

## RAPPORT 1076

# CONSIDÉRATIONS AFFECTANT LE LOGEMENT DES FONCTIONS DE SERVICE DES SPATIONEFS (PTT) DANS LES BANDES DU SERVICE DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE ET DES LIAISONS DE CONNEXION

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

(1986)

### 1. Introduction

Le Règlement des radiocommunications (numéro 25) indique que les fonctions de service des spationefs (PTT) sont normalement assurées au sein du service dans lequel fonctionne la station spatiale. La CAMR-RS-77 n'a pas fourni de créneaux de fréquences spécifiques pour ces fonctions, si ce n'est qu'elle a réservé des bandes de garde aux bords de la bande 11,7-12,5 GHz pour la Région 1 et de la bande 11,7-12,2 GHz pour la Région 3. Un plan de fréquences compatible est supposé pour les liaisons de connexion dans la bande 17-18 GHz également. Ces bandes de garde pourraient être utilisées pour des assignations PTT espace vers Terre et Terre vers espace.

Il convient de noter que certains pays des Régions 1 et 3 peuvent envisager l'exploitation de la bande des 14 GHz pour des liaisons de connexion dans le SRS. L'utilisation de bandes de garde dans ce domaine de fréquences risque de soulever des difficultés en raison des contraintes de partage avec le SRS. Des études complémentaires sont nécessaires.

On rappellera qu'il est précisé dans les Actes finals de la CARR SAT-83 que les fonctions de service des spatonefs peuvent utiliser les bandes de garde assignées de 12 MHz à chaque extrémité des bandes 12,2-12,7 GHz et 17,3-17,8 GHz pour la Région 2. L'approche recherchée consiste à isoler les liaisons PTT des liaisons de radiodiffusion dans la mesure où ni l'un ni l'autre de ces services n'est gêné par l'autre, dans les limites établies par les prescriptions réglementaires.

Les bandes de garde sont limitées si l'on considère le nombre de satellites SRS qui pourraient être situés sur une seule position orbitale. Si de nombreux systèmes à satellites occupent une même position orbitale, où chaque système peut comprendre plusieurs satellites ayant chacun besoin de canaux PTT, il y a une possibilité de brouillage excessif entre les signaux PTT et les signaux de télévision. Il apparaît donc nécessaire d'élaborer des directives techniques pour les assignations de fréquence PTT. Le présent Rapport essaie de définir certaines des considérations importantes relatives aux stratégies d'assignation PTT et fournit certaines données techniques pour l'estimation des brouillages entre les signaux PTT, de radiodiffusion et de liaison de connexion. On a établi les critères de partage suggérés pour les caractéristiques de modulation dans les Régions 1 et 3, en utilisant la dispersion d'énergie. Les résultats peuvent donc ne pas être directement applicables aux satellites de la Région 2.

Bien que ces directives reposent sur l'application de techniques traditionnelles de modulation de sous-porteuse, il convient de noter qu'il existe d'autres systèmes de modulation possibles. Ceux-ci sont examinés dans le § 4 du présent Rapport.

Plutôt que d'utiliser les bandes de garde, on pourrait loger les assignations PTT dans des canaux de radiodiffusion et de liaison de connexion non utilisés ou non attribués. De telles possibilités existeront pour pratiquement n'importe quelle position orbitale et les fréquences devront être l'objet d'un accord cas par cas, plutôt que d'être traitées de manière systématique.

## 2. Caractéristiques du système PTT

### 2.1 Fonctions PTT [CCIR, 1978-82a, b]

Les fonctions PTT à assurer dans la direction Terre vers espace sont la télécommande, la télémétrie et la poursuite d'antenne du spatonef par détection radiofréquence. Dans la direction espace vers Terre, les fonctions sont la télémesure, la télémétrie et la poursuite d'antenne de la station terrienne.

Les signaux de télécommande se caractérisent par des émissions non continues à faible débit de données, alors que les signaux de télémesure sont en général des émissions continues à faible débit de données. La télémétrie se fait généralement au moyen d'une tonalité non continue ou de processus de télémétrie par code. La poursuite d'antenne se fait par détection RF continue sur signaux à onde entretenue ou à porteuse balayée en utilisant la porteuse résiduelle des signaux de télécommande ou de télémesure selon le cas.

### 2.2 Largeur de bande nécessaire [CCIR, 1982-86a]

La largeur de bande minimale nécessaire pour un canal PTT est déterminée par les techniques de télémétrie par tonalités et la stabilité des oscillateurs locaux embarqués. En appliquant des techniques de contrôle de température pour ces oscillateurs, une assignation de largeur de bande de 400 kHz seulement pourrait suffire pour un satellite stationnaire, mais cette valeur ne comprend pas l'effet Doppler dû au déplacement du satellite par rapport à la Terre pendant la phase de transfert. Une largeur de bande de 400 kHz est donc insuffisante pour la télémétrie par tonalités d'autant plus qu'il faut prévoir des bandes de garde entre canaux PTT. Pour économiser le spectre et fournir une certaine souplesse, on peut assigner  $3 \times 400$  kHz, soit 1200 kHz, à certains systèmes à satellites de radiodiffusion. Chaque système peut coordonner au niveau interne ses opérations de télémétrie avec jusqu'à trois satellites dans cette bande composite de 1200 kHz. Des bandes de garde entre les bandes composites sont nécessaires pour différencier les systèmes à satellites. La Fig. 1 montre un exemple de cette méthode.

