

**Zeitschrift:** Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen  
**Herausgeber:** Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere  
**Band:** 35 (1962)  
**Heft:** 7

**Artikel:** Les communications spatiales de la prochaine génération  
**Autor:** Haley, Andrew G.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-562971>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 06.01.2026

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

# Les communications spatiales de la prochaine génération

Andrew G. Haley

Exposé présenté à la conférence sur le droit et la sociologie de l'espace, dans le cadre de l'élaboration du rapport de l'American Rocket Society sur les vols spatiaux, au Coliseum de New-York, le 10 octobre 1961

Au cours de la prochaine génération, les réalisations scientifiques dans le domaine de la technologie des télécommunications vont être infiniment plus nombreuses que celles du passé y compris les inventions remarquables qui ont fait ce que nous appelons aujourd'hui le télégraphe, le téléphone, les radiocommunications de toute nature, voire la télévision et les techniques de transmission des images en général. Les perspectives du progrès technique sont brillantes et vraiment très encourageantes.

Bien plus sombres sont en revanche les perspectives de l'évolution sociale et juridique sur notre terre et sur toute planète qui pourrait être habitée par l'homme car l'objectif même des télécommunications est, à l'heure actuelle, profondément compromis du fait des divers intérêts nationaux, et les conditions de réception de l'information transmise sont rendues extrêmement difficiles par la disparité des langues et par les coutumes des «tribus».

Nous nous proposons d'examiner dans cette étude les immenses problèmes sociologiques et juridiques qui se posent à l'humanité mais cela présuppose une connaissance, ne fût-ce que très générale, des perspectives qui s'ouvrent devant nous en matière de réalisations techniques. Nous nous devons de mettre pleinement en lumière l'ampleur gigantesque de la crise à laquelle l'homme devra faire face sur sa planète ainsi qu'au cours de son exploration de l'espace.

## Trois étapes

Pour faire une analogie, considérons l'évolution du transport aérien et des voyages spatiaux.

La première étape a été marquée par la construction de l'avion à hélice qui utilise la poussée développée par une hélice dans un océan d'air, de la même manière qu'un navire est propulsé par son hélice dans un océan d'eau. Nous considérerons que cette phase s'est achevée avec l'apparition de l'avion à turbopropulseur.

La deuxième étape pourrait être appelée, en gros, l'ère de l'aviation à réaction. Nous voyons maintenant que l'hélice a été abandonnée et que le transport aérien a été libéré de sa sujétion à l'égard de cet organe et à l'égard d'un moteur à rendement extrêmement faible. La poussée est fournie par l'atmosphère elle-même, par l'intermédiaire d'un système thermodynamique «pas trop compliqué». On a pu réaliser ainsi des économies considérables sur la mécanique, et d'importantes réductions de la durée des vols.

Nous arrivons alors à la troisième étape, l'ère de la propulsion par fusée, dans laquelle l'homme se libère des entraves imposées par l'hélice et par l'atmosphère et où il lui est possible d'évoluer dans l'univers. Les types de moteur sont si nombreux et si variés qu'il ne saurait être question d'exposer, de façon même schématique, tous les détails de ces engins, qui vont de la fusée à carburant solide jusqu'aux dispositifs de propulsion par rayonnement.

Passons maintenant à notre analogie avec les télécommunications. Dans le premier terme de cette comparaison, nous ne sommes pas remontés jusqu'au chariot tiré par des bœufs, ni jusqu'au phaeton à traction hippomobile;

nous sommes allés droit à l'aéronef. Il nous faut toutefois faire ici une exception, à première vue surprenante, en ce qui concerne les moyens de communication rudimentaires par signaux lumineux car nous verrons plus loin que les signaux lumineux sont à nouveau appelés à jouer un rôle fort important comme moyen de communication.

Cela étant, nous considérerons simplement que la première étape a été celle des communications électriques, qui a vu l'apparition de moyens fondamentaux comme le télégraphe et le téléphone.

La deuxième étape est l'«ère de la radio», l'ère des communications sans fil, dans laquelle le spectre radioélectrique est utilisé pour tous les moyens de télécommunication: télégraphie, téléphonie, télévision, etc. La radio a permis aux hommes de communiquer par la transmission de signaux télégraphiques ou téléphoniques, par l'émission et la réception d'images dans le monde entier et dans une bonne partie du système solaire; c'est ainsi qu'on a pu prendre, transmettre et recevoir des photographies de la face invisible de la lune, que l'on a transmis des signaux vers la lune, Vénus et probablement aussi vers d'autres objets célestes. L'aspect le plus décourageant de l'ère de la radio n'est pas la grande abondance des inventions et des possibilités d'utilisation mais bien les limitations imposées par le spectre des fréquences.

Et nous en arrivons ainsi à la troisième étape des télécommunications; ici, la nature offre à l'homme des possibilités tellement variées et susceptibles d'un si grand nombre d'applications qu'elles défient la description et l'imagination. De même qu'un géomètre, dans sa progression, se retourne parfois pour regarder derrière lui, de même il est du plus haut intérêt de considérer les progrès considérables qui ont été enregistrés, au cours d'une seule année, en matière de théorie et d'exploitation des télécommunications.

