

RAPPORT 1050-1*

**CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES ET D'EXPLOITATION CONCERNANT UN
SERVICE DE RADIOREPÉRAGE PAR SATELLITE DANS LES BANDES 9 ET 10**

(Question 91/8)

(1986-1990)

1. Introduction

Certains systèmes du service de radiorepérage par satellite (SRRS) pourraient assurer des fonctions de radionavigation et de radiolocalisation à l'intention d'utilisateurs mobiles (air, mer et terre).

La CAMR MOB-87 a attribué les bandes 1 610 - 1 626,5 MHz (Terre vers espace) et 2 483,5 - 2 500 MHz (espace vers Terre) au service de radiorepérage par satellite. Ces attributions sont primaires ou secondaires selon les Régions et à l'intérieur des Régions selon les pays. Dans certains pays de la Région 3 une attribution est faite dans la bande 2 500 - 2 516,5 MHz (espace vers Terre).

Le présent Rapport donne le principe général du SRRS. L'Annexe I présente la description de l'un des systèmes dont la mise en oeuvre a été autorisée aux Etats-Unis d'Amérique. Les considérations relatives au partage de fréquences dans les bandes attribuées au SRRS sont examinées dans l'Annexe II.

2. Besoins à satisfaire**2.1 Définition**

Le Règlement des radiocommunications définit le "radiorepérage" comme étant la détermination de la position, de la vitesse ou d'autres caractéristiques d'un objet, ou l'obtention de données relatives à ces paramètres, à l'aide des propriétés de propagation des ondes radioélectriques (RR10 de l'Article 1).

Le service de radiorepérage par satellite est lui aussi défini dans le Règlement comme étant un service de radiocommunication aux fins de radiorepérage et impliquant l'utilisation d'une ou plusieurs stations spatiales (RR39 de l'Article 1).

2.2 Types de besoins

Plusieurs études des besoins des usagers effectuées aux Etats-Unis d'Amérique et en France ont montré l'existence d'une importante demande pour un service de radiorepérage par satellite en vue de satisfaire simultanément les besoins suivants:

- localisation instantanée et précise de mobiles à leur base de rattachement par l'intermédiaire d'une station terrienne centrale;

* Ce Rapport doit être porté à l'attention des Commissions d'études 2, 4, 7 et 9.

- aide à la navigation des mobiles par transmission de leur position instantanée;
- transmission bidirectionnelle d'informations auxiliaires aux fins de radiorepérage entre les bases de rattachement* et les stations mobiles.

Un tel service intéresse des usagers terrestres, maritimes et aéronautiques.

2.3 Systèmes actuels

Les systèmes à satellites actuels se divisent en deux catégories:

- les systèmes de radiolocalisation par satellite;
- les systèmes de radionavigation par satellite.

Dans ces deux cas, le principe appliqué pour localiser la station mobile est basé en général sur l'utilisation d'une liaison unidirectionnelle avec les usagers, comme cela est décrit plus bas.

Dans les systèmes de radiolocalisation par satellite, le calcul des coordonnées du mobile est effectué au sol dans une station centrale sur la base des émissions provenant de la station mobile. Les coordonnées ainsi calculées sont disponibles à chaque base de rattachement*d'usager; l'usager individuel ne peut connaître sa position que si une liaison particulière en retour est établie pour lui adresser les informations correspondantes. Le système de localisation COSPAS-SARSAT est un exemple de système entièrement global de radiolocalisation par satellite; toutefois, ce système utilise des satellites à basse altitude et ne fournit pas de localisation instantanée; en outre, il est réservé aux applications de recherche et de sauvetage (voir le Rapport 761).

Inversement, les systèmes de radionavigation par satellite permettent à l'usager de se localiser de façon indépendante sans avoir besoin de l'intervention active d'une autre entité. Les calculs sont effectués au niveau de l'équipement utilisateur qui utilise un récepteur à l'écoute des signaux de repérage, ainsi que les informations relatives aux éphémérides du ou des satellites. De façon similaire au cas précédent, la radionavigation par satellite ne permet pas aux bases de rattachement* des usagers de connaître la position du mobile à moins de prévoir une liaison retour pour acheminer les informations correspondantes. Les systèmes GPS-NAVSTAR et GLONASS sont des exemples de systèmes de radionavigation par satellite (voir le Rapport 766).

2.4 Nouveaux systèmes

Les besoins exprimés au § 2.2 ne peuvent être satisfaits dans leur ensemble par aucun des systèmes actuels décrits au § 2.3. De nouveaux systèmes de radiorepérage par satellite en projet, en cours de développement ou en cours de réalisation utiliseront des liaisons bidirectionnelles entre les mobiles et la station terrienne centrale, par l'intermédiaire de satellites géostationnaires, assurant à la fois:

- une détermination précise de la position (par références doubles ou triples)
- un accès quasi immédiat;

* Par base de rattachement, on entend centre d'exploitation d'une flotte de mobiles, généralement situé à quelque distance de la station terrienne centrale.

- la disponibilité de l'information de position à la fois pour l'utilisateur mobile et pour sa base de rattachement par l'intermédiaire d'une station terrestre centrale;
- un accès des équipements de mobiles fondé sur l'emploi de techniques éprouvées;
- la possibilité de desservir un grand nombre de mobiles;

On trouvera une description détaillée du système en cours de mise au point aux Etats-Unis dans l'Annexe I.

3. Caractéristiques préférées des systèmes de radiorepérage par satellite

3.1 Conception générale

Le concept général de système décrit dans le présent Rapport nécessite quatre liaisons aller-retour par satellite. Il est fondé sur un principe de "boucle fermée" complète dans lequel le temps de propagation, par rapport au signal de référence émis par la station terrestre directrice centrale et relayé par les satellites géostationnaires, est déterminé à la station terrestre centrale. La position de l'utilisateur peut alors être calculée dans la station terrestre directrice centrale et les informations de position sont transmises dans un message numérique vers l'utilisateur.

En ce qui concerne les liaisons mobiles terrestres, l'acheminement des messages pourra être interrompu momentanément par des obstacles naturels tels que la végétation, le terrain ou d'origine humaine comme les agglomérations urbaines et autres constructions. Les systèmes de transmission et les protocoles d'échange d'information devraient être conçus pour pouvoir tolérer ces interruptions.

Il faudrait prévoir de répéter les messages qui n'auront pas été acquittés soit au niveau des mobiles, soit au niveau de la station terrestre centrale.

Les brouillages éventuels qui pourraient être dus à d'autres services utilisateurs des mêmes bandes de fréquences doivent être considérés comme faisant partie de l'ensemble des causes pouvant entraîner l'interruption momentanée des liaisons.

3.2 Choix de l'orbite de satellites

Plusieurs types d'orbites sont utilisables pour les systèmes de radiorepérage par satellite; trois types d'orbites sont actuellement utilisés pour des systèmes en exploitation, en cours de mise en place ou en projet: les orbites circulaires inclinées à basse altitude, les orbites inclinées à haute altitude et l'orbite des satellites géostationnaires.

3.2.1 Orbites à basse altitude

En général, il s'agit d'orbites circulaires d'inclinaison proche de 90°, d'altitude comprise entre 600 et 1 200 km, et de période orbitale de l'ordre de 100 minutes. Avec un seul satellite, il est possible de couvrir la Terre entière, pôles compris, mais avec une fréquence de passages assez faible (passant trois fois par jour approximativement par le même point à l'équateur). Cela ne pourra être amélioré qu'en utilisant plusieurs satellites, et un service quasi continu pourrait être assuré par un système à satellites multiples.

La zone de couverture instantanée d'un satellite est limitée (environ 5 000 km de diamètre) et la durée de visibilité d'un satellite depuis un point au sol est aussi limitée (en moyenne 10 minutes par passage soit 30 minutes par jour). Il en résulte des interruptions de couverture, qui limitent sérieusement les possibilités d'accès au service de radiorepérage pour un usager au sol.

3.2.2 Orbites à haute altitude

Il s'agit d'orbites d'inclinaison intermédiaire (par exemple l'inclinaison de 63,4° pour les orbites excentriques) et de périodes voisines de 12 heures ou de 24 heures. Pour couvrir une région limitée, telle que l'Europe ou les Etats-Unis d'Amérique, quatre satellites seraient nécessaires.

3.2.3 Orbite des satellites géostationnaires

Les systèmes à satellites géostationnaires présentent:

- par rapport aux systèmes à satellites à basse altitude, l'avantage de l'accès instantané sur une zone de service étendue;
- par rapport aux systèmes à satellites à haute altitude, l'avantage d'un nombre réduit de satellites pour une zone de service limitée.

Cependant, un système à satellites géostationnaires n'a pas une ouverture tout à fait globale et ne couvrira pas les régions polaires comme le fait un satellite en orbite polaire à basse altitude.

Deux satellites seulement suffisent à assurer le radiorepérage dans une région limitée, telle que l'Europe ou les Etats-Unis d'Amérique.

3.3 Fréquences préférées pour les liaisons satellite-mobile

En raison de la nécessité d'utiliser des émetteurs de petite puissance et, dans la plupart des applications, des antennes à faible gain pratiquement équidirectives, les bandes de fréquences les plus appropriées pour ce service sont situées dans la gamme 0,3 - 6 GHz, bande qui n'est pas sujette à un affaiblissement atmosphérique excessif. Ceci concerne particulièrement les liaisons usager vers satellite et satellite vers usager.

3.3.1 Liaison descendante

Le bilan de la liaison du satellite au mobile peut s'écrire, en première approximation:

$$P_t G_t \times G_r / T_r = k \times E_b / N_0 \times R_b \times (4 \pi d / \lambda)^2 \quad (1)$$

où le produit $P_t G_t$ caractérise l'émission du satellite

le rapport G_r / T_r caractérise la réception par le mobile

k est la constante de Boltzmann

le rapport E_b / N_0 caractérise la qualité de la liaison (rapportée au taux d'erreur binaire)

R_b est le débit binaire de la liaison

$(4 \pi d / \lambda)^2$ correspond à l'affaiblissement en espace libre entre le satellite et la station terrienne mobile, en admettant des antennes isotropes.

Le membre de droite de l'égalité (1) est fixé par les besoins à satisfaire, en qualité et en quantité, et par l'orbite choisie; le seul paramètre libre est la longueur d'onde λ . Donc (1) peut s'écrire:

$$P_t G_t \times G_r / T_r = \alpha f^2 \quad (2)$$

Examinons cette égalité lorsque f varie de 0,3 à 6 GHz.