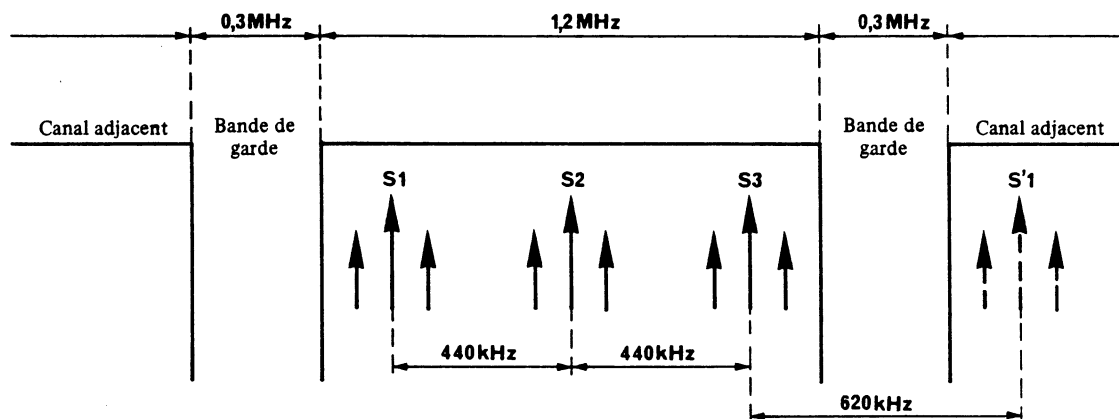


FIGURE 1 – Espacement des signaux dans les canaux d'exploitation spatiale

Le nombre de canaux PTT qui peuvent être logés dans les bandes de garde (25 MHz pour les Régions 1 et 3 et 24 MHz pour la Région 2) ne semble pas, excepté dans quelques cas, être un problème en termes de largeur de bande disponible. Les problèmes sont plutôt: quelle est la séparation en fréquence nécessaire entre les canaux de radiodiffusion télévisuelle et les canaux PTT les plus proches, et comment obtenir un découplage suffisant des signaux de radiodiffusion et des signaux PTT.

### 2.3 *Caractéristiques d'exploitation* [CCIR, 1982-86a]

Des caractéristiques PTT nettement différentes sont nécessaires pendant les phases de lancement, de transfert d'orbite et d'orbite géostationnaire d'un satellite. La dernière phase comprend des opérations nominales associées à un spationef stabilisé, et des opérations non nominales généralement associées à la perte de contrôle d'attitude.

Pendant les opérations nominales d'un spationef, chacune des fonctions PTT doit être assurée et un certain soin sera nécessaire pour obtenir une bonne qualité du signal, cette dernière étant particulièrement importante pour la poursuite d'antenne du spationef. Durant le lancement du satellite, en orbite de transfert et pendant un comportement non nominal du spationef sur l'orbite des satellites géostationnaires, des contraintes réduites peuvent suffire. En particulier, la poursuite d'antenne du spationef n'est pas nécessaire. La principale différence physique entre ces deux modes de fonctionnement résidera dans le gain des antennes du spationef. Dans ce dernier cas, des antennes omnidirectionnelles devront être employées et cela imposera donc une limitation aux niveaux de p.i.r.e. d'un système général de PTT. La puissance pourrait être réduite quand on utilise les antennes d'émission du service primaire (radiodiffusion).

La stratégie pour les assignations de fréquence PTT discutée dans le § 4 devrait permettre, en principe, l'utilisation de fréquences de la bande des 12 GHz et de la bande des 17-18 GHz pour la PTT pendant n'importe quelle phase de la vie du satellite. Toutefois, certaines limitations des niveaux de p.i.r.e. devront être respectées pour éviter un environnement de brouillage excessif avec le SRS ou d'autres services. Ces points sont discutés dans les § 3 et 4. Cependant, la coordination entre les administrations concernées peut permettre de résoudre cas par cas des problèmes de nature temporaire.

Du point de vue de la gestion des fréquences, l'utilisation exclusive de fréquences de la bande des 12 GHz et de la bande des 17-18 GHz est jugée bénéfique à long terme, et devrait en réalité former la base de toute stratégie pour les assignations de fréquence. D'autres contraintes, notamment la disponibilité des réseaux de stations terriennes PTT, peuvent exiger l'utilisation de fréquences plus basses pendant la phase de transfert et pendant un comportement non nominal du spationef sur orbite.

La polarisation des signaux PTT à 12 et à 18 GHz devrait être la même que pour les signaux du service primaire (radiodiffusion). Cela permet d'utiliser les mêmes antennes de spationef durant les périodes de commande nominales du spationef. Une polarisation circulaire opposée entre les liaisons Terre vers espace et espace vers Terre est préférable du point de vue du fonctionnement de la liaison de connexion [Fromm et McEwan, 1981].

L'utilisation des mêmes antennes pour la radiodiffusion et la PTT implique aussi une séparation suffisante des fréquences entre le signal PTT et le signal de radiodiffusion le plus proche sur le même satellite. Cette séparation devrait de préférence être d'une centaine de MHz ou davantage pour réduire les problèmes de filtrage, mais des séparations inférieures de l'ordre de 30 à 40 MHz seulement peuvent être acceptables.

Les liaisons doivent être assurées pour chaque spationef séparément, durant le lancement du spationef et le transfert d'orbite, avec deux stations terriennes ou davantage, puis avec une station terrienne principale durant les opérations nominales et non nominales sur l'orbite des satellites géostationnaires. Des marges convenables devront être incluses pour tenir compte des effets atmosphériques. Des satellites de réserve seront obligatoires pour la plupart des systèmes opérationnels de radiodiffusion par satellite, et des assignations PTT individuelles seront nécessaires pour chaque spationef. Des études relatives au remplacement des satellites suggèrent que jusqu'à trois spationefs en orbite peuvent être nécessaires pour tout système national de radiodiffusion par satellite. Cela signifie qu'un nombre maximal de 48 canaux PTT devrait être assigné si tous les canaux de radiodiffusion disponibles étaient utilisés au même emplacement de satellite. Toutefois, on s'attend à ce que le nombre nécessaire soit typiquement inférieur à 48 canaux PTT.

### 2.4 *Stations terriennes PTT*

Les principales stations terriennes PTT devraient pouvoir être situées n'importe où sur le territoire national du pays à desservir ou même en dehors. Une situation près du centre du faisceau est préférable du point de vue de la poursuite d'antenne du spationef. Il serait souhaitable en outre d'utiliser des antennes de stations terriennes ayant des diamètres permettant la réutilisation des fréquences PTT pour des satellites placés sur des positions orbitales nominales différentes.

### 2.5 *Incidences du Plan de radiodiffusion directe par satellite pour la Région 2* [CCIR, 1982-86b]

Le Rapport 952 décrit la faisabilité du copositionnement de satellites de radiodiffusion grâce à une légère séparation des satellites qui ont des canaux de radiodiffusion contrapolarisés adjacents. La séparation nominale de 0,4° suggérée assure un minimum de 10 dB de découplage pour une antenne de station terrienne de 5 m, sur la base des caractéristiques des lobes latéraux recommandées par le CCIR pour cette application. Ce niveau de découplage est applicable à des stations PTT et peut fournir un autre élément de réduction de l'environnement de brouillage entre les signaux PTT et ceux de radiodiffusion et de liaison de connexion.