## Recherches

Dans un rapport présenté aux Nations Unies en 1960, le professeur Pierre Auger notait que les recherches sur les télécommunications impliquent de vastes études de physique, de chimie, de métallurgie et de mathématiques. Parmi les sujets à étudier, il citait les propriétés physiques des solides (à ce propos, les nouvelles méthodes qui permettent de déterminer la pureté des substances par analyse physique et chimique ouvrent des perspectives intéressantes pour les recherches sur le fonctionnement des cathodes chaudes); les jonctions dans les semi-conducteurs et les phénomènes d'émission de la lumière synthétisée; les phénomènes de multiplication, qui sont d'une importance capitale dans l'étude de l'émission électronique par les semi-conducteurs, de la luminescence électrique et des niveaux d'énergie intermédiaires qui peuvent intervenir dans ces processus (au moyen des substances utilisées dans ces études, on pourra d'autre part commencer des recherches sur les effets photo-voltaïque, photo-résistif, photo-piézoélectrique, et sur d'autres encore); les phénomènes physiques qui sont à la base de l'amplification paramétrique, et les corps tels que les ferrites des terres

rares; les théorèmes qui régissent le fonctionnement électromagnétique des réseaux électriques multipolaires, actifs et passifs (filtres, compensateurs, etc.) dans toutes les gammes de fréquences; le codage optimum des signaux et la suppression des redondances.

En 1961, nous constatons que les prédictions faites en 1960 se sont bien réalisées. Les savants ont, en fait, pris de l'avance sur leur programme!

La plupart des bandes de fréquences du spectre radio-électrique commencent à être saturées. Comme exemple du taux d'utilisation actuel de ce spectre, indiquons qu'il existe aux Etats-Unis plus de 2,5 millions d'émetteurs rien que pour les services de sécurité et les services spéciaux, sans parler des stations de radiodiffusion, des systèmes civils et des importants réseaux de radiocommunication à usage militaire et officiel. Des techniques nouvelles telles que les transmissions à bande latérale unique ont permis de dégager certaines bandes de fréquences mais l'utilisation des fréquences disponibles s'étend sans cesse à un rythme qui ne peut être suivi par la mise au point des nouveaux systèmes destinés à permettre la protection et au partage des fréquences.

### Techniques nouvelles

La «troisième étape» exige que l'on tourne résolument le dos à certaines utilisations actuelles des fréquences radioélectriques. Un exemple caractéristique est celui des «lumières cohérentes», méthode dans laquelle des ondes lumineuses servent à transmettre des messages. Cette technique en est encore à ses balbutiements, mais elle a déjà fait l'objet d'une application expérimentale dans laquelle les ondes lumineuses ont pu être concentrées et «disciplinées» de telle manière qu'elles se propagent avec les mêmes relations de phase que les ondes radioélectriques. Un système à «lumières cohérentes» aura une capacité de transmission beaucoup plus grande que celle réalisable dans les limites du spectre radioélectrique. D'après certaines estimations publiées, ce système procurera 10000 fois plus de voies de transmission que le spectre radioélectrique.

L'existence de nouveaux systèmes de communication à grande capacité est d'une importance capitale pour le développement des communications spatiales au cours des vingt-cinq années à venir. Ainsi par exemple, lors de la Conférence administrative des radiocommunications de Genève (1959), il ne nous a été possible d'obtenir au total qu'un peu plus de 130 MHz, dans toute la partie du spectre comprise entre 10 MHz et 10000 MHz, pour les applications spatiales\*. Encore cette petite portion du spectre n'a-t-elle été attribuée que pour les besoins de la «recherche spatiale», et toute la question de l'attribution d'une largeur de spectre suffisante pour l'exploitation (communications, moyens d'information de masse, guidage, commande, transmission de données, navigation, etc.) a été renvoyée à 1963. Il faut espérer qu'une conférence mondiale se tiendra en 1963 pour examiner ce problème. Nous essayons actuellement, par l'intermédiaire d'une commission d'études du CCIR, d'aménager dans le spectre les immenses besoins des services spatiaux, de coordonner toutes les attributions de fréquences à ces services avec les attributions actuelles aux services terrestres, enfin de formuler des recommandations à soumettre à la conférence prévue pour 1963. Cette tâche est l'une des plus formidables qu'aient jamais eu à accomplir le CCIR et l'Union internationale des télécommunications.

\* Règlement des radiocommunications (Genève, 1959).

On ne saurait écarter complètement le spectre radioélectrique comme principal moyen de développement des communications spatiales au cours de la prochaine génération. Nos systèmes spatiaux actuels et projetés ont déjà donné lieu à trop de travaux de recherche et de mise au point. Les appareils reposant sur l'emploi des radiocommunications sont trop nombreux pour que l'on puisse même envisager une mutation aussi radicale. Néanmoins, c'est dans des techniques telles que celles des «lumières cohérentes», des masers et des lasers, des transmissions par rayon gamma et autres applications scientifiques révolutionnaires, que nous devons rechercher les remèdes aux effets stérilisants dus à l'encombrement et aux autres insuffisances actuelles du spectre radioélectrique.

### «Table ronde» sur l'espace

A l'occasion d'une «table ronde» sur les communications spatiales, organisée dans le cadre du XII<sup>e</sup> Congrès astronautique international, un Groupe de travail a pu examiner les possibilités exceptionnelles offertes, en matière de télécommunication, par certaines techniques inédites; présidé par le D<sup>r</sup> Eberhardt Rechtin, du Jet Propulsion Laboratory, ce groupe comprenait le D<sup>r</sup> George F. Smith des Hughes Research Laboratories, M. J. W. Ogland de la Westinghouse Electric Corporation, le D<sup>r</sup> Jozef W. Eerkens de la Aerospace Corporation, le D<sup>r</sup> J. P. C. Leiphart du US Naval Research Laboratory, le D<sup>r</sup> J. P. Gordon des Bell Telephone Laboratories et le D<sup>r</sup> Huber Heffner de l'Université de Stanford. Les techniques en question semblent être de nature à provoquer cette «percée» que nous cherchons présentement à effectuer dans la technologie des communications spatiales. Elles sont pour l'heure essentiellement expérimentales mais ce qu'on en connaît déjà est suffisant pour justifier une accélération des travaux de mise au point et de perfectionnement du matériel.