- G_r est compris entre 1 et 3 dBi pour assurer la liaison quels que soient les mouvements du mobile (assiette, cap) sans recourir à une antenne autopointée qui serait coûteuse et encombrante.
- T_r est imposée principalement par la technologie disponible et demeure à peu près constante et de l'ordre de 600 K entre 1 et 10 GHz. Elle augmente au-dessous de 1 GHz en raison des bruits captés par l'antenne.
- G_t est fixé, en première analyse, par l'étendue de la zone de couverture, si on considère l'emploi d'un seul faisceau. Pour une ouverture $\sigma = 4^\circ$, qui permet de couvrir une surface comme celle des Etats-Unis d'Amérique ou celle de l'Europe, $G_t = 34$ dBi.

1) Fréquence maximale:

Lorsque G_r , T_r et G_t sont fixés, l'égalité (2) devient:

$$P_t = \beta f^2 \quad (3)$$

L'égalité (3) montre que la puissance à émettre par le satellite augmente comme le carré de la fréquence. Si l'on fixe une puissance maximale $P_t = +20$ dBW on peut calculer la fréquence maximale pour un service spécifié en qualité et en quantité.

Par exemple pour $E_b/N_0 = +4$ dB et $R_b = 64$ kbit/s (ce qui permet de desservir 230 000 mobiles recevant en moyenne chacun un message de 1 000 bits par heure), et en tenant compte d'un affaiblissement additionnel de 6 dB comprenant les pertes fixes et les marges pour évanouissements, l'égalité (1) donne:

$$f_{\max} \sim 5 \text{ GHz.}$$

2) Fréquence minimale:

Pour un gain d'antenne de satellite G_t fixé, le diamètre d'antenne D_t varie comme la longueur d'onde; donc:

$$D_t = \gamma / f \quad (4)$$

Pour un gain d'antenne de 34 dBi et un diamètre maximal de 3 m ce qui est compatible, avec une faible marge, avec le volume disponible sous la coiffe des lanceurs de satellites; la fréquence minimale est d'environ 1,6 GHz. Pour des fréquences plus basses, il faut recourir à des antennes déployables, plus coûteuses en développement.

De plus, si les besoins de trafic augmentent, on peut être conduit à découper la zone de couverture en plusieurs sous-zones et à utiliser une antenne de satellite multifaisceaux. Dans ce cas le gain G_t doit augmenter, donc le diamètre D_t . Par exemple, si la zone est couverte par huit faisceaux, D_t doit être multiplié par $\sqrt{8} = 2,7$, soit dans le cas précédent $D_t = 8$ m. Pour $f = 1$ GHz on aurait $D_t = 13$ m.

3) En résumé, les fréquences les mieux appropriées pour la liaison descendante sont comprises entre 1 et 5 GHz environ.

3.3.2 Liaison montante

Le bilan de la liaison du mobile au satellite peut encore être représenté par l'égalité (1) en intervertissant l'affectation des facteurs du membre de gauche.

Le produit $P_t G_t$ caractérise maintenant la p.i.r.e. de l'émission du mobile.

Le rapport G_r/T_r caractérise maintenant la réception par le satellite.

Les considérations précédentes sur G_r et G_t sont interverties, ce qui n'influe pas sur leurs conséquences puisque c'est le produit des gains d'antenne qui figure dans (1). Les considérations sur T_r sont à peu près les mêmes pour la réception à bord du satellite et à bord du mobile. La suite du raisonnement peut donc être calquée sur le cas de la liaison descendante.

1) Fréquence maximale:

On a encore: $P_t = \beta f^2$ (3)

Ici l'impératif de coût minimal pour un équipement mobile et l'état actuel de la technique des transistors donnent une puissance maximale de 16 dBW.

L'égalité (1) permet de calculer la fréquence maximale correspondante avec les mêmes hypothèses pour E_b/N_0 , pour R_b et pour l'affaiblissement additionnel:

$$f_{\max} \sim 3 \text{ GHz.}$$

2) Fréquence minimale:

Les considérations faites pour le cas de la liaison montante sont entièrement reproductibles, en considérant cette fois le gain G_r de l'antenne de réception du satellite.

3) En résumé, les fréquences préférables pour la liaison montante sont comprises entre 1 et 3 GHz environ.

3.4 Largeurs de bande nécessaires pour les liaisons satellite-mobile

3.4.1 Liaison descendante

La liaison descendante vers l'émetteur-récepteur de l'utilisateur est assurée par le satellite qui a le meilleur angle de vision de la zone de service. Cette liaison a pour fonction de fournir à l'utilisateur des références de temps qui peuvent être utilisées pour déclencher des demandes de détermination de position et transmettre à l'utilisateur des actions de commande, des messages de données et des informations sur la position d'utilisateur calculée.

Les transmissions peuvent être faites séquentiellement sur un canal unique par faisceau.

D'après le § 3.3.1, une valeur typique de la p.i.r.e. du satellite est 54 dBW. Il lui correspond une puissance surfacique de $-109 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$.

Or, le Règlement des radiocommunications fixe des limites à la densité spectrale de puissance surfacique, dans les bandes partagées avec des services de Terre. Par exemple, entre 1 525 et 2 500 MHz, la limite est fixée à $-144 \text{ dB(W/m}^2 \cdot 4 \text{ kHz)}$ pour les angles d'arrivée supérieurs à 25° . Une méthode d'étalement du spectre est nécessaire pour respecter cette limite.

Si l'étalement est uniforme, il doit conduire à une bande de largeur totale B telle que:

$$10 \log (B/4\ 000) \geq 144-109$$

d'où $B \geq 12 \text{ MHz}$, ce qui implique grosso modo que le rythme de code soit:

$$R_c \geq 6 \text{ MHz.}$$

3.4.2 Liaison montante

La liaison montante d'utilisateur a pour fonction de transmettre des demandes et des messages de position depuis l'émetteur-récepteur de l'utilisateur jusqu'à la station terrienne centrale. Les transmissions par l'utilisateur ne peuvent avoir lieu qu'en réponse aux repères de synchronisation inclus dans le signal de la liaison descendante vers l'utilisateur. La liaison montante de l'utilisateur est reçue par chacun des satellites du SRRS.

La technique de multiplexage séquentiel n'est pas utilisable pour cette liaison, en raison des retards différents des signaux reçus compte tenu de la position géographique de chaque mobile. Une technique de multiplexage par répartition de code peut être utilisée. Dans ce cas, la solution la moins coûteuse pour le terminal consiste à réémettre au même rythme R_c que le rythme de la liaison descendante. Le choix d'un rythme élevé procure aussi un facteur d'étalement utile pour le partage des fréquences avec d'autres utilisateurs.

3.4.3 Mesure de distance

La précision requise sur le positionnement en deux dimensions, l'altitude étant supposée connue, est de 5 à 10 mètres. Cet objectif implique que l'erreur due aux bruits et aux brouillages sur une mesure élémentaire ne dépasse pas 1,5 mètre, soit 5 ns sur une mesure de temps de trajet aller + retour. Or, compte tenu du rapport signal/bruit sur le rythme de code reconstitué et compte tenu du faible temps disponible pour faire chaque mesure (16 ms par mobile lorsque la liaison aller possède un rythme binaire $R_b = 64 \text{ kbit/s}$) la précision de mesure peut être estimée à 4% de la période du code $T_c = 1/R_c$. On en déduit $R_c \geq 8 \text{ MHz}$, donc la largeur de bande nécessaire est supérieure à 16 MHz.

3.4.4 Synthèse

En tenant compte de ce qui précède, on estime qu'une largeur de bande minimale de 16 MHz environ est nécessaire pour respecter la limite de puissance surfacique et pour assurer la précision requise pour le positionnement. Le facteur d'étalement qui en résulte facilite en outre le partage des fréquences avec les autres utilisateurs du spectre.

3.5 Liaisons de connexion entre la station terrienne centrale et le satellite

3.5.1 Liaison montante

La liaison montante assure des communications entre la station terrienne centrale et le satellite unique qui a le meilleur angle de vision pour la zone de service du SRRS. Cette liaison a pour fonction de fournir la synchronisation de temps, des messages de commande et les positions d'utilisateur calculées pour l'ensemble du système. Les transmissions sur la liaison montante consistent en flux de données individuels pour chaque zone de réception d'utilisateur.

Tous les flux sont au même rythme de code R_c pour assurer dans toutes les zones la même précision de positionnement. Il est possible de multiplexer temporellement les flux en adoptant un rythme binaire $R'_b = nR_b$ s'il y a n faisceaux.

Le facteur d'étalement sur la liaison de connexion montante vaut $(R_c/R_b)/n$. La largeur de bande requise sur cette liaison demeure d'au moins 16 MHz.

3.5.2 Liaisons descendantes

Chacun des satellites du système émet un signal sur la liaison descendante vers la station terrienne centrale. Cette émission consiste en signaux reçus par le satellite de chacun de ses faisceaux usager/satellite. Ces divers signaux multiplexés en fréquence pour former une seule émission à partir de chaque satellite.

Dans ce cas la largeur de bande requise sur la liaison de connexion descendante vaut $16 \times n$ MHz s'il y a n faisceaux. Le facteur d'étalement demeure R_c/R_b . Le multiplexage temporel n'est pas utilisable sur cette liaison à cause des différences des temps de parcours des messages individuels.

3.6 Considérations sur la capacité du système

3.6.1 Liaison montante

Un système de radiorepérage par satellite peut permettre de produire des émissions provenant des usagers de station mobile à des instants aléatoires, toutes les fois qu'un repérage de position est nécessaire. Généralement, ceci nécessite l'émission d'un court paquet de données contenant le code d'identification de l'utilisateur et d'autres bits de données. Ce paquet de données a été synchronisé avec précision à un repère de référence de temps du système pour assurer des mesures de distance exactes.

Un multiplexage à répartition en code est généralement utilisé sur la liaison d'utilisateur d'une station mobile à la station terrienne centrale en vue de séparer les émissions provenant des différentes stations mobiles qui se chevauchent dans le temps. Le même code de bruit pseudo-aléatoire peut être employé par toutes les stations mobiles du système si le code choisi a de bonnes propriétés d'autocorrélation. Les corrélateurs actuellement en usage peuvent séparément prendre en charge et verrouiller deux émissions différentes mais qui se chevauchent lorsque la séquence de prise en charge d'une des salves commence deux éléments plus tôt ou plus tard que celle de l'autre salve. A un débit d'éléments de 8 méga-éléments par seconde, deux éléments bribes occupent 250 nanosecondes. Théoriquement cette caractéristique pourrait permettre de traiter, chaque seconde, à la station terrienne centrale jusqu'à $4,10^6$ émissions utilisant le même code pseudo-aléatoire.