## 2.6 *Autres techniques de modulation possibles* [CCIR, 1982-86a]

Actuellement, la plupart des services PTT utilisent des techniques traditionnelles de modulation de sous-porteuses. Toutefois, considérant les limitations de largeur de bande au cas où de nombreux canaux PTT sont nécessaires, d'autres techniques de modulation peuvent offrir une solution aux éventuels problèmes de brouillage, notamment si l'on considère les opérations de PTT pendant le lancement, le transfert et le comportement non nominal du spationef. Une solution prometteuse est le recours à des techniques d'étalement du spectre dans lesquelles tous les satellites situés en un emplacement utiliseraient les mêmes fréquences de signaux RF PTT mais les différencieraient au moyen de codes spéciaux.

## 3. **Partage des fréquences et compatibilité entre services**

### 3.1 *Introduction*

L'utilisation de bandes de garde pour transmettre des signaux PTT pose des problèmes de compatibilité mutuelle entre le service d'exploitation spatiale et d'autres services dans des bandes de fréquences identiques ou voisines. Deux types de compatibilité devraient être étudiés:

- la compatibilité avec les services utilisant des bandes adjacentes à celles attribuées au service de radiodiffusion par satellite et au service des liaisons de connexion. Faute d'informations, ce point n'est pas traité dans le présent paragraphe. Un complément d'étude est nécessaire;
- la compatibilité avec le service de radiodiffusion par satellite et le service des liaisons de connexion: des signaux PTT peuvent brouiller les services de radiodiffusion dans les canaux immédiatement adjacents et peuvent être brouillés par des émissions hors bande du service primaire (radiodiffusion). Ces brouillages mutuels signifient que des rapports de protection doivent être définis pour assurer la compatibilité entre services. Cette compatibilité dépendra des caractéristiques des systèmes et notamment des caractéristiques de modulation des signaux PTT. En particulier, on s'attend à ce que les concepts classiques de sous-porteuses PTT soient plus sensibles à des émissions non désirées que les techniques de modulation par étalement du spectre.

### 3.2 *Protection de canaux adjacents de radiodiffusion contre des signaux PTT*

Les signaux PTT ne devraient en aucun cas dégrader la transmission de signaux de radiodiffusion. En ce qui concerne les liaisons de connexion, des essais faits en France [CCIR, 1982-86c] ont montré que le rapport de protection des canaux adjacents contre la somme des porteuses PTT brouilleuses devrait être égal à 20 dB:

$$P_{TV}/(P_{PTT})_{total} \geq 20 \quad \text{dB} \quad (1)$$

où:

$P_{TV}$ : puissance de la porteuse du signal dans le canal adjacent à l'entrée du récepteur du satellite  
 $(P_{PTT})_{total}$ : puissance des porteuses PTT brouilleuses à l'entrée du récepteur du satellite

Cependant, étant donné que l'effet du brouillage décroît rapidement à mesure qu'augmente la séparation des fréquences entre les signaux de radiodiffusion et les signaux PTT, il a été démontré qu'un rapport:

$$P_{TV}/P_{PTT} \geq 26 \quad \text{dB} \quad (2)$$

où  $P_{PTT}$  est la puissance d'une porteuse brouilleuse PTT unique à l'entrée du récepteur du satellite, est suffisant. Des études complémentaires sont nécessaires pour confirmer cette valeur.

### 3.3 *Protection des signaux PTT contre les signaux de radiodiffusion*

Compte tenu de l'importance des signaux PTT pour le bon fonctionnement du satellite, la transmission de ces signaux ne devrait pas être affectée par des émissions hors bande de signaux de télévision. En ce qui concerne la liaison de connexion, la principale source de brouillage est le signal dans le canal adjacent (canaux 1 ou 40 dans les Régions 1 et 3). Des essais concernant ces risques de brouillage ont été faits en France [CCIR, 1982-86d]. Avec les signaux de télévision disponibles en laboratoire, les essais ont montré que le rapport de protection ci-dessous est nécessaire pour un signal PTT situé à l'extrémité du canal de la liaison de connexion (la séparation de fréquence nominale entre le signal PTT et le signal de la liaison de connexion est égale à 13,5 MHz):

$$P_{PTT}/P_{TV} \geq -27 \quad \text{dB} \quad (3)$$

où:

$P_{PTT}$ : puissance de la porteuse du signal PTT à l'entrée du récepteur PTT du satellite  
 $P_{TV}$ : puissance du signal de liaison de connexion à l'entrée du récepteur PTT du satellite  
 Les conditions d'essai ainsi que les résultats détaillés sont donnés dans l'Annexe I.

En ce qui concerne la liaison descendante, le problème du brouillage est plus complexe, en raison des produits d'intermodulation dans le répéteur de satellite et des autres sources de brouillage. Des études complémentaires sont nécessaires. Provisoirement, les conditions de protection établies pour le brouillage de la liaison de connexion peuvent s'appliquer également à la liaison descendante.

#### 4. Considérations relatives aux assignations de fréquences PTT

L'objectif de toute assignation de fréquences PTT doit être d'offrir une flexibilité maximale pour la conception des liaisons PTT tout en respectant l'ensemble des contraintes de protection. Dans l'environnement considéré, la flexibilité maximale est obtenue en autorisant l'exploitation des liaisons PTT à l'intérieur d'un créneau de fréquences donné avec la gamme de variations du signal la plus étendue possible. La limite supérieure du niveau des signaux PTT est soumise aux contraintes imposées par le brouillage admissible du canal de radiodiffusion adjacent. La limite inférieure est fixée par les impératifs de protection de la liaison PTT elle-même. Ce niveau dépend fortement des paramètres de modulation PTT. Des données typiques valables pour l'environnement de brouillage dans les Régions 1 et 3 sont analysées au § 3, des informations complémentaires figurant à l'Annexe I.

##### 4.1 *Affaiblissement et dépolarisation atmosphériques*

L'affaiblissement et la dépolarisation atmosphériques affecteront les liaisons de radiodiffusion par satellite, les liaisons de connexion et les liaisons PTT. Des marges de liaison appropriées devront être prévues pour chaque type de conception. On peut obtenir les données pertinentes dans le Rapport 564. Les prescriptions de disponibilité du service applicables aux liaisons PTT peuvent être influencées par des contraintes spécifiques mais, aux fins de la présente étude, il est estimé que des marges de pluie de 5 et 10 dB sont admises pour les bandes, respectivement, des 12 et 18 GHz. Pour les systèmes PTT, il est souhaitable de prévoir une disponibilité dépassée pendant 99,9% du mois le plus défavorable. Quand l'intensité de pluie et l'angle de site sont tels que l'affaiblissement dépasse les valeurs admises, des moyens spéciaux comme la diversité d'espace doivent être utilisés.

