

SECTION 10/11A: TERMINOLOGIE

Cette Section ne comporte pas de Rapports.

SECTION 10/11B: SYSTEMES

RAPPORT 215-7

**SYSTÈMES POUR LE SERVICE DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE
(RADIODIFFUSION SONORE ET TÉLÉVISION)**

(Question 2/10 et 11 et Programme d'études 2A/10 et 11)

(1963-1966-1970-1974-1978-1982-1986-1990)

1. Introduction

Le présent Rapport décrit les principaux éléments d'un système de radiodiffusion par satellite et les relations existant entre ces éléments. Il a pour objet d'aider les ingénieurs chargés de la conception des systèmes, du choix des fréquences, de la construction des engins spatiaux et des stations terriennes à choisir les caractéristiques appropriées. Ces choix, comme dans tous les autres systèmes, sont limités par diverses contraintes: limites imposées par l'état actuel de la technique, accords internationaux et, surtout, considérations d'ordre économique.

D'autres renseignements relatifs aux caractéristiques des systèmes du service de radiodiffusion par satellite sont donnés dans les Recommandations et les Rapports suivants:

- Terminologie: Recommandation 566
- Système de radiodiffusion télévisuelle
Recommandation 650, Rapports 1073 et 1074
- Systèmes de radiodiffusion sonore
Rapport 955
- Système de radiodiffusion de télévision à haute définition
Rapport 1075
- Liaisons de connexion
Rapport 952
- Modulation, multiplexage et codage
Recommandation 651, Rapports 632, 953 et 954
- Antenne d'émission et de réception
Recommandation 652, Rapport 810
- Equipement de réception au sol
Rapport 473
- Techniques par satellite
Rapport 808
- Partage des fréquences entre services
Rapport 634

2. Principaux paramètres du système

Il existe différentes façons d'envisager le choix des paramètres du système. On trouvera dans la présente section une de ces méthodes.

Dans un premier temps, il convient de décider les facteurs définissant le système: qualité désirée pour plusieurs pourcentages de temps, nombre des voies (y compris le nombre des voies pour les programmes sonores associés) et zone de couverture sur la surface de la Terre. La question de la qualité de réception est traitée en détail dans le § 3 ci-après.



2.1 Facteurs influant sur le choix de l'orbite

2.1.1 Généralités

Parmi les facteurs qu'il faut prendre en considération dans le choix des orbites préférées pour les satellites de radiodiffusion, il y a la région à desservir, le nombre d'heures d'émission par jour et les caractéristiques des antennes.

L'orbite d'un satellite de radiodiffusion doit être telle que les régions voulues du globe (zone de service de radiodiffusion) soient desservies pendant les périodes où l'on désire assurer les émissions de radiodiffusion ou de télévision, celles-ci pouvant varier de quelques heures à 24 heures par jour. Quand il s'agit d'une desserte non continue, il est souhaitable que les intervalles pendant lesquels la réception peut avoir lieu se répètent chaque jour à la même heure (locale). Indépendamment de la durée de la période d'émission, il est souhaitable que l'orbite soit telle que la station de réception n'ait pas besoin d'être équipée d'un système d'antenne de poursuite.

2.1.2 Orbite des satellites géostationnaires (OSG)

L'orbite des satellites géostationnaires (altitude 35 786 km au-dessus de l'équateur) a été choisie pour la plupart des systèmes de radiodiffusion par satellites existants et prévus. Elle permet d'assurer un service de radiodiffusion permanent sur des zones aussi petites que des pays ou aussi grandes que des continents jusqu'à un maximum d'environ un tiers de la surface de la Terre. Les limitations imposées par l'angle minimal de site utilisable peuvent être déterminées à l'aide de la Fig. 1 du Rapport 206. Un satellite géostationnaire permet également d'employer si nécessaire des antennes de réception fixes de gain et, par suite, de directivité très élevés.

2.1.3 Orbites inclinés

Un satellite décrivant une orbite équatoriale circulaire sous-synchrone peut couvrir une région géographique donnée, à la même heure locale chaque jour. Le nombre d'heures de diffusion ininterrompue que peut assurer un tel satellite dans une région donnée de la surface terrestre est fonction de son altitude et de la latitude du point de réception. L'Annexe I (voir le Tableau XI) indique des durées de visibilité types.

Du fait qu'un satellite sur orbite circulaire sous-synchrone est à une altitude plus faible qu'un satellite géostationnaire, il permet de disposer, pour une puissance isotrope rayonnée équivalente donnée de l'émetteur, d'un signal plus intense à la surface de la Terre. De tels satellites présentent donc un avantage lorsque le gain maximal des antennes d'émission est limité par des raisons d'encombrement et que les antennes de réception peuvent être à peu près omnidirectionnelles.

2.1.4 Choix de la position sur l'OSG

Les facteurs suivants doivent être pris en considération pour choisir un emplacement sur l'OSG:

- l'angle de site de l'antenne de réception dans la zone de service de radiodiffusion;
- l'effet de l'éclipse due à la lune (en général, on choisit comme position du satellite de radiodiffusion sur l'orbite 20 à 40° à l'ouest, à partir du centre de la zone de service de radiodiffusion, afin d'éviter l'obscurcissement par l'éclipse pendant les heures de service).

2.2 Fréquence d'exploitation

2.2.1 Considérations générales

Pour un système de radiodiffusion par satellite, le choix d'une bande de fréquences n'est pas seulement limité aux attributions de fréquences que fait à ce service le Règlement des radiocommunications, mais encore par d'autres éléments, tels que l'utilisation actuelle ou prévue de certaines fréquences partagées avec d'autres services dans la zone à desservir ou dans des zones où peuvent se produire des brouillages du fait du système envisagé (exemple: voir le Rapport 634).

L'affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère et à la pluie, et la dépolarisation sont les principaux effets dont il faut tenir compte en matière de propagation.

2.2.2.1 Affaiblissement

L'affaiblissement atmosphérique est surtout dû à la pluie et aux nuages. Il varie avec la fréquence, l'angle de site et le climat local. Il peut être extrapolé avec précision à partir d'un modèle d'affaiblissement dû à la pluie.

Les mesures qui ont été faites en Europe*, au Japon, en Malaisie, en Australie, aux Etats-Unis et en France sont décrites dans l'Annexe II. Les valeurs d'affaiblissement non dépassées pendant 99% ou 99,9% du mois le plus défavorable sont fournies dans le Tableau I.

TABLEAU I

Affaiblissement observé pendant le mois le plus défavorable en différents lieux et à des fréquences comprises entre 11,6 et 30 GHz

Lieu des mesures	Fréquence (GHz)	Angle de site (degrés)	Affaiblissement (dB) non dépassé pendant une partie donnée du mois le plus défavorable	
			99%	99,9%
Europe*	11,7	20 à 45	1,1	3,3
France (Paris)	11,6 - 11,8		1,8	4,0
France (Bretagne)	11,6 - 11,8		1,5	3,4
Japon (12 endroits)	12	30 à 60	2,4	6,9
Malaisie	12	Corrigé à 45	1,7	8,7
Darwin, Australie	12,75	50	6	16
Sydney, Australie	12,75	53	1	20
Maryland, Etats-Unis	11,7	29,5	< 1	5,4
Caroline du Nord, Etats-Unis	11,7	36	1	1,8
" "	20	36	1,5	11,0
" "	30	36	2,4	19,5

* Les mesures ont été faites par ESA dans certains pays de l'Ouest de l'Europe.

Le modèle d'affaiblissement dû à la pluie fondé sur les statistiques d'évanouissement dû à la pluie correspondant à 1% du mois le plus défavorable a été appliqué pour la planification des liaisons descendantes et des liaisons de connexion pour le service de radiodiffusion par satellite à 12 GHz décrit dans les Appendices 30 (ORB-85) et 30A du Règlement des radiocommunications (voir le Rapport 723 qui donne une méthode d'estimation des statistiques du mois le plus défavorable à partir des statistiques annuelles).

* Les mesures ont été faites par ESA dans certains pays de l'Ouest de l'Europe.

Des renseignements complémentaires figurent dans les Rapports 564 et 565, et on trouvera dans le Rapport 563 la description d'une méthode de calcul de l'affaiblissement par la pluie.

Pour une fréquence quelconque f (GHz) autre que 11,5 GHz, l'affaiblissement atmosphérique A_f peut être calculé approximativement _____ à partir des valeurs obtenues à 11,5 GHz, $A_{11,5}$, à l'aide de la formule suivante qui est valable entre 11,0 et 14,5 GHz:

$$A_f = A_{11,5} [1 + 0,2 (f - 11,5)] \quad \text{dB}$$

Les mesures peuvent être corrigées en ce qui concerne l'angle de site, au moyen de la loi de la cosécante [CCIR, 1978-82a].

Il existe peu de données sur l'affaiblissement dû à la pluie pour les zones hydrométéorologiques tropicales. Il convient de réaliser un plus grand nombre de mesures dans ces régions au-dessus de 11,6 GHz afin de disposer d'un ensemble intéressant de données.

2.2.1.2 Dépolarisation

Outre les effets qu'ils produisent sur l'affaiblissement, les nuages et la pluie peuvent entraîner une dépolarisation du signal. L'analyse statistique des résultats mesurés avec une polarisation circulaire dans la Région 1 semble indiquer que le niveau de la composante dépolarisée (par rapport au niveau de la composante de même polarisation après affaiblissement) peut être exprimé approximativement en fonction de l'affaiblissement causé par l'atmosphère, selon la formule suivante:

Niveau relatif de la composante dépolarisée (pour la polarisation circulaire)

$$\approx - [30 - 20 \log A] \quad \text{dB}$$

où A est l'affaiblissement atmosphérique en décibels.

Les statistiques de mesure effectives ont été analysées dans le Rapport 564, qui donne une équation plus détaillée pour tenir compte de l'influence de la fréquence et de l'angle de site.

Le Rapport 814, l'Annexe 5 de l'Appendice 30(ORB-85) et l'Appendice 30A du Règlement des radiocommunications décrivent plus en détail les effets de la dépolarisation due aux précipitations.

2.2.2 Effets du bruit radioélectrique additionnel

Le bruit radioélectrique additionnel _____ est dû à des sources naturelles et industrielles (lignes d'alimentation, appareils électriques, systèmes d'allumage des véhicules à moteur). La Fig. 1 indique les niveaux types du bruit produit par ces sources et montre que, dans certaines conditions particulières, le bruit additionnel dans la partie inférieure de la bande 10 et dans la plus grande partie de la bande 9 est réduit au minimum. On notera toutefois que si l'on a fait de nombreuses mesures du niveau de bruit impulsif, l'évaluation de ces données est [encore incomplète]. Il faut donc considérer comme provisoires les niveaux de bruit que présente la Figure 1.

Actuellement, on dispose de peu _____ de renseignements sur les aspects subjectifs du bruit impulsif [Pacini et autres, 1971]. On connaît encore insuffisamment _____ les relations entre les bruits industriels et l'angle d'arrivée, la polarisation, la fréquence, la hauteur de l'antenne, etc., pour pouvoir faire une analyse technique correcte des niveaux de bruit aux bornes de l'antenne de réception.