Toutefois, la capacité d'un système SRRS (service de radiorepérage par satellite) est également limitée par la combinaison de la p.i.r.e. du terminal d'utilisateur et du facteur de qualité G/T du satellite ainsi que par le bruit de code entre émissions qui se chevauchent. La formule ci-dessous est utilisée pour déterminer le nombre d'émissions simultanées (K) que peut accepter un seul répéteur, et sert de base à une évaluation de la capacité de la liaison montante du répéteur SRRS:

$$[E_b/N_o]^{-1}_{\text{requis}} = [E_b/N_o]^{-1}_{\text{seul}} + (K-1) [E_b/N_o]^{-1}_{\text{bruit de code}}$$

et, en supposant que les effets du bruit de code sont environ les 2/3 des effets du bruit thermique,

$$[E_b/N_o]_{\text{bruit de code}} = 1,5 * R_s$$

où:

$$[E_b/N_o]_{\text{requis}} = E_b/N_o \text{ requis pour atteindre le TEB voulu;}$$

$$[E_b/N_o]_{\text{seul}} = E_b/N_o \text{ de liaison prévue en l'absence de bruit de code;}$$

R_s = rapport d'étalement, c'est-à-dire rapport de débit d'éléments à débit de données.

Cette formule est représentée sous forme de courbes dans la Figure 1 pour une série de valeurs types E_b/N_o requises et les valeurs prévues. Ainsi qu'on le fait remarquer au § 4.4 ci-dessous, la capacité réelle d'un répéteur SRRS sera vraisemblablement plus faible en raison des effets de brouillage.

3.6.2 Liaison descendante

La liaison descendante allant de la station spatiale aux usagers de station mobile est généralement une émission continue qui fournit les repères de temps pour le système de radiorepérage par satellite conjointement avec les données de position calculées.

La capacité de cette liaison peut donc être calquée sur celle d'une liaison d'émission numérique normalisée comme suit:

$$10 \log R = \text{p.i.r.e.} - P_{\text{perte}} + G/T - 10 \log k - 10 \log [E_b/N_o]_{\text{requis}}$$

où:

R = rapidité de transmission d'information;

p.i.r.e. = p.i.r.e. de la station spatiale;

P_{perte} = totalité des pertes de trajet, y compris la station spatiale et le terminal d'utilisateur;

G/T = facteur de qualité égal au rapport entre le gain d'antenne de terminal SRRS d'utilisateur et la température de bruit du système de réception;

k = constante de Boltzmann;

$[E_b/N_o]_{\text{requis}}$ = E_b/N_o requis pour un TEB voulu y compris les marges de fonctionnement.

La Figure 2 représente un exemple hypothétique de cette relation entre la capacité de la liaison descendante et la p.i.r.e. de satellite lorsque le facteur de qualité G/T du terminal d'utilisateur est de $-26,8 \text{ dB(K}^{-1})$ et l'affaiblissement total sur le trajet de $192,5 \text{ dB}$.

Etant donné que le facteur de qualité G/T d'un terminal équidirectif d'utilisateur est généralement déterminé par la technologie, la capacité d'une liaison descendante de radiorepérage par satellite peut avoir un rapport direct avec la p.i.r.e. de la station spatiale ou, de façon équivalente avec la puissance surfacique. Les limites de puissance surfacique actuellement spécifiées dans le Règlement des radiocommunications pour la bande $2\,483,5 - 2\,500 \text{ MHz}$ restreignent les p.i.r.e. de station spatiale et se présentent ainsi comme un facteur de limitation de la capacité du service de radiorepérage par satellite.

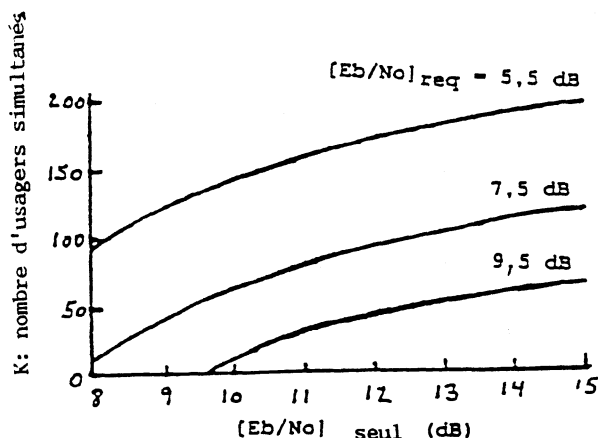


FIGURE 1

Capacité de la liaison montante SRRS
pour un bruit de code
 $[E_b/N_0] = 28,85 \text{ dB}$

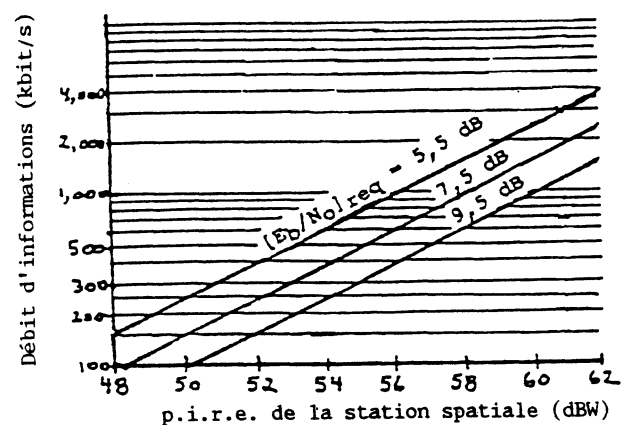


FIGURE 2

Capacité de la liaison
descendante SRRS

3.6.3 Considérations sur l'exploitation

Le nombre total d'utilisateurs de station mobile que peut accepter un système de radiorepérage par satellite est fonction de la cadence des repérages de position et de la longueur des paquets de données échangés entre l'utilisateur et la station terrestre centrale.

La formule suivante fournit une évaluation du nombre moyen d'utilisateurs que peut accepter un système SRRS à un seul faisceau:

$$N_{\text{utilisateurs}} = [R_{\text{bit/s}} * T_s] / L_{\text{bit/s}}$$

où :

$N_{\text{utilisateurs}}$ - nombre d'utilisateurs;

$L_{\text{bit/s}}$ - longueur d'émission d'utilisateur;

$R_{\text{bit/s}}$ - rapidité de transmission du système;

T_s - intervalle entre les émissions d'utilisateur.

La Figure 3 illustre cette relation. La capacité de la liaison montante d'un faisceau type d'un système SRRS est représentée graphiquement comme un compromis entre une utilisation à cadence élevée de mise à jour de la position, par exemple en navigation aéronautique et une utilisation à cadence peu élevée de mise à jour de la position, par exemple dans le cas courant de commande de flotte de camions. Pour des satellites à faisceaux multiples, la capacité approximative obtenue à partir de cette façon d'aborder la question dans le cas d'un seul faisceau sera multipliée par le nombre de faisceaux du satellite.

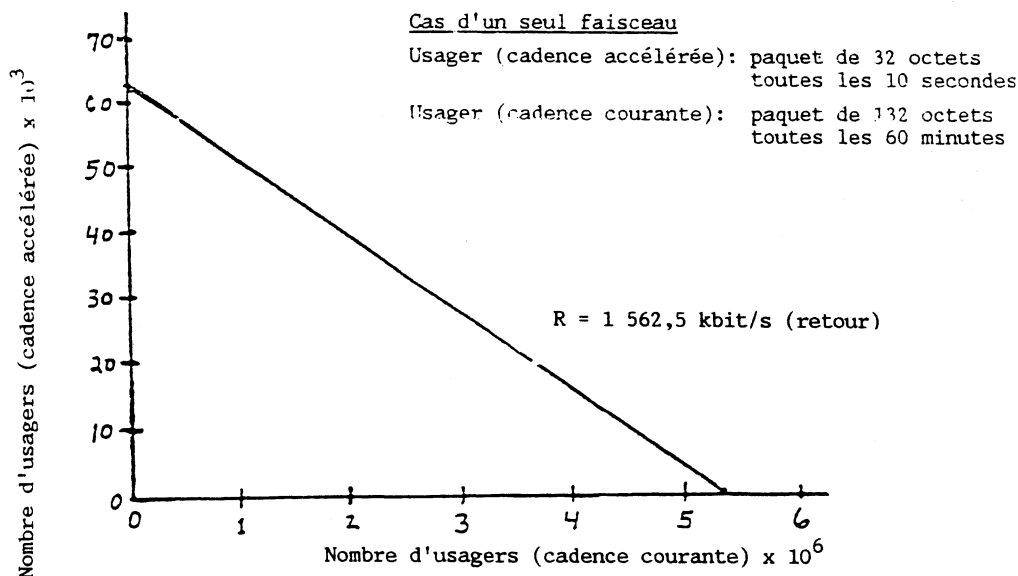


FIGURE 3

Capacité moyenne du SRRS

4. Partage de fréquences

Les bandes de fréquences attribuées au SRRS appellent diverses considérations relatives au partage de fréquences. La CAMR pour les services mobiles de 1987 a spécifié, dans les Articles 11 et 28, des conditions de partage qui ont été établies ou adaptées en vue de permettre la mise en oeuvre du service SRRS. L'Annexe II examine les conditions de partage de fréquences dans ces bandes. Il est nécessaire de poursuivre l'étude de ces conditions afin de dégager des résultats plus précis, concernant les conditions de partage de fréquences qu'il faudra appliquer au SRRS et aux services fonctionnant dans ces bandes.

4.1 Partage avec d'autres services

Les bandes de fréquences réputées les plus appropriées pour le SRRS devraient être choisies pour réduire les risques de brouillage d'autres services de radiocommunication. D'une part, les particularités de ce type de service qui doit être mobile, qui doit utiliser des émetteurs de faible puissance moyenne et des antennes pratiquement équidirectives, font qu'il ne s'agit pas d'un service avec lequel le partage de fréquences est aisé. D'autre part, cependant, la brièveté des émissions individuelles des usagers mobiles et le recours généralisé à des techniques d'étalement de spectre sont des éléments favorables au partage.

4.2 Partages à l'intérieur du SRRS

L'emploi des techniques d'étalement de spectre facilite également le partage des fréquences entre systèmes à l'intérieur du SRRS.

Entre systèmes du même type, le partage peut utiliser les propriétés de corrélation croisée des codes pseudo-aléatoires. Des évaluations théoriques montrent que, jusqu'à 12 systèmes SRRS distincts pourraient desservir la même zone.

4.3 Partage des liaisons de connexion

Ces liaisons de connexion devront sans doute partager les bandes disponibles pour les autres liaisons du service fixe par satellite et seront alors soumises aux spécifications de coordination correspondantes. Pour les liaisons de connexion prévues dans la bande 5 150 - 5 216 MHz, les conditions de partage doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

4.4 Evaluation du brouillage dans un système SRRS

Pour des sources de brouillage caractérisées par un niveau relativement constant des émissions, on peut quantifier les effets de brouillage dans un système SRRS en les exprimant en fonction des effets du brouillage sur le taux d'erreur binaire (TEB) de la transmission numérique.

Comme c'est généralement le cas pour d'autres services, les sources de dégradation de la qualité de fonctionnement du système peuvent se diviser en sources propres au système, qui dépendent du concepteur du système et en sources extérieures au système, qui se caractérisent par du brouillage. Dans le cas du SRRS, le brouillage externe doit être réparti entre celui qui est causé par d'autres systèmes à satellites et celui qui est causé par des sources de brouillage de Terre.

