 (janv.-mars)
	1958, n° 2 (avril-juin)
	1958 n° 3 (juil.-sept.)
	1958, n° 4 (oct.-déc.)
	1959, n° 1 (janv.-mars)
	1959, n° 2 (avril-juin)
	1959 n° 3 (juil.-sept.)
	1959, n° 4 (oct.-déc.)
	1960, n° 1 (janv.-mars)
	1960, n° 2 (avril-juin)
	1960, n° 3 (juil.-sept.)
	1960, n° 4 (oct.-déc.)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	1961, n° 1 (janv.-mars)
	1961, n° 2 (avril-juin)
	1961, n° 3 (juil.-sept.)
	1961, n° 4 (oct.-déc.)
	1962, n° 1 (janv.-mars)
	1962, n° 2 (avril-juin)
	1962, n° 3 (juil.-sept.)
	1962, n° 4 (oct.-déc.)
	1963, n° 1 (janv.-mars)
	1963, n° 2 (avril-juin)
	1963, n° 3 (juil.-sept.)
	1963, n° 4 (oct.-déc.)
	1964, n° 1 (janv.-mars)
	1964, n° 2 (avril-juin)
	1964, n° 3 (juil.-sept.)
	1964, n° 4 (oct.-déc.)
	1965, n° 1 (janv.-mars)
	1965, n° 2 (avril-juin)
	1965, n° 3 (juil.-sept.)
	1965, n° 4 (oct.-déc.)
	1966, n° 1 (janv.-mars)
	1966, n° 2 (avril-juin)
	1966, n° 3 (juil.-sept.)
	1966, n° 4 (oct.-déc.)
	1967, n° 1 (janv.-mars)
	1967, n° 2 (avril-juin)
	1967, n° 3 (juil.-sept.)

	1967, n° 4 (oct.-déc.)
	1968, n° 1
	1968, n° 2
	1968, n° 3
	1968, n° 4
	1969, n° 1 (janv.-mars)
	1969, n° 2
	1969, n° 3
	1969, n° 4
	1970, n° 1
	1970, n° 2
	1970, n° 3
	1970, n° 4
	1971, n° 1
	1971, n° 2
	1971, n° 4
	1972, n° 1
	1972, n° 2
	1972, n° 3
	1972, n° 4
	1973, n° 1
	1973, n° 2
	1973, n° 3
	1973, n° 4
	1974, n° 1
	1974, n° 2
	1974, n° 3
	1974, n° 4
	1975, n° 1
	1975, n° 2
	1975, n° 3
	1975, n° 4
	1976, n° 1
	1976, n° 2
	1976, n° 3
	1976, n° 4
	1977, n° 1
	1977, n° 2
	1977, n° 3
	1977, n° 4
	1978, n° 1
	1978, n° 2
	1978, n° 3
	1978, n° 4
	1979, n° 1
	1979, n° 2
	1979, n° 3
	1979, n° 4
	1980, n° 1
	1982, n° spécial

	1983, n° 1
	1983, n° 3-4
	1983, n° 3-4
	1984, n° 1 (1er semestre)
	1984, n° 2
	1985, n° 1
	1985, n° 2
	1986, n° 1
	1986, n° 2
	1987, n° 1
	1987, n° 2
	1988, n° 1
	1988, n° 2
	1989
	1990
	1991
	1992
	1993, n° 1 (1er semestre)
	1993, n° 2 (2eme semestre)
	1994, n° 1 (1er semestre)
	1994, n° 2 (2eme semestre)
	1995, n° 1 (1er semestre)
	1995, n° 2 (2eme semestre)
	1996, n° 1 (1er semestre)
	1997, n° 1 (1er semestre)
	1997, n°2 (2e semestre) + 1998, n°1 (1er semestre)
	1998, n° 4 (4e trimestre)
	1999, n° 2 (2e trimestre)
	1999, n° 3 (3e trimestre)
	1999, n° 4 (4e trimestre)
	2000, n° 1 (1er trimestre)
	2000, n° 2 (2e trimestre)
	2000, n° 3 (3e trimestre)
	2000, n° 4 (4e trimestre)
	2001, n° 1 (1er trimestre)
	2001, n° 2-3 (2e et 3e trimestres)
	2001, n°4 (4e trimestre) et 2002, n°1 (1er trimestre)
	2002, n° 2 (décembre)
	2003 (décembre)

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Titre	L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale
Volume	1961, n° 1 (janv.-mars)
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1961

Collation	1 vol. (24 p.-[8] p. de pl.) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	50
Cote	INDNAT (54)
Sujet(s)	Industrie
Thématique(s)	Généralités scientifiques et vulgarisation
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	03/09/2025
Date de génération du PDF	08/09/2025
Recherche plein texte	Non disponible
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?INDNAT.54

[L'Industrie nationale](#) prend, de 1947 à 2003, la suite du [Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#), publié de 1802 à 1943 et que l'on trouve également numérisé sur le CNUM. Cette notice est destinée à donner un éclairage sur sa création et son évolution ; pour la présentation générale de la Société d'encouragement, on se reporterà à la [notice publiée en 2012 : « Pour en savoir plus »](#)

[Une publication indispensable pour une société savante](#)

La Société, aux lendemains du conflit, fait paraître dans un premier temps, en 1948, des [Comptes rendus de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#), publication trimestrielle de petit format résumant ses activités durant l'année sociale 1947-1948. À partir du premier trimestre 1949, elle lance une publication plus complète sous le titre de [L'Industrie nationale. Mémoires et comptes rendus de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#).

Cette publication est différente de l'ancien [Bulletin](#) par son format, sa disposition et sa périodicité, trimestrielle là où ce dernier était publié en cahiers mensuels (sauf dans ses dernières années). Elle est surtout moins diversifiée, se limitant à des textes de conférences et à des rapports plus ou moins développés sur les remises de récompenses de la Société.

[Une publication qui reflète les ambitions comme les aléas de la Société d'encouragement](#)

À partir de sa création et jusqu'au début des années 1980, [L'Industrie nationale](#) ambitionne d'être une revue de référence abondant, dans une sélection des conférences qu'elle organise — entre 8 et 10 publiées annuellement —, des thèmes extrêmement divers, allant de la mécanique à la biologie et aux questions commerciales, en passant par la chimie, les différents domaines de la physique ou l'agriculture, mettant l'accent sur de grandes avancées ou de grandes réalisations. Elle bénéficie d'ailleurs entre 1954 et 1966 d'une subvention du CNRS qui témoigne de son importance.

À partir du début des années 1980, pour diverses raisons associées, problèmes financiers, perte de son rayonnement, fin des conférences, remise en question du modèle industriel sur lequel se fondait l'activité de la Société, [L'Industrie nationale](#) devient un organe de communication interne, rendant compte des réunions, publant les rapports sur les récompenses ainsi que quelques articles à caractère rétrospectif ou historique.

La publication disparaît logiquement en 2003 pour être remplacée par un site Internet de même nom, complété par la suite par une lettre d'information.

Commission d'histoire de la Société d'Encouragement,

Juillet 2025.

Bibliographie

Daniel Blouin, Gérard Emptoz, [« 220 ans de la Société d'encouragement »](#), Histoire et Innovation, le carnet de recherche de la commission d'histoire de la Société d'encouragement, en ligne le 25 octobre 2023.

Gérard EMPTOZ, [« Les parcours des présidents de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale des années 1920 à nos jours. Deuxième partie : de la Libération à nos jours »](#), Histoire et Innovation, carnet de recherche de la commission d'histoire de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, en ligne le 26 octobre 2024.

S. E. I. N.
Bibliothèque

L'INDUSTRIE NATIONALE

COMPTES RENDUS ET CONFÉRENCES
DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

PUBLIÉS AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

1961
N° 1

Revue trimestrielle

N° 1 : JANVIER - MARS 1961

SOMMAIRE ET RÉSUMÉS DES ARTICLES

TÉLÉCOMMUNICATIONS SPATIALES ET TRANSMISSIONS A GRANDE DISTANCE PAR SATELLITES ARTIFICIELS,

par M. J. VOGE 1

L'auteur traite des liaisons entre la terre et les engins spatiaux et des communications terrestres par 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 des procédés de modulation et de codage plus efficents. Les solutions à ces problèmes, dans l'immédiat et le proche avenir, sont passées en revue. Des indications sont données sur les techniques les plus modernes de microminiaturisation applicables à l'électronique spatiale. En ce qui concerne les communications terrestres par satellites, différents cas sont à considérer : satellites se déplaçant par rapport au sol ou satellites " fixes " ; satellites " passifs " ou " actifs " ; satellites à retransmission instantanée ou au contraire différée. Des exemples sont donnés correspondant à des essais en cours ou à des projets réels de réseaux exploitables en téléphonie ou télévision. L'auteur termine sur l'espérance de voir les laboratoires français participer bientôt à des programmes de coopération internationale.

APPORT DE L'EXPLORATION DE L'ESPACE A LA BIOLOGIE FONDAMENTALE

par M. le Professeur G. MILHAUD 17

Cette conférence résume nos connaissances dans le domaine de l'évolution chimique, c'est-à-dire de la formation de molécules organiques, puis dans le domaine de l'évolution biochimique (formation des acides nucléiques et des protéines).

Elle rapporte les résultats relatifs à la teneur en produits organiques de certains météorites, enfin elle discute ce que les voyages interplanétaires peuvent apporter à nos connaissances concernant l'origine de la vie.

publication sous la direction de **M. Georges CHAUDRON**, Membre de l'Institut, Président,
avec le concours du Secrétariat de la Société.

Les textes paraissant dans *L'Industrie Nationale* n'engagent pas la responsabilité de la Société d'Encouragement quant aux opinions exprimées par leurs auteurs.

44, rue de Rennes, PARIS 6^e (LIT 55-61)

Le n° 7,50 NF

C. C. P. Paris n° 618-48

L'INDUSTRIE NATIONALE



ANNÉE 1961

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

par M. J. VOGÉ

Ingénieur en Chef des Télécommunications au Centre National d'Études 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 radio-électriques constituent le seul lien entre le sol et les satellites ou fusées interplanétaires : c'est par elles que sont acheminées 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 radio-électrique peut être encore amélioré. L'apparition des « transistors » et des circuits imprimés ne constitue qu'une étape dans la voie d'une miniaturisa-

(1) Conférence faite le 17 novembre 1960 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale
L'Industrie nationale. — Janvier-Mars 1961.

tion 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 des 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 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 km 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 :

$$\frac{P_R}{P_E} = \frac{\lambda^2 G_E G_R}{(4 \pi d)^2} = \frac{A_E A_R}{(\lambda d)^2} = \frac{G_E A_R}{4 \pi d^2} = \frac{A_E G_R}{4 \pi d^2} \quad (1)$$

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.