La dépolarisation atmosphérique influe de manière décisive sur le calcul de la p.i.r.e. maximale admissible pour les signaux PTT (techniques de sous-porteuse). En principe, la dépolarisation provoquée par la pluie en l'absence de régulation de puissance est peu gênante dans la pratique, à cause de l'affaiblissement simultané de la composante dépolarisée. Par contre, la dépolarisation due à la glace peut déboucher sur une situation de brouillage critique. Vu le manque de renseignements détaillés, il est suggéré d'admettre un facteur de dépolarisation de  $-20$  et  $-15$  dB pour les liaisons respectivement à 12 et 18 GHz.

##### 4.2 *Modulation de sous-porteuses*

Lorsqu'on applique les critères de protection obtenus au § 3 pour un brouillage mutuel entre des liaisons PTT, de radiodiffusion et de connexion, il devient évident que les liaisons brouilleuses doivent être isolées au moyen de polarisations orthogonales, ce qui, ajouté aux contraintes des systèmes discutées dans les § 2.1 et 2.2, suggère d'utiliser le concept généralisé d'assignation de fréquences et de polarisations représenté à la Fig. 2a. C'est un concept élaboré autour du Plan des liaisons descendantes pour les Régions 1 et 3, dans lequel on admet tacitement que le Plan des liaisons de connexion sera une transposition du Plan des liaisons descendantes. Il utilise la régularité des assignations de radiodiffusion. Des fréquences ont été assignées en polarisations orthogonales aux liaisons de connexion et de radiodiffusion et aux liaisons de service des spatonefs à destination et en provenance de zones de service adjacentes.

Certaines positions orbitales ont, pour leur premier et leur dernier canal, des assignations de fréquence dans une polarisation seulement. Dans ces cas, on peut envisager un autre arrangement des fréquences pour les canaux PTT (voir la Fig. 2b) qui est parfaitement compatible avec le concept de la Fig. 2a, aucune largeur de bande supplémentaire n'étant requise. La différence entre les deux concepts tient au fait que toutes les liaisons PTT sont en polarisation opposée par rapport au canal de radiodiffusion ou de liaison de connexion brouilleur ou brouillé.

Comme indiqué au § 2, tout système à satellites individuel devra recevoir une assignation de largeur de bande de 1200 kHz. Pour pouvoir découpler les systèmes à satellites, il convient d'insérer une bande de garde de quelque 100 à 300 kHz. Cela peut parfois aboutir à des contraintes incompatibles avec la largeur de bande disponible dans la bande de garde, mais, dans la pratique, on constatera la plupart du temps que tous les signaux PTT peuvent être logés. L'élaboration de concepts spécifiques pour des assignations de fréquences détaillées appelle un complément d'étude.

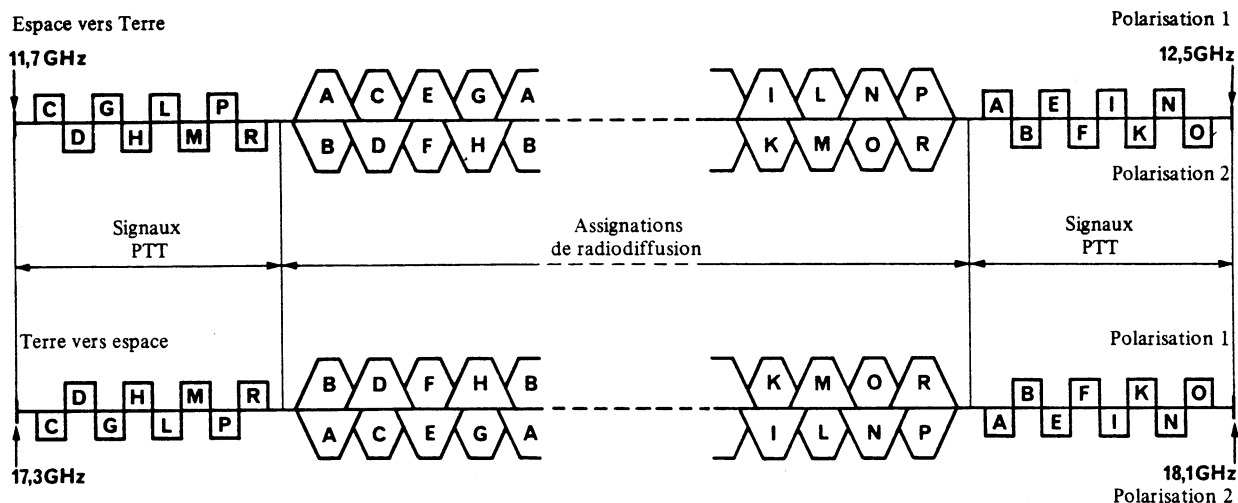


FIGURE 2a – Proposition d'assignations PTT pour des satellites de radiodiffusion, en supposant des techniques de modulation de sous-porteuses pour les signaux PTT; concept généralisé pour les assignations de la Région 1

Note 1. – A, B, ... R: zones de service ou pays.

Note 2. – Le concept pour la Région 3 peut être obtenu en introduisant les fréquences et le nombre de canaux applicables.

