Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 61 (1970)

Heft: 18

Artikel: Problèmes en relation avec la choix d'un emplacement pour une station terrienne de télécommunications par satellites

Autor: Delaloye, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915973

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: 13.07.2025

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

Problèmes en relation avec le choix d'un emplacement pour une station terrienne de télécommunications par satellites

Conférence, donnée à la 32e Journée de la haute fréquence de l'ASE le 29 janvier 1970 à Lausanne,

par *B. Delaloye*, Berne

1126-1141

629.78.058.54:621.396.75

Au début, on rappelle les principales caractéristiques d'une liaison spatiale commerciale du réseau mondial INTELSAT. Les principaux problèmes à résoudre lors de la détermination de l'emplacement d'une station terrienne sont exposés. L'accent est mis sur les brouillages mutuels entre les systèmes spaciaux et terrestres qui travaillent dans les mêmes bandes de fréquences. Les divers mécanismes de propagation sont décrits.

Eingangs werden die wichtigsten Eigenschaften einer Satellitenverbindung des INTELSAT-Weltnetzes in Erinnerung gerufen. Die hauptsächlichsten Probleme, die bei der Bestimmung eines Standortes für eine Satelliten-Bodenstation gelöst werden müssen, sind dargestellt. Besondere Beachtung wird den gegenseitigen Störungen geschenkt, die zwischen dem Weltraum- und terrestrischen Diensten, die in den gleichen Frequenzbändern arbeiten, zustande kommen können. Die verschiedenen Ausbreitungsarten werden beschrieben.

La technique des télécommunications par satellites étant récente et son évolution très rapide, il peut être utile de rappeler quelles sont les caractéristiques et les éléments principaux d'une liaison spatiale.

Les orbites des satellites sont soumises aux lois de *Képler*. Dans le cas particulier des télécommunications intercontinentales du type commercial, seuls les satellites géo-stationnaires sont utilisés. Leur orbite est circulaire et située dans le plan de l'équateur et leur période de rotation est égale à un jour sidéral. Le sens de rotation étant le même que celui de la Terre, ces satellites paraissent donc immobiles, à part quelques dérives inévitables, que l'on peut corriger depuis le sol.

L'équation du mouvement du satellite s'obtient facilement en égalant la force d'attraction de la Terre F au produit de la masse m_1 du satellite par son accélération radiale a (fig. 1):

$$F = m_1 a$$

F est donnée par la loi d'attraction de masse:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

γ étant la constante de gravitation; m_1 et m_2 étant les masses respectives du satellite et de la Terre, et r la distance entre les centres de gravité des deux corps.

L'accélération d'un corps en rotation est donnée par la formule bien connue:

$$a = \omega^2 r$$

ω étant la vitesse de rotation
en identifiant nous obtenons:

$$\gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} = m_1 \omega^2 r$$

ou par exemple:

$$r = \sqrt[3]{\frac{\gamma m_2}{\omega^2}}$$

On remarque donc que le rayon de l'orbite est indépendant de la masse du satellite.

γ et m_2 (la masse de la Terre) sont des valeurs connues. Si l'on introduit maintenant pour ω: $2\pi/23\,\text{h}\,56\,\text{min}$ (23 h 56 min est la durée du jour sidéral moyen) on obtient pour r:

$$r = 42\,200\ \text{km}$$

Le rayon de la Terre étant de 6400 km environ, le satellite gravitera donc à 35 800 km de la surface terrestre.

Un satellite de télécommunication agit comme un relais. Dans le système mondial INTELSAT, il reçoit des ondes porteuses placées dans une bande de fréquences de 500 MHz située vers 6 GHz et la réémet autour de 4 GHz

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{émission } 3{,}7...4{,}2\ \text{GHz} \\ \text{réception } 5{,}925...6{,}425\ \text{GHz} \end{array} \right\}$$

Les satellites actuels, du type INTELSAT III, n'émettent que dans la direction de la Terre. Leurs antennes ont un diagramme d'émission dont l'ouverture est de 17° aux points de demi-puissance.

La source d'énergie du satellite étant composée de cellules solaires, ce dernier ne dispose que de relativement peu de puissance. Ce fait, ainsi que le faible gain des antennes du satellite, laissent entrevoir qu'avec les satellites actuels, de hautes performances devront être réalisées par les stations terriennes. Ces dernières, en effet, pour pouvoir satisfaire au principal critère de qualité de transmission, doivent avoir un diamètre d'au moins 27 m. Ce critère de qualité consiste en une faible contribution de bruit dans les voies téléphoniques ou dans les canaux de télévision. Le point le plus critique de la liaison est la réception à la station terrienne. Avec les satellites INTELSAT III la densité de flux de puissance n'est en effet que de $-152{,}7$ dBW/m², un demi-millième de picowatt ou 5.10^{-16} W/m² pour une porteuse de 132 canaux téléphoniques

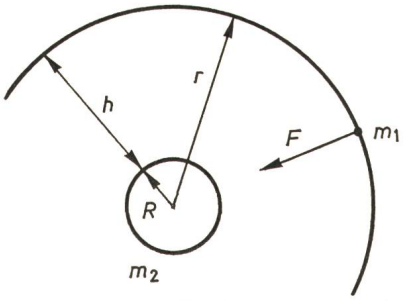


Fig. 1
Géométrie de l'orbite géostationnaire
F force d'attraction; h altitude de l'orbite; m_1 masse du satellite; m_2 masse de la terre; R rayon de la terre; r rayon de l'orbite