(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).

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 radio-électriques 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 p. 100 au laboratoire, mais ne dépasse pas 5 à 7 p. 100 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 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 p. 100 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 p. 100 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 kilog sembleront respectivement de l'ordre de 50 W et de plusieurs centaines de watts, mais avec des rendements limités à 2 ou 3 p. 100.

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 kilog, 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 p. 100, bien qu'on sache faire mieux et que l'on puisse aller dans certaines conditions jusqu'à près de 30 p. 100. 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 États Unis. Mais les grands miroirs réalisés industriellement ont des diamètres 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_R , P_E , 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 finesse minimum acceptables semblent de l'ordre d'une fraction de degré, ce qui correspond à des gains maximum G_R de quelques 10⁵.

Cherchons maintenant qu'elle est la puissance de réception P_R minimum 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.

Évaluons 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 $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ W/KHz}$.

En général, sur les liaisons usuelles, les faisceaux d'antennes sont dirigés, au moins en partie, vers le sol et $T_A \approx 300 \text{ }^{\circ}\text{K}$. Mais on s'est aperçu, depuis quelques années, que la température de l'espace ou, comme on dit, du ciel était bien inférieure à $300 \text{ }^{\circ}\text{K}$. Elle serait même nulle, s'il n'existant pas dans l'univers un grand nombre de sources de parasites radioélectriques, les « radio-sources » ou « radio-étoiles », étudiées par les radio-astrophysiciens. 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 $^{\circ}\text{K}$.

A 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 radio-électriciens 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 :

$$T_R = (F-1) 290^\circ\text{K} \quad (5)$$

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.

A 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 inférieur 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 cap-

terait 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 retroïdie 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 minimum 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 radioélectrique de fréquence élevée et le spectre de fréquence de cette onde porteuse 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 auditif 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 connue des spécialistes des communications — on a le plus souvent des valeurs de B qui sont au moins de l'ordre de 10 à 20.

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 supérieure 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 minimum 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 :

$$(P_R) \text{ minimum} = k(T_A + T_R) B \eta = k(T_A + T_R) b \beta \quad (6)$$

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 minimum, pour une transmission de type et de qualité données. De grands spécialistes des théories de l'information, Hartley et Shannon, ont établi, il y a déjà longtemps, une limite théorique de cette puissance minimum. Elle est sensiblement égale à $k(T_A + T_R) b$; 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 $\eta = 1$. Il est intéressant de se référer à cette limite et de mettre 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. Ce filtrage de la bande de réception conduit évidemment aussi à un filtrage du bruit, et on peut ainsi réduire la puissance de bruit reçue à une valeur qui, dans le cas le plus favorable, se confondrait avec la limite de Hartley et Shannon. 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, et donc proche de la limite théorique. 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 « micro-lock », 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 obtient 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 peut conduire à des valeurs de β de 50 à 100, si on effectue à la réception une « démodulation synchrone » qui est encore équivalente à un filtrage.

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 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 réglée 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 : 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 n 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 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

(1) Système PCM-PM (Pulse Code Modulation - Phase Modulation).

(2) C'est un système analogique FM-PM à modulation de fréquence, le porteur étant modulé en phase (Frequency Modulation-Phase Modulation).

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 cellulaires solaires (puissance captée 15 W).
- Température interne régulée aux environs de 24 °C.

- Télémétrie :

Émissions 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 transistorisé.

Type de modulation : PCM-PM 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 maximum :

Théorique : 80 millions de km.

Réalisée : 36 —

(panne d'émetteur le 26-6-60).

- Poursuite au sol :

Mêmes équipements que pour la télémétrie.

- Commande du sol :

400 MHz, 1 ou 10 kW.

Mêmes antennes que pour la réception de la télémétrie.

Participants principaux : NASA, U. S. Air Force, Space Technology Lab.

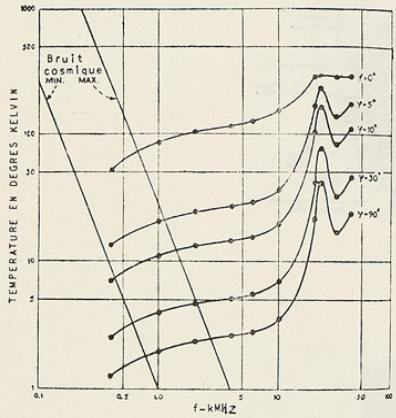


Fig. 1.

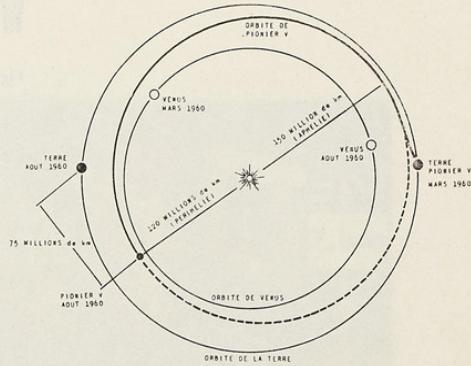


Fig. 2.

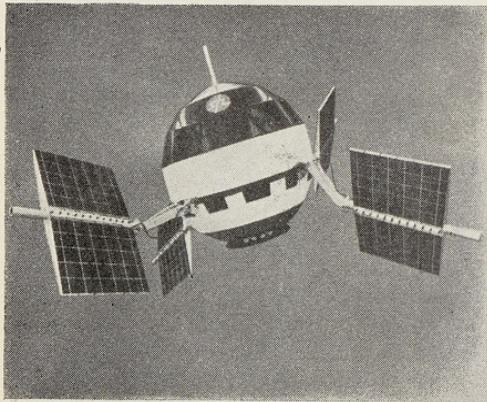


Fig. 3.

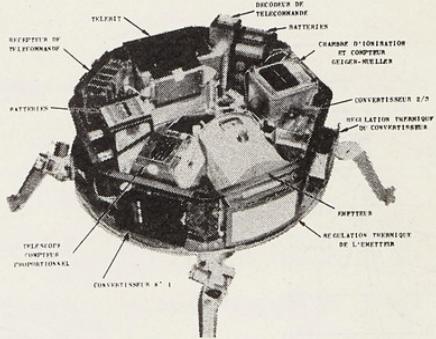


Fig. 4.

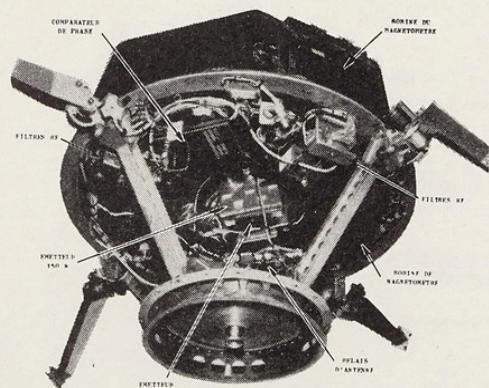


Fig. 5.

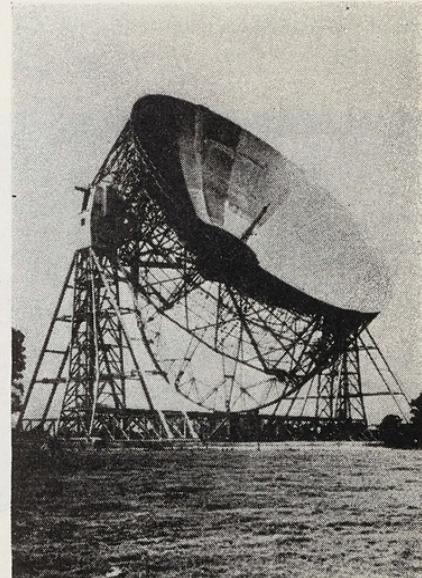


Fig. 6.

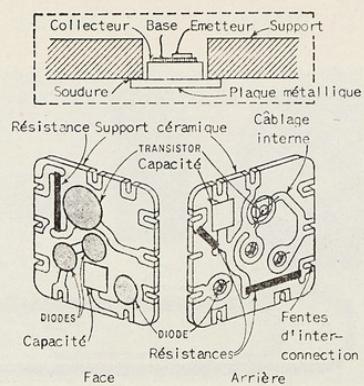


Fig. 7.

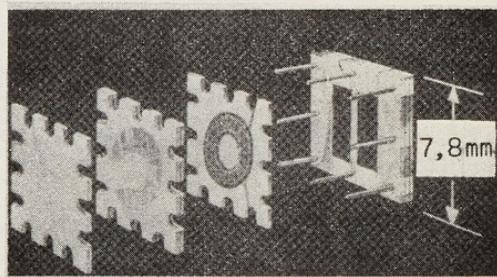


Fig. 8.

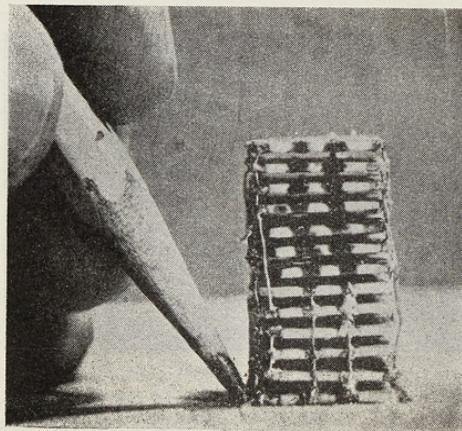


Fig. 9.

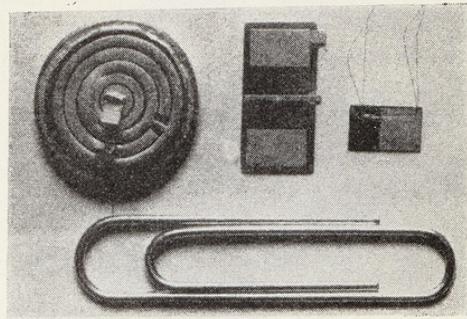


Fig. 10.

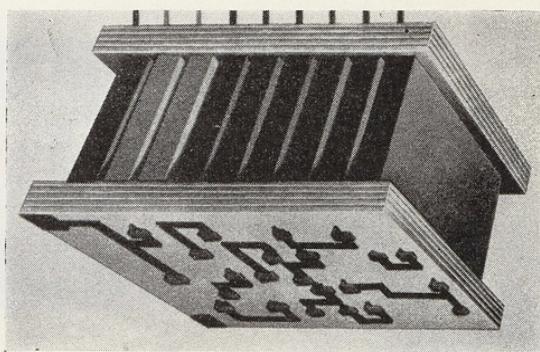


Fig. 11.