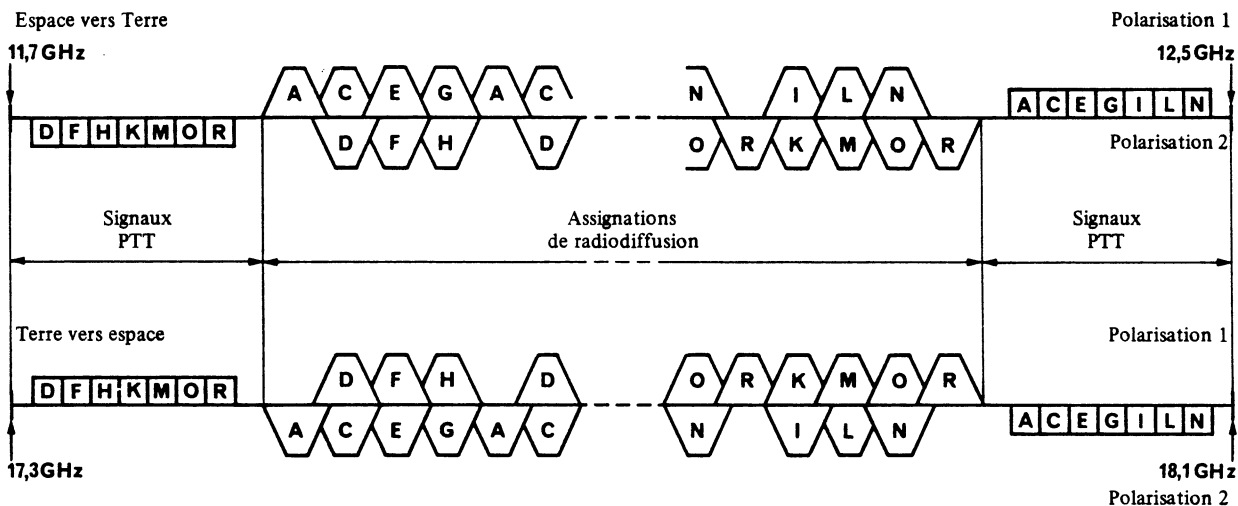


FIGURE 2b – Proposition d'assignations PTT pour des satellites de radiodiffusion, en supposant des techniques de modulation de sous-porteuses pour les signaux PTT; autre concept (voir le texte)

Note 1. – A, B, ... R: zones de service ou pays.

Note 2. – Le concept pour la Région 3 peut être obtenu en introduisant les fréquences et le nombre de canaux applicables.

La protection du premier et du dernier canal de radiodiffusion ou de liaison de connexion exige de spécifier une p.i.r.e. maximale admissible pour les signaux PTT de sous-porteuse. Du point de vue du brouillage, cela ne sera nécessaire que pour les canaux PTT les plus proches du canal de radiodiffusion ou de liaison de connexion, mais des considérations relatives à l'homogénéité globale des systèmes suggèrent d'appliquer en général un niveau maximal. Par ailleurs, il faudra tenir compte des marges d'affaiblissement et de dépolarisation atmosphériques. Toutefois, il semble superflu d'admettre simultanément un affaiblissement sur la liaison de connexion ou de radiodiffusion et une dépolarisation due à la glace sur la liaison PTT. Pour obtenir d'autres renseignements détaillés, on se reportera à des considérations identiques concernant les liaisons de connexion [Fromm et McEwan, 1981]. Avec cette hypothèse, la p.i.r.e. maximale admissible pour les liaisons PTT est calculée comme indiqué ci-dessous (toutes les valeurs sont en dB).

Terre vers espace:

$$p.i.r.e._{PTT} \leq p.i.r.e._{TV} - RP + 15 \quad \text{dB}$$

Espace vers Terre:

$$p.i.r.e._{PTT} \leq p.i.r.e._{TV} - RP + 20 \quad \text{dB}$$

où:

$p.i.r.e._{PTT}$ : p.i.r.e. maximale admissible des signaux PTT

$p.i.r.e._{TV}$ : p.i.r.e. nominale du canal de radiodiffusion ou de liaison de connexion subissant un brouillage

$RP$ : rapport de protection pour la PTT brouillant des canaux de radiodiffusion/de liaison de connexion (voir le § 3)

Les valeurs de «15 dB» et «20 dB» sont extraites du § 4.1 et représentent les dépolarisations atmosphériques dans le cas le plus défavorable. On trouvera dans l'Annexe II des bilans de liaison typiques remplissant ces conditions.

La discrimination globale par polarisations croisées par atmosphère claire est environ égale à 25 dB en raison d'un fonctionnement imparfait des antennes. Cela signifie que les marges d'affaiblissement dépassant 5 et 10 dB pour des liaisons de radiodiffusion et de connexion, respectivement, entraîneraient une spécification différente pour la p.i.r.e. maximale admissible des liaisons PTT dans les deux sens, à savoir:

$$p.i.r.e._{PTT} \leq p.i.r.e._{TV} - RP - ATT + 25 \quad \text{dB} \quad (4)$$

où:

$ATT$ : est l'affaiblissement admissible (prévu) sur la liaison de connexion Terre vers espace (> 10 dB) ou sur la liaison de radiodiffusion espace vers Terre (> 5 dB).

Les concepts proposés pour l'assignation de fréquences PTT permettent d'éviter la réutilisation des fréquences: en principe, ils sont donc compatibles avec les antennes PTT de spatonef omnidirectionnelles ou similaires dont la discrimination contrapolaire est faible. De telles antennes seraient nécessaires si les liaisons PTT à 12 et à 18 GHz devaient également être exploitées pendant le lancement du satellite, son transfert ou son fonctionnement non nominal en orbite. A l'évidence, de telles opérations doivent être compatibles avec les contraintes de protection évoquées, sans quoi des dérogations temporaires auxdites contraintes devront être coordonnées entre les administrations concernées. En particulier, les niveaux de p.i.r.e. requis pour les signaux PTT de la liaison de connexion, avec des antennes omnidirectionnelles pour les spatonefs, peuvent dépasser la valeur maximale permise. Cela pourrait conduire à des situations de brouillage critiques et une coordination spéciale sera nécessaire dans de tels cas. L'application du concept de fréquence avec découplage par polarisation orthogonale, tel qu'il est illustré par la Fig. 2b, devrait faciliter cette coordination des fréquences.

L'Annexe II contient des bilans de liaison typiques et d'autres observations.

#### 4.3 Autres techniques de modulation PTT

Le concept d'assignation de fréquences proposé dans le § 4.2 suppose, ou bien que toute variante pour la modulation PTT soit compatible avec les assignations de largeur de bande et de p.i.r.e. discutées dans le § 4.2 ou bien si c'est une technique comme la modulation par étalement du spectre, qu'elle n'est pas susceptible de causer de brouillage additionnel notable par rapport aux signaux de sous-porteuse. En outre, d'autres techniques de modulation PTT doivent pouvoir coexister avec les signaux de sous-porteuses. Il semble que cela soit possible avec les techniques d'étalement du spectre, même si la question appelle un complément d'étude détaillé. L'Annexe III présente un concept préliminaire qui facilitera peut-être l'exploitation simultanée des liaisons PTT nominales et des liaisons requises pour le lancement des satellites, le transfert et un comportement non nominal en orbite.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

FROMM, H. H. et McEWAN, N. J. [mai 1981] Direct broadcast satellite feeder links: an example of possible implications of the Regions 1 & 3 Plan for feeder links to European broadcast satellite. Cycle d'études UIT pour la CARR 1983, Ontario, Canada.

##### Documents du CCIR

[1978-82]: a. 10-11S/178 (ASE); b. 10-11S/153 (France).