Les sources internes de dégradation de qualité de fonctionnement comprennent le bruit thermique, le bruit de code provenant du chevauchement des émissions dans un même faisceau d'antenne de station spatiale, et les émissions à l'intérieur d'autres faisceaux d'antenne de la même station spatiale.

Les brouillages externes provenant d'autres systèmes à satellites comprennent aussi bien les brouillages provenant d'autres systèmes SRRS que ceux provenant des systèmes à satellites d'autres services spatiaux exploités dans les mêmes bandes.

Dans d'autres services spatiaux, comme le service fixe par satellite, il est d'usage d'affecter 25% du bilan de bruit total aux brouillages provenant d'autres systèmes spatiaux et 10% à ceux qui proviennent des sources de Terre, laissant ainsi 65% du bilan de bruit à la discrétion du concepteur du système spatial. Une telle répartition des affectations de brouillage ne paraît pas convenir à un système SRRS.

Comme on ne dispose pas de discrimination d'antenne sur l'antenne de la station mobile, la situation de partage entre les différents SRRS à satellites est très différente de celle du service fixe par satellite. Pour les systèmes SRRS ce sont principalement les caractéristiques du code de bruit pseudo-aléatoire qui assurent la discrimination nécessaire entre les différentes émissions, tout à l'intérieur d'un même système SRRS à satellites qu'entre deux systèmes SRRS différents.

Le § 3.6.1 indique que la capacité effective de la liaison de retour d'un système SRRS est déterminée par le bruit de code qui apparaît à l'intérieur du système. Ce bruit de code doit être affecté aussi bien entre les usagers du système, ce qui incombe au concepteur du système qu'aux autres systèmes SRRS qui sont exploités dans la même bande avec un chevauchement des couvertures de station spatiale, ce qui ne dépend pas du concepteur du système. En ce qui concerne la liaison de sortie, un brouillage dû au bruit de code peut se produire entre des faisceaux différents d'un même satellite, entre satellites différents et entre systèmes SRRS différents. En outre, le brouillage peut être causé par d'autres services spatiaux n'utilisant pas les techniques d'étalement du spectre, ce qui se produit souvent dans les bandes réservées aux liaisons de connexion du système SRRS.

En conséquence, il convient de répartir la totalité du brouillage causé à un système SRRS par d'autres systèmes spatiaux entre le bruit de code provenant d'autres systèmes SRRS et le brouillage provenant des systèmes spatiaux d'autres services. Dans ce dernier cas, il convient de n'affecter pas plus de 10% du bilan de bruit total aux systèmes à satellites d'autres services spatiaux partageant les mêmes bandes. Une affectation de 10% de la totalité du bruit de liaison aux sources de brouillage de Terre semble convenir au SRRS. Il est nécessaire d'effectuer un complément d'étude à ce sujet.

5. Conclusion

Le présent Rapport contient les premiers renseignements relatifs aux caractéristiques des liaisons et au partage de fréquences en ce qui concerne un système de radiorepérage par satellite dont l'objectif est d'offrir, à un faible coût, des renseignements de position à des usagers mobiles (terrestres, maritimes et aéronautiques).

Il est nécessaire de poursuivre l'étude des considérations relatives au partage, dont la compatibilité électromagnétique du SRRS et des autres services, de même que les études sur les effets de la propagation par trajets multiples et sur les probabilités relatives à la qualité de fonctionnement du système.

ANNEXE I

CARACTÉRISTIQUES ————— D'UN SERVICE
DE RADIOREPÉRAGE PAR SATELLITE ACTUELLEMENT EN COURS
DE MISE AU POINT AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

1. *Principe général du système*

Un service de radiorepérage par satellite (SRRS) est en cours de mise au point aux Etats-Unis d'Amérique afin de permettre à des usagers équipés d'émetteurs-récepteurs compacts et bon marché, d'obtenir des renseignements de position et de navigation tout en disposant d'une possibilité limitée d'échanger des messages numériques (voir la Note). Le système est destiné à être utilisé pour des applications mobiles maritimes, terrestres et aéronautiques. Il fera appel aux techniques d'accès multiple par répartition en code et par répartition dans le temps afin d'être compatible sur le plan électromagnétique avec les autres systèmes du SRRS.

Note. — Les Etats-Unis d'Amérique ont communiqué des renseignements sur ce système pour une publication anticipée à l'IFRB sous le sigle de USRDSS.

Ce système est conçu pour fonctionner selon deux degrés de précision. La précision élevée dans le positionnement sera obtenue en mesurant les distances qui séparent l'utilisateur (c'est-à-dire l'aéronef, le navire ou le véhicule terrestre) de deux satellites géostationnaires. Ces données serviront ensuite au calcul de la position de l'utilisateur à partir de cartes numérisées du relief de la Terre ou, dans le cas d'aéronefs, de données fournies par l'altimètre de bord. Au cas où on ne disposerait pas de données cartographiques ou altimétriques, le calcul de la position serait effectué en utilisant un troisième satellite. Les données relatives au troisième satellite pourraient également servir à vérifier les calculs effectués avec deux satellites. Dans le premier mode de fonctionnement, la précision à l'intérieur du territoire des Etats-Unis d'Amérique sera de l'ordre de 5 à 10 m. Pour le second mode, celui qui fait appel à trois satellites, la précision sera d'environ 50 à 100 m à l'intérieur du territoire des Etats-Unis d'Amérique. Pour des raisons de géométrie, la précision du système dépend de la latitude, la précision étant d'autant plus grande que la latitude est élevée, à l'intérieur du territoire des Etats-Unis d'Amérique plutôt qu'à l'équateur.

Les liaisons et les équipements de télécommunication du système SRRS pourraient également être simultanément utilisés pour l'acheminement de messages numériques brefs entre usagers par l'intermédiaire des satellites et de la station terrienne centrale. Une description générale de fonctionnement du système est donnée dans [O'Neill, 1985].

2. *Description des liaisons*

Le système SRRS en projet utilisera 8 faisceaux étroits pour couvrir le territoire continental des Etats-Unis d'Amérique (liaisons usagers) et une antenne unique à faisceau plus large pour les liaisons de connexion. Quatre bandes de fréquences ont été attribuées pour l'exploitation du système, il s'agit :

- pour la liaison usager vers satellite: 1610-1626,5 MHz
- pour la liaison satellite vers usager: 2483,5-2500,0 MHz
- pour la liaison station terrienne centrale vers le satellite: 6525,0-6541,5 MHz
- pour la liaison satellite vers la station terrienne centrale: 5117,0-5183,0 MHz

En raison de l'utilisation possible du système pour des applications intéressant la sauvegarde de la vie humaine, et également en raison des contraintes liées à la faible puissance et à la limitation en gain des antennes, des émetteurs-récepteurs des usagers, les bandes de fréquences proposées à la fois pour les liaisons satellite vers usager, et usager vers satellite, ont été choisies pour ne pas poser de problèmes dus à l'affaiblissement atmosphérique. La retransmission automatique de signaux dont il n'a pas été accusé réception améliore les performances du système.

Le système SRRS en projet fait appel à une modulation par étalement du spectre avec un débit d'éléments de 8,192 Mbit/s. Une telle modulation, si elle n'est pas filtrée, aura des émissions hors bande assez importantes. Les brouillages provoqués par les usagers seront atténués par filtrage de leurs émissions. Le degré de filtrage requis fait l'objet actuellement d'études complémentaires. Le débit dans la bande de base sera d'environ 16 kbit/s pour la liaison usager vers satellite, et de 64 à 128 kbit/s par faisceau de la liaison satellite vers usager.

2.1 *Liaison aller*

La liaison aller part de la station terrienne centrale sous la forme d'un signal d'horloge à 8,192 MHz et de 8 flux de données, un pour chacun des 8 faisceaux d'antenne satellite/usager. Chaque flux de données a un débit d'informations de 64 kbit/s qui se traduit par un débit binaire de transmission de 128 kbit/s après codage à convolution avec correction d'erreur sans voie de retour à demi-vitesse. Chaque flux de données consiste en adresses d'utilisateur, en informations sur le numéro du faisceau, en informations de verrouillage de trame et en messages dirigés vers l'utilisateur. Ces flux de données sont multiplexés en un flux unique de 8,192 Mbit/s. Ce signal est transmis au satellite dans la bande de fréquences 6525,0-6541,5 MHz à l'aide d'une antenne parabolique de 7,5 m. Les caractéristiques de liaison pour la liaison aller sont indiquées dans le Tableau I.

Après réception par le satellite, le signal est appliqué à un démodulateur de bande de base qui reconstitue les impulsions de base de temps et les flux de données dans le signal initial. Les informations de bande de base sont transmises à un démultiplexeur de faisceau qui achemine chaque flux de données vers le faisceau approprié. Des modulateurs de code pseudo-aléatoire (PB) imposent des codes PB uniques à chacun des flux de données, synchronisant le code avec le signal d'horloge. Ce signal est ensuite élevé en fréquence, filtré et appliqué à l'amplificateur de puissance qui alimente le faisceau d'antenne approprié sur la liaison descendante pour transmission à l'utilisateur dans la bande de fréquences 2483,5-2500,0 MHz. L'émission est reçue par l'utilisateur du SRRS à l'aide d'une antenne quasi équidirective.

L'émission du satellite est structurée en trames. Chaque trame est numérotée et consiste en 98 560 éléments transmis à un débit de $8,192 \times 10^6$ éléments par seconde. Il en résulte une durée de trame de 12 ms environ (1540 bits de transmission, 770 bits d'information de données). Chaque trame est identifiée de manière à servir d'intervalle de temps pour les réponses provenant des émetteurs-récepteurs d'utilisateur. La transmission de données est organisée en trames, chaque trame contenant un bref segment de synchronisation pour acquisition rapide. Ces trames de données sont adressées à un utilisateur déterminé et se composent de paquets de données.

Un bilan de liaison indiquant la caractéristique de la liaison pour un taux d'erreur binaire de 1×10^{-5} après codage est présenté sommairement dans le Tableau II. Comme l'indique le tableau, les principales sources de bruit sont le bruit thermique, le bruit engendré par les utilisateurs du système se trouvant dans les autres faisceaux d'antenne du système (couplage entre ces faisceaux et le faisceau d'antenne considéré) et le bruit engendré par les utilisateurs d'autres systèmes du même genre en exploitation dans la même zone de couverture.

2.2 *Liaison de retour*

La liaison de retour part de l'émetteur-récepteur de l'utilisateur. Les émetteurs-récepteurs d'utilisateur sont verrouillés sur le flux continu de données provenant de la station centrale. Lorsque l'utilisateur a besoin d'obtenir une détermination de position, il déclenche une demande à un moment précis par rapport à la réception d'une référence de trame.