Le D<sup>r</sup> Rechtin, exposant le thème des discussions, a déclaré:

«A l'heure actuelle, et avec les techniques dont on dispose, les radiocommunications classiques exploitées entre 20 MHz et 20 GHz permettent de réaliser des liaisons spatiales satisfaisantes à l'intérieur du système solaire. Notre table ronde a pour but d'examiner des moyens de communication qui pourraient être mis en œuvre à l'extérieur des bandes de communication habituelles.»

Les membres du groupe ont étudié plus particulièrement trois systèmes de communications spatiales qui ne font pas intervenir les fréquences radioélectriques. Le D<sup>r</sup> Smith et le D<sup>r</sup> Gordon ont traité de l'utilisation des ondes lumineuses dans l'application au radar et aux communications. La mise en œuvre de systèmes utilisant des radiations lumineuses exige l'emploi de masers et de lasers, et de certaines catégories d'appareils optiques. M. Ogland a présenté un rapport sur l'utilisation du rayonnement ultra-violet, indiquant l'état actuel des techniques de production d'énergie ainsi que les très grandes distances qui peuvent être franchies par les communications basées sur l'emploi de l'ultra-violet. Le D<sup>r</sup> Eerkens a présenté un mémoire sur les possibilités exceptionnelles de communication dans un espace dépourvu d'atmosphère grâce à l'utilisation des rayons gamma qui seront produits par les réacteurs nucléaires servant à la propulsion des véhicules spatiaux.

### 1. Utilisation des ondes lumineuses

Le D<sup>r</sup> Smith a décrit plusieurs applications des télécommunications et du radar dont on peut raisonnablement prévoir la mise en service dans les dix ou vingt prochaines années

moyennant l'utilisation de lasers et d'autres équipements optiques. Les méthodes exactes par lesquelles ces lasers pourront être mis en œuvre ne sont « pas faciles à préciser à l'heure actuelle, en raison notamment des grosses incertitudes qui existent encore en matière de modulation et de réception ». Il est possible cependant, selon les membres de la « table ronde », de calculer un ordre de grandeur significatif des largeurs de bande disponibles aux distances interplanétaires.

Le laser a été mis au point il y a environ un an par la Hughes Aircraft Company et les Bell Telephone Laboratories; d'autres firmes ont apporté une contribution importante à cette invention. Le mot « laser » est formé des initiales des mots light amplification by stimulated emission of radiation (amplification de la lumière par multiplication d'un rayonnement). Le principe du laser consiste à produire des oscillations de grande amplitude résultant de la focalisation d'un rayonnement. Un des « sous-produits » du laser est un rayonnement lumineux de grande intensité et parmi ses applications possibles nous citerons le radar optique et la destruction de certaines cellules vivantes en chirurgie.

#### *Lasers et masers*

Il est indispensable maintenant d'indiquer la différence qui existe entre le laser et le maser, et de bien comprendre les fonctions et les possibilités de chacun de ces systèmes. On peut dire schématiquement que le maser joue, à l'égard des signaux produits sur des fréquences radioélectriques très élevées, le même rôle que le laser à l'égard des rayonnements lumineux, à savoir qu'il focalise et amplifie le rayonnement et engendre des oscillations de grande amplitude. Les amplificateurs et les oscillateurs masers transforment l'énergie interne d'un système moléculaire en une énergie radioélectrique à très haute fréquence grâce à une interaction directe entre un rayonnement électromagnétique et le système moléculaire.

Ainsi, l'énergie produite par l'action du maser se présente sous la forme d'un signal électromagnétique à hyperfréquence. Par contre, l'énergie produite par le laser est une énergie électromagnétique dont les fréquences se situent dans la gamme des rayonnements lumineux.

Dans un émetteur laser, une substance active appropriée (solide, liquide ou gazeuse) est placée entre deux miroirs parallèles et excitée par une source lumineuse appelée « pompe » qui, le plus souvent, entoure la substance active. L'énergie transportée par le rayonnement lumineux de la pompe excite les atomes de la substance active et leur fait émettre un rayonnement lumineux qui subit des réflexions successives sur les deux miroirs parallèles. Grâce à un processus d'amplification du rayonnement lumineux, on obtient une intensité beaucoup plus grande et finalement on émet un pinceau étroit et très intense.

Les caractéristiques exceptionnelles du laser rendent ce dispositif extrêmement utile pour la navigation spatiale; c'est ce qui ressort d'un rapport de la General Precision, Inc. qui a été présenté en 1961 à l'Institute of Navigation. Ce système est susceptible d'une très grande précision dans les applications au radar et on estime que l'erreur ne dépasserait pas un kilomètre pour deux véhicules séparés par une distance de 100 000 kilomètres. Un autre avantage réside dans le fait qu'il suffit d'une puissance d'alimentation extrêmement faible. Le laser offre donc des avantages considérables par rapport au radar classique à fréquence radioélectrique. Il permet une plus grande précision dans la mesure des vitesses. Au point de vue du repérage des cibles, il permet de déterminer la position d'un très petit objet par exploration automatique d'un grand volume spatial. Dans les

cas où l'exploration n'est pas nécessaire, ce sont les avantages du laser au point de vue de la puissance qui le rendent beaucoup plus intéressant que le radar classique.