[1982-86]: a. 10-11S/35 (ASE); b. 10-11S/26 (Etats-Unis d'Amérique); c. 10-11S/8 (France); d. 10-11S/9 (France).

## ANNEXE I

PROTECTION DES SIGNAUX PTT CONTRE LE BROUILLAGE CAUSÉ PAR  
LE CANAL ADJACENT DE TÉLÉVISION SUR LA LIAISON DE CONNEXION

Des essais ont été effectués en France pour étudier les problèmes de brouillage des signaux PTT (télécommande et télémétrie) par le canal adjacent de télévision sur la liaison de connexion. On utilisait, à cet effet, l'équipement d'une station terrienne du service d'exploitation spatiale et un modèle du récepteur de télécommande de satellite. On appliquait, pour les signaux PTT, les techniques classiques de modulation de sous-porteuse. Les sources de brouillage de la télévision étaient compatibles avec les caractéristiques techniques des canaux radioélectriques spécifiées dans les Actes finals de la CAMR-RS-77. On utilisait la dispersion d'énergie (600 kHz). La porteuse de télévision était modulée par les signaux vidéo et son suivants:

- lignes d'essai CCIR (17, 18, 330, 331), lignes blanc, gris et noir ou carte d'essai SECAM;
- deux sous-porteuses son analogiques.

Des mesures ont été effectuées sur le verrouillage de la porteuse, le taux d'erreur binaire de la télécommande et l'erreur de télémétrie. Avec les signaux vidéo et son disponibles en laboratoire, le cas le plus défavorable de brouillage était dû aux raies discrètes provenant des émissions du spectre de télévision hors bande qui se situaient dans la bande PTT. La puissance de ces raies était égale à  $-30$  dB (la valeur de référence  $0$  dB étant la puissance totale dans le canal adjacent de télévision). Cette valeur de  $-30$  dB correspond à une densité de puissance de  $-50$  dB(W/Hz) dans une bande de  $4$  kHz, compte tenu de la dispersion d'énergie. Cette valeur est compatible avec les renseignements donnés dans le Rapport 807 sur l'enveloppe hors bande typique du spectre de télévision. Dans ce cas, les essais ont donné un rapport de protection de  $-27$  dB pour le signal PTT lorsque celui-ci est situé à l'extrémité du canal adjacent de télévision.

Etant donné le nombre limité de signaux vidéo utilisés lors des essais, on s'est fondé sur d'autres considérations quant à la puissance maximale des raies discrètes dans la bande PTT pour obtenir le cas le plus défavorable de brouillage. Pour celui-ci, les mesures ont donné un rapport de protection de  $-17$  dB correspondant à des raies discrètes temporaires, qui pourrait atteindre un niveau de  $-20$  dB (par rapport à la puissance totale du canal adjacent de télévision). Mais des études complémentaires sont nécessaires pour confirmer cette valeur probablement pessimiste de  $-20$  dB.

## ANNEXE II

## LIAISONS PTT A SOUS-PORTEUSES

**1. Exemples de bilans de liaison pour des liaisons PTT à sous-porteuses [CCIR, 1982-86a]**

Ces bilans de liaison sont donnés uniquement à titre d'illustration. Les hypothèses sont expliquées quand c'est nécessaire. Des bilans pour des satellites spécifiques peuvent être différents.

**1.1 Liaisons Terre vers espace****1.1.1 Fonctionnement nominal**

Le Tableau I présente un bilan de liaison valable pour le fonctionnement nominal du spationef en orbite géostationnaire. Une distinction est faite entre la fonction classique de télécommande et de télémétrie et les besoins spécifiques dus à la détection RF, qui déterminent en réalité la conception de la liaison.

**1.1.2 Fonctionnement non nominal**

Le Tableau II présente un bilan de liaison qui concerne les opérations effectuées durant le transfert du satellite et durant un comportement non nominal du spationef en orbite géostationnaire.



TABLEAU I – Exemple de bilan de liaison pour fonctionnement nominal, liaisons PTT à sous-porteuses

	Paramètres de la liaison	Fonctions de télécommande et de télémétrie	Fonction de détection RF	Notes
1	$C/N_0$ (dBHz)	60	60	Nécessaire pour la détection RF
2	Gain de l'antenne de réception du spatonef (dBi)	40	26 <sup>(1)</sup>	Gain détection RF plus faible à cause de la perte de couplage
3	Température de bruit thermique à la réception (dBK)	33	43 <sup>(1)</sup>	Température de bruit détection RF plus importante à cause de la commutation/redondance
4	Densité de puissance de bruit à la réception (dB(W/4 kHz))	-160	-150	A l'entrée réception
5	Puissance surfacique de brouillage à la réception (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))	-148		On suppose: p.i.r.e. <sub>TV</sub> : 85 dBW gain contrapolaire: 20 dB spectre à ± 15 MHz du centre: (-50 dB(W/4 kHz))
6	Densité de puissance de brouillage à la réception (dB(W/4 kHz))	-154	-168	(5) + (2) - 46 dB(m <sup>2</sup> )
7	Densité de puissance de bruit totale à la réception $N_0$ (dB(W/4 kHz))	-154	-150	Somme de (4) et (6)
8	Niveau de réception requis à l'entrée récepteur (dBW)	-130	-126	
9	Marge de la liaison (dB)	10		Marge d'affaiblissement par la pluie (§ 4.1)
10	p.i.r.e. requise à la station terrienne (dBW)	49	67	Il est nécessaire de mettre en œuvre un niveau supérieur
11	p.i.r.e. maximale admissible selon le § 4 (dBW)	69		On suppose: (p.i.r.e. <sub>TV</sub> ) <sub>max</sub> = 80 dBW

<sup>(1)</sup> Les données se rapportent à un type de satellites d'une conception particulière et ne sont généralement pas applicables.