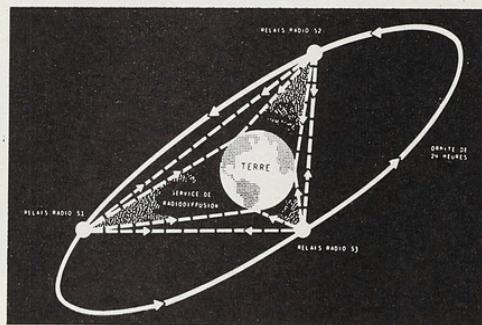


Fig. 12.

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 microminiaturisation applicables aux engins spatiaux.

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 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 $7,8 \times 7,8 \times 0,25$ mm³): l'ensemble obtenu constitue ce qu'on appelle un micromodule, dont on assure en 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 cm³, 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 cm³, avec une densité de 22 éléments par cm³.

Une autre technique encore plus spectaculaire qui se développe aux États-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'amplificateur 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.

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 cm³, ce qui correspond à une densité de 270 éléments par cm³, et il pèse 1,3 gr.

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 affaiblis-

sement 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. 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 — 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 déplaceront par rapport au sol. Un ensemble de plusieurs dizaines de satellites sera 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 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.

L'emploi de satellites constituant de 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 réfléchie 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 davantage 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 enregistraient (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.

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 continues, 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. 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⁽¹⁾.

Les formules⁽¹⁾ permettent l'étude théorique des liaisons par satellites actifs, qui

(1) 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.

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.

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 p. 100 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 Écho, 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 on voit une maquette de dimensions réduites 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 mètres 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 sujexion 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 par réflexion sur le satellite Écho 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'Études des Télécommunications à Issy-les-Moulineaux. 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 sans doute possible l'origine des signaux. Ceci constituait la première liaison transatlantique par satellite. Quelques jours plus tard, les techni-

TABLEAU II

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

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. 58 m. 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 (New Jersey, Bell-Téléphone Lab.) — Goldstone (Californie, Jet Propulsion Lab.).
Ondes entretenues ou 1 voie téléphonique 3 kHz en FM (± 50 kHz).
Fréquences : 960,05 MHz (Émission N. J.) — 2 390 MHz (Émission Calif.).
Émission : 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 (Émission Iowa) — 810 MHz (Émission Texas).
Émission : 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.

ciens anglais ont réussi à Jodrell Bank une expérience similaire, mais en enregistrant cette fois un signal téléphonique et même musical.

b) *Autres projets :*

D'autres essais de liaisons par réflecteurs passifs sont envisagés. La NASA doit mettre en orbite, un réflecteur sphérique à armature rigide, et tenter, à la fin de 1962, la transmission 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 50 kW et, à la réception, une antenne ayant 50 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 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.

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 tableau IV fournit des renseignements détaillés sur cet équipement et sur les essais effectués. Les signaux, provenant de 20 télelytères opérant en permanence, sont enregistrés dans chaque station au sol sur une bande magnétique; lorsque le satellite passe en visibilité de l'une de ces stations, les informations stoc-

kées 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 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 vaste réseau militaire américain.

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 et celles qui sont chargées de l'exploitation des réseaux téléphoniques, télégraphiques et de télévision aux États-Unis s'intéressent passionnément à ce nouveau type de transmission à grande distance. Près d'une dizaine de projets de réseaux commerciaux, à l'échelle mondiale, ont été soumis récemment à la N.A.S.A. (National Aeronautics and Space Administration), organisme gouvernemental américain des recherches spatiales. Certaines compagnies ont même proposé d'assumer intégralement le financement de leur projet, en demandant seulement à la

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 m. Inclinaison sur l'équateur 28,3°.
- Diamètre 1,3 m. Poids 275 kg (dont 135 kg 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 : Échanges bilatéraux avec le sol pendant des durées de 5 minutes de messages télex 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 télex 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 Émission-Réception.

Équipements de transmission :

Fréquences : voisines de 2 000 MHz. Transmissions bilatérales, par commande du sol, sur deux fréquences dans chaque sens. Modulation FM (± 100 kHz).

Équipements au sol :

Émission : 1 kW. Réception : ampli-paramétrique $F = 2$ dB/quadrupole diversité : (2 fréquences, 2 polarisations).

Équipements sur satellites :

2 Émetteurs (+ 2 recharge) 5 à 8 W. 4 Récepteurs. $F = 12$ dB. Diversité quadrupole. 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.

Télémétrie :

108 MHz, 2 émetteurs, 1,5 W. 35 paramètres (Milieu et contrôle fonctionnement). Modulation FAM-FM-FM, à 7 canaux (± 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).

N. B. — L'essai a été interrompu par une panne en décembre 1960.

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 480 voies téléphoniques ou 1 voie TV.

Fréquences :

Ordre de 6 000 MHz, ou peut-être 4 000 MHz de satellite vers sol. Bande de 60 MHz par canal dans chaque sens pour une bande BF de 5 MHz.

Modulation :

FM à large indice (± 25 MHz par canal) avec compression de fréquence à la réception.

Équipement au sol :

- 2 Émetteurs (+ 1 Recharge) 2 kW. Paraboles 18 m.

- 2 Récepteurs (+ 1 Recharge). Cornet 18 m \times 18 m : $T_A \simeq 15$ °K (site minimum 7,5 à 10°). Maser : $T_R \simeq 15$ °K.

- Orientation des antennes : commandée par calculateur d'orbite et poursuite automatique radio ou radar.

Prix station au sol : 2,5 (1 canal) à 2,7 (2 canaux) millions de dollars. 26 stations (13 liaisons) nécessaires (8 stations pour le réseau simplifié).

Équipements des satellites-relais.

Antennes : directives (stabilisation); gain ordre de 10.

Récepteurs $F = 10$ dB.

Amplis de sortie : Tubes onde progressive de 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 transatlantiques : 1962?

de l'exploitation : 1965?

N.A.S.A. de leur lancer leur satellite et d'en déterminer avec précision les orbites, moyennant remboursement des dépenses correspondantes.

La N.A.S.A. vient de leur donner un accord de principe, se réservant cependant d'examiner au préalable le sérieux des propositions. Le docteur Glennan, administrateur de la N.A.S.A., a émis à cette occasion quelques doutes sur la possibilité d'équiper un réseau vraiment exploitable avant plusieurs années, et fait part de l'intention de son organisation de lancer en 1962 un satellite expérimental de poids réduit, devant évoluer à une altitude comprise entre 2 000 et 6 000 km et qui permettrait de résoudre un certain nombre des problèmes qui se posent encore (Projet Relay). On ne sait, dans ces conditions, quand pourra être donné aux compagnies privées un accord définitif.

Le tableau V résume, à titre d'exemple, les caractéristiques du projet présenté par l'American Telephone and Telegraph (A.T.T.) puissante compagnie qui détient un quasi-monopole de l'exploitation téléphonique aux États-Unis, et dont les laboratoires sont les laboratoires Bell. On voit, sur la figure 23, le schéma des satellites proposés par l'A.T.T.

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 au cours de ces derniers mois. Les caractéristiques en sont secrètes, mais on pense qu'elles sont voisines de celles d'un projet qui a été décrit récemment par des techniciens de l'armée américaine, et se trouve condensé au tableau VI.

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 les émissions des satellites, par recours à une cryptophonie ou une cryptographie des signaux de téléphonie ou de télévision trans-

mis. Les satellites doivent être stabilisés à la fois en position (celle-ci étant en principe fixe par rapport au sol) et en orientation (puisque l'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 prévisions 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 radio-électriques 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 États-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 l'on peut espérer, en particulier, coopérer activement aux premiers essais de communications transatlantiques par satellites, qui seront entrepris dans un avenir certainement très proche.

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 1 MHz chacun pour 12 voies 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
<i>Satellite</i> Poids total :	450 kg	1 350 kg
dont { communications	115 kg	500 kg
alimentation	115 kg	225 kg
guidage, contrôle	90 kg	200 kg
Fréquence Émission	1 700 — 2 400 MHz	4 400 — 5 000 MHz
Puissance —	1 W par canal (Triodes)	5 W par canal (Tubes onde progressive)
Diamètre antenne émission	{ 0,5 m (faisceau de 20°)	{ 1,5 m (faisceau de 2,8°)
Stabilisation orientation	± 2°	± 0,5°
Télémesure	FM-FM (75 paramètres)	PCM-FM (150 paramètres)
Puissance alimentation	300 W	1 kW
(cellules solaires + batteries chimiques)		
Durée	0,5 à 1 an	Plus de 2 ans

Équipement au sol :

Puissance émission	1 kW	10 kW
Diamètre antenne	9 m	18 m
Récepteur : $T_A + T_R$	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 secrètes, auquel participent l'U. S. Army, General Electric (satellite), Bendix (équipements de communications).

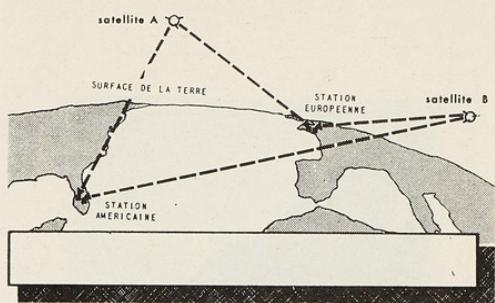


Fig. 13.

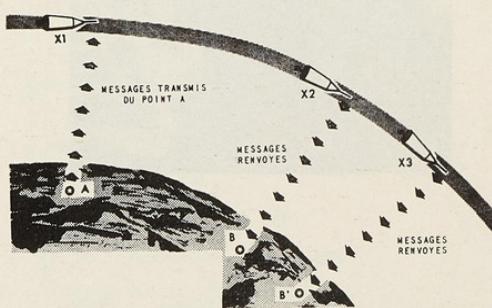


Fig. 14.

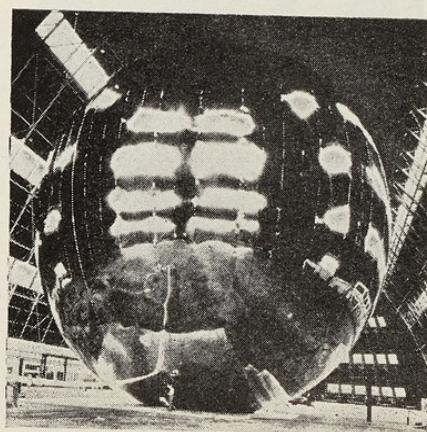


Fig. 15.