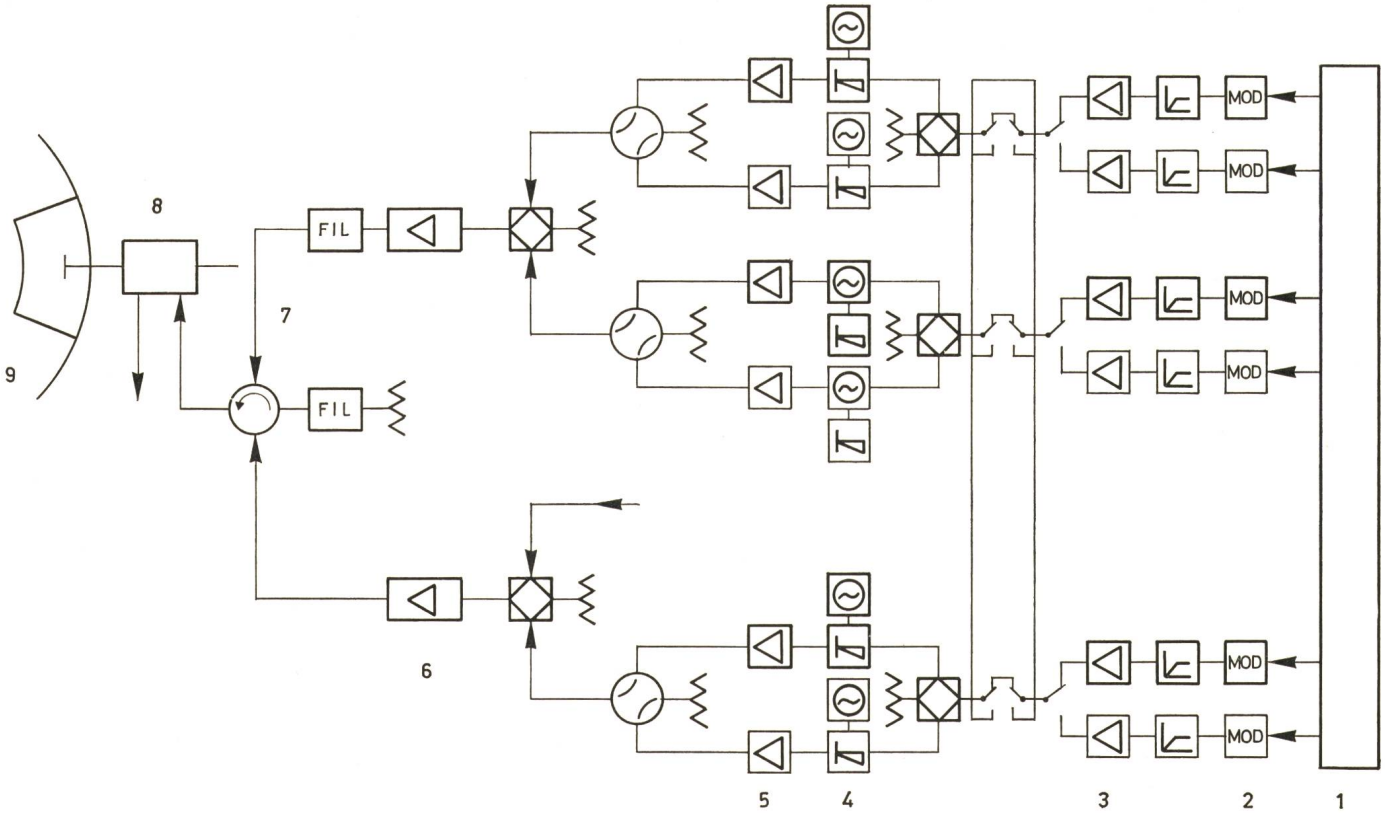


Fig. 2
Schéma-bloc d'une station terrienne
Côté émission
1 bande de base ou vidéo; *2* modulateurs; *3* amplificateurs de ligne (fréquence intermédiaire: 70 MHz); *4* mélangeurs (up-converters); *5* amplificateurs d'attaque (6 GHz); *6* amplificateurs de puissance (6 GHz); *7* circulateur et filtre pour le mélange des signaux téléphonie et télévision; *8* diplexeur; *9* antenne

modulée en fréquence, la largeur de bande du spectre étant de 14,4 MHz.

Dans ces conditions, la valeur du rapport du signal reçu C à la température de bruit T du système de réception doit être au minimum de $-148{,}5$ dBW/^{0}K, valeur découlant de l'emploi de démodulateurs spéciaux dans les stations terriennes. On a donc:

$$\frac{C}{T} = \underbrace{-148{,}5\ \text{dB W/}^0\text{K}}_{\substack{\text{rapport signal}\\ \text{à température de bruit}}} = \underbrace{-152{,}7\ \text{dBW/m}^2}_{\substack{\text{densité de flux}\\ \text{de puissance}}} + \frac{G}{T} \underbrace{-33{,}5}_{\substack{\text{gain de}\\ 1\ \text{m}^2\ \text{à}\\ 4\ \text{GHz}}} \underbrace{-3}_{\substack{\text{contribution}\\ \text{du bruit}\\ \text{du satellite}}}$$

D'après cette égalité $G/T = 40{,}7$ dB.

La valeur G/T, représentant le rapport du gain de l'antenne à la réception à la température de bruit du système, est souvent désignée comme le facteur de mérite de la station terrienne. Si une station terrienne travaille avec un facteur de mérite de 40,7 dB, la contribution de bruit totale de la liaison spatiale sera de 8400 pW dans le canal téléphonique le plus défavorisé. A titre de comparaison, le CCIR recommande de ne pas dépasser 10000 pW de puissance de bruit dans n'importe quelle voie téléphonique y compris 1000 pW dus aux interférences. Pendant un faible pourcentage du temps une puissance de bruit supérieure à 10000 pW peut être admise.

Pour obtenir la valeur de G/T de 40,7 dB, il faut un gain d'antenne d'au moins 58,5 dB à 4 GHz, car il est difficile de descendre en-dessous de $T = 60$ ^{0}K (17,8 dB/^{0}K) pour le système de réception, à des angles d'élévation faibles de l'antenne.

Les antennes des stations terriennes modernes sont en général du type Cassegrain optimalisées pour la réception et ont un diamètre compris entre 27 et 30 m.

Les principales fonctions d'une station terrienne sont exposées dans les fig. 2 et 3.

La station terrienne est également équipée d'un système de poursuite automatique composé d'un récepteur de poursuite commandant un servo-mécanisme qui maintient dans la direction du satellite le faisceau de l'antenne dont la largeur aux points de demi-puissance n'est que de 0,15^0. La poursuite automatique est indispensable pour compenser les mouvements du satellite ou surtout les effets du vent. La précision de poursuite doit être d'un dixième de l'ouverture du faisceau, c'est-à-dire 0,015^0, pour une vitesse de vent établie de 50 km/h avec des rafales à 75 km/h.

La masse en mouvement en azimut et en élévation étant de l'ordre de 300 t, un soin particulier doit être apporté à l'étude des fondations supportant l'antenne.

L'organisation mondiale de télécommunications par satellites, l'INTELSAT, comprend 68 pays, dont la Suisse. 28 stations terriennes sont en liaison avec 3 satellites du type INTELSAT III ayant chacun une capacité théorique de 1000 canaux de téléphonie environ et un canal de télévision. Ces 3 satellites sont placés respectivement au-dessus des Océans Atlantique, Pacifique et Indien. Un satellite INTELSAT III a été placé sur orbite au-dessus de l'Atlantique le 15 janvier. Il remplace le satellite existant dont le fonctionnement n'est pas très sûr. Au début mars, un second satellite sera placé au-dessus de l'Atlantique également et le trafic sera reparti entre ces deux satellites.