Les données qui proviennent de l'utilisateur consistent en demandes et messages de détermination de position. Ceux-ci sont transmis par l'utilisateur à l'aide de son antenne quasi équidirective vers les satellites géostationnaires du SRRS dans la bande de fréquences 1610,0-1626,5 MHz. Les signaux reçus par chaque faisceau sont alors appliqués à un répéteur linéaire produisant 2 fois 4 canaux adjacents de 16,5 MHz occupant une largeur de bande de 66 MHz entre 5117,0 et 5183,0 MHz. Les signaux de chacun de ces deux groupes de 4 canaux sont émis vers la station terrienne centrale en mode de réutilisation des fréquences par utilisation de deux polarisations rectilignes orthogonales. Les caractéristiques de la liaison de retour sont indiquées au Tableau III.

TABLEAU I – Caractéristiques de la liaison aller

Emetteur de la station terrienne centrale	
Bande de fréquences (MHz)	6525,0-6541,5
Puissance à l'entrée de l'antenne (dBW)	21,5
Gain d'antenne (dBi)	51,5
Polarisation	rectiligne
Diagramme hors axe	32 – 25 log θ (Recommandation 465)
Récepteur du satellite	
G/T (dB(K ⁻¹))	1,0
Antenne:	
Gain (limite de la zone de couverture) (dBi)	29,0
Ouverture (à mi-puissance) du faisceau (degrés)	5,6
Polarisation	rectiligne
Emetteur du satellite (par faisceau) ⁽¹⁾	
Bande de fréquences (MHz)	2483,5-2500,0
Puissance à l'entrée de l'antenne (dBW)	19,8
Antenne:	
Gain (limite de la zone de couverture) (dBi)	33,8
Ouverture (à mi-puissance) du faisceau (degrés)	2,2
Polarisation	circulaire dextrogyre
Emetteur de l'utilisateur	
G/T (nominal vers satellite) (dB(K ⁻¹))	-26,8
Antenne:	
Gain ⁽²⁾ (nominal vers satellite) (dBi)	1,0
Ouverture (à mi-puissance) du faisceau (degrés)	70
Polarisation	circulaire dextrogyre

⁽¹⁾ Huit faisceaux séparés sur chaque satellite couvrent la zone de service.

⁽²⁾ Le gain d'antenne de l'utilisateur variera entre 1 et 3 dBi.

TABLEAU II – Bilan de la liaison aller

Station terrienne centrale vers satellite (6533,25 MHz)	
p.i.r.e. (dBW)	73,0
Affaiblissement sur le trajet en espace libre (dB)	200,2
Affaiblissement atmosphérique (dB)	1,4
G/T du satellite (minimum) (dB(K ⁻¹))	-1,5
C/N_0 (liaison montante) (dBHz)	98,5
Satellite vers usager (2491,75 MHz)	
p.i.r.e. (minimum) (dBW)	53,6
Affaiblissement en espace libre (dB)	191,8
Affaiblissement atmosphérique (dB)	0,7
G/T d'usager ⁽¹⁾ (dB(K ⁻¹))	-26,8
C/N_0 (thermique) (dBHz)	62,9
C/I_0 (faisceaux adjacents) (dBHz)	71,1
C/I_0 (3 autres systèmes) ⁽²⁾ (dBHz)	63,8
$C/(N_0 + I_0)$ (liaison descendante) (dBHz)	60,0
$C/(N_0 + I_0)$ (liaison totale) (dBHz)	60,0
Débit binaire de l'information (64 kbit/s) (dB(bit/s))	48,1
E_b/N_0 reçu (dB)	11,9
E_b/N_0 requis ⁽³⁾ (dB)	9,8
Marge (dB)	2,1

⁽¹⁾ On admet un gain d'antenne de l'usager de 1 dBi, pour un angle de site de 20°.

⁽²⁾ On admet que trois autres systèmes de même type sont en fonctionnement dans la même zone de service.

⁽³⁾ Dont 4,6 dB nécessaires à l'obtention d'un TEB de 1×10^{-5} , avec codage, 2 dB d'affaiblissement pour la mise en œuvre du modem et 3,2 dB pour la marge du système.

TABLEAU III – Caractéristiques de la liaison retour

Emetteur d'utilisateur	
Bande de fréquences (MHz)	1610,0-1626,5
Puissance à l'entrée de l'antenne (dBW)	16
Antenne:	
Gain (nominal vers satellite) (dBi)	1
Polarisation	circulaire lévogyre
Récepteur du satellite	
G/T (limite de la zone de couverture) (dB(K ⁻¹))	1,0
Antenne:	
Gain (limite de la zone de couverture) (dBi)	29,0
Polarisation	circulaire lévogyre
Emetteur du satellite	
Bande de fréquences (MHz)	5117,0-5183,0
Puissance à l'entrée de l'antenne ⁽¹⁾ (dBW)	17,1
Antenne:	
Gain (minimum) (dBi)	25,2
Ouverture du faisceau (degrés)	5,8
Polarisation	rectiligne
Récepteur de la station terrienne centrale	
G/T (minimum) (dB(K ⁻¹))	29,4
Antenne:	
Gain (dBi)	49,4
Ouverture (à mi-puissance) du faisceau (degrés)	0,6
Polarisation	rectiligne

(¹) Pour la transmission de quatre canaux utilisant une seule polarisation. Chaque canal part d'un seul faisceau de liaison montante.

Le récepteur de la station terrienne démodule les salves de données d'utilisateur. Les caractéristiques à large bande et à spectre étalé des salves d'utilisateur permettent au système de réception d'établir à quelques nanosecondes près le moment exact de l'arrivée des mesures à l'aide de techniques utilisant des discriminateurs verrouillés sur le temps de propagation. Les données d'utilisateur sont également démodulées puis acheminées vers l'ordinateur central. Il y a 8 canaux par satellite et 3 satellites de réception actifs; le système de réception comporte donc 24 récepteurs semblables. Chaque récepteur comprend plusieurs (au moins 20) modules de démodulation pour permettre la réception de nombreuses salves d'utilisateur qui se chevauchent.

Lorsque les signaux de réponse provenant d'un usager sont reçus à la station terrienne centrale, celle-ci doit connaître exactement à quel moment la transmission de l'utilisateur a commencé afin d'effectuer les calculs appropriés pour la mesure de la distance. Elle inclut à cet effet, dans la transmission, le numéro de trame aller correspondant au moment auquel l'utilisateur a commencé la transmission.

Le bilan de liaison qui résume les caractéristiques pour la liaison de retour est présenté dans le Tableau IV. Le tableau montre que les principales sources de bruit sont le bruit thermique, le bruit produit par 4 autres utilisateurs de systèmes fonctionnant dans la même zone de couverture de faisceau d'antenne du satellite, le bruit produit par des systèmes situés dans d'autres zones de couverture par couplage avec le faisceau d'antenne considéré, et enfin le bruit produit par les utilisateurs d'autres systèmes de même type général fonctionnant dans la même zone de service.

TABLEAU IV – Bilan de la liaison de retour

Liaison usager-satellite (1618,25 MHz)	
p.i.r.e. ⁽¹⁾ (dBW)	17,0
Affaiblissement en espace libre (dB)	189,0
Affaiblissement atmosphérique (dB)	0,7
G/T du satellite (nominal) (dB(K ⁻¹))	1,0
C/N_0 (thermique) (dBHz)	56,9
C/I_0 (autres usagers, dans le faisceau) (dBHz)	65,1
C/I_0 (usagers du faisceau adjacent) (dBHz)	70,3
C/I_0 (trois autres systèmes dans la même zone de service) (dBHz)	58,4
$C/(N_0 + I_0)$ (liaison montante) (dBHz)	54,1
Satellite vers station terrienne centrale (5150,0 MHz)	
p.i.r.e. ⁽²⁾ (dBW)	42,3
p.i.r.e. par signal d'utilisateur (dBW)	18,3
Affaiblissement en espace libre (dB)	198,1
Affaiblissement atmosphérique (dB)	1,4
G/T de la station terrienne (dB(K ⁻¹))	29,4
C/N_0 (liaison descendante) (dBHz)	76,8
C/N_0 (de l'ensemble de la liaison) (dBHz)	54,1
Débit binaire de l'information (16 kbit/s) (dBHz)	42,0
E_b/N_0 reçu (dB)	12,1
E_b/N_0 requis ⁽³⁾ (dB)	10,0
Marge (dB)	2,1

⁽¹⁾ On admet un gain d'antenne de l'utilisateur de 1 dBi, pour un angle de site de 20°.

⁽²⁾ Cette p.i.r.e. est employée pour transmettre 4 canaux en utilisant une seule polarisation, chaque canal se composant du signal émanant d'un seul faisceau de liaison montante.

⁽³⁾ Comprend une valeur de 4,6 dB nécessaire pour obtenir un TEB de 1×10^{-5} , de 2 dB d'affaiblissement pour la mise en œuvre et de 3,4 dB pour la marge du système.

2.3 Mesures probabilistes des caractéristiques

Il est difficile de représenter les caractéristiques de la liaison sous forme d'un seul ensemble d'équations en raison du nombre de variables qui existent à un instant donné, telles que le nombre d'utilisateurs émettant, leur emplacement, etc. En conséquence, les paramètres ne peuvent être choisis que pour modéliser le système en un moment donné. Pour analyser les caractéristiques du système dans le temps, on peut utiliser un programme informatique pour simuler le fonctionnement du système et déterminer la probabilité d'obtenir certains niveaux de qualité de fonctionnement pour les différents utilisateurs et pour le système dans son ensemble. On entreprend actuellement un complément d'étude dans ce domaine.

2.4 Précision du positionnement

La précision du positionnement est déterminée par l'importance de l'erreur sur la mesure de la distance, par l'erreur liée à la détermination de l'altitude des usagers au-dessus du niveau moyen de la mer et par la relation géométrique qui existe entre les satellites et les usagers. Les variations du temps de propagation seront largement compensées si l'on utilise les données fournies par un réseau de 300 émetteurs-récepteurs installés en des points fixes connus.

La précision de mesure de la distance du système est fonction du rapport signal/bruit (S/N) dans le circuit de synchronisation. La valeur minimale non codée de ce rapport pour l'exploitation de voies de télécommunication est de 4,6 dB. Le synchroniseur a un gain de traitement de 6 dB par rapport à ces voies, en sorte que la valeur minimale du rapport S/N dans le synchroniseur est de 10,6 dB; ce qui donne une erreur quadratique moyenne d'environ 5 ns, lorsque l'on applique l'équation du Rapport 509. Puisque l'erreur sur la mesure de la distance se produit aussi bien dans le récepteur de l'utilisateur que dans celui de la station terrestre centrale, l'erreur quadratique moyenne sur la mesure de la distance qui en résulte est de 7 ns pour la propagation aller et retour, ou d'environ 1 m de distance entre le satellite et l'utilisateur.