#### *Avantages techniques*

Au cours des délibérations sur les communications spatiales, le D<sup>r</sup> Smith a fait remarquer que, dans le passé, les communications sur les fréquences optiques étaient soumises à des restrictions importantes en raison de la faible intensité des sources lumineuses incohérentes disponibles, dont les températures de brillance ne dépassaient pas quelques dizaines de milliers de degrés Kelvin. Le laser, comme générateur de lumière cohérente, permet d'obtenir une brillance spectrale environ  $10^6$  fois plus grande et rend possibles les communications optiques sur les distances interplanétaires, voire peut-être interstellaires. On peut focaliser le rayonnement cohérent d'un laser jusqu'à obtenir un faisceau extrêmement étroit, en mettant en œuvre un équipement optique de dimensions raisonnables. On obtient ainsi une transmission efficace sur de grandes distances. La lumière émise étant monochromatique, on peut se servir de filtres pour éliminer la lumière du soleil ou celle des étoiles. Le D<sup>r</sup> Smith a ajouté qu'en principe il est possible de moduler le faisceau d'un laser à l'aide d'un signal d'hyperfréquence, ce qui fournit une très grande capacité en voies de transmission. Il faudra appliquer des méthodes nouvelles de modulation et de détection cohérente, et ces méthodes sont en cours d'élaboration. Il convient d'ajouter que le pinceau lumineux émis par un laser peut servir à la détection optique des distances dans un Colidar (coherent light detection and ranging = détection et détermination des distances par lumière cohérente). Dans des expériences encore grossières réalisées avec un laser à rubis, il a été possible de couvrir des distances de 11 km en plein jour. La nuit, les possibilités du système se chiffrent par des distances de 25 à 32 km. Il devrait donc être possible de détecter la surface de la lune au moyen d'un système perfectionné mettant en œuvre la technique des lasers et la détection optique.

Compte tenu des limitations dues à la diffraction et à l'effet Schottky, on démontre que la capacité en voies de transmission d'un système de communication unidirectionnel est théoriquement proportionnelle à la fréquence. Cependant, aux fréquences des rayonnements lumineux, les faisceaux limités par la diffraction deviennent trop étroits pour permettre un repérage sûr. Si l'on tient compte des limitations rencontrées dans la pratique, la capacité en voies est inversement proportionnelle à la fréquence de fonctionnement, au carré de la distance et au carré de la largeur de bande de l'antenne d'émission. Cette relation montre que la largeur de bande totale d'un système laser pour des communications unidirectionnelles de la planète Mars vers la terre n'est que de 8 kHz. Le D<sup>r</sup> Smith a ajouté cependant que le D<sup>r</sup> C. H. Townes a proposé des hypothèses plus optimistes qui donnent une largeur de bande totale de  $10^8$  kHz. Le système Townes serait visible à l'œil nu à une distance d'un dixième d'année-lumière et détectable à plusieurs dizaines d'années-lumière.

#### *Production expérimentale d'harmoniques*

Au stade actuel de sa mise au point, le laser est sujet à d'importantes limitations. Il sera peut-être possible d'élaborer un procédé de remplacement pour la transmission des sons, par enregistrement ou par un autre procédé de séparation des composantes. Signalons à ce propos que les physiciens de l'Université du Michigan ont réussi à produire, il y a quelques mois seulement, le premier harmonique d'un faisceau lumineux. Pour ce faire, ils ont concentré dans un



cristal de quartz l'intense faisceau de lumière rouge pure, émis par le laser. L'harmonique — qui se présentait sous la forme d'un faisceau bleu foncé — a pu être obtenu grâce à la très grande intensité de la lumière rouge ainsi concentrée. Après focalisation, la lumière du laser a une intensité un milliard de fois plus grande que la lumière solaire à la surface de la terre, et c'est cette intensité énorme qui explique la production de la lumière bleue à partir de la lumière rouge, selon un processus analogue à celui de la production des harmoniques en musique. Les physiciens qui ont observé le phénomène y ont vu une analogie avec la production de certains sons musicaux qui sont obtenus lorsqu'on joue normalement de la guitare, tandis qu'un jeu plus nerveux fait émettre à l'instrument des harmoniques plus intenses. La principale conséquence de cette réussite réside dans le fait qu'elle ouvrira peut-être la voie à l'utilisation pratique, pour les télécommunications, des ondes électromagnétiques dans le spectre des fréquences des rayonnements lumineux. Comme deuxième conséquence, citons la possibilité d'étudier certains phénomènes, comme les propriétés optiques non linéaires de diverses substances, que l'on ne savait pas étudier auparavant.

La Minneapolis-Honeywell Company a mis au point un système basé sur ce qu'elle appelle des « canons de rayonnement » pour transmettre des sons vocaux, avec secret et en silence. Ce système est composé d'organes d'émission et de réception qui ont tous la forme d'un canon; ils sont pointés les uns sur les autres et la transmission se fait à l'aide d'un pinceau de rayons infrarouges. Les sons vocaux appliqués à l'appareil sont transformés en infra-rouge par des moyens électroniques, transmis ainsi entre les organes d'émission et de réception, après quoi s'effectue la reconstitution des sons. L'appareil a une portée extrêmement limitée, d'une trentaine de km, ce qui lui ôte tout intérêt pratique pour les communications spatiales. Cependant, le perfectionnement de ce système, et son adaptation à la technique du laser pourrait le rendre fort utile pour ces communications.