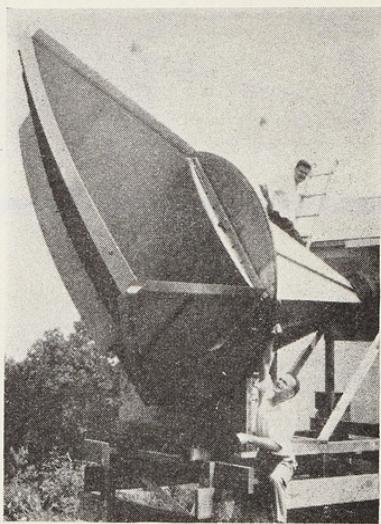


Fig. 16.

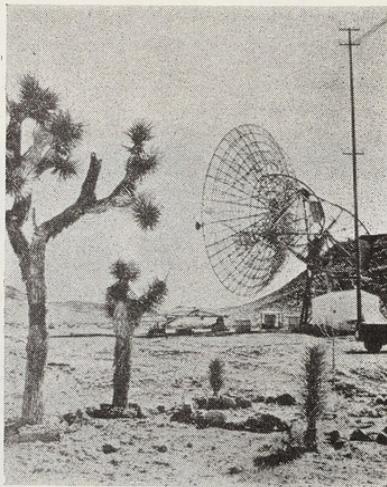


Fig. 17.

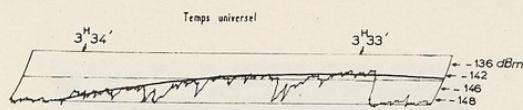


Fig. 18.

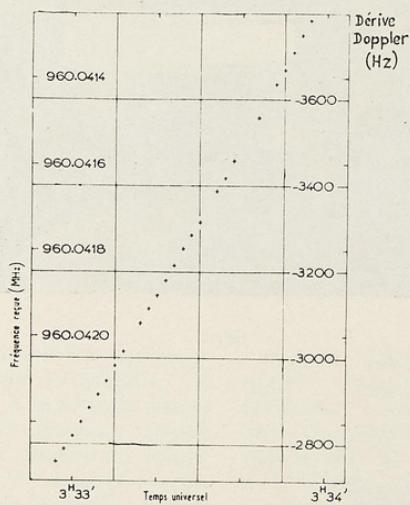


Fig. 19.

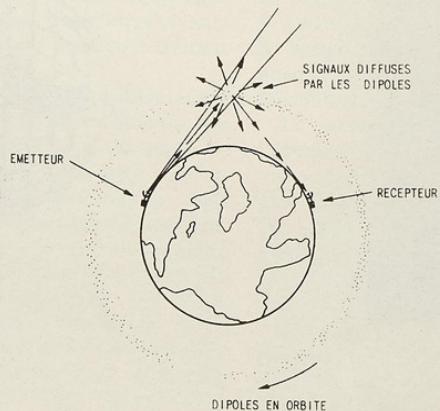


Fig. 20.



Fig. 21.

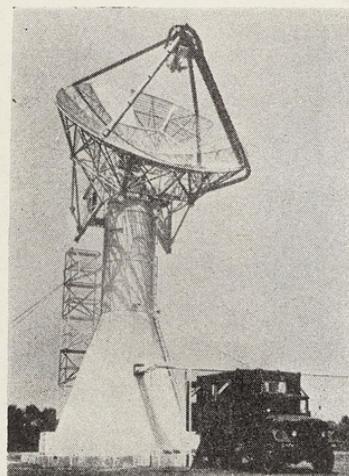


Fig. 22.

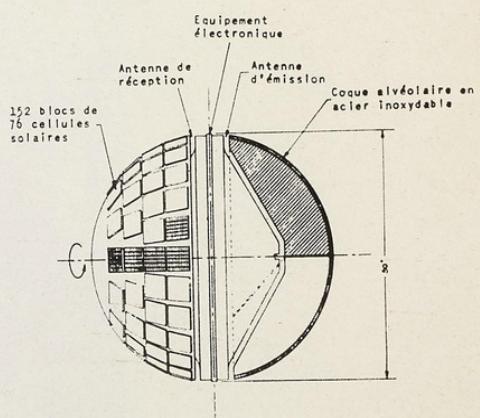


Fig. 23.

APPORT DE L'EXPLORATION DE L'ESPACE A LA BIOLOGIE FONDAMENTALE⁽¹⁾

par M. le Dr. G. MILHAUD

Professeur agrégé, Chef du Laboratoire des Isotopes à l'Institut Pasteur.

A première vue, il doit sembler surprenant de se demander ce que l'exploration de l'espace peut apporter à la biologie fondamentale ou à la recherche médicale. Depuis 30 siècles que l'homme observe les étoiles, les limites de l'univers n'ont cessé de reculer. L'astronomie a permis de généraliser à l'univers nos notions terrestres de masse et d'énergie. D'autre part, l'étude des spectres stellaires a établi la validité universelle de nos connaissances de chimie minérale. La biologie par contre, faute de moyens d'exploration adéquats, ne s'est occupée que d'êtres vivants terrestres et il n'existe pas de science traitant de la biologie théorique.

L'exploration de l'espace offre maintenant une extraordinaire possibilité d'étendre nos connaissances biologiques et de savoir si ce que nous avons observé sur la terre peut ou non s'étendre à l'échelle de l'univers. Mais ceci va nous obliger à reconsiderer les théories de l'origine de la vie sur notre propre planète, de façon à être en mesure de savoir quels sont les renseignements qui nous permettront de déceler l'existence et la nature de la vie extra-terrestre. Ceci en attendant le moment de pouvoir nous rendre sur place et d'effectuer nos observations de la façon la plus directe.

On peut ordonner les événements qui ont abouti à l'apparition d'une cellule vivante sur la terre à l'aide de deux principes directeurs. Le premier est contenu implicitement dans le titre du premier travail de Darwin et de Wallace « Sur la tendance des variétés à se différencier indéfiniment des types originaux, processus aboutissant à des espèces nouvelles. » En utilisant ce premier principe à l'envers, c'est-à-dire en remontant dans le temps, il doit y avoir eu une période au cours de laquelle le premier organisme est apparu. Si l'on remonte encore un peu plus loin dans le temps, nous arrivons à une époque où aucune vie n'existe : c'est l'époque de l'évolution chimique.

Le second principe a trait à la nature de l'atmosphère primitive, qui baignait la terre au moment où intervenaient les processus aboutissant à la formation d'êtres vivants. On peut admettre que cette atmosphère était réductrice et que les atomes qui la composaient étaient liés à l'hydrogène davantage qu'à l'oxygène.

A partir de ces deux principes, il faut s'efforcer de reconstituer les étapes du processus de la naissance de la vie. Nous disposons de beaucoup de temps, puisque la formation de l'univers remonte à 5 billions

(1) Conférence faite le 24 novembre 1960 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (25^e Conférence Carrion).

L'Industrie nationale. — Janvier-Mars 1961.

d'années, voire un peu davantage. Il y a donc 5 billions d'années que la terre existe (Fig. 1); il y a eu, au cours du premier billion d'années d'abord la formation de l'écorce terrestre puis de l'atmosphère; c'est alors que la période de l'évolution chimique a commencé.

Puis au cours de la période archéozoïque, un organisme vivant est apparu et ce fut le début de l'évolution organique. Les composés organiques diminuèrent en nombre et en quantité au fur et à mesure que l'évolution des espèces vivantes se faisait et à l'époque des premiers fossiles, il y a environ 500 000 ans, sont apparus les organismes photosynthétiques, qui utilisent l'anhydride carbonique et produisent de l'oxygène et les organismes qui respirent l'oxygène et exhalent de l'anhydride carbonique.

ÉVOLUTION CHIMIQUE.

Au début de l'évolution chimique l'atmosphère terrestre comprenait quelques molécules primitives simples : de l'eau, du méthane, de l'hydrogène, de l'ammoniac, de l'anhydride carbonique et peut-être de l'oxyde de carbone (Fig. 2). Sous l'effet combiné du rayonnement ultraviolet et des radiations ionisantes — rayons cosmiques et radioactivité des roches terrestres — il y eut rupture de ces molécules et des liaisons hydrogène-hydrogène, carbone-hydrogène dans le méthane, hydrogène-oxygène dans l'eau, hydrogène-azote dans l'ammoniac. Les radicaux ainsi formés se recombinèrent entre eux pour donner naissance à des molécules plus complexes comprenant une plus forte condensation en carbone : acides acétique et succinique, glycocolle (Fig. 2). C'est vers 1925 que cette hypothèse vit le jour et Baly a essayé de la vérifier expérimentalement. Il prépara à cette fin une solution aqueuse d'un composé carboné partiellement réduit, situé entre l'anhydride carbonique et le méthane, l'aldéhyde formique. Puis il irradia la solution avec de la lumière ultraviolette et il observa la formation de composés réducteurs de plus forte condensation en carbone; il y avait eu formation d'une liaison carbone-carbone.

Puis les années passent et personne ne s'intéresse plus à l'évolution chimique. En 1951, Calvin en Californie se pose la question de savoir lequel des deux grands mode de vie, la photo-synthèse ou la respiration, a précédé l'autre. Il pense que d'autres rayonnements que celui de la lumière ultraviolette peuvent favoriser la formation de molécules complexes et il s'intéresse particulièrement à ceux qui peuvent rompre les liaisons carbone-hydrogène, hydrogène-azote et hydrogène-hydrogène. A partir d'anhydride carbonique dilué dans l'eau, Calvin obtient de l'acide formique en utilisant le rayonnement puissant du cyclotron de Berkeley. Au même moment, Urey et Miller admettent que l'atmosphère terrestre primitive était réductrice et ils font passer des décharges électriques dans un mélange gazeux composé de méthane, d'ammoniac, d'hydrogène et d'eau. Ils observent notamment la formation d'aminoacides, qui résulte du fait qu'ils opéraient en présence d'ammoniac.

Il est donc possible d'obtenir de cette façon la formation d'aminoacides, qui sont les constituants fondamentaux des protéines. Le rayonnement du cyclotron, celui de la radioactivité permettent également de réaliser ces synthèses.