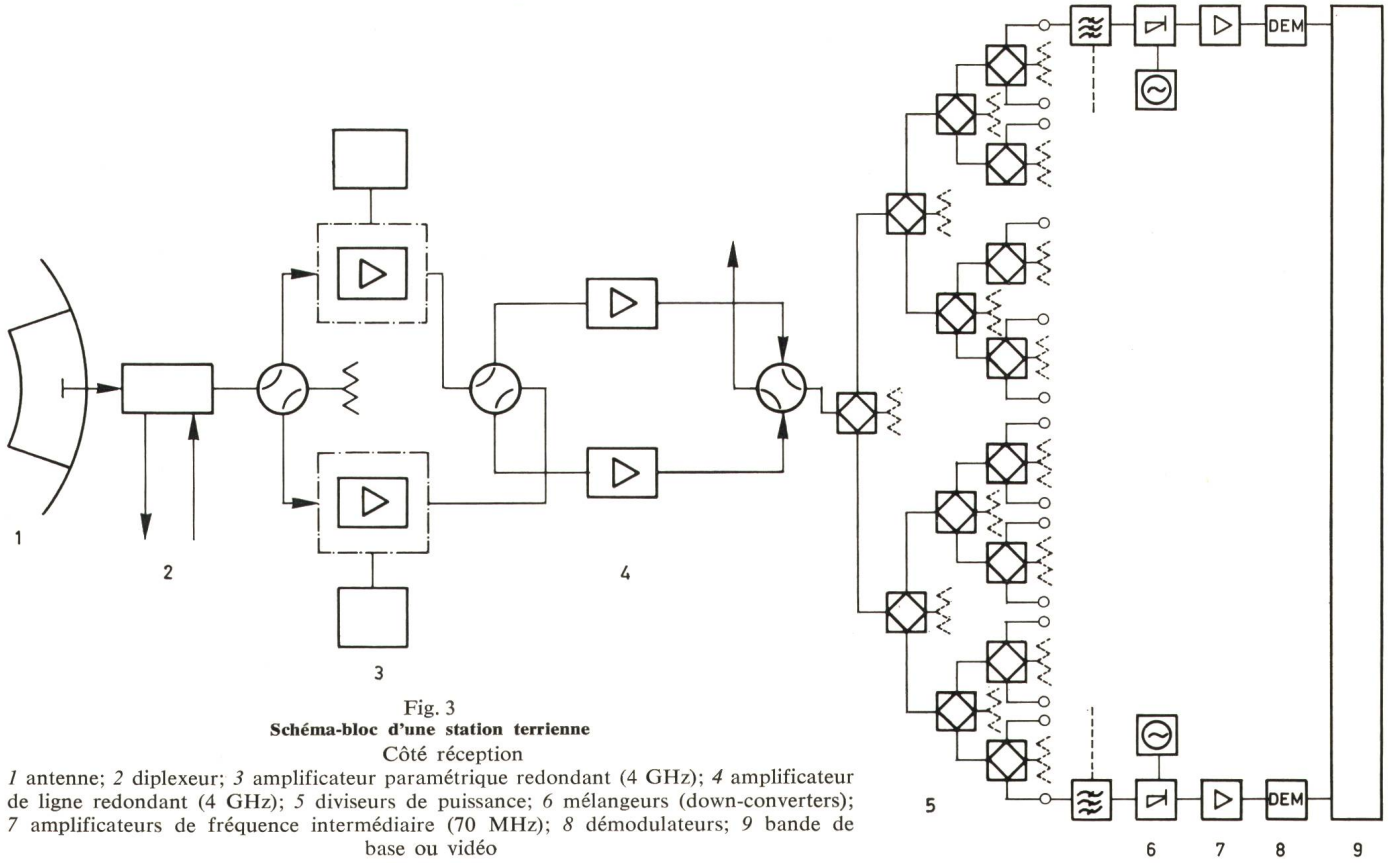


Fig. 3
Schéma-bloc d'une station terrienne
Côté réception
1 antenne; *2* diplexeur; *3* amplificateur paramétrique redondant (4 GHz); *4* amplificateur de ligne redondant (4 GHz); *5* diviseurs de puissance; *6* mélangeurs (down-converters); *7* amplificateurs de fréquence intermédiaire (70 MHz); *8* démodulateurs; *9* bande de base ou vidéo

Pour avoir accès aux satellites, les stations terriennes doivent satisfaire à des spécifications techniques minimales de l'INTELSAT. Une des spécifications les plus sévères est le facteur de mérite G/T du système de réception.

Ces problèmes techniques sont en général résolus par les fabricants de stations terriennes. En revanche la solution des problèmes en rapport avec le choix du site incombe à ceux qui sont responsables de l'implantation d'une station terrienne, soit en général les organisations nationales de télécommunications.

Le choix d'un site dépend essentiellement des facteurs suivants:

1. Accès aux satellites

Il convient de définir les orbites des satellites avec lesquels la station terrienne aura à prendre liaison. Dans l'hypothèse d'une station terrienne qui devrait pouvoir travailler avec des satellites sur toutes les orbites possibles, l'horizon devrait être dégagé pour tous les azimuts en dessus de 3 à 4^0 d'angle d'élévation. On verra plus tard qu'on peut alléger cette contrainte et déterminer le dégagement de l'horizon d'un nombre limité d'orbites sans pour autant restreindre d'une manière inacceptable les possibilités de liaisons d'une station terrienne.

2. Brouillages mutuels entre les services de Terre et la station terrienne

Les besoins en fréquences sont aujourd'hui tels qu'il n'est pas possible d'allouer des fréquences exclusives à chaque service. Par conséquent des bandes de fréquences de plus en plus nombreuses sont partagées entre les services de Terre et les services spatiaux, par exemple entre les liaisons par faisceaux hertziens et les télécommunications par satellites. D'autre part les émissions harmoniques ou non essentielles d'émetteurs fixes ou mobiles travaillant dans d'autres bandes de fréquences peuvent également perturber la réception des signaux extrêmement faibles en provenance des satellites. Il convient donc de s'assurer qu'aucune station radioélectrique qui pourrait perturber la station terrienne n'existe ou ne soit prévue dans la région.

La station terrienne sera d'autre part située à une distance suffisante des sources de bruits industriels, des routes à grand trafic automobile et des voies de chemins de fer électriques. Le problème des brouillages est extrêmement important dans les pays industrialisés et à forte densité de population.

3. Les conditions météorologiques

Les précipitations jouent un grand rôle. Les fortes précipitations provoquent un accroissement notable de l'affaiblissement des ondes de fréquence élevée et une augmentation sensible de la température de bruit du ciel. En soi la hauteur annuelle des précipitations ne présente pas un grand intérêt, par contre il est important de connaître la distribution dans le temps des fortes précipitations ainsi que leur distribution dans la partie de l'espace qui sera traversée par le faisceau principal. Ces valeurs sont malheureusement en général mal connues.

La neige et la glace qui s'amasseraient sur l'antenne pourraient provoquer sous certaines conditions des contraintes allant jusqu'à la déformation permanente. Même une accumulation moins importante de neige ou de glace peut causer une dégradation inacceptable des propriétés radioélectriques de l'antenne. En Suisse une installation de dégivrage est indispensable. A cet effet, on compte des puissances de chauffage de 400 à 1000 kW.

Une analyse statistique détaillée des vitesses et des directions du vent est également nécessaire. Elle portera sur la répartition dans le temps et dans l'espace. En position d'arrimage l'antenne doit survivre au vent le plus violent pouvant souffler pendant sa durée de vie. L'antenne devra fonctionner parfaitement jusqu'à une vitesse du vent correspondant à celle dépassée seulement pendant, par exemple, 0,005 à 0,01 % du temps, après quoi elle sera amenée en position d'arrimage ou de survie.