## 2. Utilisation du rayonnement ultra-violet

M. Ogland a exposé les bases de la réalisation d'un système de communications spatiales utilisant les fréquences du spectre ultra-violet. Dans un mémoire antérieur, le D<sup>r</sup> Ogland expliquait que l'augmentation de la portée et le secret de l'information sont des conditions essentielles à l'exploitation des communications spatiales. L'augmentation de la portée exige des antennes à gain élevé et un faible niveau de bruit. Ce sont les longueurs d'onde des rayonnements optiques qui satisfont le mieux à ces conditions et, parmi ces rayonnements, l'ultra-violet est celui qui est le moins affecté par les bruits. Pour obtenir un faisceau étroit avec un rayonnement non cohérent, il faut produire une densité de puissance extrêmement grande sur une très petite surface. La meilleure façon d'y parvenir consiste à exciter une substance phosphorescente convenable par un faisceau électronique à haute tension. Il est d'ailleurs facile de moduler un tel dispositif jusqu'à plusieurs mégahertz. Les appareils expérimentaux ont permis de produire une densité de puissance égale à plusieurs fois celle présente à la surface du soleil. Il suffit par exemple d'une puissance d'un watt pour réaliser des portées de l'ordre de 80 millions de kilomètres, avec une largeur de bande de 10 Hz, un rapport signal/bruit de 10 db et un gain d'antenne de 77 db. Avec la même puissance, on peut aussi transmettre des signaux vidéo mais sur des distances moins grandes. Moyennant une réalisation optimum des appareils, il semble qu'il soit possible de multiplier la densité de puissance par 10, et même davantage.

## Sûreté et consommation d'énergie

Dans ce mémoire, le D<sup>r</sup> Ogland faisait observer qu'en raison des progrès rapides des techniques spatiales, maintenant que l'on envoie des véhicules en mission jusqu'à des distances stupéfiantes, il est indispensable d'avoir un système de communication efficace, caractérisé par une sûreté de fonctionnement maximum et une consommation d'énergie minimum. Les communications spatiales ne sont affectées ni par l'absorption, ni par la réflexion, ni par la diffusion; la portée dépend donc essentiellement du gain des antennes et du bruit des récepteurs. On sait que, pour des dimensions données, le gain d'antenne est d'autant plus élevé que la longueur d'onde est plus petite. C'est donc aux fréquences optiques que l'on obtiendra les faisceaux les plus étroits et les gains d'antenne les plus élevés. L'infra-rouge permettrait d'obtenir une focalisation optique suffisamment poussée, s'il était possible de produire ce rayonnement au moyen d'une source ponctuelle ayant une densité de puissance assez grande.

Or, on ne connaît pas de source de cette nature qui puisse soutenir la comparaison avec des sources émettant des longueurs d'onde plus petites. Par ailleurs, ajoute le D<sup>r</sup> Ogland, les rayonnements de longueur d'onde plus petite, notamment l'ultra-violet, sont plus avantageux au point de vue du bruit. Toutes les planètes et les autres corps froids de l'espace ont une température suffisamment élevée pour produire des bruits dans la région de l'infra-rouge mais pas pour émettre de l'ultraviolet. Il est probable que la source de bruit la plus importante est la terre, en raison de ses dimensions et de sa proximité du récepteur. Comme l'atmosphère terrestre absorbe l'ultra-violet, un appareil sensible à ce rayonnement « verrait » la terre comme une masse noire. Le soleil émet un rayonnement ultra-violet, ce qui fait de lui une importante source de bruit mais il rayonne aussi sur toutes les autres longueurs d'onde, y compris les longueurs d'onde radioélectriques. En conséquence, tout récepteur à haute sensibilité sera affecté par des bruits ou sera saturé si son antenne couvre le soleil. En revanche, grâce à son faisceau plus étroit, un récepteur à fréquence optique est mieux à même d'éviter ces inconvénients. Le bruit le plus important dans un récepteur sensible à l'ultra-violet est le bruit Schottky, que le D<sup>r</sup> Ogland a mentionné à propos de la détermination des distances.

La Westinghouse Electric Corporation a expérimenté un système de communication par l'ultra-violet, capable de réaliser des transmissions à bande étroite sur des distances pouvant atteindre 32 millions de kilomètres. Il suffit, pour couvrir ces distances, de rayonner une puissance de 1 watt et la consommation de puissance ne s'élève qu'à quelques watts. La Westinghouse déclare que pour couvrir la même distance dans le spectre radioélectrique, il faudrait rayonner une puissance au moins 100 fois plus grande. Il semble que les communications par ultra-violet ne puissent être utilisées qu'entre des points ou des corps de l'espace; elles seraient impossibles entre des points situés sur la terre, en raison de l'absorption et de l'affaiblissement que subit le rayonnement ultra-violet dans la couche d'ozone et dans l'atmosphère terrestres.

## Avantages

Le système de la Westinghouse (Ultracom) comprend une source ponctuelle de rayons ultra-violets à bande étroite, extrêmement intense, qu'il est facile de moduler en amplitude. Le générateur est constitué par un tube à rayons cathodiques dont la substance phosphorescente émet un rayonnement ultra-violet lorsqu'elle est excitée par un faisceau d'électrons.