En plus des sources de bruit indiquées sur la Fig. 1, on peut observer une augmentation importante du bruit lorsque le soleil traverse le faisceau de l'antenne, ce qui correspondra à de brèves périodes, si l'on utilise des antennes de réception à faisceau étroit (ouverture inférieure à 5°). Dans le cas de l'orbite des satellites géostationnaires, ces périodes se présentent de jour pendant quelques journées consécutives, au printemps et à l'automne. La température de bruit et l'écart angulaire du disque solaire calme à 12 GHz sont observés à environ 12 000 K et 0,6° d'arc _____, respectivement. Des exemples de brouillage causés par le Soleil à une antenne de petites dimensions sont décrits dans l'Annexe III; ils sont le résultat d'expériences faites avec le satellite expérimental de radiodiffusion du Japon (BSE).

2.3 Marge nécessaire

La marge nécessaire dépend de la fréquence choisie et de la qualité désirée pour plusieurs pourcentages de temps (voir le Rapport 811), ce qui dépend à la fois des statistiques d'affaiblissement applicables à la zone de service de radiodiffusion et des valeurs du rapport porteuse/puissance de bruit correspondant aux objectifs de qualité du signal et aux paramètres de modulation du signal et du récepteur.

Dans le cas de la modulation de fréquence, il est nécessaire de maintenir le rapport porteuse/bruit au-dessus du seuil pendant un pourcentage de temps aussi élevé que possible (généralement 99,9%) et d'obtenir la valeur requise du rapport signal/bruit pendant un pourcentage de temps spécifié (généralement 99%). Ainsi il est indispensable de choisir la marge au-dessus du seuil de telle manière que ces deux conditions soient réalisées simultanément. Cette marge pourrait comprendre l'affaiblissement atmosphérique et d'autres termes non spécifiquement inclus dans le bilan de puissance. Dans la valeur requise de G/T , il faudrait qu'il soit tenu compte des effets atmosphériques sur la température du système

Le Tableau I donne des exemples de marge pour l'affaiblissement dû à l'atmosphère dans la zone de radiodiffusion européenne, une partie des Etats-Unis, en Australie, au Japon et en Malaisie.

Note. - Dans le cas du satellite de radiodiffusion opérationnel japonais BS-2a, les statistiques temporelles obtenues pour des rapports porteuse/bruit de 14 dB et de 10 dB font apparaître que les pourcentages pendant lesquels ces rapports sont dépassés sont respectivement de 99% du temps et de 99,95% du temps, au cours d'une période de 7 mois, y compris juin et juillet qui sont les mois les plus défavorables en ce qui concerne l'affaiblissement par la pluie. Les résultats figurent dans le Tableau II.

TABLEAU II - *Statistiques temporelles du rapport porteuse/bruit à la réception*
Mesures effectuées sur la période du 12 mai au 24 décembre 1984

Rapport porteuse/bruit (C/N) (dB)	14,0	12,0	10,0	8,0
Pourcentage de temps pendant lequel le rapport porteuse/bruit est dépassé (%)	99,0	99,9	99,95	99,98

Fréquence:	11,996 GHz
Antenne de réception:	75 cm de diamètre (gain: 37,6 dB)
Facteur de bruit du récepteur:	3,0 dB
Influence de la liaison de connexion sur le rapport C/N de la liaison descendante:	0,2 dB
Pluviométrie pendant la période considérée:	710 mm
Emplacement des mesures:	Tokyo (Zone hydrométéorologique M)

Le Rapport du GTIM 10-11/3 [CCIR, 1986-90a] souligne la nécessité d'étudier d'autres critères pour définir des marges appropriées pour les signaux de télévision à haute définition (TVHD) qui pourront exiger des rapports porteuse/bruit plus élevés que les signaux de télévision classique et qui pourront se trouver dans des bandes de fréquences dans lesquelles les marges d'affaiblissement sont plus élevées que dans les bandes des 12 GHz.

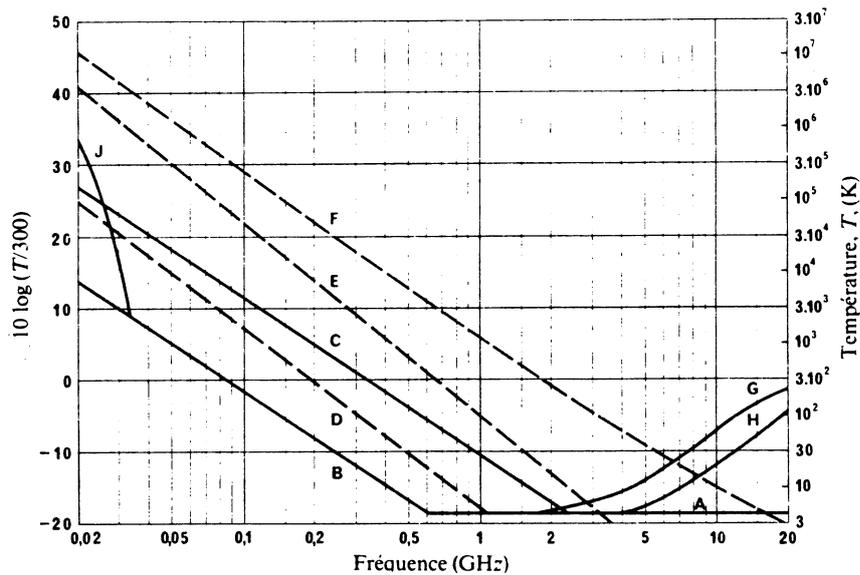


FIGURE 1 – Température de bruit due aux sources de bruits naturels et de bruits industriels

Note. – Ce graphique devrait être étendu jusqu'à 100 GHz et les courbes G et H devraient être tracées en partant des meilleures données disponibles, afin de couvrir les performances prévisibles dans les bandes des 40 et des 80 GHz attribuées au service de radiodiffusion par satellite. On a constaté que la courbe E contredit les indications de la Fig. 1 du Rapport 258 dans le cas de fréquences atteignant 250 MHz. La courbe E et, par conséquent, la courbe F, doivent donc être employées avec prudence. Les administrations et les Commissions d'études appropriées du CCIR sont priées d'étudier la question et de fournir des données.

Courbes A: bruit d'origine cosmique (Rapport 205)

B: valeur minimale du bruit d'origine cosmique (Rapport 205)

C: valeur maximale du bruit d'origine cosmique (Rapport 205)

D: bruits industriels types dans une zone «rurale» (antenne de réception omnidirectionnelle) (Rapport 670, Fig. 3)

E: bruits industriels types dans une zone «urbaine» (antenne de réception omnidirectionnelle) (Rapport 670, Fig. 3)

F: bruit «urbain» calculé pour une antenne directive ayant un angle de site supérieur à 45°. On a admis que le gain sur le bruit était égal à la moitié du gain de l'antenne (dB), ce gain étant de 8 dB à 20 MHz et de 25 dB à 2500 MHz

G: niveau type de bruit dû à la pluie et à l'absorption atmosphérique – 0,1% du temps – latitude de zones tempérées – angle de site de 30°

H: niveau type de bruit dû aux précipitations et à l'absorption atmosphérique – 1% du temps – latitude de zones tempérées – angle de site de 30°

J: bruit atmosphérique pendant la nuit (Rapport 322)

2.4 Modulation et largeur de bande nécessaire

La transmission des signaux radioélectriques par satellite repose normalement sur une méthode de modulation qui suppose un compromis entre puissance et largeur de bande. Jusqu'à présent, les satellites ont généralement été davantage limités en puissance qu'en largeur de bande, de sorte qu'ils utilisaient généralement la modulation de fréquence. La modulation d'amplitude, si elle permet d'employer une largeur de bande nettement plus petite exige une telle puissance qu'elle n'est pas compétitive. La modulation de fréquence présente également l'avantage de donner un signal d'enveloppe constant, ce qui la rend moins vulnérable aux effets des non-linéarités d'amplitude du répéteur.

Le Rapport 632 examine les méthodes de modulation utilisées pour les systèmes à satellites, et procède à une comparaison de la modulation de fréquence avec les techniques de modulation numérique.

2.4.1 Radiodiffusion télévisuelle avec modulation de fréquence

La largeur de bande RF nécessaire (b) pour la sous-porteuse combinée image et son à MF est calculée approximativement au moyen de l'équation suivante:

$$B = D_{b_{C-C}} + 2f_b$$

où $D_{b_{C-C}}$ est l'excursion crête-à-crête de la porteuse causée par le signal composite dans la bande de base et f_b est la largeur de bande de base composite.

Les performances du système pour des signaux vidéo en bande de base seulement sont discutées au § 3.2. La dispersion d'énergie artificielle, technique utile pour faciliter le partage avec d'autres services dont l'énergie des signaux est confinée à des largeurs de bande beaucoup plus petites que celles des transmissions analogiques MF (ce qui est le cas du SRS), augmente la largeur de bande occupée par le signal provenant du satellite. La nécessité d'employer une dispersion d'énergie artificielle de 600 kHz sur toutes les transmissions desservant les Régions 1 et 3 est incorporée dans l'Appendice 30 du Règlement des radiocommunications. La dispersion d'énergie est aussi nécessaire dans certains cas pour des transmissions dans la Région 2. D'autres détails sont discutés au § 2.4.4 et donnés dans le Rapport 631.

Des essais de laboratoire effectués dans la bande des 12 GHz, ont montré que dans la transmission en modulation de fréquence d'un signal de télévision en couleur à 625 lignes accompagné d'un signal son transmis sur une sous-porteuse modulée en fréquence, on a pu obtenir un compromis satisfaisant entre la largeur de bande et la qualité du signal pour une largeur de bande radioélectrique d'environ 25 MHz.

Certains essais effectués au Japon _____ ont montré que la transmission de signaux de télévision modulés en fréquence accompagnés de signaux son dans un seul canal, pour laquelle on utilise une sous-porteuse modulée en fréquence multiplexée à 4,5 MHz permet d'obtenir des résultats satisfaisants avec une largeur de bande de 23 MHz. De plus, on peut profiter de la sur-excursion pour transmettre six signaux son supplémentaires de qualité moyenne, au moyen d'une deuxième sous-porteuse utilisant la modulation de fréquence et le multiplexage à répartition dans le temps par des impulsions.

La largeur de bande occupée par un signal provenant d'un satellite de radiodiffusion doit être étendue pour couvrir une ou plusieurs voies son. En règle générale, cet élargissement ne représente qu'un assez faible pourcentage de la largeur de bande nécessaire au seul signal d'image. La largeur d'une voie radioélectrique de l'émetteur du satellite doit également être plus étendue que la largeur de bande occupée, pour tenir compte de l'instabilité de fréquence de cet émetteur et pour maintenir le brouillage entre voies adjacentes à un niveau acceptable.

L'accroissement de la largeur de bande permettant de loger les voies son et les bandes de garde est de l'ordre de 10% de la largeur de bande aux radiofréquences, b.

Le Rapport 1075 donne des précisions sur les caractéristiques du signal, la largeur de bande nécessaire et la qualité de fonctionnement du système pour les signaux en bande de base envisagés pour les futurs systèmes de radiodiffusion par satellite.

2.4.2 Radiodiffusion sonore

Pour la radiodiffusion sonore, les modulations MF et numériques sont prises en considération.