L'altitude au-dessus du niveau de la mer peut être calculée à partir des cartes du relief mises en mémoire dans l'ordinateur, ou lorsqu'il s'agit d'aéronefs, à partir des données fournies par l'altimètre de bord. L'une ou l'autre de ces méthodes introduit de nouvelles erreurs dans les calculs de la position. La précision du positionnement correspond à environ deux fois le total de l'erreur sur la mesure de la distance et de l'erreur de la base de données en raison des relations géométriques entre les satellites et la surface de la Terre. Par exemple, une erreur sur la mesure de la distance d'un mètre et une erreur sur les cartes du relief de 5 m donneraient une erreur de positionnement de 12 m. A l'intérieur du territoire des Etats-Unis d'Amérique, on prévoit une erreur de positionnement d'environ 5 à 10 m.

Lorsqu'on utilise le mode moins précis, on a recours à la triangulation en utilisant 3 satellites géostationnaires au lieu de 2 et un modèle de la surface de la Terre. Cette méthode élimine une source d'erreurs, mais à cause de cette relation géométrique différente, la précision du positionnement est sensiblement moins bonne, de l'ordre de 30 à 50 fois le total de l'erreur sur la mesure de la distance. Une erreur d'un mètre dans la mesure de la distance aboutit à une précision de positionnement de 30 à 50 m.

2.5 Effets dus à la propagation par trajets multiples

On a estimé que la marge d'évanouissement requise était de 2 dB en se fondant sur le diagramme de rayonnement de l'antenne de l'utilisateur et sur un angle de site du satellite de 20°. Toutefois, cette estimation ne tient pas compte de l'effet possible sur les caractéristiques de la propagation par trajets multiples de l'installation, le plus souvent, d'une antenne pratiquement équidirective à deux dimensions sur une surface plane telle que le toit d'un véhicule. Par ailleurs, elle ne prend pas en compte la possibilité d'une marge d'évanouissement réduite pour la propagation par trajets multiples en cas de systèmes utilisant des messages très brefs automatiquement retransmis s'il n'y a pas d'accusé de réception. Il est nécessaire d'entreprendre un complément d'étude dans ce domaine.

3. Capacité de système

3.1 Liaison usager vers satellite

L'emploi d'une modulation par étalement du spectre associée avec une technique d'accès aléatoire du type «Aloha» (voir le Rapport 741) sur la liaison usager vers satellite conduit à un système dont le fonctionnement est assez différent de celui d'un système Aloha sans étalement du spectre. Dans un système Aloha sans étalement du spectre, la réception de deux messages simultanés («collision»), conduit généralement à la perte de l'un des deux messages. Dans un système Aloha à étalement du spectre, tel que celui qui est prévu pour le SRRS, un certain nombre de messages peuvent être reçus simultanément mais cependant correctement s'ils sont émis en utilisant des codes de bruit pseudo-aléatoires différents ayant de bonnes caractéristiques de corrélation croisée. Si deux signaux utilisant le même code de bruit pseudo-aléatoire entrent en collision dans le récepteur, il est encore possible de décoder les deux messages à condition qu'il y ait deux décodeurs disponibles pour ce code et que les deux signaux soient légèrement décalés dans le temps. La station terrestre de traitement du signal du SRRS doit être conçue afin de permettre un taux moyen de collision pour les liaisons usager vers satellite voisin de 10 signaux pour chacun des 8 faisceaux. On pourra même recevoir avec un rapport signal/bruit satisfaisant jusqu'à 32 émissions simultanées par faisceau provenant de tous les systèmes du SRRS fonctionnant dans la zone de couverture.

3.2 Liaison satellite vers usager

Sur cette liaison, les messages seront destinés à des usagers ou à des groupes particuliers d'usagers et émis séquentiellement à une vitesse approximative de 350 relèvements de position par seconde dans chaque faisceau d'antenne, en supposant une longueur du paquet de message égale à 128 bits.

4. Format de signal

4.1 Format de signal de liaison montante

L'émission de liaison montante provenant d'un usager de station mobile se compose d'une salve d'émission d'une durée approximative de 20 à 80 ms émise à un débit d'éléments de 8 millions d'éléments par seconde. Comme le montre la Figure 1, la salve d'émission est divisée en une séquence d'acquisition pour permettre à la station terrienne centrale de se verrouiller sur le paquet entrant, un champ de longueur pour indiquer la longueur de la partie "données" du paquet, une adresse d'acheminement pour la commande de prétraitement et l'acheminement des paquets entrant (adresse physique), des champs de commande de format et de protocole, un champ de données de longueur variable, un contrôle de redondance cyclique (CRC) pour la détection des erreurs et des bits de justification pour la correction d'erreur directe (CED) sans voie de retour. Le champ de données contient un diad interne nécessaire au repérage de position et un paquet d'application d'autres données si nécessaire.

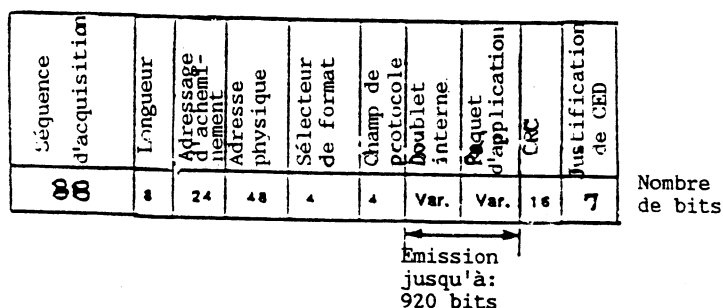


FIGURE 1

Structure du signal de liaison montante SRRS

4.2 Format de signal de liaison descendante

Le signal de liaison descendante se compose de l'émission continue de trames de longueur fixe, le début de chaque trame constituant un repère de référence de temps du système SRRS. Comme le montre la Figure 2, chaque trame se compose d'une assistance à l'acquisition, du numéro de trame, d'un numéro de faisceau, et de paquets normalisés de liaison descendante adressés à un usager ou à un groupe d'usagers. Chaque paquet de liaison descendante est délimité par des fanions HDLC (de commande de liaison de données à haut niveau), et contient une adresse (code d'identification d'usager individuel ou de groupe d'usagers), des champs de commande de format et de protocole, un paquet d'application comprenant la position calculée de l'usager et d'autres données ainsi qu'une séquence de contrôle de trame (FCS) pour la détection des erreurs.

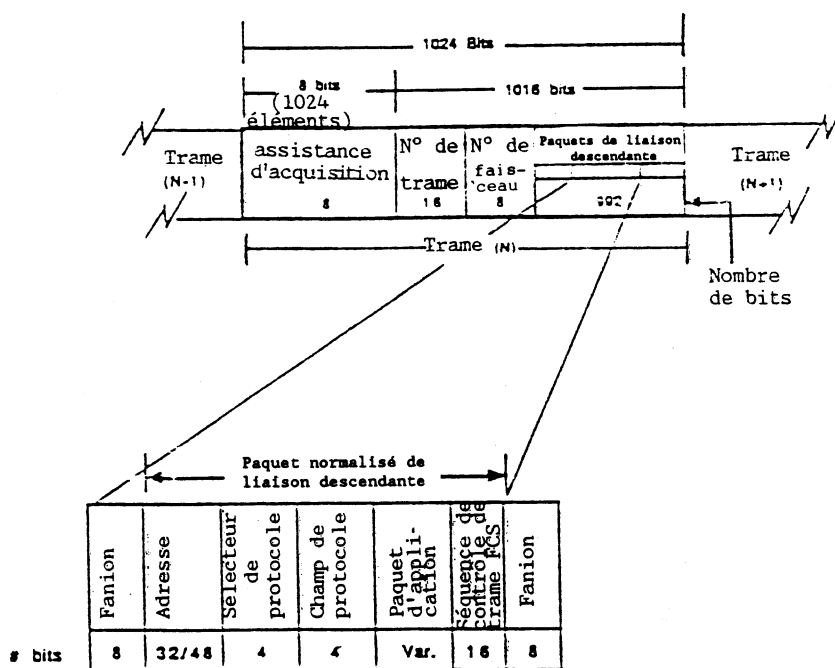


FIGURE 2

Structure du signal de liaison descendante SRR

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

O'NEILL, G. K. [mars 1985] GEOSTAR: Un système de satellites à usages multiples pour les besoins de l'aviation civile, *Bulletin de l'OACI*, Vol. 40, 3, 12-17. Organisation de l'aviation civile internationale, Montréal, Canada.

ANNEXE II

ANALYSE DU PARTAGE DES FREQUENCES POUR LE SERVICE DE RADIOREPERAGE PAR SATELLITE

La présente annexe examine les conditions de partage de fréquences dans les bandes ci-dessous énumérées, attribuées au service de radiorepérage par satellite (SRRS). Les § [1 à 4] traitent du partage avec d'autres services (partage interservices), tandis que le § [5] examine le partage entre les systèmes SRRS (partage intraservice).

1. Liaison usager vers satellite (1610-1626,5 MHz)

Dans cette bande de fréquences, les attributions concernent les services de radionavigation **aéronautique** (à titre primaire), les services fixes (à titre primaire dans plusieurs pays de la Région 1 et à titre secondaire dans la Région 3) et le service de radioastronomie (à titre secondaire, voir le numéro 734 du Règlement des radiocommunications). ——— En outre, la sous-bande des 1 625,5 - 1 626,5 MHz est également attribuée par la CAMR MOB-87 au service mobile aéronautique pour les transmissions provenant de stations d'aéronefs à des fins de correspondance publique.

La CAMR pour les services mobiles de 1987 a spécifié que la puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) transmise dans une direction quelconque par une station terrienne du SRRS dans la bande des 1 610 - 1 626,5 MHz ne devra dépasser -3 dBW dans aucune bande de 4 kHz. En outre, des distances de coordination uniformes de 100 et 400 km ont été spécifiées respectivement pour les émetteurs SRRS au sol et les émetteurs SRRS de bord.

1.1 *Le service de radionavigation aéronautique*

Eu égard au fait que les usagers de cette bande sont ordinairement des usagers mobiles et que les usagers individuels auront un temps d'utilisation probablement très faible, on peut estimer que les brouillages entre les usagers seront temporaires et pourront être traités en utilisant les techniques d'exploitation habituellement employées dans les services mobiles, telle la réémission d'un signal brouillé; sur ce point, il est nécessaire de disposer d'informations et d'études complémentaires. ~~De même, il est nécessaire de disposer d'informations et de faire des études sur les risques de brouillage causé par des émissions hors bande provenant d'émetteurs du SRRS au service de radionavigation par satellite dans la bande de fréquences adjacente.~~

1.2 *Le service de radioastronomie*

Le service de radioastronomie utilise la bande 1610,6-1613,9 MHz pour effectuer des observations sur la raie spectrale hydroxyle (voir le numéro 734 du Règlement des radiocommunications). En raison de la très grande sensibilité des récepteurs de radioastronomie, il ne sera pas possible d'effectuer des observations sur cette raie spectrale lorsqu'un utilisateur du SRRS effectuera une émission à l'intérieur de la zone de visibilité d'un observatoire. Afin d'assurer la protection de ces observations utiles, un plan de coordination concernant l'utilisation de cette bande de fréquences par le SRRS et le service de radioastronomie a été mis au point en collaboration avec les radioastronomes aux Etats-Unis d'Amérique. Le plan demande aux usagers du SRRS de limiter leurs émissions aux 200 premières millisecondes suivant le repère de temps d'une seconde du temps universel coordonné (UTC) lorsqu'un émetteur se trouve situé dans une zone donnée autour d'un observatoire de radioastronomie.