TABLEAU II – Exemple de bilan de liaison pour une orbite de transfert de satellite et un fonctionnement non nominal, liaisons PTT à sous-porteuses

	Paramètres de la liaison	Fonctions de télécommande et de télémétrie	Notes
1	$C/N_0$ requis à la réception (dBHz)	45	( <sup>1</sup> )
2	Gain de l'antenne de réception du spationef (dBi)	-6	Antenne omnidirectionnelle
3	Pertes à bord (dB)	2	Commutation, passages en guide d'ondes
4	Densité de puissance de bruit à la réception (dB(W/4 kHz))	-160	$T = 2000$ K
5	Puissance surfacique de brouillage à la réception (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))	-128	On suppose: p.i.r.e. <sub>TV</sub> : 85 dBW sans gain contrapolaire spectre à ± 15 MHz du centre: (-50 dB(W/4 kHz)) ( <sup>2</sup> )
6	Densité de puissance de brouillage à la réception (dB(W/4 kHz))	-182	A l'entrée récepteur
7	Densité de puissance de bruit totale (dB(W/4 kHz))	-160	Somme de (4) et (6) (liaison avec prédominance de bruit)
8	Niveau minimal de porteuse requis à la réception	-151	
9	Marge d'implémentation (dB)	10	Marge d'affaiblissement par la pluie (§ 4.1)
10	Perte d'étalement maximale (dB(m <sup>2</sup> ))	163	
11	p.i.r.e. d'émission requise à la station terrienne (dBW)	74	Une coordination spéciale peut être requise ( <sup>3</sup> )

(<sup>1</sup>) Le critère commun pour les fonctions du service traditionnel des spationefs exploité dans la bande des 2 GHz est de 40 dB net. Cependant, cette valeur peut n'être pas suffisante pour cette application particulière, compte tenu de la fréquence d'émission plus élevée. C'est pourquoi, on a admis dans ce cas une valeur plus élevée. Néanmoins, le critère réel peut dépasser la valeur estimée ici et il est donc nécessaire de poursuivre les études avant de pouvoir établir un bilan de liaison fiable.

(<sup>2</sup>) L'antenne de réception du spationef aura un découplage contrapolaire très limité, mais cela ne devrait pas influencer de façon significative sur la densité de puissance de bruit totale et on l'a donc négligé.

(<sup>3</sup>) Si les assignations de fréquence PTT sont employées conformément à la Fig. 1a, avec le risque éventuel d'un découplage insuffisant entre la liaison PTT et la liaison de connexion copolaire adjacente, le découplage nécessaire doit être obtenu à l'aide de l'antenne de réception de la liaison de connexion à bord du satellite brouillé. Il est probable que ce découplage sera de l'ordre de 20 à 30 dB, valeurs que l'on obtiendra normalement avec les diagrammes de rayonnement copolaires des antennes de réception de satellite.

## 1.2 Liaisons espace vers Terre

## 1.2.1 Fonctionnement nominal

TABLEAU III – Exemple de bilan de liaison pour fonctionnement nominal, liaisons PTT à sous-porteuses

	Paramètres de la liaison	Fonctions de télémétrie et de télémesure	Notes
1	$C/N_0$ requis à la réception (dBHz)	55	Suffisant pour un signal de télémétrie de bonne qualité
2	Gain de l'antenne de réception de la station terrienne (dBi)	53	Antenne de 5 m
3	Température de bruit réception à la station terrienne (K)	500	Récepteur à faible bruit
4	Densité de puissance de bruit à la réception (dB(W/4 kHz))	-165	
5	Puissance surfacique de brouillage à la réception (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))	-170	$PFDR_{TV}$ : -100 dB(W/m <sup>2</sup> ) gain contrapolaire: 20 dB spectre à ± 15 MHz du centre: (-50 dB(W/4 kHz))
6	Densité de puissance de brouillage à la réception (dB(W/4 kHz))	-160	(5) + (2) - 43 dB(m <sup>2</sup> )
7	Densité de puissance de bruit totale (dB(W/4 kHz))	-159	(6) + (4) brouillage marginalement prédominant
8	Perte d'étalement (dB(m <sup>2</sup> ))	163	Orbite géostationnaire
9	Marge de la liaison (dB)	5	Marge d'affaiblissement par la pluie (§ 4.1)
10	p.i.r.e. minimale requise pour le satellite (dBW)	18	Aisément réalisable avec une antenne d'émission à haut gain
11	p.i.r.e. maximale admissible (dBW)	37	Limite fixée par la limite de puissance surfacique admissible

PFD: puissance surfacique

1.2.2 *Fonctionnement non nominal*TABLEAU IV – *Exemple de bilan de liaison pour orbite de transfert de satellite et fonctionnement non nominal sur orbite, liaisons PTT à sous-porteuses*

	Paramètres de la liaison	Fonctions de télémétrie et de télémétrie	Notes
1	$C/N_0$ requis à la réception (dBHz)	33	Prescription nette, pas de marges incluses <sup>(1)</sup>
2	Gain de l'antenne de réception de la station terrienne (dBi)	53	Antenne de 5 m
3	Température de bruit à la réception dans la station terrienne (K)	500	Performance type
4	Densité de puissance de bruit à la réception (dB(W/4 kHz))	-165	
5	Puissance surfacique de brouillage à la réception (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))	-170	$PFDTV$ : -100 dBW/m <sup>2</sup> gain contrapolaire: 20 dB spectre à ± 15 MHz du centre: (-50 dB(W/4 kHz))
6	Densité de puissance de brouillage à la réception (dB(W/4 kHz))	-160	(5) + (2) - 43 dB(m <sup>2</sup> )
7	Densité de puissance de bruit totale (dB(W/4 kHz))	-159	(6) + (4) brouillage marginalement prédominant sur la liaison
8	Perte d'étalement (dB(m <sup>2</sup> ))	163	Orbite géostationnaire
9	Marge de la liaison (dB)	10	Marge d'affaiblissement par la pluie (§ 4.1) et pertes d'implémentation
10	p.i.r.e. minimale requise pour le satellite (dBW)	1	
11	Gain antenne d'émission du satellite (dBi)	-6	Couverture quasi omni-directionnelle
12	Pertes (dB)	2	
13	Puissance d'émission requise (dBW)	9	8 W, exige un amplificateur à TOP

<sup>(1)</sup> Cette prescription nette est commune aux fonctions traditionnelles du service de spatonefs exploité dans la bande des 2 GHz, mais peut ne pas être suffisante pour cette application lorsqu'on prend en considération la bande des fréquences sensiblement plus élevées et l'effet Doppler. Il faut effectuer des études complémentaires avant de pouvoir établir un budget de liaison fiable.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

*Documents du CCIR*  
[1982-86]: a. 10-11S/35 (ASE).