Le Rapport 955 et le Rapport 1228 décrivent les méthodes de modulation et la largeur de bande nécessaire. Les systèmes décrits dans le Rapport 955 sont destinés à être utilisés dans les bandes 7 et 9 avec des récepteurs radio portatifs, mobiles et fixes. Les systèmes décrits dans le Rapport 1228 sont conçus pour le service de radiodiffusion par satellite dans la bande des 12 GHz, destinés généralement à la réception fixe.

2.4.3 *Excursion de fréquence et préaccentuation*

Pour planifier le service de radiodiffusion par satellite, on s'est fondé sur l'emploi des caractéristiques de préaccentuation figurant dans la Recommandation 405. Toutefois, l'emploi d'autres caractéristiques de préaccentuation n'est pas exclu pour autant, à condition que cela n'augmente pas le brouillage [Règlement des radiocommunications, Appendice 30 (ORB-85) (Annexe 5, § 3.1.3)]. — [CCIR, 1978-82h et d'Amato et Stroppiana, 1979] montrent les résultats d'une enquête effectuée pour optimiser la caractéristique de préaccentuation. Tous les facteurs affectant la qualité du signal (visibilité du seuil de bruit, modulation non désirée d'amplitude, distorsions, diaphonie son/image et image/son) ont été pris en considération. Les données expérimentales confirment la validité de la caractéristique de préaccentuation actuellement recommandée par le CCIR pour les satellites de radiodiffusion.

Les spécifications de préaccentuation pour les formats de signal recommandés pour les futurs systèmes de radiodiffusion par satellite sont données dans une publication spéciale du CCIR [CCIR, 1988].

[CCIR, 1974-78a] expose une méthode destinée à améliorer le rapport signal vidéo/bruit sur une liaison MF par satellite, par optimisation simultanée de l'excursion de fréquence et de la caractéristique de préaccentuation. Il y a lieu de poursuivre les études pour s'assurer que cette méthode est bien applicable au service de radiodiffusion par satellite.

2.4.4 *Dispersion de l'énergie sur les liaisons de connexion et les liaisons descendantes*

Dans les transmissions de télévision MF effectuées par l'intermédiaire de satellites du service fixe par satellite, on a recours à la dispersion d'énergie pour réduire le brouillage causé à d'autres systèmes qui partagent les mêmes bandes de fréquences. Dans le cas des transmissions de radiodiffusion par satellite, il peut être nécessaire d'assurer une dispersion de l'énergie sur la liaison descendante afin de protéger les liaisons en faisceaux hertziens de Terre alors que, sur la liaison de connexion elle peut être nécessaire pour protéger les transmissions vers des satellites du service fixe situés sur des emplacements d'orbite voisins et qui partagent les mêmes bandes de fréquences (par exemple, 14 à 14,5 GHz). (Note. — Les bandes des 11, 14,5 à 14,8 et 17 GHz (Terre vers espace) sont réservées aux liaisons de connexion du service de radiodiffusion par satellite.) **Les plans mondiaux que la CARR-83 et la CAMR ORB-88 ont établis pour les assignations aux liaisons de connexion dans les bandes des 14 et 17 GHz figurent dans l'Appendice 30A du Règlement des radiocommunications.**

En principe, la largeur de bande nécessaire pour assurer la dispersion d'énergie est différente dans les deux sens de transmission; cette largeur de bande est normalement plus grande sur la liaison de connexion. En revanche, il est souhaitable d'avoir une largeur de bande de dispersion aussi réduite que possible sur la liaison descendante afin de réduire au minimum le coût d'élimination du signal de dispersion dans les récepteurs de télévision domestiques. De même, une dispersion à la fréquence de ligne de télévision peut être extrêmement efficace sur la liaison de connexion pour protéger les transmissions des satellites du service fixe, alors qu'un signal de dispersion à la fréquence d'image peut être moins coûteux à éliminer sur la liaison descendante. Si un tel conflit se manifeste entre les exigences pour la liaison de connexion et celles pour la liaison descendante, on peut envisager la conversion de la modulation à dispersion d'énergie dans le satellite de radiodiffusion comme un moyen possible d'améliorer l'utilisation de l'orbite. De plus amples études sont nécessaires sur les besoins et les possibilités pratiques d'application de telles techniques.

Dans la pratique, la dispersion d'énergie à utiliser pour les assignations faites dans les plans des liaisons descendantes à 12 GHz et dans les plans des liaisons de connexion à 14 et 17 GHz est indiquée respectivement dans les Appendices 30(ORB-85) et 30A.

2.4.5 *Préservation de la composante continue dans les modulateurs de fréquence*

Pour obtenir l'utilisation maximale de la largeur de bande disponible par des signaux monochrome ou couleur, la fréquence centrale de la porteuse modulée par un signal vidéo devrait être préservée (par exemple, par préservation de la composante continue dans le modulateur de fréquence), principalement dans les circuits par satellite qui sont sous contraintes quant à la puissance et la largeur de bande.

La fréquence centrale peut être ajustée pour correspondre au point-milieu des crêtes d'un signal vidéo au blanc préaccentué [AuBC, 1983].

Si la fréquence centrale n'est pas préservée, non seulement la performance du système risque d'être réduite, mais des signaux peuvent être rayonnés à l'extérieur de la bande du canal considéré au cours de variations rapides du signal de luminance, d'où le risque de brouillage aux canaux deuxièmes adjacents. Des filtres plus sélectifs, avec toutes leurs limitations, seraient alors nécessaires à la sortie du modulateur pour supprimer ces composantes de signaux hors bande.

En cas de transmissions employant des composantes analogiques multiplexées (MAC), la caractéristique de préaccentuation susceptible d'être employée n'affaiblira que légèrement les basses fréquences vidéo. Il est donc d'autant plus important pour de tels systèmes de préserver la fréquence correspondant à la valeur centrale du signal vidéo. [CCIR, 1988].

2.5 P.i.r.e. du satellite et facteur de qualité (G/T) du récepteur terrien

2.5.1 Optimisation de la p.i.r.e. du satellite et du facteur de qualité du récepteur terrien

Dans tout système de télécommunication par satellite, des compromis peuvent généralement être faits entre le coût et la complexité du satellite et de la station terrienne; un des compromis déterminants fait intervenir la p.i.r.e. du satellite et le facteur de qualité, G/T , des stations terriennes. En maintenant tous les autres paramètres du système inchangés, on peut faire varier la p.i.r.e. et G/T à condition de maintenir leur somme constante. La figure 2 donne graphiquement

_____ la somme de la p.i.r.e. et du facteur de qualité dans le cas des systèmes fonctionnant à 12 GHz avec un S/N minimal de 45 dB pour diverses largeurs de bande et des rapports C/N minimaux.

_____. Aucune perte autre que l'affaiblissement sur le parcours en espace libre n'a été incluse. On peut obtenir des résultats analogues dans le cas d'autres bandes de fréquences ou d'autres rapports S/N minimaux.

La p.i.r.e. disponible par satellite pour chaque voie et pour une puissance de sortie donnée de l'émetteur de satellite dépend du gain d'antenne d'émission correspondant à la zone de couverture nécessaire. Il est actuellement difficile de concevoir des satellites à p.i.r.e. élevée pour fournir plusieurs canaux de télévision à de grandes zones géographiques de service, en raison de la forte puissance primaire que cela exige.

D'autres systèmes possibles pour diminuer la p.i.r.e. désirée consistent à recourir à des méthodes de modulation qui exigent moins de puissance, ou à obtenir une compression vidéo suffisante pour que les techniques de modulation numérique permettent d'économiser de la puissance (voir le Rapport 631).

Il est assez simple de déterminer les effets d'un accroissement des dimensions de l'antenne des stations terriennes de réception puisqu'on _____ connaît bien le gain en fonction des dimensions et que l'on possède des données sur les coûts des antennes. Il faut cependant tenir compte des conditions réelles (montage, charge du vent, etc.), en particulier pour l'utilisation domestique. Le Rapport 473 (§ 3) fournit quelques considérations sur ce sujet.

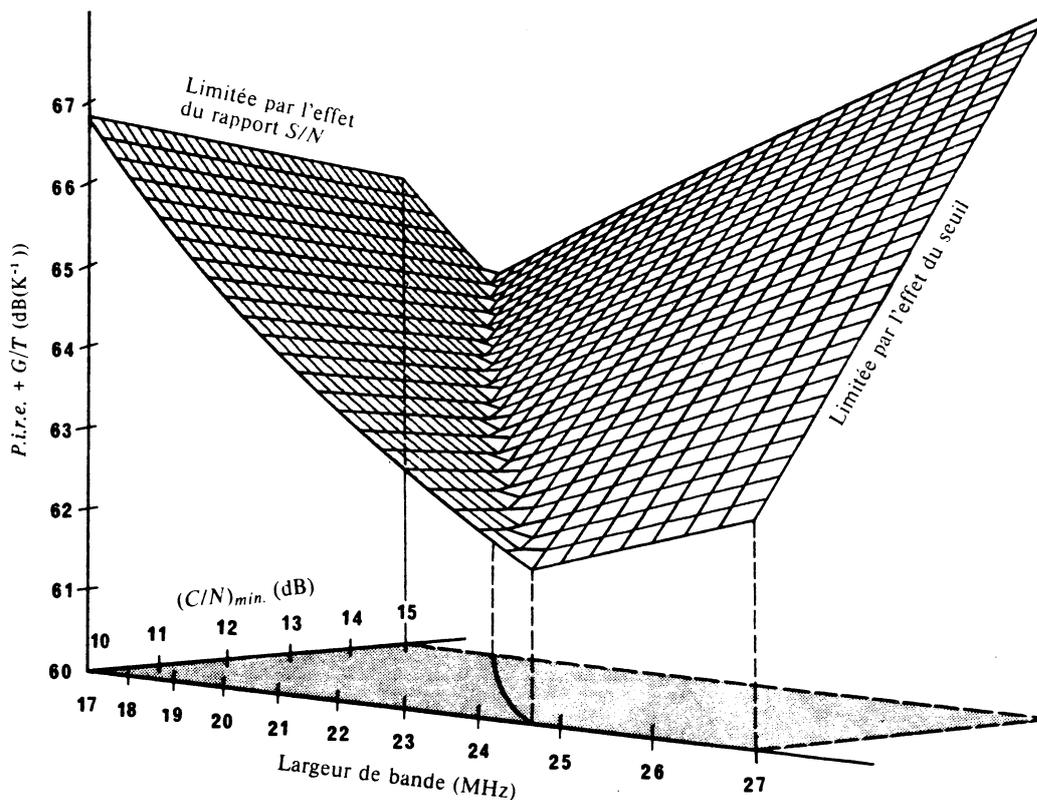


FIGURE 2 - Surface paramétrique pour la détermination de la largeur de bande optimale (S/N minimal vidéo = 45 dB)

2.5.2 Formules de calcul du système

La relation entre la p.i.r.e. du satellite et le facteur de qualité du récepteur au sol est la suivante:

$$\begin{aligned} C/N_d &= p.i.r.e. - L_{FS} + G/T - 10 \log kB - L_A - L_R & \text{ou} \\ p.i.r.e. &= C/T + L_{FS} + L_A + L_R - G/T & \text{dB} \end{aligned}$$

où:

C/N_d : rapport porteuse/bruit minimal acceptable (dB)

C/T : rapport porteuse/température de bruit sur le trajet espace vers Terre, (dBW(K⁻¹))

$p.i.r.e.$: puissance isotrope rayonnée équivalente émise par le satellite vers un point en bordure de la zone de service voulue (dBW)

k : 10 log constante de Boltzmann (dB(WK⁻¹Hz⁻¹))

L_{FS} : affaiblissement en espace libre, sur le trajet espace vers Terre (dB)

= $20 \log 4\pi R/\lambda$ (où R représente la distance et λ la longueur d'onde mesurée selon les mêmes unités)

L_A : affaiblissement sur le trajet dû à l'absorption en atmosphère claire (dB)

L_R : niveau d'évanouissement dû à la pluie (dB)

G/T : valeur minimale dégradée du facteur de qualité du récepteur (dB(K⁻¹))

B : largeur de bande du bruit d'un canal (Hz).