4. Conditions géologiques

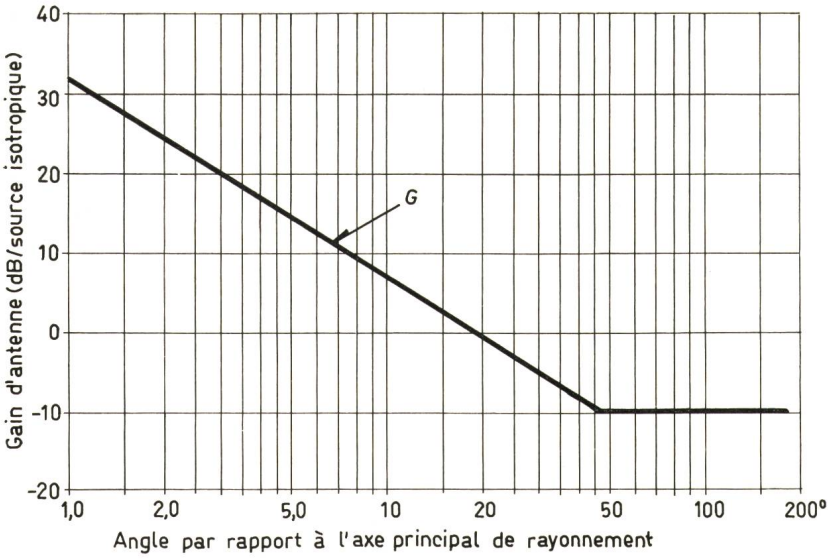
Bien qu'un terrain ferme et stable soit préférable, on a construit des stations terriennes dans les conditions les plus diverses, les unes ancrées sur de la roche et l'une flottant plus ou moins sur une nappe d'eau souterraine. D'une manière générale des conditions géologiques défavorables ne sont pas a priori déterminantes pour le rejet d'un site, mais elles se répercutent fortement sur le coût de la station. Lors du choix d'un emplacement une étude approfondie du terrain s'impose. On prendra en considération la nature du sol, sa pente, sa surface ainsi que les possibilités d'affaissement, de glissement et d'inondation.

On évitera bien sûr les endroits où des mouvements sismiques importants sont probables.

5. Les conditions locales

Pour l'appréciation d'un site il est en outre indispensable de déterminer les possibilités d'implantation d'un nombre déterminé

Fig. 4
Gain d'une antenne de station terrienne
ϕ = 30 m, f = 4 GHz
Courbe enveloppe théorique
$G = 32–25 \log \varphi°$



d'antennes dans le terrain disponible. On choisira de préférence un terrain relativement plat. Il ne faut pas oublier les facteurs logistiques tels que voies d'accès, liaisons au réseau des télécommunications, lignes de transport de l'énergie électrique, etc. Les antennes devront être disposées de manière à éviter que des personnes ou des matières inflammables ou explosives ne soient soumises à des rayonnements excessifs. Il est par exemple prudent d'interdire l'accès des zones dans lesquelles la densité de rayonnement dépasse 100 W/m². En outre, le lieu choisi devrait permettre une vie décente au personnel. Il faut penser particulièrement aux problèmes du logement, des écoles et des possibilités d'intégration du personnel et des familles au milieu ambiant.

Et finalement, il ne faut pas oublier les problèmes que peuvent soulever les plans d'aménagement du territoire, les règlements de construction, la protection des sites et de la nature.

Pour en revenir aux *problèmes de brouillages,* il faut, pour les résoudre, faire intervenir les équations de transmission et étudier les divers modes de propagation.

La puissance reçue par un récepteur est donnée par la formule générale suivante:

$$P_r = \underbrace{P_e}_{\text{Puissance émise}} + \underbrace{G_e}_{\text{Gain à l'émission}} + \underbrace{G_r}_{\text{Gain à la réception}} - \underbrace{L}_{\text{Affaiblissement de transmission}}$$

Pour une porteuse de 132 voies reçue par la station terrienne, en introduisant pour P_r, la valeur maximale admissible du signal brouilleur dans une voie téléphonique recommandée par les avis du CCIR ainsi qu'un facteur de réduction du brouillage dû au démodulateur, on obtient pour les affaiblissements minimums admissibles pendant 20 % et 0,01 % du temps entre une station de faisceaux hertziens perturbatrice et une station terrienne:

$$L\,\text{min}\quad (20\,\%\,t) = P_e + G_e + G_r + 159{,}5\ \text{dB}$$
$$L\,\text{min}\,(0{,}01\,\%\,t) = P_e + G_e + G_r + 136{,}5\ \text{dB}$$

Faisceau hertzien → station terrienne (4 GHz)

P_e représente ici la puissance totale d'émission, la modulation du faisceau hertzien pouvant être très faible et par conséquent la densité d'énergie très grande. Pour la perturbation en sens contraire, on obtient les affaiblissements minimums entre une station terrienne perturbatrice et une station de faisceau hertzien:

$$L\,\text{min}\quad (20\,\%\,t) = P_e + G_e + G_r + 151\ \text{dB}$$
$$L\,\text{min}\,(0{,}005\,\%\,t) = P_e + G_e + G_r + 131\ \text{dB}$$

Station terrienne → faisceau hertzien (6 GHz)

L'excursion de fréquence de la station terrienne étant très grande et la densité spectrale maintenue constante par un dispositif de dispersion de l'énergie, P_e représente ici la puissance par 4 kHz de la station terrienne. Les gains à l'émission G_e ou à la réception G_r sont une fonction de l'angle entre l'axe de rayonnement du lobe principal de l'antenne et la direction dans laquelle ces gains sont considérés. La fig. 4 indique l'allure de la variation de ceux-ci en fonction de cet angle pour une antenne de station terrienne et la fig. 5 pour une antenne d'un faisceau hertzien.

La direction d'émission d'un faisceau hertzien est en général fixe dans le temps. En revanche, lors de la recherche d'un emplacement pour une station terrienne, il faut considérer que cette dernière peut être appelée à travailler avec différents satellites et que, dans l'avenir, d'autres antennes seront construites à proximité de la première. Dans l'état actuel du développement des télécommunications par satellite, il faut que la station terrienne puisse entrer en liaison avec n'importe quel satellite situé sur l'orbite géostationnaire. Du fait de cet angle d'émission variable et en cas de

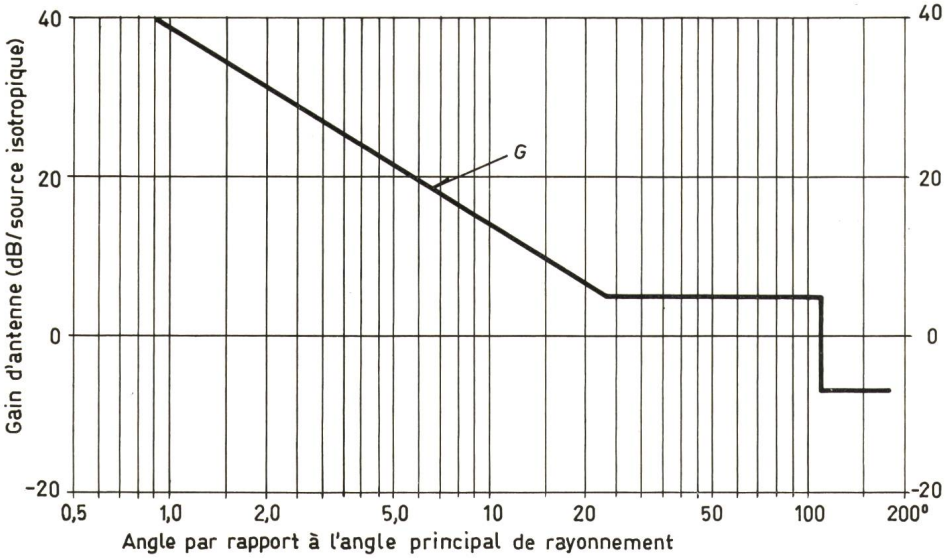
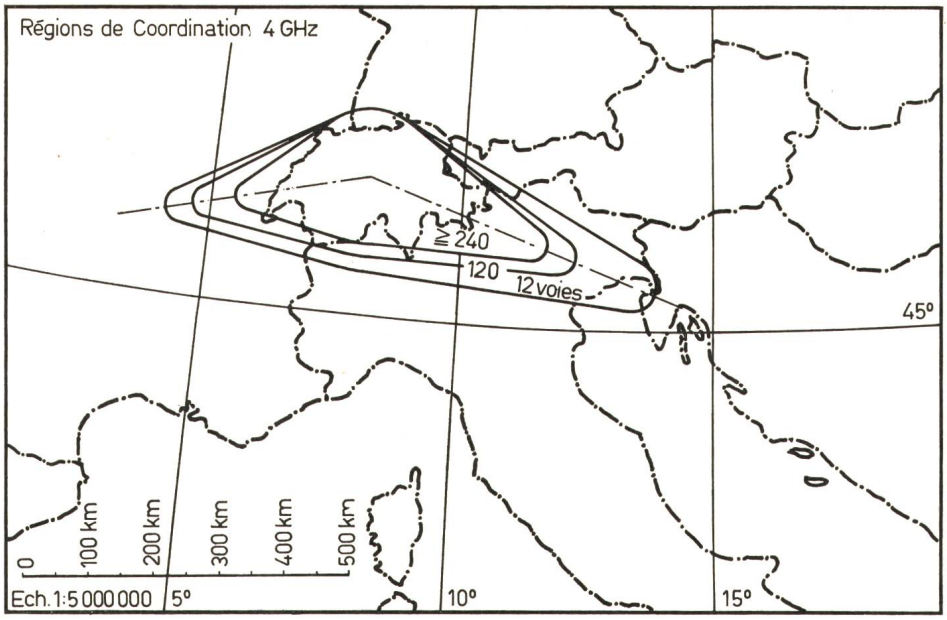