Nous sommes donc à même de passer de molécules simples, qui ont dû se trouver dans l'atmosphère terrestre primitive, à des substances plus compliquées. Nous pouvons en première approximation passer du monde de la chimie minérale à celui de la chimie organique; mais les molécules, qui sont essentielles aux êtres vivants, sont encore beaucoup plus compliquées; elles sont communes aux plantes, aux animaux, aux micro-organismes. Il y a d'abord les acides nucléiques, qui représentent le matériel héréditaire et qui constituent les chromosomes. Toute forme de vie, telle qu'elle nous apparaît sur la terre, est conditionnée par une modification dans la structure des acides nucléiques. Pourtant la structure fondamentale en est la même pour tous les noyaux cellulaires et il s'agit toujours d'un long polymère linéaire comportant 2 bases pyrimidiques (thymine et cytosine) et 2 bases puriques (adénine et guanine) attachées à une chaîne de ribose phosphate. Selon le schéma de Watson et Crick, les molécules d'acide désoxyribonucléique sont arrangées

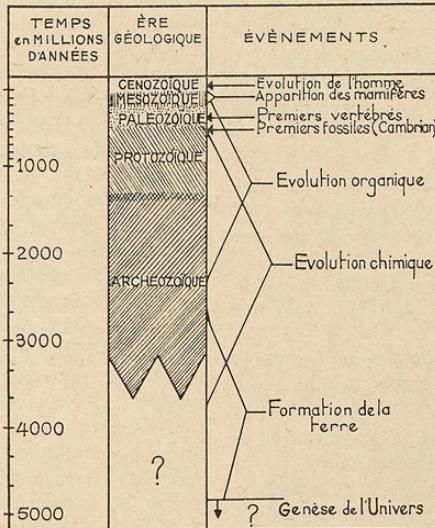


Fig. 1.

Chronologie terrestre.

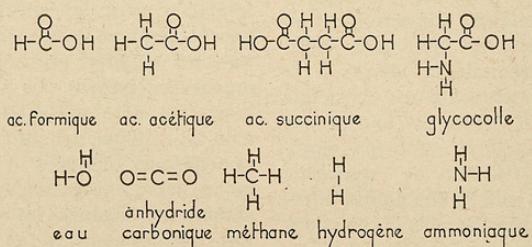


Fig. 2.

Molécules primitives de l'atmosphère terrestre.

de la façon suivante (Fig. 3) : les bases sont liées 2 à 2, la thymine à l'adénine et la cytosine à la guanine et la molécule qui résulte de la répétition de ce motif est disposée en forme de double hélice. Sur la figure 4, les doubles traits représentent soit un cycle purique soit un cycle pyrimidique et l'H est la liaison assurant la cohésion de l'édifice. Les rubans sont formés par les chaînes de pentose-phosphates.

Donc seul l'ordre des 4 bases différencie un acide nucléique d'un autre et ces variations déterminent les caractéristiques des organismes terrestres. Nous ne savons pas comment cette détermination s'effectue, mais nous savons qu'elle se traduit en partie par la façon dont une protéine, dont un enzyme est composé.

Les protéines sont également des polymères résultant de la condensation d'une vingtaine d'acides aminés, le groupe carboxylique d'un acide aminé réagissant avec le groupe aminé d'un autre acide aminé. Il y a élimination d'une molécule d'eau et formation d'une liaison peptidique. La structure fondamentale des protéines est donc une chaîne d'acides aminés; l'arrangement spatial des protéines est très variable grâce à divers enroulements des chaînes peptidiques et à la formation de réseaux (Fig. 5). Ceci explique que les protéines exercent des fonctions très diverses : elles constituent les enzymes, les structures cellulaires et tissulaires, les anticorps. Il est inutile de s'arrêter aux fonctions de structure. Par contre, les enzymes assurent des activités catalytiques, qui accélèrent ou permettent les réactions chimiques indispensables au maintien de la vie et à la reproduction des êtres vivants. L'énergie dont les cellules ont besoin est fournie par le jeu des enzymes. Les anticorps représentent la mémoire tissulaire de l'organisme et sont responsables soit de l'immunité infectieuse acquise ou provoquée, soit des réactions indésirables de l'allergie.

La synthèse des enzymes est déterminée par la structure fine des acides nucléiques, qui régit l'arrangement des acides aminés à l'intérieur des chaînes peptidiques. De cet arrangement vont dépendre la nature des réactions enzymatiques que la protéine va pouvoir catalyser, la vitesse à laquelle ces réactions vont s'effectuer et l'organisation de ces réactions.

ÉVOLUTION BIOCHIMIQUE.

Il existe encore de nombreux composés plus simples, qui sont communs aux êtres vivants et qui sont indispensables au métabolisme intermédiaire de la cellule. Les vitamines du groupe B sont très largement répandues et elles entrent dans la composition de nombreux enzymes. Elles sont pour l'animal des vitamines parce que nous avons, au cours de l'évolution organique, renoncé à les fabriquer et que nous nous sommes bornés à les emprunter aux plantes vertes. Mais une fois introduite dans l'économie, ces vitamines jouent pour toutes les cellules le même rôle, que l'organisme ait été ou non à même de les synthétiser.

Enfin, il existe des composés hormonaux, qui jouent un rôle fondamental pour les organismes supérieurs et qui témoignent des progrès de l'évolution biochimique. Arrêtons-nous un instant à considérer cette évolution biochimique. De la bactérie à l'animal supérieur, l'organogénèse a eu pour conséquence la répartition des fonctions spécifiques dans l'organisme et les différenciations cellulaires et tissulaires se sont accompagnées de spécialisations. Certes beaucoup de processus fondamentaux sont communs aux deux espèces, mais il faut se garder de généraliser hâtivement à l'homme les données relatives aux microorganismes. C'est ainsi qu'il a semblé logique d'assimiler les cultures de cellules provenant de différents tissus aux cultures bactériennes. On espérait étudier le diabète avec des cultures de cellules provenant de foie diabétique. Mais il s'est avéré que les cellules provenant de différents organes ne tardent pas à perdre leur différenciation et se mettent toutes à ressembler à un type unique peu différencié. On est donc ramené aux cultures d'organes, à moins qu'on doive encore tenir compte des interactions des organes, les uns sur les autres. Les microorganismes ne peuvent valablement nous aider dans l'étude des affections typiques de l'animal supérieur et de l'homme, telle que par exemple l'artériosclérose ou les maladies mentales.

Reprenant nos réflexions sur l'évolution chimique, il faut nous demander qui des

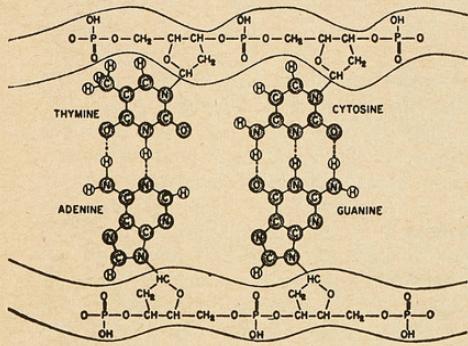


Fig. 3.

Structure du motif fondamental des acides nucléiques.

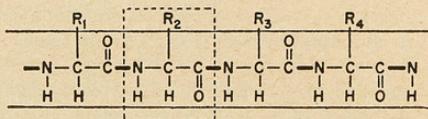


Fig. 4.

Enroulement spatial des chaînes de polynucléotides.

Structure des chaînes polypeptiques des protéines.

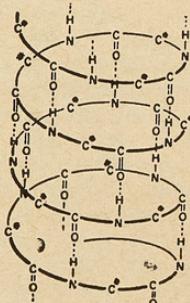


Fig. 5.

polynucléotides ou des protéines sont apparus en premier. Nous savons qu'il est possible d'obtenir facilement des acides aminés à partir de méthane, d'ammoniac et d'eau ainsi que Miller l'a montré. Il a obtenu dans ces conditions du glycocolle, de l'alanine et beaucoup d'autres acides aminés.

Récemment Fox a pu franchir l'étape suivante, qui consiste à condenser les acides aminés entre eux en formant des liaisons peptidiques. Il a obtenu des protéines ou plus précisément des protéoïdes, c'est-à-dire des polymères contenant tous ou presque tous les acides aminés présents dans les protéines naturelles. Fox utilisa pour cela des températures élevées variant de 150° à 210°, qui ont dû régner il y a quelques millions d'années à la surface ou à la proximité de la surface de la terre. Il obtint un polymère presque blanc contenant 18 acides aminés à partir du mélange de ces acides aminés en présence d'un excès d'acides dicarboxyliques : acides aspartique et glutamique. Les protéoïdes thermiques ont été comparé attentivement aux protéines naturelles de faible poids moléculaire (environ 10 000) : elles donnent les réactions colorées caractéristiques de Biuret, de Hopkins-Cole et la réaction xanthoprotéique. Sont semblables en outre : les spectres infra-rouges, les propriétés de solubilités (solvabilisation en présence de sels et relarguage), la mobilité électrophorétique. Les protéoïdes servent de substrat aux enzymes protéolytiques et remplacent la peptone des milieux de culture bactériens. Mais elles sont dépourvues de pouvoir antigénique chez le lapin et le cobaye. Enfin, les protéoïdes obtenues ont une composition en acides aminés très différentes de la composition du mélange réactionnel. Au cours de la réaction thermique, un choix s'opère donc parmi les acides aminés. Ceci expliquerait que les premières protéines aient pu présenter des séquences particulières en acides aminés sans l'intervention de matrices ou d'autres mécanismes qui ont par la suite régi ou établi l'ordre des aminoacides dans les protéines.

Des expériences permettent donc de préparer au laboratoire assez simplement des acides aminés et à partir de ces acides aminés des substances protéiques. Mais on n'a jamais réalisé dans des conditions analogues la synthèse de cycles puriques ou pyrimidiques. Nous devons aujourd'hui nous borner à

admettre que des processus ont abouti à la synthèse de protéines complexes par autocatalyse et que, en quelque façon, la synthèse de ces protéines était liée à la synthèse de polynucléotides selon un mode inconnu de nous. Le problème du code — celui du rapport de l'ordonnance des bases dans les acides nucléiques avec celle des acides aminés dans les protéines — est certainement l'un des plus importants de la biophysique actuelle. Il doit y avoir entre ces deux faits une étroite corrélation et nous pouvons espérer savoir bientôt comment ces deux séquences se sont développées et comment elles sont reliées. Il est toutefois à peu près certain que la terre ne recèle plus aucune de ces molécules primitives, qui permettraient de comprendre le mécanisme dont nous venons de parler. Elles ont dû toutes subir des transformations biologiques et être modifiées par la vie qui se développait.

* *

Nous pouvons admettre que, sur d'autres astres du système solaire, l'évolution chimique s'est arrêtée et que nous pourrons y trouver ces molécules prébiotiques en voie de formation. On comprend l'intérêt que présente l'envoi d'une fusée sur la lune, sur Mars. Il faudrait pouvoir y envoyer un homme, qui puisse se rendre compte si la vie existe hors de la terre.