A condition de connaître le gain de l'antenne du satellite, G_T , on peut convertir la valeur nécessaire de la p.i.r.e. du satellite en puissance de sortie de l'émetteur du satellite, P_S :

$$P_S = p.i.r.e. - G_T \quad \text{dB}$$

L'ouverture du faisceau à demi-puissance, θ_0 , peut être déterminée une fois spécifié le gain de l'antenne du satellite:

$$\theta_0 = \sqrt{27\,843/G_T} = 225(\lambda/\pi D)$$

où G_T est le gain d'antenne exprimé sous la forme d'un rapport et D est le diamètre de l'antenne exprimé dans les mêmes unités que λ , la longueur d'onde. On a admis une efficacité de 55% de l'ouverture de l'antenne.

Déterminer exactement la zone de couverture au sol est compliqué. En effet, il est difficile de déterminer l'intersection du faisceau de l'antenne du satellite avec la surface sphérique de la Terre. Pour des faisceaux orientés au voisinage du point de projection du satellite, un faisceau de $1,5^\circ$ donne une zone de couverture d'un diamètre d'environ 1000 km. Le même faisceau, orienté vers de plus hautes latitudes ou vers des zones plus écartées en longitude du point de projection du satellite couvrira une zone beaucoup plus grande de la surface de la Terre [Ostrander, 1967; Sollfrey, 1966].

On a la relation suivante entre les unités de champ et de puissance surfacique.

La conversion directe entre le champ E , (dB(μ V/m)), et la puissance surfacique Φ , (dB(W/m²)), est donnée par:

$$\Phi = E - 145,8$$

On peut indiquer d'autres correspondances utiles:

- la puissance de bruit dans une largeur de bande de 1 MHz est de -144,0 dBW à la température de bruit de 290 K,
- une f.é.m. de 1 μ V entre les bornes d'une source de résistance interne égale à 75 ohms correspond à une puissance disponible de -144,8 dBW,
- une f.é.m. de 1 μ V entre les bornes d'une source de résistance interne égale à 50 ohms correspond à une puissance disponible de -143,0 dBW.

La relation entre la p.i.r.e. d'un satellite géostationnaire et la puissance surfacique à la surface de la Terre est la suivante:

$$\text{puissance surfacique} = \text{p.i.r.e.} - \text{perte par étalement} + B - W - X$$

où

la puissance surfacique est exprimée en dB(W/m²) dans la largeur de bande de référence B

la p.i.r.e. est exprimée en dBW

B (largeur de bande de référence) est exprimé en dBHz
(voir la Note 1)

W (largeur de spectre effective du signal) est exprimé en dBHz ($W > B$)

X est un terme (dB) qui tient compte de l'uniformité du spectre du signal sur sa largeur de spectre W .
 X varie entre 0 dB, lorsque le spectre du signal est plat, et ($B - W$) dB lorsque $W \leq B$.

Pour le point sur la Terre ayant une latitude de φ° et une longitude relative (point sous-satellite = 0°) λ° et avec $\cos \Delta = \cos \lambda \cos \varphi$, on a la correspondance suivante:

Angle Δ (degrés)	Perte par étalement, dB(m ²) (voir la Note 2)
0 (point de projection du satellite)	162,1
80	163,4

Pour l'angle de site ε , avec $\text{tg } \varepsilon = (\cos \Delta - 0,1513)/\sin \Delta$, on a la correspondance suivante:

Angle ε (degrés)	Perte par étalement, dB(m ²) (voir la Note 2)
0	163,4
90	162,1

Note 1. - La largeur de bande de référence peut prendre des valeurs diverses. Pour la recherche spatiale elle est de 1 Hz; pour le service fixe par satellite elle peut être de 4 kHz ou de 1 MHz, selon les caractéristiques du service de Terre avec lequel une bande est partagée. Quand l'émission d'un satellite n'est pas répartie uniformément sur sa largeur de bande nécessaire, on considère généralement que la puissance surfacique s'applique à la largeur de bande de référence «la plus défavorable».

Note 2. - La p.i.r.e. en dBW diminuée des pertes par étalement en dB(m²) est égale à la puissance surfacique en dB(W/m²), compte non tenu des pertes atmosphériques.

Les formules ci-dessus sont typiques de celles qu'on utilise pour la planification des assignations de fréquence aux satellites et aux liaisons de connexion de radiodiffusion, respectivement dans les bandes des 12 et des 14/17 GHz.

3. Qualité de réception

3.1 Généralités

La qualité d'une image sur l'écran d'un récepteur de télévision dépend du rapport signal/bruit, du niveau et de la nature d'un brouillage éventuel et des diverses distorsions de la chaîne de transmission (studio, circuit de Terre, liaison de connexion, émetteur du satellite, trajet du signal, récepteur). Différentes méthodes d'évaluation subjective de la qualité des images de télévision et des facteurs à considérer sont indiquées dans le Rapport 405. La méthode recommandée pour évaluer la qualité des images de télévision est indiquée dans la Recommandation 500.

Il semble important de déterminer les performances globales du système tout entier, puis d'arrêter, sous la forme d'objectifs à atteindre, les spécifications de ses composants, comme les répéteurs de satellite et les récepteurs domestiques. Le Tableau III du présent Rapport montre les principaux paramètres typiques des composants d'un système de radiodiffusion par satellite; son but essentiel est de permettre l'étude de la qualité minimale requise au bord de la zone de service aux fins de planification. Le service de radiodiffusion par satellite étant capable de fournir à l'intention du grand public, des signaux de télévision de haute qualité comparables à ceux produits en studio, il est pratiquement possible de fixer une norme de qualité supérieure.

TABLEAU III – Valeurs types des caractéristiques

Élément du système	Caractéristique				
	Phase différentielle (degrés)	Gain différentiel (%)	Inégalité de gain chrominance/luminance (%)	Inégalité de temps de transmission chrominance/luminance (ns)	Rapport signal/bruit (pondéré) (dB)
Studio	± 5 ⁽¹⁾	± 5 ⁽¹⁾	± 5 ⁽¹⁾	± 10	48
Circuit de Terre	± 5 ⁽¹⁾	± 10 ⁽¹⁾	± 10 ⁽¹⁾	± 50	56 ⁽²⁾
Liaisons par satellite	± 5 ⁽¹⁾	± 10 ⁽¹⁾	± 10 ⁽¹⁾	± 50	
Récepteur domestique	± 10 ⁽⁵⁾	± 15 ⁽⁵⁾	⁽³⁾	± 100	46 ⁽⁴⁾

(1) Statistiquement variable et non dépassée pendant au moins 80% d'un mois quelconque.

(2) Dépassé pendant au moins 80% d'un mois quelconque.

(3) On suppose que la distorsion produite dans le récepteur est compensée par la commande manuelle de chrominance.

(4) On suppose que le rapport signal/bruit non pondéré est de 33 dB et que le facteur de pondération (y compris l'effet de la préaccentuation) est de 13 dB. Cette performance minimale doit être atteinte, dans le cas le plus défavorable, à la limite de la zone de service et pendant 99% du temps.

(5) Des études ont montré que ces tolérances sont effectivement réalisables avec, dans le récepteur, des filtres simples et dépourvus de circuits correcteurs lorsque l'excursion de fréquence est d'environ 14 MHz/V et la largeur de bande à -3 dB de 27 MHz. En première approximation, ces valeurs sont à considérer comme constantes au cours du temps.

La norme de transmission pour le signal de télévision sur le circuit fictif de référence de 2500 km (Recommandation 567) peut être prise comme référence. On trouve dans le Tableau IV des exemples d'objectifs de performance pour la partie de la chaîne de radiodiffusion par satellite qui est destinée à remplacer la chaîne de radiodiffusion de Terre. Dans la pratique, on définira les objectifs de performance globaux en examinant la possibilité qu'il y a de les atteindre sur chaque composant et en étudiant, pour chacun d'eux, le rapport de distribution propre à assurer le coût total minimum. L'Annexe II au Rapport 405 signale la possibilité d'une autre loi d'addition pour calculer la distribution de la dégradation totale entre les différents éléments. On peut également en tenir compte pour évaluer ce qui précède. Les Membres du CCIR seront invités à poursuivre l'étude de cette question.

Le rapport signal/bruit est un facteur très important pour déterminer les caractéristiques des systèmes de télévision et pour établir des réseaux d'émetteurs; c'est pourquoi on attire l'attention sur ce point. Pour déterminer la valeur du rapport signal/bruit, il faut également tenir compte, dans de nombreux cas, des autres causes de distorsion des signaux. En télévision, le rapport signal/bruit aux fréquences vidéo est défini comme le rapport (en dB) entre l'amplitude crête-à-crête nominale du signal de luminance et la valeur efficace du bruit dans la bande des fréquences vidéo (Recommandation 567).

La qualité de service d'un système de radiodiffusion par satellite (laquelle sera très sensiblement uniforme dans toute la zone de service) devrait être plus élevée que la qualité de service demandée à la limite de la zone de service d'un émetteur de radiodiffusion de Terre (où la qualité est bien meilleure au centre de la zone qu'à la périphérie). Deux qualités de réception (primaire et secondaire) sont définies dans la Recommandation 566.

On devrait rechercher une qualité élevée de la réception communautaire pour satisfaire aux exigences particulières des programmes de télévision éducative. En tout état de cause, la qualité ne devrait pas être inférieure à celle que l'on juge appropriée pour un système de radiodiffusion de Terre conçu pour la réception individuelle.

L'effet subjectif du bruit dépend de sa répartition spectrale énergétique dans la bande vidéo. Pour la mesure de la puissance de bruit, on utilise d'habitude des réseaux de pondération qui tiennent compte de cet effet; il en résulte que la puissance du bruit pondéré aux fréquences vidéo est inférieure à celle du bruit non pondéré, le rapport entre ces deux puissances dépendant de la répartition spectrale. Pour la plupart des systèmes de télévision, les réseaux de pondération existants sont conçus de manière telle que, pour les différentes répartitions spectrales du bruit, les mesures rendent mieux compte de l'impression subjective des images en noir et blanc que la mesure du bruit non pondéré; pour la télévision en couleur, l'effet subjectif doit faire l'objet d'une étude spéciale.