Fig. 5
Gain d'une antenne de faisceau hertzien
ϕ = 40 m, f = 4 GHz
Courbe enveloppe théorique
$G = 39–25 \log \varphi°$

Fig. 6
Distances de coordination autour d'une station terrienne



visibilité directe entre la station terrienne et la station de faisceaux hertziens la distance entre ces deux stations devrait atteindre selon les circonstances jusqu'à plusieurs centaines de km pour que les brouillages soient réduits à un niveau acceptable. La fig. 6 représente les régions de coordination autour d'un point déterminé, c'est-à-dire que tout émetteur situé à l'intérieur de ces limites est susceptible de causer des brouillages à la station terrienne dans les cas les plus défavorables. On voit pourquoi il a été impossible de trouver un emplacement dans le Plateau suisse, les risques d'interférence étant trop grands avec notre réseau de faisceaux hertziens ou avec les réseaux étrangers. Pour obtenir une atténuation de propagation plus grande avec les environs, il a fallu rechercher un site dans une région entourée de montagnes. Cependant, pour que l'orbite géostationnaire soit encore visible dans sa plus grande partie, l'horizon doit être dégagé aux environs des azimuts 105° et 255° (fig. 7).

En ce qui concerne la Suisse, on est donc amené à rechercher un emplacement sur le versant nord d'une vallée dirigée d'est en ouest.

Si le calcul de l'affaiblissement de propagation est très simple en cas de visibilité directe, il devient plus complexe si l'on a à faire à des conditions de *propagations indirectes* dont les principaux mécanismes de propagation sont la diffraction, la diffusion vers l'avant et la diffusion isotropique (fig. 8).

La propagation par diffraction obéit à des lois analogues à celles de l'optique pour le moins quand on a à faire à une arrête tranchante.

La diffusion vers l'avant résulte d'un élargissement du faisceau principal dû aux irrégularités de la troposphère. La diffusion isotropique provient de réflexions sur les gouttes de pluie, les gouttelettes de brouillard ou les flocons de neige. Elle n'intervient de façon appréciable que pendant de faibles pourcentages du temps car la probabilité de la cause est faible et l'émission perturbatrice isotropique est non cohérente.

Pour calculer l'affaiblissement de transmission pour les modes de propagations indirects on commence par déterminer les atténuations de propagation respectivement par diffraction et par diffusion vers l'avant pour 50 % du temps. Si ces deux atténuations diffèrent de plus de 15 dB, l'atténuation la plus faible est considérée comme atténuation de base sur le trajet. Si elles diffèrent de moins de 15 dB, l'atténuation de base résulte d'une combinaison de deux atténuations. Puis on détermine l'atténuation pour les autres pourcentages du temps.

Pour la diffusion vers l'avant, l'affaiblissement est essentiellement une fonction de l'angle Θ entre les deux rayons issus des deux antennes et de la distance entre ces dernières (fig. 9 et 10).

Pour la *diffraction,* l'affaiblissement est tiré de *façon empirique* de fonctions des caractéristiques géométriques du trajet et de l'obstacle (fig. 11).

Les fonctions $A\ (O, \varrho)$ et $v\ (v \cdot \varrho)$ ont été tirées de résultats de mesures (fig. 12 et 13).

Si le trajet comporte deux obstacles, on calcule l'atténuation due au premier obstacle en considérant le trajet émetteur — premier obstacle — deuxième obstacle et l'atténuation due au deuxième obstacle en considérant le trajet premier obstacle, deuxième obstacle — récepteur. L'atténuation de base est alors la somme de l'atténuation en propagation directe et des atténuations supplémentaires dues aux obstacles.

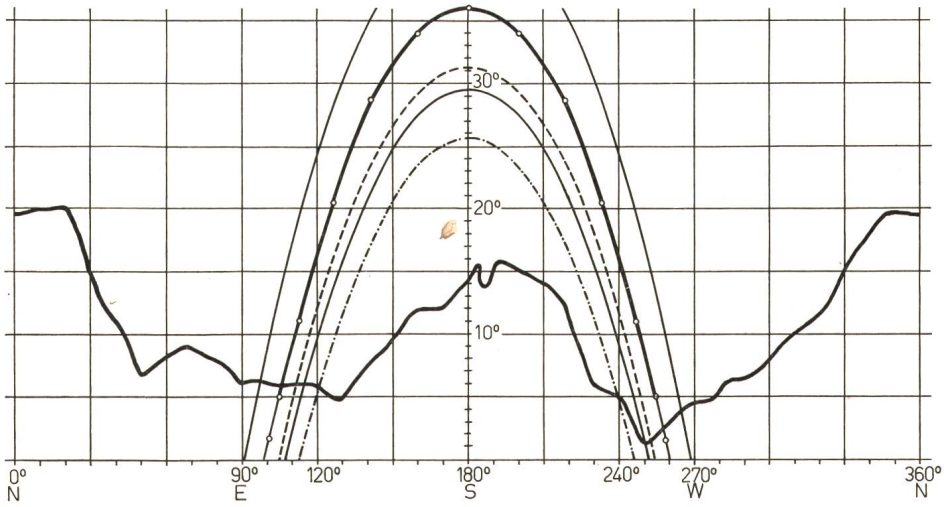


Fig. 7
Horizon et orbites de satellites
——— orbite géostationnaire; ——— positions extrêmes d'un satellite synchrone (24 h) sur une orbite inclinée de 5°/équateur; – – – orbite 12 h; —·—·— positions extrêmes d'un satellite 12 h sur une orbite inclinée de 5°/équateur