Il convient d'indiquer que les fréquences du spectre ultra-violet sont au moins un million de fois plus grandes que les fréquences radioélectriques généralement utilisées pour les communications spatiales; par ailleurs, on peut se contenter d'une puissance beaucoup plus petite, ainsi que d'antennes et de récepteurs de dimensions plus restreintes. Il est inutile d'insister sur l'importance de ces considérations pour la réalisation des véhicules spatiaux.

Le système de communication par ultra-violet offre un autre avantage important, qui est le secret des transmissions, à quoi il faut ajouter un certain degré de protection contre les brouillages industriels et naturels.

En 1960, la Westinghouse a fait l'essai d'un système expérimental transmettant sur une courte distance des signaux de télévision et des signaux téléphoniques. La modulation d'amplitude était obtenue par variation de l'intensité du faisceau électronique.

A l'occasion de cette «table ronde», le D<sup>r</sup> Ogland a montré comment, en utilisant un rayonnement non cohérent, on a étendu jusqu'à des millions de kilomètres la portée des transmissions réalisables avec une puissance d'émission de 1 watt et avec une modulation à bande étroite. On obtient ces portées énormes en concentrant le rayonnement dans un faisceau très étroit (pouvant s'abaisser jusqu'à 2 minutes d'arc), ce qui permet d'obtenir un gain d'antenne de l'ordre de 77 db. Il est évident que les problèmes qui se posent alors sont ceux de la construction d'émetteurs «ponctuels» ayant une densité de puissance suffisamment élevée, et de détecteurs qui soient sensibles à un nombre limité de quanta. Le D<sup>r</sup> Ogland a décrit certaines des techniques utilisées actuellement avec succès pour la production de l'énergie et il a formulé une équation des distances, analogue à celle des radiocommunications, qui fait connaître la portée réalisable en fonction de plusieurs paramètres.

### 3. Utilisation des rayons gamma

Le D<sup>r</sup> Eerkens s'est penché sur le problème de l'utilisation, pour les communications spatiales, des rayons gamma émis par les réacteurs nucléaires. Il a fait observer que les réacteurs de puissance qui entreront dans la composition des futurs systèmes spatiaux fourniront comme sous-produit de grandes quantités de rayons gamma. Au cours de ses recherches, le D<sup>r</sup> Eerkens a étudié des méthodes de modulation de faisceaux gamma, et il a établi que ce phénomène ne peut être utilisé que pour les communications dans l'espace extra-atmosphérique, car les rayons gamma subissent dans l'atmosphère une forte diffusion et une forte absorption; ils seraient donc dissipés ou absorbés avant même d'atteindre une station terrestre.

Le D<sup>r</sup> Eerkens a mis l'accent sur les avantages d'un système de communication par rayons gamma, notamment la réduction des besoins en fréquences radioélectriques. Par ailleurs, la mise en œuvre d'un tel système permettrait de réduire les dimensions des éléments d'antennes et d'obtenir une focalisation et une sélectivité plus grandes aux fréquences élevées.

Le système de communication par rayons gamma remplace ce que l'on considérerait jusqu'à présent comme un inconvénient, à savoir l'émission de rayons gamma par un réacteur nucléaire, en un avantage précieux pour l'exploration de l'espace. Le D<sup>r</sup> Eerkens déclare: «Alors que la production d'hyperfréquences ou d'ondes radioélectriques exige d'une part une source d'énergie électrique et d'autre part un générateur d'ondes, la source de rayons gamma est fournie, pour rien'».

Le D<sup>r</sup> Eerkens ne s'est pas borné à étudier le processus de transmission; il a également examiné les procédés per-

mettant de moduler le faisceau de rayons gamma par des signaux. Il a décrit un système «découpeur» placé devant une ouverture cônica et constitué par un disque rotatif portant des perforations équidistantes; ce système permettrait de superposer l'information au faisceau de rayons gamma, en modulant la vitesse de rotation du disque. On envisage encore d'autres dispositifs mécaniques, par exemple des vibrateurs, pour produire les signaux que devront transmettre les rayons gamma.

Les calculs du D<sup>r</sup> Eerkens montrent que des signaux vocaux de qualité médiocre pourraient être transmis sur une distance de l'ordre de 75 km par une installation typique basée sur la lune; cette distance pourrait être multipliée par un facteur compris entre 10 et 100 moyennant une réalisation optimum de l'installation. Quant aux signaux codés, le D<sup>r</sup> Eerkens estime qu'ils pourraient être transmis à une distance de 13000 km avec les hypothèses que l'on est obligé de faire actuellement, et qu'il serait possible de porter cette distance à 130000 km, voire à un maximum de 1300000 km.

### Commentaires

A l'issue de ces débats sur les communications spatiales, nous avons prié le D<sup>r</sup> Huber Heffner, de l'université de Stanford, de revoir les comptes rendus des discussions et de nous faire connaître ses commentaires. On trouvera ci-après un résumé des observations du D<sup>r</sup> Heffner:

Les débats organisés par la IAF ont porté principalement sur le choix de la fréquence optimum pour un système de communication destiné à couvrir de très grandes distances. La réponse à cette question dépend de nos possibilités de construction d'un émetteur et du modulateur associé, de notre connaissance du milieu de transmission (caractéristiques d'absorption et de bruit), et de nos possibilités de construction d'un récepteur sensible. Sauf dans la gamme des fréquences radio, nos connaissances sur tous ces facteurs sont tellement minimes et nous progressons à un rythme si rapide qu'il ne serait guère raisonnable d'essayer de prévoir dès maintenant ce que sera l'évolution future des communications spatiales.