TABLEAU IV – Exemple d'allocation des principales caractéristiques de transmission de télévision, pour système vidéo composite

Élément	Caractéristiques globales	Allocation à l'équipement de réception ⁽¹⁾	Facteur de distribution	Loi d'addition ⁽⁴⁾
Rapport signal/bruit aléatoire (dB crête-à-crête/valeur efficace) ⁽²⁾	53	48/54 ⁽³⁾	0,9	2
Rapport signal/bruit périodique: Ronflement du secteur (dB crête-à-crête/crête-à-crête)	35	-/41	0,5	2
Fréquence pure (> 1 kHz) (dB crête-à-crête/crête-à-crête)	55	-/58	0,5	2
Gain différentiel (%)	10	10/6	0,5	1,5
Phase différentielle (degrés)	5	5/3	0,5	1,5
Suroscillation (%)	15	-/8	0,5	néant
Caractéristiques en régime permanent: Gain/fréquence (dB) (500 kHz – 4,2 MHz)	± 1	± 1,0/± 0,6	0,5	1,5
Temps de propagation/fréquence (ns) (500 kHz – 4,2 MHz)	± 100	-/± 60	0,5	1,5

⁽¹⁾ L'allocation est indiquée sous la forme: Norme minimale/Objectif.

Norme minimale: minimum acceptable en tout lieu de la zone de service.

Objectif: but à atteindre pour une bonne qualité dans la zone de service.

⁽²⁾ Sont compris les bruits aléatoires de toute provenance, non seulement des étages d'entrée, mais encore des étages FI et des amplis vidéo.

⁽³⁾ D'après la CAMR-RS-77, 14 dB (C/N) pendant 99% du mois le plus défavorisé à la limite de la zone de service, ce qui revient à compter sur 50% du temps dans la partie principale de cette zone.

⁽⁴⁾ On peut déduire la performance globale D_i des performances D_i de chaque sous-système en appliquant la loi d'addition en p ci-après:

$$D_i = \left[\sum_{i=1}^n (D_i)^p \right]^{1/p}$$

3.2 Valeurs du rapport signal/bruit

Un système de radiodiffusion à satellites s'intègre dans un système de télévision global qui va du studio au récepteur domestique, de sorte qu'il convient d'établir des normes qui considèrent le circuit par satellite comme faisant partie du système de transmission complet, donnant la valeur de tous les paramètres qui influent sur la qualité correspondante de l'image. De plus, la qualité de l'image dépend non seulement du rapport signal/bruit mais aussi de la présence de distorsions.

3.2.1 Transmission vidéo

Le calcul du rapport signal/bruit après démodulation pour les signaux de télévision à modulation de fréquence est donné par la méthode suivante:

$$S/N = C/N + 10 \log [3(D_{c-c}/f_v)^2 + 10 \log (b/2f_v) + k_w]$$

où:

S/N : rapport amplitude de luminance crête-à-crête/bruit efficace pondéré (dB)

C/N : rapport porteuse/bruit avant détection, dans la largeur de bande radioélectrique (dB)

D_{c-c} : excursion crête-à-crête due au signal vidéo (y compris les impulsions de synchronisation)

f_v : fréquence vidéo la plus élevée (par exemple 4,2 MHz pour la norme M)

b : largeur du canal radioélectrique (généralement $D_{c-c} + 2 f_v$)

k_w : coefficient d'amélioration combinée de la désaccentuation et de la pondération dans les systèmes à modulation de fréquence (dB) (voir le Tableau V).

Par exemple, au Tableau VI, le rapport signal/bruit est évalué au moyen de l'équation ci-dessus, en supposant que le C/N utilisé est de 14 dB, l'excursion de fréquence vidéo est de 12 MHz crête à crête (voir l'Appendice 30 du Règlement des radiocommunications), la fréquence vidéo la plus élevée pour le système utilisé f_v étant conforme au Rapport 624 et le facteur combiné d'amélioration de désaccentuation et de pondération k_w est tiré du Tableau V.

TABLEAU V - Facteurs de réduction des réseaux de pondération aux fréquences vidéo, pour la télévision monochrome

Système	Pondération (dB)		Pondération (k_w) y compris la désaccentuation (dB)
	Bruit blanc	Bruit triangulaire	Bruit triangulaire
B, C, E, F, G, H et M (Japon)	8,5	16,3	16,3
D, K, L	9,3	17,8	18,1
I	6,5	12,3	12,9
M (Canada, Etats-Unis d'Amérique) (1)	6,8	10,2	13,8

(1) Les coefficients de pondération pour le système M à 525 lignes (Canada, Etats-Unis d'Amérique) sont fondés sur la Recommandation 567 (valeurs conformes au Rapport 637).

Note - Lorsqu'on applique la préaccentuation spécifiée dans la Recommandation 405, l'effet conjoint de la pondération et de la désaccentuation pour le bruit triangulaire est à peu près le même que s'il s'agissait d'une pondération seule. Pour plus de renseignements à ce sujet, voir le Rapport 637.

Des exemples de facteur de réduction de pondération signal vidéo/bruit applicable sont donnés au Tableau V. Pour plus de détails, voir le Rapport 637.

TABLEAU VI
Rapports types signal vidéo/bruit

Systeme	f_v (MHz)	k_w (dB)	S/N (dB)
M (USA et Canada)	4,2	13,8	45,5
M (Japon)	4,2		
B et G	5,0	16,3	46,1
D, K et L	6,0	18,1	45,9
I	5,5	12,9	41,7

3.2.2 Transmission audio

Le rapport signal/bruit non pondéré des canaux audio d'accompagnement, qui consistent en sous-porteuses MF situées au-dessus de la bande de base vidéo, est déterminé par l'équation suivante:

$$S/N_a = 10 \log \left[\frac{3}{4} \left(\frac{b}{f_a} \right) \left(\frac{D_s}{f_s} \right)^2 \left(\frac{D_a}{f_a} \right)^2 \right] + \left(\frac{C}{N} \right) + k_a$$

où:

- S/N_a : rapport signal efficace/bruit efficace dans un canal audio (dB)
- D_s : excursion de crête de la porteuse principale due à la sous-porteuse (MHz)
- D_a : excursion de crête de la sous-porteuse due au signal audio (MHz)
- f_s : fréquence de la sous-porteuse (MHz)
- f_a : fréquence audio supérieure (MHz)
- C/N : rapport porteuse/bruit avant détection (dB)
- k_a : facteur d'amélioration combiné dû à la préaccentuation et à la désaccentuation pour le canal audio (dB) (voir le Rapport 496 de la CMTT, Tableau II, pour les facteurs d'amélioration correspondant à diverses largeurs de bande de base des canaux audio)
- b : largeur de bande RF avant détection (MHz) définie par l'équation du § 2.4.1.

Le rapport signal audio/bruit (après démodulation) est évalué au Tableau VII au moyen de l'équation susmentionnée, en supposant le même C/N de 14 dB et que l'excursion de 12 MHz (crête-à-crête) de la porteuse causée par la porteuse composite dans la bande de base, calculée par approximation, est l'excursion due au signal vidéo.

Les valeurs suivantes du système sont appliquées:

- excursion de crête de la sous-porteuse due au signal audio (D_a): 15 kHz à la fréquence de la sous-porteuse (f_s);
- facteur combiné d'amélioration (k_a) dû à la préaccentuation et à la désaccentuation pour la largeur de bande RF avant détection b), comme défini au § 3.2.1, mais au moyen de paramètres composites de bande de base¹: 9 dB;

¹ Voir le Tableau II du Rapport 496, conditions de bruit blanc.

- excursion de crête (D_s) due à une amplitude de sous-porteuse son égale à environ 30% de l'excursion totale crête à crête de la porteuse²: 1,8 MHz.

Le Tableau VII donne des exemples du rapport signal audio/bruit auquel on peut s'attendre.

TABLEAU VII

Rapports signal audio/bruit typiques

Systeme	D_a (MHz)	f_s (dB)	b (MHz)	S/N (dB)
M (USA et Canada)	0,025	4,5	21	49,7
M (Japon)		4,5		
B et G	0,050	5,5	23	54,4
D, K et L	"	6,5	25	53,3
I	"	6,0	24	53,8

3.2.3 Modulation image et son combinée

D'autres schémas de modulation combinée image et son, par exemple, l'image avec de multiples sous-porteuse audio MF ou avec modulation audio numérique sont décrits dans les Rapports 632, 1073 et 1074. De plus, le Rapport 632 donne les résultats subjectifs de la qualité de l'image et du son en fonction du rapport porteuse/bruit.

3.3 Influence des normes pour la télévision

Pour assurer des services de télévision par satellite, les méthodes suivantes peuvent être envisagées:

- tenir compte des besoins spécifiques du service de radiodiffusion par satellite indiqués dans la Recommandation 650 et le Rapport 1073;
- copier les normes déjà appliquées par le service de radiodiffusion de Terre dans la zone géographique considérée;
- réaliser un dispositif de réception pour la conversion du signal émis par le satellite en un signal utilisable dans un récepteur ordinaire;
- réaliser un récepteur conçu spécialement pour le service de radiodiffusion par satellite.

3.4 Influence de la liaison de connexion

La relation entre le rapport total porteuse/bruit, le rapport porteuse/bruit de la liaison de connexion et le rapport porteuse/bruit de la liaison descendante doit prendre en compte les deux facteurs ci-après [CCIR, 1978-82b]:

- la caractéristique de transfert du répéteur du satellite,
- les statistiques d'affaiblissement dû à la pluie sur les liaisons de connexion et descendantes.

² Voir le Rapport 632.

Par exemple, pour limiter la dégradation du rapport C/N sur la liaison descendante à 0,5 dB, en raison de la présence de la liaison de connexion en cas d'évanouissement simultané dû à l'affaiblissement dû à la pluie sur les deux liaisons, un rapport C/N de 24 dB est nécessaire sur la liaison de connexion. Les deux valeurs 14,5 dB et 24 dB sont calculées pour 99% du mois le plus défavorable à tous les points de la zone de service.

Lorsque l'on envisage pour la liaison de connexion des petites stations terminales, fixes ou transportables, une valeur quelque peu inférieure de $(C/N)_u$ peut être souhaitable afin que la puissance et le coût des liaisons de connexion restent dans des limites raisonnables et que le brouillage causé par des émissions sur la liaison de connexion à des liaisons voisines en faisceaux hertziens de Terre soit réduit. D'autres détails sur la répartition des contributions du bruit sur les liaisons sont données dans le Rapport 952.

Les liaisons de connexion, y compris leur importance dans la planification, sont traitées en détail dans les Rapports 561 et 952.

4. Exemples de systèmes

Les Tableaux de ce paragraphe contiennent, à titre purement indicatif, les caractéristiques de systèmes de radiodiffusion par satellite utilisant un satellite géostationnaire, qui pourraient être mis en service à l'avenir. Il convient de noter que certains de ces exemples exigent des émetteurs plus puissants que ceux qui pourront vraisemblablement être réalisés avant longtemps. De plus, lesdits exemples ne prennent pas en considération le partage des fréquences avec d'autres services. Cependant, les valeurs indiquées dans ces exemples pourraient être modifiées de manière à correspondre à d'autres possibilités qui exigeraient moins de puissance à bord des satellites.