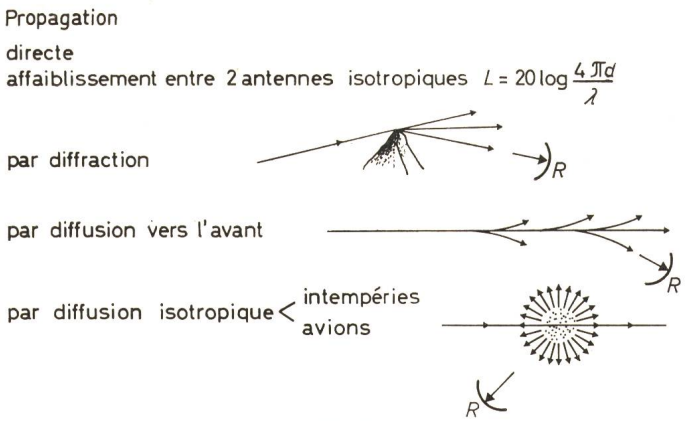


Fig. 8
Modes de propagation
R réception

Les calculs que l'on vient de voir sont valables pour 4 GHz. Pour 6 GHz, il faut tenir compte d'un facteur de correction.

De façon générale, on peut dire que pour les trajets courts et avec un seul obstacle, c'est souvent la propagation par diffraction que prédomine, alors que pour les trajets longs et avec plusieurs obstacles, c'est plutôt la propagation par diffusion qui provoque l'atténuation la plus faible.

Pour les cas intermédiaires où les atténuations par les deux modes diffèrent donc de moins de 15 dB on obtient l'atténuation de base par la méthode suivante (fig. 14).

La différence entre l'atténuation par diffraction et l'atténuation par diffusion est reportée en abscisse. La courbe nous donne en ordonnée la valeur R (0,5) qu'il faut soustraire à L_{bd}, l'atténuation par diffraction pour obtenir l'atténuation de base résultante.

Cette atténuation de base, qui est donc valable pour 50 % du temps, bien qu'obtenue par des moyens empiriques, découle de façon précise des données géométriques du trajet entre la source perturbatrice et le récepteur.

Les choses se compliquent au moment où l'on veut obtenir les atténuations pour d'autres pourcentages du temps. En effet, on sait que la variabilité de la propagation dépend de la hauteur du faisceau au-dessus du sol. Si le sol est relativement lisse entre l'émetteur et le récepteur, le cas est clair, on peut caractériser le trajet et par conséquent la variabilité de la propagation par une fonction des hauteurs des extrémités de ce trajet. C'est en fait la méthode qui a été employée, et même la seule, mais malheureusement il est évident qu'elle devient insuffisante quand le sol sous le faisceau présente une certaine rugosité (montagnes). Et bien entendu, dans les cas de propagation indirecte, le sol n'est jamais lisse entre les extrémités du parcours de l'onde. Pour une propagation par diffusion vers l'avant, où tout le parcours doit être considéré en bloc, on en est réduit à apprécier subjectivement les hauteurs de l'émetteur et du récepteur en dessus d'une sorte de niveau moyen du sol. Dans les cas de propagation par diffraction la méthode est peut-être un peu moins imprécise parce qu'on détermine les variations de l'atténuation pour chaque portion droite du trajet avant de les combiner entre elles.

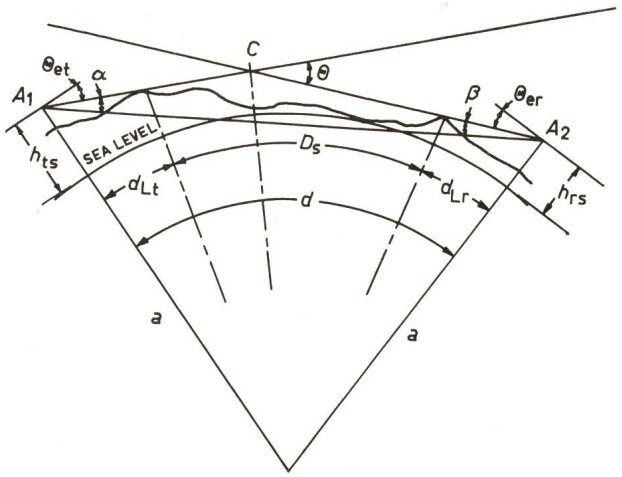


Fig. 9
Géométrie de la propagation par diffusion
A_1 émission; A_2 réception; a rayon de la terre; C intersection des faisceaux; D_s distance du premier au dernier obstacle; d distance émission-réception; d_{Lr} distance du dernier obstacle à la réception; d_{Lt} distance de l'émission au premier obstacle; h_{rs} altitude de la réception; h_{ts} altitude de l'émission; Θ angle de diffusion

Pour déterminer la variation d'une atténuation on commence par calculer (ou apprécier!) la somme des *racines des hauteurs* des extrémités du parcours. En fonction de cette valeur et de la longueur réelle du parcours on détermine une *longueur effective* de ce parcours (fig. 15).

Puis, en fonction de cette longueur effective et du pourcentage du temps désiré, on peut trouver la variation correspondante de l'atténuation considérée (fig. 16).

Les courbes, toutes tirées de résultats de mesures diffèrent selon les genres de climats. Le fait que l'onde parcoure un trajet en dessus de la terre ou de la mer influence également les résultats.

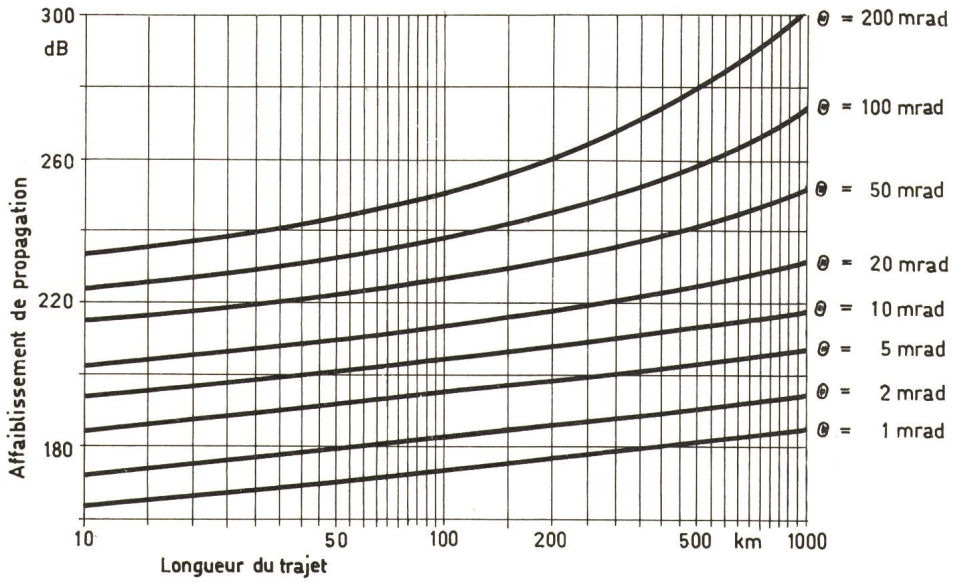


Fig. 10
Affaiblissement de propagation par diffusion troposphérique
Paramètre: angle de diffusion
(mrad = miliradian)