On peut estimer que dans l'univers, il existe au minimum mille planètes, qui possèdent des conditions permettant l'existence de la vie. Elles ont évidemment l'inconvénient d'être situées à très grande distance de la terre et on ne saurait envisager l'envoi d'un explorateur humain dans un avenir proche. On peut par contre envisager d'y envoyer une fusée construite de telle façon qu'elle puisse ramener sur terre un échantillon de la planète. Mais avant d'en être à ce point, nous disposons d'un autre moyen pour rechercher si les molécules complexes, dont nous avons parlé, existent réellement dans le système solaire. Nous ne considérerons que les molécules qui participent aux formes de vie que nous connaissons, sans nous attarder à d'autres formes que nous pouvons imaginer, qui utiliseraient par exemple le silicium au lieu du carbone. Il s'agit donc des composés contenant du carbone, de l'hydrogène, de

l'azote, de l'oxygène, qui entrent dans la composition des acides nucléiques porteurs de l'information génétique et dans celles des protéines, qui peuvent se répliquer par auto-catalyse. Nous savons que le carbone, l'hydrogène et l'azote sont répandus dans l'univers. Dans les comètes il y a des fragments CH, CN, C₂ qui vont se condenser en molécules complexes selon un processus analogue à ce qui se passe dans la décharge électrique ou dans le système eau-ammoniac-hydrogène.

ANALYSE DES MÉTÉORITES

Mais avant d'aller récolter des fragments de Mars ou de Vénus, nous pouvons essayer de répondre à cette question. Chaque jour des météorites arrivent sur la terre et quelques-uns contiennent du carbone. Certains sont grands; la date de leur chute a été soigneusement notée et la collection du Muséum d'Histoire naturelle en contient 4 dont la teneur en carbone a été analysée et s'élève à 1 ou 2 p. 100. Le British Museum a publié le catalogue des météorites importants; il comprend 1 500 noms et 12 sont reconnus comme contenant du carbone. Mais ces analyses sont fragmentaires : elles ne portent pas sur tous les météorites et elles n'indiquent pas s'il s'agit de carbone minéral ou de carbone organique. Les méthodes analytiques récentes — chromatographie sur papier, spectrophotométrie ultra-violette et infrarouge — permettent aujourd'hui de déceler et d'identifier des quantités infimes de substance; c'est ainsi que Mueller, en 1953, a analysé en Angleterre le météorite Cold Bokkeveld tombé en Afrique du Sud en 1838 et a trouvé une teneur en carbone de 2 à 3 p. 100, dont la moitié est extractible avec des solvants organiques. Il pense qu'il s'agit de composés hydrocarbonés contenant des groupes acides. Puis Calvin en 1959 a procédé à l'analyse du météorite Murray, tombé en 1950 dans le Kentucky. Ce météorite a une teneur en carbone de 2 p. 100, dont le 1/3 est extractible par des solvants organiques. L'analyse spectrographique infrarouge a permis d'identifier la présence de chaînes d'hydrocarbones renfermant 15 atomes de carbone ou davantage et celle de composés de type benzénique. L'extrait aqueux du météorite a été passé sur une colonne de résine échangeuse d'ions sous

forme anionique, le Dowex; l'éluat chlorhydrique a été analysé par spectrographie ultraviolette. Calvin a décelé l'existence d'une molécule hétérocyclique aromatique, dont le p_K était compris entre 4 et 7. Or un composé connu a un spectre d'absorption tout à fait semblable : c'est la cytosine, qui est précisément l'une des bases entrant dans la composition des acides nucléiques. D'autre part, il n'a pas été possible de mettre en évidence la présence d'amino-acides même à l'état de trace. Il y a enfin dans l'extrait des hydroxyacides et des composés réducteurs.

On conçoit l'intérêt que présentent ces résultats, qui indiquent la présence de composés « prébiotiques » dans les corps astraux. De plus, en ce qui concerne l'évolution chimique elle-même, les résultats semblent établir que pour des raisons inconnues la formation des bases nucléiques s'effectue plus aisément que celle des acides aminés dans les conditions régnantes dans les météorites. Ces constatations sont valables à condition naturellement de pouvoir exclure une contamination par une substance d'origine terrestre, ce qui semble probable étant donné que les composés en question sont présents en assez grande quantité. Dans les armoires du Muséum 4 météorites riches en carbone attendent que l'on s'occupe d'eux. Il y a parmi eux Orgueil, tombé vers 1880 près de Montauban. On ne peut que regretter que faute de personnel ils conservent encore leur secret.

Parmi les planètes du système solaire qui sont accessibles, il faut considérer en premier lieu Mars, dont les conditions physiques se rapprochent le plus de celles de la terre. La présence de faibles quantités d'eau et d'oxygène y rend la vie de l'homme et d'animaux difficiles mais n'exclut nullement la propagation d'organismes terrestres simples. Certains pensent que Mars a une faune propre, en se fondant sur le spectre infra-rouge de réflexion des parties sombres de la planète, qui révèle la présence d'hydrocarbures. Dollfuss, en France, est arrivé à la conclusion qu'il existe sur certaines régions du sol de Mars de petits éléments capables de s'épanouir à l'apparition de la vapeur d'eau, à la manière de nos organismes végétaux. Quand à Vénus, la température qui y règne limite son habitabilité.

L'exposition de la surface de la lune au

rayonnement du soleil, l'absence d'atmosphère, ont exclu la possibilité d'une biologie lunaire. La lune est très riche en météorites attirés par elle et évidemment l'étude de leur composition est pleine d'intérêt.

Comment déceler la présence de la vie sur d'autres planètes? Il se peut que le voyageur spatial de demain rencontre des espèces, dont le caractère vivant soit absolument évident. Il se peut aussi que la planète semble inanimée : il conviendra alors de rechercher l'existence de microorganismes avec les techniques usuelles. Un seul microbe convenablement cultivé peut donner suffisamment de matériel pour que l'on puisse se livrer à des analyses biochimiques et physiologiques approfondies.

VOYAGES INTERPLANÉTAIRES.

Les voyages interplanétaires vont avoir pour conséquences de disséminer la vie terrestre dans de nouveaux habitats. L'introduction de microorganismes sur une planète vierge peut, si les conditions sont favorables, aboutir à une croissance très rapide des microorganismes et à l'épuisement de certaines des ressources naturelles de la planète ainsi que le fait remarquer Lederberg. Il pourrait en résulter un dommage économique irréparable. Du point de vue scientifique, nous perdrons l'occasion d'acquérir les notions fondamentales qui nous font défaut sur nos propres origines. S'il devait exister sur cette planète des organismes voisins de ceux qui habitent la terre, nous en ignorerions pour toujours l'origine certaine. Il pourrait en résulter un déséquilibre irrémédiable dans certains systèmes vivants et dans les ressources de cette planète. Il faut donc absolument procéder à la stérilisation des fusées, qui sont envoyées sur les diverses planètes.

Remarquons enfin que les voyages planétaires ne seront pas toujours à sens unique. Il faut prévoir ce qui se passera le jour où

à l'aller succédera le retour. On prélevera des fragments de planètes pour les analyser sur terre, où les conditions de travail sont évidemment plus favorables que sur les autres planètes et ceci va exposer l'espèce humaine aux risques de contamination par des organismes étrangers à la terre. Il est impossible de dire s'il en résultera la propagation d'une maladie nouvelle mettant en danger l'existence de l'homme ou si surgiront de nouveaux fléaux parasitaires attaquant nos ressources agricoles à la façon du phylloxera par exemple. De toute façon, il convient d'évaluer les risques de l'entreprise et dans toute la mesure du possible de nous efforcer d'y pallier. L'étude de la biologie extraterrestre est maintenant à la portée de l'homme. A nous de faire en sorte qu'elle serve à la connaissance scientifique et au bien de l'humanité.

BIBLIOGRAPHIE

- BALY E. C. C. Ind. et Eng. Chem. 16, 1014 (1924).
- DARWIN C. et WALLACE R. A. Journ. Proc. Linnean. Soc. London Zoology 3, 35 (1858).
- CALVIN M. et VAUGHN S. K. Space Research. Ed. North Holland Publishing Co, Amsterdam (1960) Page 1171.
- FOX S. W. Science 132, 200 (1960).
- LEDERBERG J. Space Research. Ed. North Holland Publishing Co, Amsterdam (1960) Page 1153.
- MILLER S. L. J. Am. Chem. Soc. 77, 2351 (1955).
- MILLER S. L. et UREY H. C. Science 130, 245 (1959).

Le Président de la Société, Directeur Gérant : G. CHAUDRON.

D. P. n° 1080.

Imprimé en France par Brodard-Taupin, Imprimeur-Relieur. Coulommiers-Paris. — 3-1961.

ÉDITIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

I. — PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

LE BULLETIN SIGNALÉTIQUE paraît mensuellement et présente, sous la forme de courts extraits classés par matière, tous les travaux scientifiques, techniques et philosophiques publiés dans le monde entier.

Des TIRAGES A PART sont mis, en outre, à la disposition des spécialistes.

Le CENTRE DE DOCUMENTATION DU C.N.R.S. fournit également la reproduction photographique sur microfilm ou sur papier des articles analysés dans le BULLETIN SIGNALÉTIQUE ou des articles dont la référence bibliographique précise lui est fournie.

Ainsi, expérimentateurs, ingénieurs et techniciens bénéficient, sans quitter leur laboratoire ou leur bureau, d'une documentation abondante et rapide.

ABONNEMENT ANNUEL (y compris la Table des Auteurs)

	FRANCE	ÉTRANGER
PREMIÈRE PARTIE. — Mathématiques; Physique; Chimie; Sciences de l'Ingénieur	120 NF	150 NF

TIRAGES A PART

Section I. — Mathématiques pures et appliquées; Mécanique; Physique mathématique	19 NF	24 NF
Section III. — Généralités sur la Physique; Acoustique; Thermodynamique; Chaleur; Optique; Électricité et Magnétisme	34 NF	38 NF
Section IV. — Physique corpusculaire; Structure de la Matière	17 NF	22 NF
Section VII. — Sciences de l'Ingénieur.	42 NF	47 NF
N. B. — Les abonnés aux tirages à part du Bulletin signalétique peuvent recevoir la TABLE GÉNÉRALE DES AUTEURS, aux conditions suivantes	12 NF	16 NF

ABONNEMENT AU CENTRE DE DOCUMENTATION DU C.N.R.S.
15, quai Anatole France-Paris 7^e C.C.P. PARIS 9131-62. Tél. : SOLférino 93-39.

JOURNAL DES RECHERCHES DU C.N.R.S., Revue trimestrielle publant des articles de recherches faites dans les différents laboratoires du C.N.R.S.