Note. — Les exemples indiqués se rapportent aux bandes de fréquences attribuées par la Conférence administrative mondiale des radiocommunications, Genève, 1979. Il convient de souligner que les divers exemples indiqués reposent sur des hypothèses différentes notamment en ce qui concerne la qualité de réception, l'installation de réception (facteurs de bruit, dimensions d'antenne) et la zone desservie déterminée d'après l'ouverture du faisceau de l'antenne d'émission. Pour cette raison, la comparaison entre les puissances d'émission et autres caractéristiques indiquées dans les tableaux doit être faite avec prudence.

On trouvera ci-dessous un résumé de la méthode par laquelle les valeurs indiquées dans le tableau pour la puissance de l'émetteur du satellite pourront être modifiées si l'on procède à un ajustement de l'un quelconque des paramètres admis:

- si l'on admet que le faisceau de l'antenne d'émission a une section transversale circulaire, le fait de réduire de moitié l'ouverture du faisceau permettra de réduire de 6 dB la puissance de l'émetteur. Si l'on double l'ouverture du faisceau il faudra augmenter la puissance de 6 dB;
- si l'on veut augmenter le rapport signal vidéo/bruit pour obtenir une transmission de meilleure qualité, il faudra augmenter en conséquence (en décibels) la puissance de l'émetteur. De même, une réduction de ce rapport permettra de réduire la puissance en conséquence, mais dans le cas de la modulation de fréquence, l'excursion et la largeur de bande radioélectrique doivent être diminuées lorsqu'on approche de la région du seuil du discriminateur;
- si l'on augmente le facteur de qualité de l'installation de réception il faudra réduire la puissance de l'émetteur d'un nombre équivalent de décibels et vice versa.

De cette manière, ces exemples, modifiés à volonté, peuvent indiquer les conditions nécessaires pour permettre au public de recevoir des programmes de radiodiffusion dont la qualité technique serait à tout moment comparable à celle des services assurés de manière classique par un réseau d'émetteurs de Terre.

Ces exemples indiquent le champ nécessaire pour certaines caractéristiques données de récepteur. On peut faire d'autres hypothèses, comme par exemple celle qui traite des systèmes de télévision en couleur; ces hypothèses donnent des champs différents et des exigences différentes pour la p.i.r.e. du satellite. Tous ces exemples visent à établir une gamme raisonnable de conditions pour la puissance de sortie dans le cas d'un service de radiodiffusion par satellite.

4.1 Télévision

Les Tableaux VIIIa et VIIIb présentent des exemples de télévision pour la réception communautaire et pour la réception individuelle pour différentes fréquences et différentes conditions d'exploitation et de qualité.

Les normes de télévision pour la radiodiffusion par satellite sont décrites dans la Recommandation 650 et dans le Rapport 1073 et les techniques de multiplexage des composantes analogiques, dans le Rapport 1074.



4.2 *Radiodiffusion sonore*

Le tableau IX donne _____ quelques exemples de caractéristiques permettant d'obtenir plusieurs voies son, toutes appropriées à un service monophonique avec réception individuelle à 12 GHz. Les émissions stéréophoniques sont possibles avec deux (ou plus) de ces voies (voir le Rapport 632). Certaines voies son pourraient aussi être associées à des programmes de télévision, en plus de la voie son transmise comme indiqué au § 4.1.

En République fédérale d'Allemagne, un système radionumérique par satellites (DSR) conçu pour l'émission de 16 voies radiophoniques stéréophoniques à codage numérique fonctionne depuis 1989. L'utilisation d'autres systèmes est à l'étude. Les systèmes de radiodiffusion sonore sont décrits en détail dans les Rapports 955 et 1228.

Le Rapport 955 présente les résultats d'études, portant sur des systèmes de radiodiffusion sonore par satellite fonctionnant dans d'autres bandes pour la réception individuelle.

4.3 Télévision à haute définition

Le Rapport 1075 décrit le système de TVHD et donne des exemples de paramètres de la liaison pour les signaux TVHD utilisant des satellites de radiodiffusion dans différentes bandes de fréquences.

TABLEAU VIIIa

Exemples de paramètres de système de télévision pour réception communautaire

Paramètre	1	2	3	4	5	6	Observations
1. <u>Système</u>							
Fréquence de la porteuse (GHz)	0,7	2,6	12	12,5	22,75	42	Note 7
Largeur de bande rectangulaire équivalente approximative (MHz)	19	20	27	24	40	40	Note 1
Rapport porteuse/bruit avant démodulation (dB)	16	15	16	14	11	11	Note 1
Bruit additionnel de la liaison de connexion (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
C/N nécessaire (dB)	16,5	15,5	16,5	14,5	11,5	11,5	
2. <u>Installation de réception</u>							
Facteur de qualité, G/T (dB(K ⁻¹))	-4,4	5,9	16,5	14,7	11,6	11,5	Note 2
Température de bruit du système (K)	750	750	500	500	1100	1500	
Diamètre d'antenne (m)	3,4	3	1,8	1,4	0,8	0,5	
Puissance surfacique nécessaire en limite de couverture du faisceau (dB(W/m ²))	-116,5	-116,2	-111,3	-111,6	-104,1	-98,7	Note 6
3. <u>Propagation</u>							
Affaiblissement par étalement (dB)	162,4	162,4	162,4	162,4	162,4	162,4	Note 3
Affaiblissement supplémentaire pour la propagation (dB)	0	0	0	0	2,0	2,0	Note 4
Affaiblissement dû à la pluie pendant 99% du mois le plus défavorable (dB)	0	0	1,0	1,0	4,0	8,0	Note 4
P.i.r.e. nécessaire du satellite à la limite de couverture du faisceau (dBW)	45,9	46,2	52,1	51,8	64,3	73,7	
4. <u>Emetteur du satellite</u>							
Ouverture d'antenne aux points à -3 dB (deg.)	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	Note 5
Diamètre d'antenne (m)	23,0	6,2	1,3	1,3	0,7	0,4	Note 5
Gain d'antenne (dBi)	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	Note 5
Pertes dans les lignes, filtres, joints, etc. (dB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Puissance d'émission nécessaire du satellite (dBW)	8,3	8,6	14,6	14,3	26,8	36,2	
(W)	6,8	7,3	29	27	480	4200	

TABLEAU VIIIb

Exemples de paramètres de système de télévision pour réception individuelle

Paramètre	7	8	9	10	11	Observations
1. <u>Système</u>						
Fréquence de la porteuse (GHz)	0,7	12	12,5	22,75	42	
Largeur de bande rectangulaire équivalente approximative (MHz)	19	27	24	40	40	Note 1
Rapport porteuse/bruit avant démodulation (dB)	16	14	14	11	11	Note 1
Bruit additionnel de la liaison de connexion (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
C/N nécessaire (dB)	16,5	14,5	14,5	11,5	11,5	
2. <u>Installation de réception</u>						
Facteur de qualité, G/T (dB(K ⁻¹))	-14,0	6,0	10,0	7,5	9,5	Note 2
Température de bruit du système (K)	-	1100	750	1100	1500	
Diamètre d'antenne (m)	-	0,8	1,0	0,5	0,4	
Puissance surfacique nécessaire en limite de couverture du faisceau (dB(W/m ²))	-107,0	-102,8	-106,9	-100,0	-96,7	Note 6
3. <u>Propagation</u>						
Affaiblissement par étalement (dB)	162,4	162,4	162,4	162,4	162,4	Note 3
Affaiblissement supplémentaire pour la propagation (dB)	0	0	0	2	2,0	Note 4
Affaiblissement dû à la pluie pendant 99% du mois le plus défavorable (dB)	0	1	1	4	8	Note 4
P.i.r.e. nécessaire du satellite à la limite de couverture du faisceau (dBW)	55,4	60,6	56,5	68,4	75,7	
4. <u>Emetteur du satellite</u>						
Ouverture d'antenne aux points à -3 dB (deg.)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Note 5
Diamètre d'antenne (m)	32,0	1,8	1,8	1,0	0,5	Note 5
Gain d'antenne à la limite de la zone de couverture (dBi)	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	Note 5
Pertes dans les lignes, filtres, joints, etc. (dB)	1,0	2,0	2,0	3,0	3,0	
Puissance d'émission nécessaire du satellite (dBW)	15,0	21,2	17,1	30,0	37,3	
(W)	32	130	50	1000	5400	

Notes des Tableaux VIIIA et VIIIB:

- 1) La largeur de bande et le rapport porteuse/bruit nécessaires dépendent de la méthode de modulation et de la qualité du signal.
- 2) Les valeurs sont "un facteur de qualité utilisable" selon la définition donnée dans l'Annexe I du Rapport 473-4. On suppose un rendement de 55% et une erreur de pointage de 1 dB pour calculer le gain d'antenne, qui est en général meilleur que la valeur indiquée, surtout dans des bandes inférieures à 12,5 GHz, grâce à l'amélioration de la température de bruit du récepteur et du rendement de l'antenne.
- 3) On suppose que l'angle de site du satellite est de 40°.
- 4) Il faut corriger l'affaiblissement par la pluie en utilisant la valeur appropriée de chaque zone climatique.
- 5) Il faut adapter l'ouverture d'antenne aux dimensions de la zone de service. On modifiera le diamètre et le gain d'antenne en conséquence.
- 6) Les valeurs de puissance surfacique données ici qui reposent sur des calculs visant à satisfaire le C/N nécessaire pour le système de radiodiffusion par satellite, seront nécessaires pendant 99% du mois le plus défavorable.
- 7) La fréquence porteuse indiquée aux colonnes 5 et 10 (22,75 GHz) est un exemple de fréquence centrale de la bande attribuée au service de radiodiffusion par satellite dans les régions 2 et 3.

5. Autres applications pour des services existants et nouveaux

On admet au départ que la mise en œuvre de ces transmissions dans un canal de télévision ne doit pas causer de brouillages supplémentaires à d'autres systèmes, ni nécessiter une protection supplémentaire par rapport à celle qui est nécessaire dans l'utilisation usuelle du service de radiodiffusion par satellite, comme par exemple la transmission télévisuelle.

5.1 Radiodiffusion de données dans un canal de télévision à modulation de fréquence

Il est possible maintenant d'envisager l'utilisation de certaines lignes d'un signal de télévision pour diffuser des données dans le service de radiodiffusion par satellite.

L'introduction de ces nouveaux signaux ne devrait modifier ni les caractéristiques du canal de télévision, ni les niveaux de brouillage, ni les critères de partage avec d'autres services, tels qu'ils ont été définis par la CAMR-RS-77.

Une étude effectuée en France a montré la possibilité de mettre en œuvre ce nouveau service de radiodiffusion dans un canal de radiodiffusion par satellite _____. Ce service _____ utilise une modulation numérique constituée en bande de base par un signal binaire NRZ limité en fréquence à la bande vidéo. Le débit binaire est d'environ 6 Mbit/s. La sous-porteuse son à 6,5 MHz du signal de télévision peut ou non être superposée à ce signal.