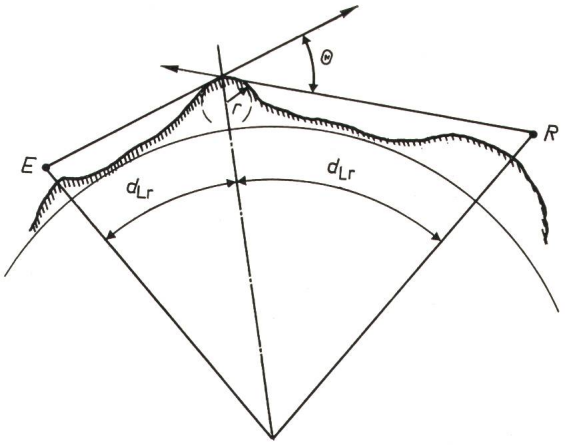


Fig. 11
Géométrie de la propagation par diffraction
E émission; *R* réception

$$v = 164\,\Theta \sqrt{\frac{d_{Lr} \cdot d_{Lr}}{d_{Lr} + d_{Lr}}} \qquad \varrho = 26{,}8\,\frac{\Theta}{v}\,r \cdot \tfrac{1}{3}$$

$$L_d = 13{,}0 + \log v + A\,(O, \varrho) + U\,(v \cdot \varrho)$$

$$L_{bd} = 104{,}6 + 20 \log d + L_d$$

La valeur de l'atténuation pour un pourcentage déterminé du temps est obtenue simplement en soustrayant la variation obtenue à la valeur de l'atténuation pendant 50 % du temps. Si les affaiblissements de transmissions sont trop faibles pour que les brouillages soient évités entre le service spatial et les services de terre, on peut avoir recours à une coordination de fréquences. En Suisse où ces différents services dépendent dans leur grande majorité de l'entreprise des PTT, une telle coordination ne présente pas trop de difficultés. En revanche, une coordination fréquence par fréquence avec des pays étrangers suppose de difficiles négociations: le choix du site devrait contribuer à l'éviter dans la mesure du possible.

Un autre type de brouillage entre les services spatiaux et les faisceaux hertziens est provoqué par les réflexions sur les avions si celles-ci se produisent à l'intérieur d'un volume constituant l'intersection de deux faisceaux respectivement d'émission et de réception des deux systèmes. Les voies aériennes sont donc à examiner, en particulier aux alentours des aéroports. On se trouve en face d'un phénomène de nature aléatoire au sujet duquel des études sont en cours.

Les harmoniques d'ordres élevés d'émetteurs de radiodiffusion ou de télévision peuvent également créer des brouillages. Pour ces perturbations, seules des mesures peuvent donner des appréciations satisfaisantes. Bien que la technique de mesure de très bas niveaux de puissance soit très difficile, nos laboratoires de recherches ont développé des équipements pouvant mesurer jusqu'à −160 dBW (10^{-16} W) dans une bande de fréquence de 5 MHz environ. Ces équipements de mesure seront indispensables pour contrôler les résultats des calculs de propagation dont on a parlé précédemment et pour faire des mesures dans les cas où aucune méthode de calcul n'existe, par exemple, pour les harmoniques d'émetteurs ou les réflexions sur les montagnes.

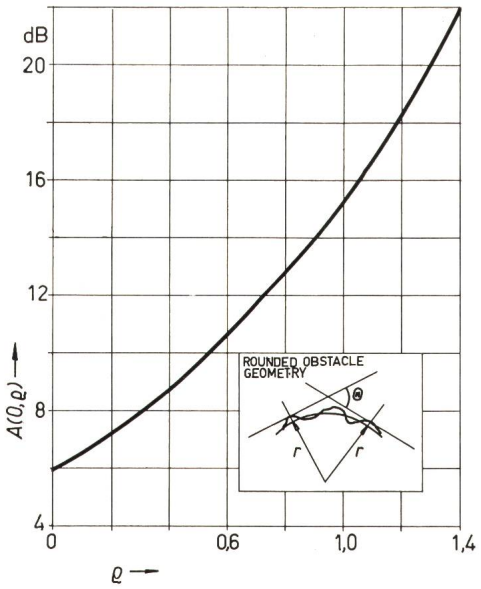


Fig. 12
La fonction *A* (*0*, *ϱ*)
Désignations voir fig. 9
abscisse: courbure normalisée de l'obstacle (*ϱ*); *ordonnée:* *A* (*0*, *ϱ*)

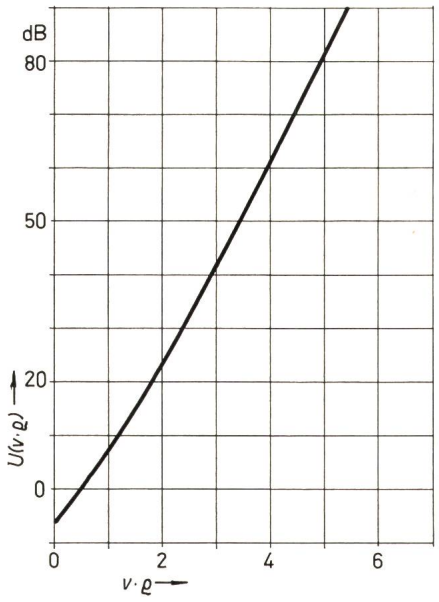


Fig. 13
La fonction *U* (*v* · *ϱ*)

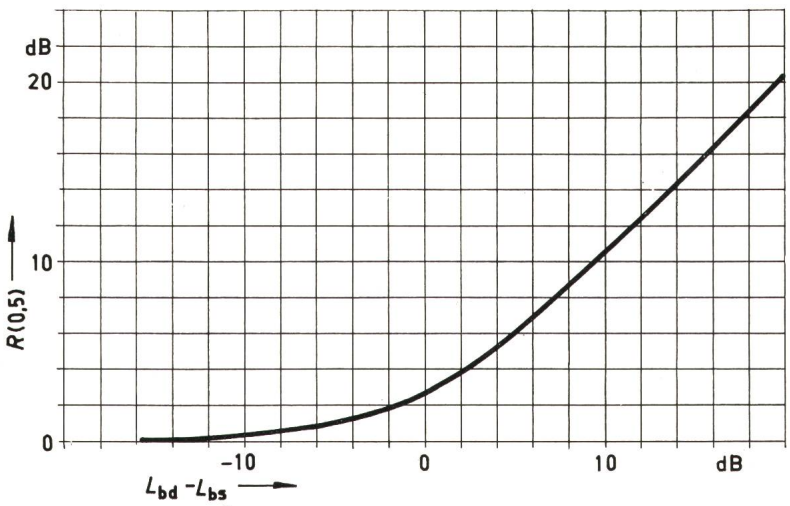
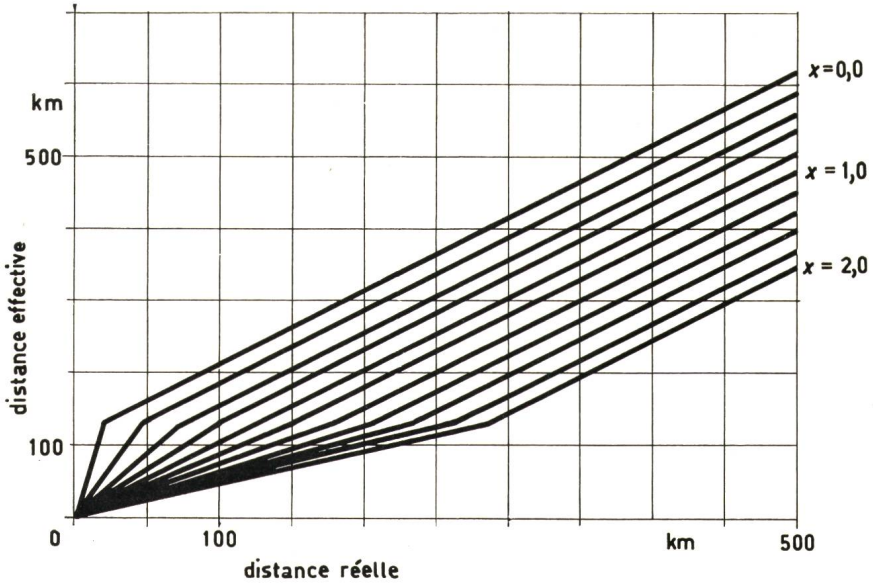