ABONNEMENT ANNUEL (quatre numéros)	25 NF
Prix du numéro.	8 NF

II. — OUVRAGES

Claude ROCCHICCIOLI. — Notions de Mathématiques.	8 NF
LE FORMULAIRE DE MATHÉMATIQUES ET LES MONOGRAPHIES du Centre d'Études mathématiques en vue des applications :	

1. — MONOGRAPHIES

PETIAU G. — La théorie des Fonctions de Bessel exposée en vue de ses applications à la Physique mathématique.	25 NF
DUMAS M. — Les épreuves sur échantillon	10 NF
COLOMBO S. — Les transformations de Mellin et de Hankel. (Applications à la Physique mathématique)	10 NF
LAVOINE J. — Calcul symbolique. Distribution et pseudo-fonctions	10 NF
DESTOUCHES J.-L. — Principes de la mécanique classique.	3,50 NF
VOGEL Th. — Les fonctions orthogonales dans les problèmes aux limites de la physique mathématique.	12 NF
	*

2. — LE FORMULAIRE DE MATHÉMATIQUES
A L'USAGE DES PHYSICIENS ET DES INGÉNIEURS

Fascicule IV. — Algèbre et analyse tensorielle	7	NF
Fascicule VII. — Équations aux dérivés partielles	8	NF
Fascicule IX. — Fonctions de la Physique mathématique	8	NF
Fascicule XII. — Calcul des probabilités (2 ^e édition).	8	NF
A. DURIN et F. FORRAT. — Tables numériques adaptées à la Technique des diagrammes Debye-Scherrer	2,50	NF

QUELQUES COLLOQUES INTERNATIONAUX DU C.N.R.S.

XXXVI. — Les méthodes formelles en axiomatique (logique mathématique)	6	NF
LII. — Géométrie différentielle	10	NF
LXX. — Le raisonnement en mathématiques et en sciences expérimentales	14	NF
LXXI. — La théorie des équations aux dérivés partielles	15	NF
LXXV. — Les problèmes mathématiques de la Théorie quantitative des champs	20	NF
LXXXII. — Calcul des Fonctions d'Onde moléculaire	34	NF
LXXXVII. — Le calcul des Probabilités et ses applications	20	NF

LES CAHIERS DE PAUL VALÉRY (écrits de 1894 à 1945).

Paul Valéry était tout à la fois poète, littérateur, penseur, épris des Sciences et artiste. Les Cahiers écrits tout au long de sa vie permettent de la mieux connaître sous ces divers aspects. Ils sont le complément indispensable des œuvres de Paul Valéry publiées jusqu'à ce jour et intéresseront tous ceux qui les possèdent.

Ces Cahiers se présentent sous la forme d'une trentaine de volumes d'environ 1 000 pages, du format 21 × 27, contenant la reproduction photographique du manuscrit et d'environ 80 aquarelles de l'auteur.

Volumes reliés (640 NF payables à la commande et 30 NF à la parution de chacun des volumes) 1 600 NF

Volumes sous étuis (780 NF payables à la commande et 30 NF à la parution de chacun des volumes). 1 740 NF

LES PUBLICATIONS DU CENTRE D'ÉTUDES SOCIOLOGIQUES

1. — Sociologie comparée de la famille contemporaine	10	NF
2. — A. TOURAIN. — L'Évolution du travail ouvrier aux Usines Renault	12	NF
3. — CROZIER. — Petits fonctionnaires au travail	6,40	NF
4. — CHOMBART de LAUWE. — La vie quotidienne des familles ouvrières	15	NF
5. — GUILBERT et ISAMBERT. — Travail féminin et travail à domicile	10	NF
6. — Andrée MICHEL. — Les travailleurs algériens en France	12	NF
7. — MENDRAS. — Les paysans et la modernisation de l'Agriculture	12	NF
8. — Ida BERGER. — Les Maternelles	18	NF
9. — Andrée MICHEL. — Famille, industrialisation et logement	21	NF
Visages et perspectives de l'Art Moderne (peinture, musique, poésie). Recueil des communications faites aux entretiens d'Arras	12	NF
Influences étrangères dans l'œuvre de Mozart	26	NF
Nicolas Poussin	130	NF
Répertoire des Travaux publiés avec le concours du C.N.R.S. (1953-1954)	15	NF
Le groupe des Laboratoires de Bellevue	10	NF

Renseignements et vente au Service des Publications
du CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
15, quai Anatole-France — PARIS 7^e C.C.P. PARIS 9061-11 — Tél. SOLFÉRINO 93-39.

PRODUITS CHIMIQUES

pour
INDUSTRIE
PHARMACIE
PARFUMERIE
CÉRAMIQUE
AGRICULTURE

MATIÈRES PLASTIQUES

"RHODOÏD" Acétate de Cellulose
"RHODOPAS" Résines vinyliques

"RHODORSIL" Silicones

"RHODESTER" Résines polyesters
(FABRIQUÉ PAR LA MANUFACTURE NORMANDE DE POLYÉTHYLÈNES)

"MANOLÈNE" Polyéthylène basse pression
"ALAMASKS" Agents neutralisants des mauvaises odeurs

PIGMENTS MINÉRAUX pour matières plastiques

**RHÔNE
POULENC**

21, RUE JEAN-GOUJON, PARIS VIII^e - TÉLÉPHONE BAL. 22-94

**

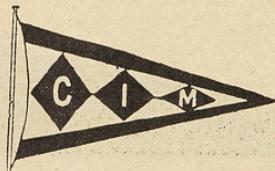
WD

Compagnie Générale de Géophysique

50, rue Fabert
PARIS - VII^e

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL
DE 7.560.000 NF

APPLICATION DES PROCÉDÉS SISMIQUES, TELLURIQUES,
ÉLECTRIQUES, GRAVIMÉTRIQUES, MAGNÉTIQUES,
AUX RECHERCHES PÉTROLIÈRES, MINIÈRES, HYDROLOGIQUES
ET AUX ÉTUDES DE GÉNIE CIVIL



La C. I. M. assure au Havre le trafic des hydrocarbures à destination des Raffineries de la Basse-Seine et des Dépôts de la Région Parisienne.

Au Havre : Bassins accessibles aux plus grands navires pétroliers et capacité de stockage de 430.000 m³

A Gennevilliers : Dépôt spécialisé de 41.200 m³

COMPAGNIE INDUSTRIELLE MARITIME

Concessionnaire du Port Autonome du Havre

36, rue de Liège

PARIS (VIII^e)

EUROpe 44-30

PECHINEY, grâce à l'ampleur de ses moyens techniques et industriels, ne cesse de multiplier les produits indispensables aux industries de transformation les plus diverses.

Il n'est guère aujourd'hui de secteurs industriels qui n'utilisent une ou plusieurs de ses fabrications, qu'il s'agisse des alliages légers, des matières plastiques ou des produits chimiques.

Aluminium et Alliages d'Aluminium - Ferro-Alliages d'addition et de désoxydation - Cupro-Alliages - Métaux Spéciaux - Produits Réfractaires - Graphite Pur en particulier pour réacteurs nucléaires - Matières Plastiques - Produits Dérivés du Chlore - Produits Sodiques, Ammoniacaux, Sulfureux, Alumineux, Fluorés, Cupriques - Chlorates et Perchlorates.

PECHINEY

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 403.147.250 NF

23, RUE BALZAC - PARIS 8^e - CAR. 54-72



Société Générale d'Entreprises

Société Anonyme au Capital de 36.160.000 NF

56, rue du Faubourg-St-Honoré, PARIS (8^e)

ENTREPRISES GÉNÉRALES

USINES HYDRO-ÉLECTRIQUES ET CENTRALES THERMIQUES

USINES, ATELIERS ET BATIMENTS INDUSTRIELS

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

AÉROPORTS - OUVRAGES D'ART

ROUTES - CHEMINS DE FER

CITÉS OUVRIÈRES - ÉDIFICES PUBLICS ET PARTICULIERS

ASSAINISSEMENT DES VILLES - ADDUCTIONS D'EAU

ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES INDUSTRIELS ET POSTES DE TRANSFORMATION

RÉSEAUX DE TRANSPORT D'ÉNERGIE A HAUTE TENSION

ÉLECTRIFICATION DE CHEMINS DE FER

RÉSEAUX D'ÉLECTRIFICATION RURALE

ENTREPRISES

BOUSSIRON

10, Boulevard des Batignolles, PARIS-17^e.

ALGER - CASABLANCA

S. E. T. A. O. à ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

TRAVAUX PUBLICS

BÉTON ARMÉ ET PRÉCONTRAINTE

CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES

SOCIÉTÉ D'ÉLECTRO-CHIMIE
D'ÉLECTRO-MÉTALLURGIE
ET DES
ACIÉRIES ÉLECTRIQUES D'UGINE

ACIERS
PRODUITS CHIMIQUES
ALUMINIUM
MAGNÉSIUM
FERRO-ALLIAGES
ÉTAIN

SIÈGE SOCIAL : 10, RUE DU GÉNÉRAL-FOY - PARIS (8^e)

TÉLÉPHONE : EUROPE 31-00
ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : TROCHIM PARIS

POMPEY

ACIERS de HAUTE QUALITÉ

- pour constructions métalliques et mécaniques
- à haute limite élastique et soudables
- résistant à la corrosion et inoxydables
- fins au carbone et spéciaux alliés
- à outils et pour outillage

★

ACIERS THOMAS et MARTIN

Fontes - Ferro Manganèse

Laminés - Étirés et Comprimés

Moulés et Forgés

Fil machine

Société des ACIERIES de POMPEY

61, Rue de Monceau - PARIS 8^e -:- Tél. : LAB. 97-10 Ad. Télég. POMPEAC PARIS
TELEX : 27-826

APPAREILS DE LABORATOIRE
ET MACHINES INDUSTRIELLES

P. CHEVENARD

- pour l'analyse dilatométrique et thermomagnétique des matériaux;
- pour l'essai mécanique et micromécanique des métaux à froid et à chaud;
 - Essais de traction, de flexion, de compression, de dureté;
 - Essais de flUAGE (Traction-Relaxation) et de rupture;
 - Essais de torsion alternée;
 - Étude du frottement interne;
- pour l'étude des réactions chimiques par la méthode de la pesée continue;
- pour la mesure des températures et le réglage thermostatique des fours.

A. D. A. M. E. L.

4-6, Passage Louis-Philippe
PARIS (11^e)

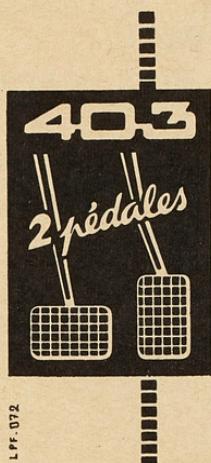
Pub. AL

A large, stylized letter 'A' is positioned within a dark, angular shape that resembles a diamond or a stylized letter 'A'. The background of the advertisement is a textured, light-colored surface.