TABLEAU IX (suite)

Paramètre	1	2	3	4	5	6	Observations
3. Propagation							
Pertes par étalement (dB)	162,4	162,4	162,4			162,4	
Affaiblissement supplémentaire pour la propagation (dB)	0,5	0,5	0,2			0,5	
Affaiblissement par la pluie pour 99% du mois le plus défavorable (dB)	1,5	1,5	2,0			2,0	
4. Emetteur du satellite							
Ouverture d'antenne (deg.)	1,4	1				1,6 x 0,7	
Gain d'antenne (dB)	38	41	37			40,9	
Pertes dans les lignes, etc. (dB)	1	1	2,5			2	
Puissance émise (dBW)	10	23	20			23,6	
(W)	10	200	100			230	
P.i.r.e. du satellite à la limite de couverture du faisceau (dBW)	47	63	54,5			62,5	

NIC: Compression extension quasi instantanée

- (¹) Voies monophoniques.
- (²) Rapport porteuse/bruit pour la largeur de bande de Nyquist nécessaire pour obtenir un TEB de 1×10^{-7} (avant correction d'erreurs).
- (³) Pour un TEB de 1×10^{-3} (avant correction d'erreurs) correspondant à une excellence qualité de son.
- (⁴) Rapport porteuse/bruit possible avec un récepteur ayant une largeur de bande de Nyquist. La différence entre le rapport porteuse/bruit requis et le rapport porteuse/bruit à la réception peut être utilisée comme marge dans la conception du récepteur. Dans le cas d'une largeur de bande de 27 MHz nécessaire pour la réception du signal de télévision, le rapport porteuse/bruit sera d'environ 14 dB avec les caractéristiques indiquées dans le présent Tableau.
- (⁵) La marge entre le rapport porteuse/bruit (C/N_0) à la réception et le rapport porteuse/bruit (C/N_0) requis peut être utilisée pour réduire davantage la taille de l'antenne.
- (⁶) Variantes possibles pour les paramètres du système, fondées sur la transmission de voies son utilisée dans le système décrit au § 2.3 du Rapport 1073. Pour ce système, on spécifie également dans la première colonne de ce Tableau, les paramètres conformes à la Recommandation 651.
- (⁷) Equivalent à l'utilisation du codage par modulation delta adaptative (MDA) décrit dans le Rapport 953.
- (⁸) Correspondant à une antenne parabolique de 40 cm pour réception audio seulement.

5.3 Radiodiffusion à accès conditionnel

Une nouvelle application du service de radiodiffusion par satellite est la distribution de programmes de télévision avec accès sélectif. Cette application a conduit l'Administration française à étudier une technique d'embrouillage dans la bande de base qui répond à ce besoin [CCIR, 1978- 82c].

Si le signal soumis à l'embrouillage doit demeurer conforme aux caractéristiques de la norme à 625 lignes, le système d'embrouillage choisi doit garder la structure en lignes de l'image de télévision. Les composantes verticales de l'image doivent donc être détruites de manière que, même si le secret absolu n'est pas assuré, l'image soit suffisamment complexe pour décourager toute tentative de décryptage.

Pour ce faire, on introduit des transformations sur chaque ligne de télévision suivant une séquence pseudo-aléatoire évoluant au rythme des impulsions de ligne et déclenchée par chaque trame.

Le(s) récepteur(s) visé(s) sont choisi(s) au moyen de clés (dites «clés de service»), constituées chacune par un mot de 18 bits, qui déterminent la séquence pseudo-aléatoire.

L'équipement à l'étude depuis quelques années a été mis au point dans des systèmes intégrés pour utilisation sur des circuits analogiques CCD ou numériques qui permettent un embrouillage efficace de l'image.

5.4 Radiodiffusion numérique avec intégration des services

Les progrès des techniques numériques dans le domaine de la radiodiffusion permettent de transmettre l'information numérique, soit exclusivement, soit en association avec le signal principal. Une voie de radiodiffusion par satellite constitue un support approprié à cette fin. En effet, sa grande qualité de transmission et sa capacité se prêtent à l'intégration de diverses sortes d'information, d'où sa souplesse et son efficacité. Il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité possible de tous les supports de radiodiffusion entre eux, mais aussi avec d'autres services et supports de télécommunication groupés.

Le Programme d'études 2N/10-11 prévoit d'étudier la détermination de la composition technique des services et la spécification des paramètres techniques de la radiodiffusion numérique avec intégration des services, de manière à assurer une exploitation très souple et très efficace au moyen d'un canal de radiodiffusion télévisuelle par satellite et à faciliter la conception de systèmes rentables. (voir le Rapport 1227).

6. Fonctions supplémentaires pour l'exploitation de la radiodiffusion et des engins spatiaux

6.1 *Canaux de mise en attente à bande étroite*

Dans un système opérationnel utilisant des stations de liaison de connexion transportables, il pourrait être nécessaire de recourir à des canaux indépendants de mise en attente de type SCPC, transmis grâce au même répéteur de satellite que le signal de télévision correspondant. Un minimum de 2 canaux SCPC à bande étroite semble être nécessaire pour la mise en attente et la réponse. Etant donné que les antennes des stations de connexion seront probablement de dimensions supérieures, ces canaux SCPC seraient transmis à une puissance inférieure afin de limiter l'intermodulation dans la bande. La transmission de ces canaux de mise en attente doit être étudiée plus avant, du point de vue de la possibilité de les placer dans les Plans, et des répercussions éventuelles sur la qualité de la transmission.

6.2 **Fonctions de service des engins spatiaux**

Le Règlement des radiocommunications (numéro 25) stipule que les fonctions de service (TTC) des engins spatiaux seront normalement assurées au sein du service dans lequel fonctionne la station spatiale. Pour le service de radiodiffusion par satellite, cela couvre _____ les bandes attribuées aux liaisons descendantes et aux liaisons de connexion correspondantes y compris la possibilité d'utiliser les bandes de garde. Les fonctions de service à fournir sont récapitulées dans le Tableau X.

TABLEAU X — Principales fonctions de service des engins spatiaux

Fonction	Notes
<p><i>Terre vers espace:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - télécommande - mesure de distance - poursuite de l'antenne d'un satellite 	<p>Transmission de faible débit binaire non continue</p> <p>Mesure non continue par signaux ou par codes</p> <p>Détection RF continue, sur onde entretenue ou porteuse balayée (par exemple, porteuse résiduelle du signal de télécommande) *</p>
<p><i>Espace vers Terre:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - télémesure - mesure de distance - poursuite de l'antenne d'une station de terre 	<p>Transmission continue de faible débit binaire</p> <p>Mesure non continue par signaux ou par codes</p> <p>Continu, sur porteuse résiduelle de télémesure ou sur porteuse balayée</p>

* Les mesures faites sur le satellite TDF-1 ont montré qu'il était possible d'atteindre une erreur radiale de 0,01° dans le pointage de l'antenne d'émission grâce à la détection RF d'une balise au sol [CCIR, 1986-90b].

Bien qu'il puisse être _____ souhaitable d'utiliser une partie des assignations de fréquences à la radiodiffusion pour les services TTC exclusivement, cela peut s'avérer impossible à faire du point de _____ vue opérationnel et technologique. Cela implique que, pour certaines phases de la durée utile d'un satellite de radiodiffusion quelconque, on devra peut-être utiliser des bandes de fréquences différentes.

L'assignation de voies spécifiques aux fonctions de service des engins spatiaux dans les bandes de fréquences attribuées aux liaisons descendantes de radiodiffusion et aux liaisons de connexion devra être effectuée en coordination étroite avec les assignations de polarisation et de fréquences aux voies de radiodiffusion, si l'on veut assurer la compatibilité avec les contraintes techniques et les contraintes opérationnelles. De plus, ces assignations devront être compatibles avec les émissions de radiodiffusion et ne devront pas causer de brouillage inadmissible à d'autres services utilisant en partage les mêmes bandes de fréquences. Ces considérations donnent à penser qu'il faudra peut-être établir des critères de partage appropriés. Des informations plus détaillées sur la mise en œuvre de fonctions de service des engins spatiaux dans les bandes de garde du service de radiodiffusion par satellite sont données dans le Rapport 1076.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AuBC [1983] Australian Broadcasting Commission — Engineering Development Report No. 127. Peak Levels in a PAL signal after pre-emphasis to CCIR Recommendation 405-1.
- CCIR [1988] Spécifications des systèmes de transmission pour les services de radiodiffusion par satellite .
- D'AMATO, P. et STROPPIANA, M. [mars-avril 1979] Ottimizzazione della rete di enfasi per trasmissioni televisive MF, standard a 625 righe (Optimization of the pre-emphasis network for FM television transmissions, 625-line standard). *Elettronica e Telecomunicazioni*, Vol. L.1000, 2, 55.69.
- IEEE [novembre 1975] Edition spéciale sur ATS-6, *IEEE Trans. Aerospace Electron. Systems*. Vol. AES-11, 6.
- OSTRANDER, N.C. [septembre 1967] The Rand Sync-Sat calculator. Memorandum RM-5228-NASA, Rand Corporation, Santa Monica, Californie (Etats-Unis d'Amérique).
- PACINI, G. P., GAUDIO, R. et ROSSI-DORIA, F. [février 1971] Experimental investigation on man-made noise in 850 MHz and 12 GHz frequency bands. *Alta Frequenza*, Vol. XL, 2, 132-139.
- SOLLFREY, W. [février 1966] Earth coverage patterns with high-gain antennae on stationary satellites. Memorandum RM-4894-NASA, Rand Corporation, Santa Monica, Californie (Etats-Unis d'Amérique).



Documents du CCIR

[1974-78]: a. 11/419 (France); b. 11/396 (Etats-Unis d'Amérique)
 [1978-82]: a. 10-11S/117 (Japon); b. 10-11S/175 (Canada); c. 11/265 (France).
 [1986-90]: a. 10-11S/8 (GTIM 10-11S/3); b. 10-11S/139 (France).

ANNEXE I

Durée de visibilité pour le satellite

Un satellite décrivant en 12 heures une orbite elliptique dans un plan incliné d'environ 63° sur le plan de l'équateur avec un apogée de 40 000 km situé très au nord de l'équateur peut couvrir une surface de l'hémisphère nord plus grande que celle d'un satellite géostationnaire et l'emploi de plusieurs satellites sur de telles orbites peut permettre d'assurer un service ininterrompu. Les temps de visibilité d'un satellite sont donnés au Tableau II pour une latitude particulière du point de réception (60° N) et pour un angle de site minimal donné (20°). Théoriquement, en raison de la non-sphéricité de la Terre, c'est pour un angle d'inclinaison de 63,4° que le grand axe ne dérive pas dans le plan de l'orbite et que, par suite, les apogées successifs se produisent à la même latitude terrestre.

TABLEAU XI - *Durée de visibilité pour des satellites évoluant sur une orbite stationnaire ou sur une orbite équatoriale circulaire sous-synchrone (non rétrograde)*

Période approximative (h)	Altitude (km)	Nombre de passages journaliers au-dessus d'un point donné	Durée approximative de visibilité au-dessus de l'horizon à chaque passage (h)			
			A l'équateur	A ± 15° de lat.	A ± 30° de lat.	A ± 45° de lat.
24 ⁽¹⁾	35 786	Stationnaire	Continue	Continue	Continue	Continue
12	20 240 ⁽²⁾	1	10,1	10,0	9,9	9,3
8	13 940 ⁽²⁾	2	4,8	4,7	4,6	4,2
6	10 390 ⁽²⁾	3	3,0	2,9	2,8	2,5
3	4 190 ⁽²⁾	7	1,0	1,0	0,9	0,6

(1) Période exacte: 23 h 56 min 4 s.