Le problème fondamental qui est à la base de toutes ces considérations est celui de la transmission de l'information. Avant de pouvoir faire choix d'une fréquence optimum, il nous faudra élaborer une théorie des communications qui soit applicable aux fréquences optiques et aux fréquences plus élevées. L'augmentation de la capacité en voies de transmission ne dépend pas uniquement de la largeur de bande disponible, si nous devons tenir compte des effets quantiques. Voici que, pour la première fois, les ingénieurs se trouvent placés devant le grand problème de la dualité des particules, qui tourmente les physiciens depuis des années. Il nous faut maintenant absolument élaborer une théorie quantique des communications. Des progrès ont été réalisés dans cette voie qui semblent indiquer que des quanta à fréquence basse sont capables de transporter, à certains égards, une plus grande quantité d'information que des quanta à fréquence élevée. S'il en est bien ainsi, ce résultat influera de façon décisive sur la fréquence que nous aurons à choisir.

Le D<sup>r</sup> Heffner ajoute ceci: indépendamment de la solution qui sera apportée au problème, on peut donner quelques indications sur le coût des communications dans la gamme des fréquences optiques et au-delà. Par exemple, on démontre de façon tout à fait générale que le meilleur détecteur de phase exige au moins un photon par temps de résolution (inverse de la largeur de bande) pour pouvoir compenser le bruit quantique inévitablement engendré. En conséquence, le photon à haute fréquence étant plus éner-

gétique, le détecteur recevra une puissance plus grande, pour une largeur de bande donnée, si l'on augmente la valeur de la fréquence porteuse. Le D<sup>r</sup> Smith a montré que ce surcroît de puissance à fournir est plus que compensé par l'augmentation du gain des antennes qui accompagne l'élévation de la fréquence mais au prix de plus grandes difficultés de repérage. S'il apparaît que la capacité en voies de transmission dépend elle aussi de la fréquence, il se peut que l'on soit amené à reviser ces conclusions.

Selon le D<sup>r</sup> Heffner, l'étroitesse du faisceau, qui est une conséquence d'un gain d'antenne élevé, constitue une limitation à l'emploi du radar optique mentionné par le D<sup>r</sup> Smith. Un tel radar se prêterait certainement mal aux applications de détection car il lui faudrait un temps extrêmement long pour explorer un angle solide appréciable.

#### *Autres systèmes*

Le D<sup>r</sup> Heffner s'est déclaré moins pessimiste que d'autres concernant l'efficacité du maser optique. Il existe un ou deux systèmes d'amorçage de ces masers par courant continu qui pourraient se révéler fort efficaces. Un de ces procédés, encore hypothétique, consisterait à «doper» un semi-conducteur approprié et à exciter les niveaux optiques en injectant des électrons. Ce système, et d'autres encore, pourraient avoir des rendements aussi élevés que ceux des générateurs actuels d'hyperfréquences. Le D<sup>r</sup> Heffner note, entre parenthèses, combien il est curieux que nous soyons capables de produire des kilowatts de puissance optique tandis que nous devons faire des efforts pathétiques pour produire un seul watt sur une longueur d'onde d'un millimètre.

Au sujet du système de transmission par ultra-violet, le D<sup>r</sup> Heffner observe que M. Ogland a parlé d'un système à rayonnement incohérent. Le D<sup>r</sup> Heffner ajoute qu'on ne peut utiliser dans ce cas que la modulation d'amplitude et qu'on se prive de tous les avantages de la discrimination de phase offerts par un système cohérent. Il est vrai que nous ne savons pas réaliser actuellement une source cohérente dans la région de l'ultra-violet; mais ces techniques évoluent rapidement et on a le droit de penser que dans quelques années nous disposerons de sources cohérentes non seulement pour l'ultra-violet, mais aussi pour l'infra-rouge.

Le D<sup>r</sup> Heffner fait les commentaires suivants sur un autre système non cohérent, celui décrit par le D<sup>r</sup> Eerkens pour la transmission par les rayons gamma. Le D<sup>r</sup> Eerkens est parti de l'hypothèse que dans un véhicule spatial le système serait gratuit, en ce sens que la source du rayonnement, le réacteur, serait à la charge d'autres budgets. Cette hypothèse, selon le D<sup>r</sup> Heffner, pourrait être trompeuse car le volume du modulateur approprié pourrait être disproportionné et c'est peut-être ce volume qui sera l'élément le plus coûteux. Par ailleurs, le D<sup>r</sup> Heffner craint que le D<sup>r</sup> Eerkens se trompe lorsqu'il affirme que son système est à l'abri des brouillages.

La conclusion du D<sup>r</sup> Heffner a été la suivante: «Une réunion comme celle-ci, organisée dans cinq ans, pourrait fournir les réponses aux questions que, pour le moment, nous ne pouvons guère que poser.»

#### *Obstacles humains*

Dans l'état actuel de notre civilisation, il n'existe aucune perspective d'utilisation de ces perfectionnements techniques qui sont pleins de promesses pour les télécommunications. Il y a tout d'abord, sur notre terre, cette «jungle quasi désespérante des langues. Les coutumes et les idoles de la «tribu» s'accrochent avec ténacité à des populations

entières, sources de dissension entre les peuples. D'un côté, on ne voit pas comment il serait possible d'éliminer, dans l'aventure spatiale de l'homme, les obstacles linguistiques et les divergences «tribales», d'autre part on n'entrevoit pas encore de solution applicable à la surface même de la terre.