L'effet de ces limitations est d'augmenter légèrement le temps de réponse pour les usagers puisque la transmission ne peut avoir lieu que pendant certains intervalles de temps, et d'augmenter le temps d'intégration pour les observations radioastronomiques sur la raie spectrale hydroxyle. Ces restrictions, toutefois, permettent à des services apparemment incompatibles d'utiliser la même bande de fréquences avec une complication d'exploitation acceptable.

Les conséquences du plan de partage proposé sur le service de radioastronomie doivent faire l'objet d'un complément d'étude. On trouvera plus de précisions sur ce sujet dans le Rapport BG/8.

1.3 *Le service fixe (numéro 730 du Règlement des radiocommunications)*

Le numéro 730 du Règlement des radiocommunications prévoit une attribution additionnelle au service fixe, à titre primaire, dans plusieurs pays de la Région 1. Le partage des fréquences entre le SRRS et les systèmes du service fixe dans cette bande, pour les liaisons montantes, dépend des positions relatives des satellites de réception, de la zone de service en question et des systèmes du service fixe.

1.3.1 *Brouillage occasionné aux services fixes*

Les usagers du SRRS peuvent occasionner des brouillages sporadiques à un système du service fixe lorsqu'ils fonctionnent au voisinage d'un récepteur du service fixe. Le brouillage consiste en de brèves pointes de bruit, d'une durée de l'ordre de 20 ms. Un seul usager pourrait produire de telles pointes de signaux brouilleurs à un rythme allant d'une fois par minute pour certains usagers dans des avions à plusieurs fois par jour pour certains usagers terrestres, le facteur d'utilisation serait ainsi extrêmement faible.

La zone dans laquelle un récepteur du service fixe pourrait subir un brouillage causé par un usager du SRRS dépendra de la position, du bruit du récepteur et du gain d'antenne du système de réception mais, en général, cette zone s'étendra jusqu'à l'horizon.

1.3.2 *Brouillage occasionné aux satellites du SRRS*

En ce qui concerne le brouillage occasionné par les systèmes du service fixe à un satellite du SRRS, il existe deux situations de brouillage possibles selon que le système du service fixe est situé ou non dans la zone de service du satellite. Pour les systèmes du service fixe situés dans la zone de service du SRRS, les effets des brouillages sont atténués par la discrimination d'antenne du système du service fixe. Pour les systèmes du service fixe situés en dehors de la zone de service du SRRS, le brouillage est atténué par la discrimination d'antenne à la fois des antennes du système du service fixe et du satellite du SRRS.

En l'absence de toute discrimination d'antenne entre les systèmes, la puissance de brouillage reçue par un satellite du SRRS en provenance d'un système du service fixe délivrant une puissance de 2 W sur une antenne présentant un gain de 32 dBi, sera située environ 16 dB au-dessus du niveau de puissance de la porteuse des signaux utiles provenant d'un usager du SRRS. Le rapport porteuse/brouillage nécessaire pour assurer la protection du satellite du SRRS contre les brouillages est approximativement de 0 dB, c'est-à-dire que le brouillage est alors équivalent en termes de niveau de puissance aux émissions émanant d'un seul usager du SRRS. Un niveau inférieur de 4 dB par rapport à cette valeur semble être un critère convenant au brouillage par un seul signal. Ce niveau est obtenu avec un seul brouilleur, lorsque les deux antennes assurent une discrimination totale de 21 dB.

Pour les systèmes du service fixe situés en dehors de la zone de service du SRRS, l'antenne du satellite du SRRS aura des niveaux de discrimination importants en direction de l'émetteur de la station du service fixe. On obtient la totalité des 21 dB de discrimination lorsque l'antenne du satellite du SRRS est pointée vers une direction de plus de 7,6° par rapport à celle de la station du service fixe. Une discrimination supplémentaire est obtenue si l'antenne de la station du service fixe n'est pas directement pointée vers le satellite du SRRS.

Pour des systèmes du service fixe situés dans la zone de service du SRRS, la totalité de la discrimination entre les deux systèmes doit être assurée par l'antenne du système du service fixe. Une antenne du système du service fixe présentant un gain type de 32 dBi assurera une discrimination de 21 dB à un angle de 12° par rapport à l'axe principal. Considérant, toutefois, que l'antenne d'un système du service fixe sera généralement pointée dans une direction proche de l'horizon et qu'un satellite du SRRS sera visible très en dessus de l'horizon à l'intérieur de sa zone de service, les émetteurs du service fixe situés dans la zone de service du SRRS ne poseront pas de problèmes de brouillage.

1.4 Service mobile aéronautique

Les transmissions provenant de stations d'aéronefs du service mobile aéronautique peuvent causer des brouillages aux récepteurs des stations spatiales SRRS. Ces brouillages peuvent se produire lorsque l'aéronef est à l'intérieur de la zone de couverture de la station spatiale SRRS et aussi lorsque la station spatiale SRRS, vue de l'aéronef, paraît proche de l'horizon. Les transmissions provenant de terminaux d'utilisateur SRRS peuvent également causer des brouillages au récepteur d'une station au sol du service mobile aéronautique.

1.4.1 Brouillage causé au SRRS

Les types de systèmes SRRS dans la bande des 1,6 GHz utilisent l'accès sélectif, avec des codes pseudo-aléatoires pour distinguer les émissions simultanées, ou en chevauchement, provenant de différents utilisateurs du SRRS. Une caractéristique importante de ces systèmes SRRS est le nombre d'utilisateurs simultanés, c'est-à-dire de salves d'émission superposées, qui peut être traité par la station terrienne centrale du système SRRS.

Pour cette analyse, on admet que l'effet du brouillage par l'APC (Correspondance publique aéronautique) s'ajoute au niveau de bruit dans le récepteur du satellite. Dans cette hypothèse, le décorrélateur du SRRS ne fera pas de distinction entre le bruit causé par d'autres salves d'émission à étalement de spectre provenant d'autres utilisateurs du SRRS, et les émissions à plus long terme considérées ici comme un brouillage par l'APC. Ainsi, une estimation de la dégradation causée à la performance du système SRRS par le brouillage APC peut s'exprimer en rapportant le niveau du bruit produit par les émetteurs d'APC brouilleurs à un nombre équivalent d'utilisateurs simultanés du SRRS. Le calcul de cette valeur indique le nombre d'utilisateurs simultanés du SRRS qu'il faudrait déplacer pour maintenir le taux d'erreur sur les bits du SRRS, pour les utilisateurs restants du SRRS, au niveau constaté en l'absence de brouillage APC.

La formule suivante exprime cet effet en calculant le nombre équivalent des utilisateurs simultanés du SRRS qui seraient déplacés par le bruit global produit par l'ensemble des émetteurs de bord de l'APC de Terre dans la largeur de la bande du SRRS:

$$10\log_{10} [N_{srrs}] = p.i.r.e._{apc} + 10\log_{10} [N_{apc}] - p.i.r.e._{srrs} \quad (5)$$

$$- F_{écran} - DG_{sat} + BW_{apc}$$

où:

N_{srrs}	= nombre équivalent des utilisateurs simultanés du SRRS par le bruit global du brouillage dû à l'APC.
$p.i.r.e._{apc}$	= p.i.r.e. d'une voie téléphonique de l'APC (dBW).
N_{apc}	= nombre des voies téléphoniques de l'APC (situées) dans la largeur de bande du récepteur du satellite du SRRS.
$p.i.r.e._{srrs}$	= p.i.r.e. d'un émetteur type du SRRS (dBW).
$F_{écran}$	= réduction effective de la p.i.r.e. d'un émetteur de l'APC vers le récepteur du satellite du SRRS, causée par l'effet d'écran de la superstructure de l'aéronef (dB).
DG_{sat}	= discrimination de l'antenne de la station spatiale du SRRS en direction de la zone de service de l'APC (dB).
BW_{apc}	= affaiblissement effectif du signal par la démodulation SRRS (dB).

où BW_{apc} est obtenu par la formule:

$$BW_{apc} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \left\{ \frac{\sin \left(\pi \frac{7,25 + n/K}{8} \right)}{\left(\pi \frac{7,25 + n/K}{8} \right)} \right\}^2 \right] \quad (6)$$

où K est le nombre total de voies APC dans la bande 1 625,5 - 1 626,5 MHz.

Les stations types du SRRS dans la bande des 1 610 - 1 626,5 MHz sont des émetteurs mobiles (par exemple, d'une p.i.r.e. de 17 dBW) qui emploient une largeur de bande de 16,5 MHz pour émettre vers le satellite.

On n'a pas encore défini de paramètres d'émission pour les systèmes APC dans cette bande, bien que des systèmes APC soient en cours de mise au point, à titre expérimental, dans les bandes voisines de 900 MHz. Ces systèmes pourraient utiliser des types d'émetteurs mobiles d'une puissance de sortie de 10 watts, et une modulation BLUC avec une largeur de bande attribuée de 5 kHz par voie téléphonique.

Dans le cas où la zone de service APC d'une station aéronautique du service mobile est supposée englobée dans la zone de couverture de la station spatiale du SRRS, on suppose que $F_{écran} = 10$ dB et que $DG_{sat} = 0$ dB.

Dans le cas où la zone de service APC n'est pas englobée dans la zone de service de la station spatiale du SRRS, on suppose que la superstructure de l'aéronef ne fait pas écran et on suppose que $DG_{sat} = 20$ dB.

L'affaiblissement effectif de l'élargissement du signal APC par la démodulation SRRS (BW_{apc}) est de -25,7 dB (calculé à l'aide de la formule (6) en tenant compte du fait que $K = 40$ voies). En utilisant donc l'équation (5) et la configuration de couverture commune la plus défavorable, il est possible de voir par le calcul que les paquets d'émission simultanés émis par 4 600 usagers APC équivaldraient à un seul usager du SRRS. Pour une $p.i.r.e._{apc} = 16$ dBW.