Air, oxygène,
azote, hydrogène comprimés
et liquides.
Argon, gaz rares extraits de l'air.
Gaz spéciaux et tous mélanges
de gaz.
Acétylène dissous.
Soudage, oxycoupage, toutes
techniques connexes.
Appareils de séparation de tous mélanges
gazeux par liquéfaction et rectification.
Eau oxygénée et perborate de soude.
Polyéthylènes haute et basse pressions.

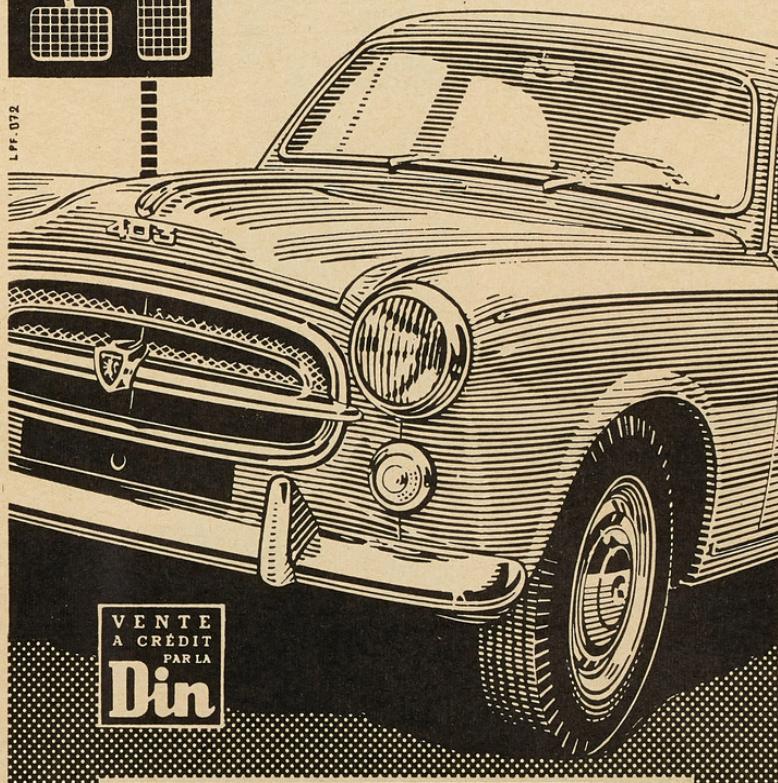
PLUS DE
200 USINES
DANS LE MONDE

L'AIR LIQUIDE
75, QUAI D'ORSAY, PARIS 7^e, INV. 44-30



LPF. 072

LA BERLINE GRAND LUXE 403
est équipée en série du
Ventilateur débrayable automatique
et, avec supplément,
du Coupleur électro-magnétique **JAEGER**
qui supprime la pédale de débrayage.



VENTE
A CRÉDIT
PAR LA
Din

Peugeot

SOCIETE CHIMIQUE de la GRANDE PAROISSE

AZOTE ET PRODUITS CHIMIQUES

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 13.997.000 NF

SIÈGE SOCIAL : 8, rue Cognacq-Jay - PARIS (VII^e) ◆ Tél. : INV. 44-30 à 44-38
R. C. Seine n^o 55 B 12665 Adr. Télégr. : GRANPARG-PARIS N^o d'Entreprise 353.75.107.0053

INSTALLATIONS D'USINES :

SYNTHESE DE L'AMMONIAQUE (Procédés Georges Claude) ENGRAIS AZOTÉS DISTILLATION A BASSE TEMPÉRATURE (des schistes, lignites, etc.)
SYNTHESE DE L'ALCOOL MÉTHYLIQUE HYDROGÈNE ET GAZ DE VILLE PAR CRACKING
RECUIT BRILLANT (Licence I. C. I.) ET CONVERSION DES HYDROCARBURES

PRODUITS FABRIQUÉS :

AMMONIAC ANHYDRE :—: ALCALI A TOUS DEGRÉS :—: ENGRAIS AZOTÉS

USINES OU ATELIERS: GRAND-QUEVILLY (Seine-Maritime) - WAZIERS (Nord) - FRAIS-MARAIS (Nord)-PARIS, 25 rue Vicq-d'Azir - AUBERVILLIERS (Seine), 65, rue du Landy

C^{ie} Française de Raffinage

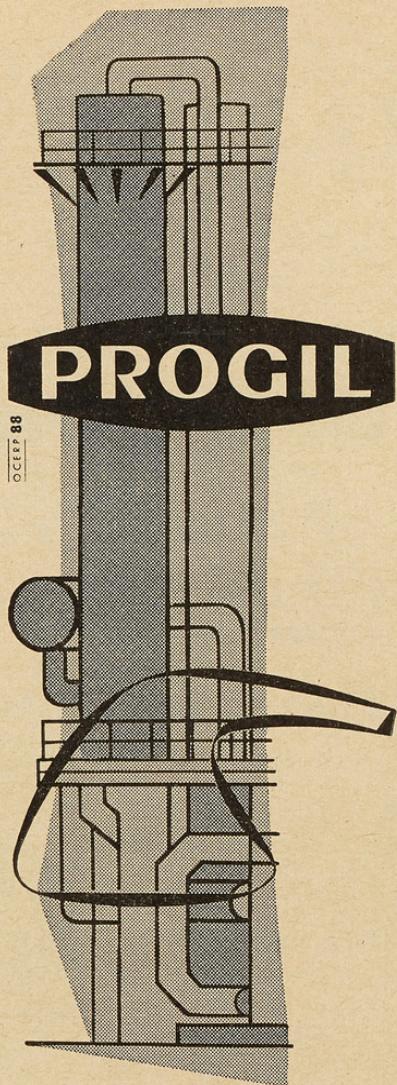
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 130.000.000 DE NF -:- R. C. Seine n^o 54 B 3492

SIÈGE SOCIAL : 5, rue Michel-Ange, PARIS (16^e)

La Compagnie Française de Raffinage dispose dans ses Raffineries de Gonfreville-l'Orcher (Seine-Maritime) et de La Mède (Bouches-du-Rhône) :

- de la plus grosse Unité de Cracking Catalytique de l'Europe occidentale,
- de la plus grosse Unité de Reforming Catalytique du continent Européen,
- de tout un ensemble de fabrication d'huiles de graissage mettant en œuvre les techniques les plus modernes par solvants sélectifs,
- d'une unité de production d'éthylène d'une capacité annuelle de 30 000 t.,
- des laboratoires de recherche et de contrôle les plus importants de l'industrie française.

Elle est la plus importante des sociétés raffinant du pétrole brut en France et peut traiter 12 600 000 tonnes, chaque année.

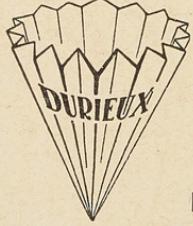


**Produits
chimiques
industriels**

77-79, RUE DE MIROMESNIL, PARIS 8^e
LAB. 91-60

LES FILTRES DURIEUX

PAPIER A FILTRER



En disques, en filtres plissés, en feuilles 52×52

SPÉCIALITÉS :

FILTRES SANS CENDRES

N° 111, 112 et Crêpé N° 113 extra-rapide

Filtres Durcis n° 128 & Durcis sans cendres n° 114

Cartouches pour extracteurs de tous systèmes

PAPIER " CRÊPÉ DURIEUX "

Toutes Dimensions, pour Filtres-Presses. (Envoi d'échantillons sur demande)

Registre du Comm. de la Seine N° 722.521-2-3 Téléphone : ARCHives 03-51

MÉDAILLE D'OR de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (Juillet 1918)

20, rue Malher, PARIS (4^e)

Demandez le Catalogue donnant toutes les explications sur les emplois de mes différentes sortes



ETABLISSEMENTS
KUHLMANN

SOCIÉTÉ ANONYME au CAPITAL de 124.985.200 NF
Siège Social : 25, Boul. de l'Amiral Bruix, PARIS (16^e)

★

PRODUITS CHIMIQUES

DÉRIVÉS DU SOUFRE - DÉRIVÉS DU CHLORE - PRODUITS AZOTÉS - DÉRIVÉS DU BARYUM - DÉRIVÉS DU BROME DÉRIVÉS DU CHROME - DÉRIVÉS DU COBALT - DÉRIVÉS DU NICKEL - DÉRIVÉS DU CÉRIUM - DÉRIVÉS DU PHOSPHORE - LESSIVES - SILICATES - DÉRIVÉS DE L'ÉTHYLÈNE DÉRIVÉS DU PROPYLÈNE - ALCOOLS DE SYNTHÈSE HYDROCARBURES DE SYNTHÈSE

★

PRODUITS POUR L'AGRICULTURE

ENGRAIS PHOSPHATÉS - ENGRAIS AZOTÉS - ENGRAIS COMPLEXES - PRODUITS INSECTICIDES ET ANTICRYPTO-GAMIQUES - PRODUITS POUR L'ALIMENTATION DU BÉTAIL - AMENDEMENTS - HERBICIDES - DÉSINFECTANTS

★

PRODUITS CHIMIQUES ORGANIQUES

RÉSINES SYNTHÉTIQUES - COLLES SYNTHÉTIQUES MATIÈRES PLASTIQUES - TANINS SYNTHÉTIQUES PRODUITS INTERMÉDIAIRES - PRODUITS AUXILIAIRES INDUSTRIELS - PRODUITS R. A. L.

★

TEXTILES CHIMIQUES

RAYONNE VISCOSE - FIBRANNE VISCOSE - CRINODOZ

— COMPAGNIE FRANÇAISE —

THOMSON-HOUSTON

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 78.446.400 N.F.

SIÈGE SOCIAL : 173, BOULEVARD HAUSSMANN, PARIS VIII^e

TÉLEGR. ELIHU 42 PARIS



TELEPHONE : ÉLYSÉES 83-70

ÉLECTRONIQUE Toutes applications professionnelles de *L'ÉLECTRONIQUE* et de *LA NUCLEONIQUE* - Radiodiffusion - Télévision Radiocommunications - Radars - Projets spéciaux - Tubes électroniques - Diodes Redresseurs - Transistors - Cristaux pour hyperfréquences - Etc...

CÂBLES Cuivre, Aluminium, Almelec en fils, Câbles, Méplats - Fils et Méplats émaillés - Fils guipés - Câbles incombustibles - Fils et Câbles électriques isolés pour toutes applications.

RÉCEPTEURS DE RADIO ET DE TÉLÉVISION Électrophones et Tourne-Disques
"DUCRETET-THOMSON"

APPAREILS MÉNAGERS Rasoirs électriques - Fers à repasser - Appareillage Tubes isolateurs - Réfrigérateurs - Machines à laver - etc...

THOMSON EFTH HOUSTON