Il y a, bien sûr, quelques faibles lueurs de consolation, par exemple les codes et les langages normalisés utilisés dans la navigation, les timides progrès enregistrés dans le domaine des «langues universelles», les systèmes de traduction automatique des langues, etc.

Au cours de la prochaine génération, les communications en provenance de l'espace extra-terrestre, notamment celles qui serviront à diffuser les nouvelles et les programmes à caractère culturel et documentaire devront sans nul doute passer par des relais pour être retransmis à la surface du globe par les soins des gouvernements intéressés; on peut prévoir que ce sort sera partagé par les «tribus» qui seront installées sur tel ou tel corps sidéral. Cette situation regrettable est due aux conflits destructeurs qui éclatent entre les nations de la terre. Il semble qu'il soit toujours nécessaire de déformer les nouvelles, voire de censurer la plupart des programmes à caractère culturel et documentaire.

Il n'y a, à vrai dire, aucune raison d'ordre technique qui empêche la réception *directe* de signaux émis d'une station terrestre vers une autre station terrestre par l'intermédiaire de satellites, de signaux émis vers la terre depuis des points situés dans l'espace, ou de signaux émis de la terre à destination de points de l'espace. En définitive, il faudra bien autoriser la réception directe, dans le cas de la diffusion de masse. Il se pourrait fort bien que cette évolution s'étende sur des siècles, voire des millénaires.

#### *La vie sur d'autres planètes*

Dans mon exposé intitulé *Metalaw—The Science of Universal Jurisprudence*, présenté devant le XII<sup>e</sup> Congrès astronomique international, j'examinais les chances d'existence de créatures douées de sens, sur des planètes autres que la nôtre. Je concluais que «Harlow Shapley, et d'autres grands savants ont avancé des arguments de caractère statistique extrêmement convaincants pour démontrer que la vie existe sur d'autres planètes. En liaison avec ces hypothèses, une nouvelle considération s'impose, qui n'est autre que l'influence de la sphéricité universelle des planètes sur le processus de l'évolution. Si nous examinons ce qui s'est passé sur notre planète, nous constatons que le fait, pour l'homme, de vivre sur une surface bornée a eu pour conséquence de limiter ses «contacts». Son comportement psychosocial a commencé à prendre forme au moment de sa mutation en *homo sapiens* et, jour après jour, au fur et à mesure des progrès de la civilisation, la limitation de la surface terrestre a eu pour effet de rapprocher les hommes toujours davantage, inexorablement; aujourd'hui, la géographie même de sa «prison» a obligé l'homme à créer des artifices qui lui permettent d'avoir des contacts avec ses semblables, de se mêler à eux et d'affirmer sa nature psychosociale en chaque point du globe. L'homme apparaît donc comme une créature psychosociale hautement spécialisée, du fait des limitations physiques de la surface sphérique sur laquelle s'est faite son évolution.»

Il ne fait pas de doute que l'«artifice» le plus important a été le système de télécommunication, qui fournit le moyen d'une diffusion de masse de toutes sortes de nouvelles, de programmes documentaires et culturels, vers les régions les plus reculées de la surface terrestre. Il est certain qu'après plusieurs générations cet artifice sera capable d'abattre les barrières de la «tribu» et du nationalisme.

### Le rôle de l'UIT

Entre-temps, il faudra créer une organisation mondiale afin d'accélérer le processus du rassemblement humain. Il est heureux que la communauté des nations ait créé, en 1865, l'Union internationale des télécommunications, et cette organisation intergouvernementale, la plus ancienne de toutes, est parfaitement indiquée pour entreprendre ce rassemblement. La première mesure consisterait à conférer à l'UIT un rôle plus important en matière d'exploitation, en lui laissant le soin de coordonner et de régir les communications de poste à poste et les communications destinées à une diffusion de masse, après retransmission par des satellites artificiels de la terre, ainsi que les communications directes en provenance de la lune, de Mars et d'autres objets célestes naturels. Ce faisant, l'UIT jouerait le rôle d'une commission mondiale des télécommunications qui veillerait, dans ce domaine, à maintenir l'ordre parmi les nations du monde, en tenant compte des législations particulières de ces nations.

La deuxième étape consistera, pour l'UIT, à élaborer progressivement un règlement applicable à toutes les nations

et à veiller à l'application de ce règlement. L'accomplissement de cette tâche pourra exiger plusieurs générations, peut-être des centaines d'années.

Il va de soi qu'au stade final, les restrictions de caractère national devront être abrogées, l'UIT jouant alors pleinement son rôle d'organisation mondiale libérée de toutes entraves, au service non seulement des peuples de la terre mais aussi des êtres humains qui peupleront alors les espaces extra-terrestres.

Dans une conférence qu'il a prononcée récemment, Sir Gerald Beadle, ancien chef des services de télévision de la BBC, disait son accord avec l'idée du Président Kennedy, selon laquelle la création d'un moyen d'information de masse est un objectif crucial de la civilisation. Et nous ne saurions mieux faire que de conclure cet article par les paroles mêmes de Sir Gerald Beadle, lorsque celui-ci évoque un réseau global capable de percer « la barrière des langues et de nous inculquer à tous ce sentiment de la citoyenneté mondiale, dont l'absence entraînerait sûrement la condamnation de la race humaine. »

Journal Télécommunications UIT



**camille bauer**  
Elektrische Messinstrumente  
Elektrotechnische Bedarfsartikel

Aktiengesellschaft  
Basel  
Bern, Zürich  
Genf, Neuenburg  
Lugano