Fig. 14
Moyenne *R* (0,5) **de la distribution cumulative de l'amplitude résultante d'un champ constant diffracté et d'un champ diffusé à distribution de Rayleigh**

Fig. 15
Distance effective



Pour conclure, quelques mots à propos de la future station terrienne suisse:

Les services spécialisés de la Division de la radio et de la télévision et de la Division des essais et recherches examinent actuellement une dizaine de projets préliminaires en provenance de firmes du monde entier. Deux ou éventuellement trois de ces firmes seront invitées à nous soumettre un projet définitif vers le début de l'été. La mise en service est prévue pour 1974.

Quant aux emplacements, les études sont encore en cours.

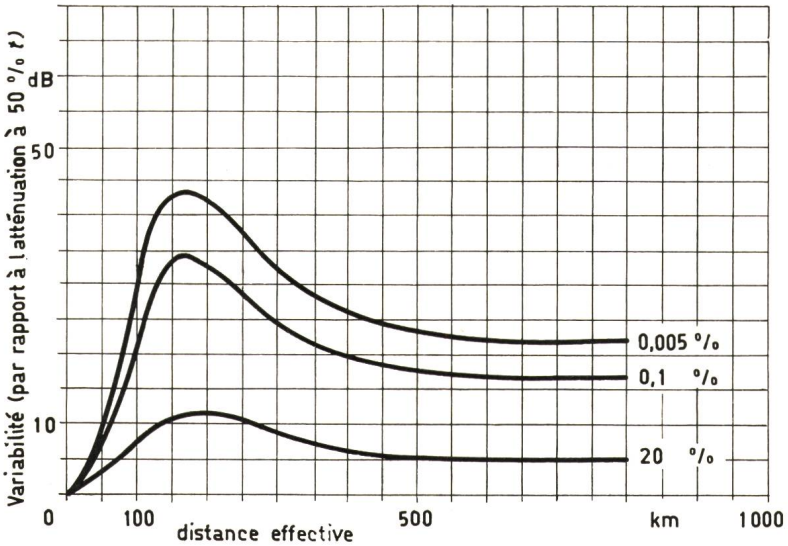


Fig. 16
Variabilité des atténuations pour un climat continental tempéré

Bibliographie

[1] *P. L. Rice, A. L. Longley, K. A. Norton* and *A. P. Barsis:* Transmission loss predictions for tropospheric communication circuits. Vol. I. NBS Technical Note No. 101. Boulder/Colorado, National Bureau of Standards, and Washington, Superintendant of Documents, US Government Printing Office, 1967.

[2] *CCIR:* Documents de la XIe assemblée plénière, Oslo, 1966. Vol. IV: Faisceaux hertziens, systèmes spatiaux, radioastronomie. Partie 2: Systèmes spatiaux, radioastronomie. Genève, Union Internationale des Télécommunications, 1967.

Adresse de l'auteur:
Bernard Delaloye, Directeur, Chef de la Division Radio et Télévision, Direction Générale des PTT, Schwanengasse 10, 3000 Berne.

STEPHAN GRAY

ca. 1670—1736

Vom Privatleben des englischen Denkers Stephan Gray, der von 1696 bis 1706 in Canterbury und von 1720 bis 1736 in London wohnte und dort am 25. Februar 1736 starb, weiss man fast nichts. Es existiert auch kein Bild von ihm. Die Mutmassungen über sein Geburtsdatum variieren zwischen 1666 und 1694; wahrscheinlich liegt es um 1670. Ein Zeitgenosse meinte, er habe einen recht eigenartigen Charakter gehabt und sei keineswegs angenehm gewesen.

In seiner «Geschichte der Elektrizität» behauptete später der englische Naturforscher Priestley, dass wohl kein anderer Forscher sich so von ganzem Herzen der Arbeit hingegeben habe. Leidenschaftlich besessen, Neues zu entdecken, setzte er sich hie und da der Gefahr der Selbsttäuschung aus. Aber seine Forschungen führten für die Nachwelt zu wertvollen Erkenntnissen.

Er teilte die Materialien in elektrische und nicht-elektrische ein, je nachdem sie sich beim Reiben verhielten. Dann entdeckte er, dass nicht-elektrische Stoffe bei Berührung mit geriebenen den elektrischen Zustand weitergeben konnten. Daraus folgerte er die Unterscheidung in Leiter und Nichtleiter (Isolatoren), von der der Franzose Du Fay ersten Gebrauch machte. Gray sah im Dunkeln das zarte Leuchten von Seide und Leinen sowie anderer Stoffe. Brachte er im Dunkeln einen geriebenen, leuchtenden Glasstab mit anderen Gegenständen in Berührung, so übertrug sich das Leuchten auch auf diese. Dadurch kam er auf den Gedanken, Elektrizität könnte auch fortgeleitet werden. Mit Glasstäben, Harzkuchen, Elfenbeinkugeln, Flaumfedern, seinen Fingern, trockenen und nassen Packschnüren, Seidenfäden, Eisen- und Kupferdrähten experimentierend fand er in unermüdlicher, sich bis aufs Totenbett erstreckender Arbeit:

— die elektrostatische Fernwirkung bis auf 25 cm Entfernung;
— dass ein kleiner, an einem Faden aufgehängter, geladener Körper einen grössern gleichnamig geladenen Körper in kreisförmigen oder elliptischen Bahnen umkreist;
— dass die elektrostatische Anziehung (oder Abstossung) nicht von der Masse abhängt;
— dass die Ladung auf der Oberfläche sitzt und von deren Grösse und Form abhängig ist;
— dass bei Aufhängung einer nassen Packschnur, eines Drahtes aus Eisen oder Kupfer Elektrizität bis zu 765 Fuss (≈ 220 m) weit fortgeleitet werden konnte;
— dass Sprühen sich wie der Blitz verhält, nur viel schwächer ist.

Um 1729/30 arbeitete Gray mit Wheeler zusammen; die Mehrzahl seiner Forschungen betrieb er indessen allein. Von 1731 bis 1736 beschrieb er in 8 Artikeln der «Philosophischen Berichte» seine Entdeckungen. 1732 wurde er zum Mitglied der auf 55 Köpfe begrenzten «Royal Society» gewählt.

H. Wüger