## ANNEXE III

## LIAISONS PTT A ÉTALEMENT DE SPECTRE

## 1. Exemples de bilans de liaison PTT à étalement de spectre [CCIR, 1982-86a]

Ces bilans de liaison sont donnés à titre d'illustration seulement. En l'absence de concept spécifique, les calculs sont basés sur les formules et paramètres suivants:

$$(C/N)_{FI} = \frac{C \cdot D}{\frac{1}{2} C \cdot N \cdot P \cdot B + kTB + \frac{N \cdot B}{4 \text{ kHz}}} \quad (5)$$

où:

- $(C/N)_{FI}$ : rapport porteuse/bruit dans la largeur de bande  $B$  (Hz);  
 $D$ : perte d'implémentation, 5 dB;  
 $P$ : 1/débit de code (chip rate)  $(3,1 \times 10^6)^{-1}$ ;  
 $B$ : largeur de bande FI, 250 Hz;  
 $N_0$ : densité de puissance spectrale hors bande TV, 60 dB en dessous de la porteuse à 4 kHz, se révèle non critique pour la conception de la liaison en raison du gain supplémentaire de contrapolarisation (20 dB);  
 $k$ : constante de Boltzmann =  $-228,6 \text{ dB(W(K}^{-1}\text{))}$ ;  
 $T$ : température de bruit du récepteur (K);  
 $N$ : nombre d'utilisateurs, 25;  
 $(C/N_0)_{FI}$ : porteuse/densité de bruit,  $(C/N)B$  (dBHz).

## 1.1 Liaison Terre vers espace

## 1.1.1 Détection RF (y compris la télécommande/télémétrie)

En supposant:

$$C/N_0 = 45 \text{ dBHz};$$

*Note.* – Des rapports très supérieurs ne peuvent être obtenus couramment à moins de détection RF de conception spéciale. L'influence des évanouissements atmosphériques reste à évaluer.

$$T = 20\,000 \text{ K, détection RF}$$

et en utilisant la formule (5) on obtient:

$$C = -133 \text{ dBW}$$

En employant comme données de la liaison les mêmes que pour les techniques à sous-porteuse, c'est-à-dire:

Gain de l'antenne de réception du satellite:	26 dBi
Perte d'étalement:	163 dB(m <sup>2</sup> )
Marge d'évanouissement:	10 dB

on obtient une p.i.r.e. de 60 dBW.

## 1.1.2 Fonction de télécommande/télémétrie seulement en fonctionnement non nominal sur orbite et en transfert

En supposant:

$$C/N_0 = 34 \text{ dBHz}$$

$$T = 2000 \text{ K, récepteur TC}$$

et en utilisant la formule (5) on obtient:

$$C = -157 \text{ dBW}$$

En employant comme données de la liaison les mêmes que pour les techniques à sous-porteuse, c'est-à-dire:

Gain de l'antenne de réception du satellite:	-6 dBi
Perte d'étalement:	163 dB(m <sup>2</sup> )
Marge d'évanouissement:	15 dB

on obtient une p.i.r.e. de 73 dBW.

Cette dernière p.i.r.e. est supérieure à celle nécessaire pour le fonctionnement nominal et doit donc être appliquée dans toutes les phases de la mission.

## 1.2 Liaisons espace vers Terre

La liaison déterminante est celle requise durant le transfert du satellite et le comportement non nominal sur orbite.

En supposant:

$C/N_0 = 34$  dBHz, suffisant pour 125 bit/s

Antenne de réception = 53 dBi, antenne station terrienne 5 m

$p.i.r.e._{TV} = 63$  dBW, réduite par 20 dB de gain contrapolaire

et en utilisant la formule (5) on obtient:

$$C = -161 \text{ dBW}$$

En employant comme données de la liaison les mêmes que pour les techniques à sous-porteuse, c'est-à-dire:

Perte d'étalement: 163 dB(m<sup>2</sup>)

Marge: 10 dB

on obtient une  $p.i.r.e.$  de 2 dBW.

Cette  $p.i.r.e.$ , en employant une antenne d'émission omnidirectionnelle de -6 dBi sur le spationef et des pertes de câblage de 2 dB, exige une puissance d'émission de 10 dBW (10 W). Cela peut être réalisé avec un amplificateur à TOP.

## 2. Exemple de plan de fréquences

La Fig. 3 présente un exemple de plan de fréquences.

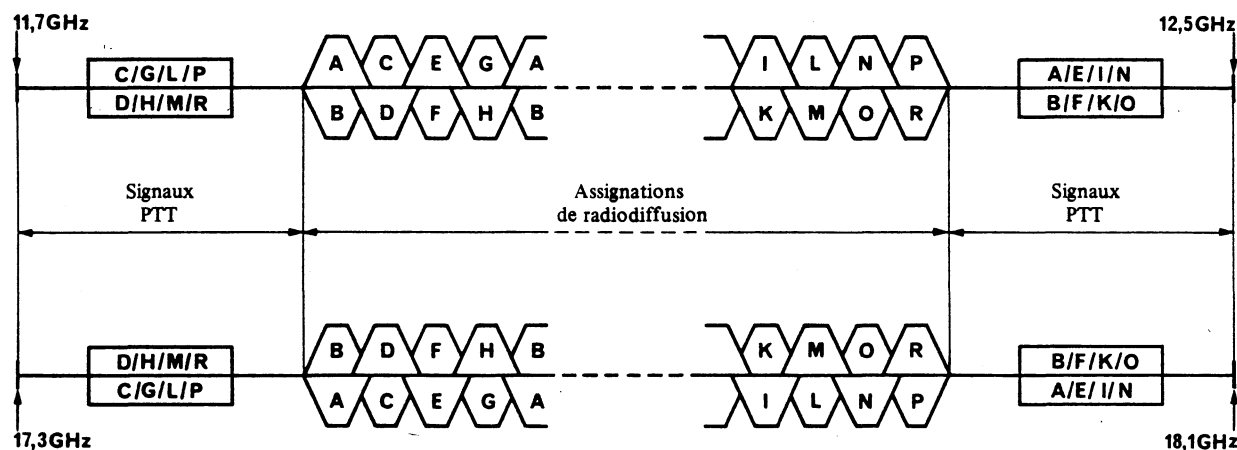


FIGURE 3 – Proposition d'assignments PTT pour des satellites de radiodiffusion utilisant des techniques de modulation par étalement du spectre pour les signaux PTT

Note 1. – A, B, ... R: zones de service ou pays.

Note 2. – Ces assignments de fréquence avec étalement du spectre nécessitent une nouvelle approche en ce qui concerne la coordination des fréquences. L'élimination du brouillage est obtenue par la distinction des codes plutôt que par la séparation des fréquences.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Documents du CCIR

[1982-86]: a. 10-11S/35 (ASE).