(2) Valeur approximative.

Dans l'exemple du Tableau XII, le petit axe de l'ellipse est supposé parallèle au plan de l'équateur. La période de visibilité la plus longue pour un point donné de la Terre à une latitude de 60° (soit 10,6 heures) est alors obtenue lorsque l'apogée est à la même longitude que ce point.

TABLEAU XII - *Durée de visibilité pour un satellite évoluant sur une orbite elliptique type inclinée à environ 63,4°*

Période approximative (h)	Apogée approximatif (km)	Périgée approximatif (km)	Durée approximative de visibilité à chaque passage (h) en un point de réception situé à 60° de latitude, l'antenne de réception ayant un angle de site supérieur à 20°	
			Maximum	Minimum
12	40 000	500	10,6	4,5

ANNEXE II

Mesures de l'affaiblissement dû à l'atmosphère et de la dépolarisation aux fréquences utilisées pour le service de radiodiffusion par satellite

Des mesures complètes de température de bruit du ciel à 11,5 GHz couvrant la région européenne ont été faites par l'Agence spatiale européenne pendant plusieurs années. On s'attendait que l'affaiblissement atmosphérique varie selon l'angle de site et selon les conditions climatiques locales. Cependant, dans la région européenne et pour la gamme d'angles de site (de 20° à 45°) utilisée pour les mesures, l'importance de ces facteurs est si faible qu'il n'est pas nécessaire d'en tenir compte quand on les compare aux variations aléatoires annuelles des valeurs d'affaiblissement. Les valeurs d'affaiblissement obtenues pour le mois le plus défavorable au moyen des mesures sont énumérées au Tableau XIII. Pour la planification des systèmes, on propose que soient utilisées les valeurs médianes correspondant au mois le plus défavorable d'une année moyenne.

TABLEAU XIII- *Affaiblissement à 11,5 GHz pour le mois le plus défavorable (Europe)*

Pourcentage de temps (%)	Affaiblissement non dépassé au cours des mois les plus défavorables (dB)		
	valeur à 90%	valeur médiane	valeur à 10%
20	0,3	0,4	0,6
5	0,4	0,6	0,9
1	0,9	1,1	1,4
0,3	1,2	1,8	2,4
0,1	1,5	3,3	6,0
0,03	3,1	7,3	11,0

Dans la Région 3, on a procédé à des mesures de l'affaiblissement atmosphérique dans la bande 12 GHz au moyen du satellite expérimental de radiodiffusion (BSE) au Japon, et en utilisant un radiomètre en Malaisie; ces pays sont situés respectivement dans la zone tempérée et dans la zone tropicale de l'Asie. Les résultats sont résumés dans le Tableau XIV. Bien que les données présentées doivent être considérées comme provisoires, on pourra les juger utiles jusqu'à ce que des résultats plus précis soient disponibles.

TABLEAU XIV- *Affaiblissement observé à 12 GHz au Japon et en Malaisie pendant le mois le plus défavorable*

Lieu des mesures	Période	Affaiblissement qui n'est pas dépassé pendant le mois le plus défavorable (dB)	
		pendant 99% du mois le plus défavorable d'une année moyenne	pendant 99,9% du mois le plus défavorable d'une année moyenne
12 lieux au Japon	Août 1978 à décembre 1979	2,4	6,9
Klang en Malaisie	Octobre 1970 à novembre 1972	1,7	8,7

Dans le Tableau XIV, les valeurs au Japon sont les valeurs médianes des données recueillies pendant les mois les plus défavorables d'une période de douze à quatorze mois en douze lieux différents, répartis sur tout le territoire du Japon, les angles de site sous lesquels les mesures étaient faites variant d'environ 30° à 60°. Les résultats de mesure obtenus en Malaisie ont été corrigés pour un angle de site de 45° par application de la loi de la cosécante [CCIR, 1978-82a].

Le Centre des vols spatiaux de Goddard (NASA) a mesuré l'affaiblissement dû aux précipitations à 11,7 GHz à Greenbelt (Maryland) et Rosman (Caroline du Nord) aux Etats-Unis d'Amérique, en recevant les émissions de la radiobalise montée à bord du satellite technologique de télécommunication (CTS). Ces mesures ont débuté à Greenbelt (Maryland) en juin 1976 et se sont terminées en automne 1979. Les angles de site sous lesquels le satellite CTS est vu de Greenbelt et de Rosman sont respectivement de 29,5° et de 36°.

Des mesures de l'affaiblissement par la pluie à 20 GHz et 30 GHz avaient été effectuées aussi à Rosman à l'aide du satellite ATS-6 [Ippolito, 1975].

Le Tableau XV donne les résultats résumés de ces mesures pour les deux mois les plus défavorables de la période de mesure.

TABLEAU XV— Affaiblissement par la pluie observé à 11,7 GHz (CTS) et à 20 et 30 GHz (ATS-6) dans le Maryland et la Caroline du Nord (Etats-Unis d'Amérique)

Lieu des mesures	Fréquence (GHz)	Mois	Affaiblissement moyen pendant une minute (dB), qui n'est pas dépassé pendant un mois pour les pourcentages du temps indiqués		
			99%	99,9%	99,99%
Greenbelt (Maryland)	11,7	juin 1976	<1	1,6	9,2
		août 1976	<1	5,4	15,6
Rosman (Caroline du Nord)	11,7	juillet 1976	1	1,8	8,3
	20	juillet 1974	1,5	11,0	>20
	30	juillet 1974	2,4	19,5	>35

En 1978-1980, des mesures de l'affaiblissement et de la dépolarisation ont été effectuées par le CNES-TDF (France) en Bretagne (11 700 heures) et près de Paris (3500 heures). Il s'agissait de signaux à 11,8 GHz (polarisation circulaire) et à 11,6 GHz (polarisation rectiligne), émis par les radiophares du satellite OTS [CCIR, 1978-82b]. Les valeurs d'affaiblissement non dépassées pendant 99% du temps et 99,9% du mois le plus défavorable étaient de 1,8 et 4 dB respectivement, pour Paris et de 1,5 et 3 dB respectivement, pour la Bretagne. Le rapport d'isolation du radiophare à polarisation circulaire n'était supérieur à 20 dB que pendant 99,9% du mois le plus défavorable et pendant 99,99% du temps sur toute la période de mesure; en revanche, il n'était jamais inférieur à 30 dB dans le cas du radiophare à polarisation rectiligne.

De même, des mesures de dépolarisation ont été faites avec le satellite CTS lancé en 1976 dans la bande des 12 GHz, avec une polarisation circulaire et une polarisation verticale. Des statistiques de mesures réelles, établies à partir de ce programme, ont été analysées dans le Rapport 564.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

IPPOLITO, L. J. [novembre 1975] ATS-6 millimeter wave propagation experiments at 20 and 30 GHz. *IEEE Trans. Aerospace Electron. Systems*. Vol. AES-11, 6, 1067-1083.

Documents du CCIR

[1978-82]: a. 10-11S/117 (Japon); b. 10-11S/13 (France)

ANNEXE III

EXEMPLES DE BROUILLAGE CAUSÉ PAR LE SOLEIL A UN SYSTÈME
DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE
(MESURÉ LORS DE L'EXPÉRIENCE AVEC LE SATELLITE BSE)

La Fig. 3 montre la dégradation du rapport porteuse/bruit imputable au brouillage causé par le Soleil, pour un système de réception doté d'une antenne de 1,6 m de diamètre et présentant les caractéristiques suivantes: fréquence de 12 GHz, largeur de bande de 27 MHz, bruit du récepteur de 650 K et rendement de l'antenne de 55%.

La dégradation maximale imputable au brouillage causé par le Soleil est de 6,7 dB et le temps de dégradation supérieure à 1 dB le plus long, est de 8,4 min. Quant au temps de dégradation cumulé, il est de 32,8 min pendant une période de brouillage.

Pour des antennes ayant des diamètres différents, les valeurs de la dégradation maximale, de la durée maximale de dégradation et du temps de dégradation cumulé sont comme indiquées dans le Tableau XVI:

TABLEAU XVI

Diamètre de l'antenne (m)	Dégradation maximale (dB)	Durée maximale (min)	Durée cumulée (min)
1,0	3	9,8	53,3
2,5	7	5,8	17,5
4,5	8	4,0	8,6

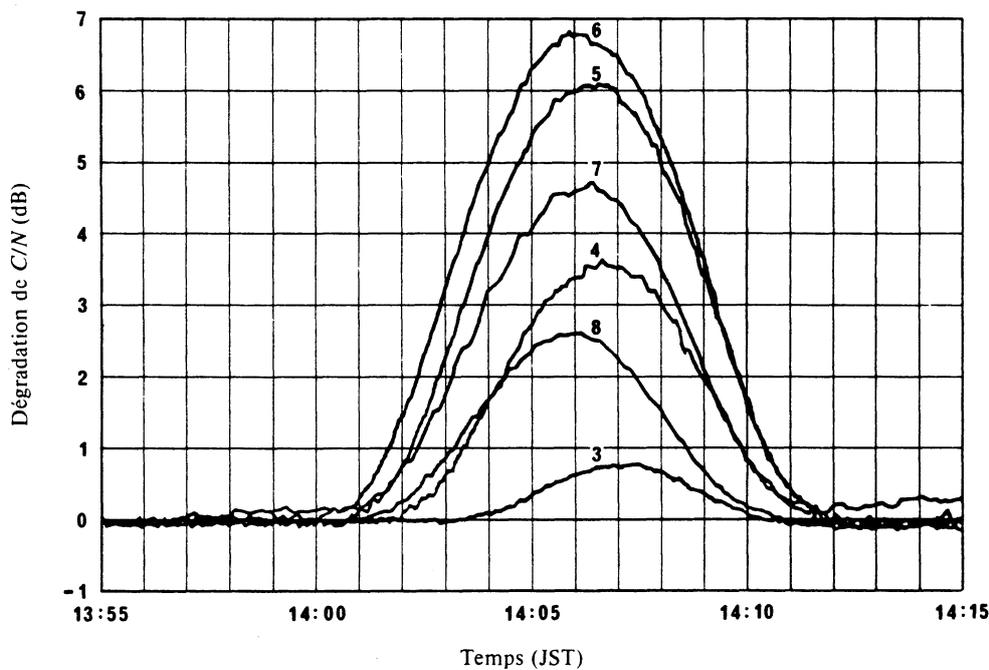


FIGURE 3 – Exemple de brouillage causé par le Soleil à une installation de réception dotée d'une antenne de 1,6 m de diamètre.
Valeurs mesurées obtenues au cours d'une expérience menée avec le satellite BSE, pendant une période de brouillage causé par le Soleil

(Les chiffres indiqués sur les courbes se rapportent aux jours du mois de mars 1980 auxquels les mesures ont été effectuées.)