La largeur de bande limitée de 1 MHz disponible pour l'APC est telle que le chiffre de 4 600 dépasse de loin le nombre d'appels simultanés possibles et il apparaît donc que les systèmes APC exploités dans la bande 1 625,5 - 1 626,5 MHz n'auraient pas d'influence importante sur les SRRS exploités dans cette bande du point de vue des caractéristiques et de la qualité de fonctionnement du démodulateur SRRS.

Toutefois, il est vraisemblable que la zone de service d'un seul système de Terre APC sera plus réduite que la zone de couverture du SRRS, permettant la réutilisation des 1 MHz attribués, à l'intérieur de la zone de couverture du SRRS. Plusieurs systèmes APC peuvent donc fonctionner à l'intérieur de la zone de couverture du SRRS.

En outre, il est vraisemblable que plusieurs systèmes APC, à l'extérieur de la zone de couverture du SRRS, seront en visibilité directe d'une station spatiale du SRRS, et l'on devra tenir compte de l'effet composite de tels brouillages.

Enfin d'autres effets du brouillage par l'APC risquent d'être encore plus graves pour le SRRS. Ainsi, la charge d'un répéteur SRRS due à l'ensemble des utilisateurs de l'APC à l'intérieur de la zone de service du SRRS peut déplacer sensiblement le seuil de fonctionnement du répéteur SRRS. Il est nécessaire d'étudier plus avant ces risques de brouillage.

1.4.2 Brouillage causé par le SRRS

Les paramètres descriptifs de l'APC n'ayant pas encore été choisis, deux scénarios pour le brouillage causé aux récepteurs APC au sol, ont été pris en considération. Les résultats doivent donc être traités avec précaution car les paramètres APC définitifs peuvent différer de ceux qui ont été supposés pour chacun de ces cas.

Caractéristiques APC

	<u>Scénario I</u>	<u>Scénario II</u>
Modulation	: MDMG	: ACSSB
Débit binaire	: 38 kbit/s	
Largeur de bande de la voie	: 25 kHz	: 6 kHz
Puissance émise	: 14 dBW	: 11 dBW
Gain de l'antenne d'aéronef	: 0 dBi	: 0 dBi
Rapport de protection	: 10 dB	: 22 dB
Distance maximale entre l'émetteur et le récepteur	: 390 km	: 390 km
Puissance surfacique minimale à l'antenne au sol	: -108,8 dB(W/m ²)	: -111,8 dB(W/m ²)
Champ brouilleur maximal au récepteur au sol	: 27,2 dB(μV/m)	: -12,2 dB(μV/m)

Caractéristiques du SRRS

p.i.r.e. max.: -3 dBW dans une bande quelconque de 4 kHz

p.i.r.e. -14,8 dBW dans 25 kHz
 -21 dBW dans 6 kHz

Distribution du signal: $\sin^2 x/x^2$

Durée du signal: 12 - 20 ms

Répétition maximale du signal: une fois par minute (terminal aéroporté)
 une fois par heure (terminal au sol)

Evaluation du brouillage

i) Emetteur au sol du SRRS

Scénario I

Les fréquences attribuées à l'APC sont situées en haut de la bande attribuée au SRRS. Par conséquent, en prenant en considération la distribution $\sin^2 x/x^2$ la p.i.r.e. efficace brouilleuse dans 25 kHz est de -14,8 dBW. Donc, pour un champ brouilleur maximal de 27,2 dB(μ V/m) (Recommandation 370, terrestre, 10% du temps, 1% des emplacements) une séparation de 14 km est requise.

Scénario II

La p.i.r.e. brouilleuse efficace dans 6 kHz est égale à -21 dBW. Donc, pour un champ brouilleur maximal de -12,2 dB(μ V/m) (Recommandation 370, terrestre, 10% du temps, 1% des emplacements) une séparation de 26 km est requise.

ii) Emetteur aéroporté du SRRS

La puissance surfacique à l'antenne au sol peut être évaluée en utilisant l'équation:

puissance surfacique à la réception = puissance d'émission -
 affaiblissement sur le trajet + gain de l'antenne de l'émetteur -
 écran $\log_{10} \frac{4\pi}{\lambda^2}$.

Pour un signal brouilleur maximum admissible:

puissance surfacique à la réception = puissance surfacique minimale du
 signal utile - rapport de protection.

En utilisant les données du tableau ci-dessus, et en supposant un facteur d'écran de l'aéronef de 4 dB, on peut calculer pour chaque scénario l'affaiblissement L minimal admissible sur le trajet.

Scénario I

$$-108,8 - 10 = -14,8 - L - 5 - 4 + 26$$

$$L = 121$$

L'affaiblissement nécessaire sur le trajet est donc de 121 dB ce qui correspond à (Recommandation 525-1) un espacement de 16 km.

Scénario II

$$-111,8 - 22 = -21 - L - 5 - 4 + 26$$

$$L = 129,8$$

Par conséquent, l'affaiblissement nécessaire sur le trajet est ainsi de 129,8 dB ce qui correspond à (Recommandation 501-1) un espacement de 45 km.

Risque de brouillages

Dans les cas considérés, les analyses ci-dessus montrent que des espacements compris entre 14 et 45 km sont nécessaires pour avoir la certitude que le SRRS ne produit pas de brouillage inacceptable à l'APC, avec les rapports de protection donnés. Toutefois, dans ces analyses on a supposé que les émissions du SRRS étaient continues. D'après ce qui précède tel n'est pas le cas et la durée type du signal est de 12 - 20 ms à une fréquence de répétition de 1 par minute pour les terminaux SRRS aéroportés et de 1 par heure pour les terminaux SRRS au sol. Dans cette situation, on peut se poser la question si le brouillage subi sera inacceptable.

Dans le SRRS, les émetteurs considérés ici sont généralement mobiles et il n'est donc pas possible d'imposer des espacements minimaux entre les utilisateurs du SRRS et les stations au sol de l'APC avec les caractéristiques déterminées ci-dessus.

Résumé

Les émissions du SRRS dans la bande 1 610 - 1 626,5 MHz peuvent causer des brouillages aux stations au sol de l'APC situées à une distance allant jusqu'à 45 km selon les caractéristiques de l'APC et la position de l'émetteur du SRRS (terrestre ou aéronautique). L'importance de ce brouillage dépendra de la vulnérabilité de l'APC aux émissions pulsées du SRRS.

2. *Liaison satellite-usager (2483,5-2500,0 MHz)*

Cette bande fait partie de la bande de 2400-2500 MHz qui est réservée aux applications industrielles, scientifiques et médicales (ISM) conformément au numéro 752 du Règlement des radiocommunications. Les services radioélectriques exploités dans cette bande devront accepter des brouillages préjudiciables qui peuvent être causés par ces applications.

Cette bande est également attribuée aux services fixe, mobile et de radiolocalisation. La CAMR pour les services mobiles de 1987 a fixé, pour les émissions de stations spatiales SRRS dans cette bande, des limites maximales de puissance surfacique spécifiées dans le numéro 2557 du Règlement des radiocommunications et des distances de coordination maximales de 100 et 400 km sont spécifiées, respectivement, pour les récepteurs SRRS au sol et les récepteurs de bord.

Dans les liaisons satellites-usager, il faudrait également tenir compte de la deuxième harmonique car celle-ci risque de brouiller les observations de radioastronomie dans la bande 4 990 - 5 000 MHz (voir le Rapport 1182).

2.1 *Partage avec les applications ISM*

En raison du grand nombre de fours à micro-ondes actuellement en service, le présent paragraphe concerne les brouillages potentiels occasionnés aux récepteurs des utilisateurs du SRRS par les rayonnements des fours à micro-ondes dans la bande 2400-2500 MHz. Des études ont montré que le brouillage du système SRRS causé par les fours à micro-ondes ne devrait pas poser d'importants problèmes pour l'exploitation. Le brouillage provoqué par des fours à micro-ondes placés au voisinage d'un usager du SRRS se traduira uniquement par une augmentation modeste du taux de réémission.

2.2 *Partage avec les systèmes des services fixe et mobile*

2.2.1 *Brouillage occasionné au SRRS*

En raison de l'équidirectivité des antennes des émetteurs-récepteurs des usagers du service SRRS, ces derniers peuvent subir des brouillages dus à des émissions proches ayant pour origine des services fixe et mobile. En réalité, les possibilités de brouillage sont assez grandes lorsque les émetteurs des services fixe ou mobile se trouvent à l'intérieur de la zone de visibilité du récepteur de l'utilisateur.

Il y a dans la bande 2484-2500 MHz quelques assignations aux services fixe et mobile. Un moyen donc d'étendre l'utilisation du spectre au service SRRS, est de modifier légèrement les assignations des usagers des services fixe et mobile à l'intérieur de la bande de fréquences attribuée. Dans les pays où cette bande n'est pas très utilisée pour les services fixe et mobile, une telle modification peut être souhaitable afin de pouvoir utiliser les services du type SRRS.

2.2.2 *Brouillage causé à des systèmes des services fixe et mobile*

La puissance surfacique produite par des stations spatiales du SRRS fonctionnant dans la bande 2 483,5 - 2 500 MHz est actuellement limitée par le numéro 2557 du Règlement des radiocommunications. Des puissances surfaciques plus élevées permettraient que la capacité des systèmes SRRS fonctionnant dans cette bande soit limitée par les brouillages causés par d'autres utilisateurs du SRRS plutôt que par la sensibilité au bruit thermique du récepteur SRRS, pour des puissances surfaciques atteignant les limites spécifiées. Il en résulterait un accroissement de la capacité du système SRRS. Toutefois, l'augmentation de la puissance surfacique doit être étudiée de manière approfondie pour résoudre les problèmes de partage entre le SRRS et les services fixe et mobile.

2.3 *Partage avec le service de radiolocalisation*

En raison de la grande diversité de stations de Terre de radiolocalisation, il est difficile d'avoir une opinion arrêtée en ce qui concerne les possibilités de partage entre le service de radiorepérage par satellite et le service de radiolocalisation. Le brouillage entre systèmes dépendra des puissances, des sensibilités, des gains d'antenne et des positions relatives des systèmes, de la durée et de la fréquence de répétition des impulsions et du traitement du signal à la réception. En général, les systèmes de radiolocalisation qui occasionneront ou subiront des brouillages seront ceux dont le gain d'antenne en direction des satellites du SRRS sera élevé et qui seront situés à proximité de la zone de service d'un système du SRRS, c'est-à-dire au voisinage du faisceau principal du satellite du SRRS. Cette situation se produira lorsque la station de radiolocalisation sera située à l'intérieur ou à proximité d'une zone de service à faible site du SRRS. Les émissions en provenance du satellite pourront apparaître pour le système de radiolocalisation terrestre comme provenant d'un seul point dans le ciel. Selon le type de traitement du signal utilisé dans la réception de radiolocalisation, il sera possible d'éliminer un signal du type de celui émis par le SRRS.

Pour les usagers du SRRS qui se trouveront dans leur voisinage, les émetteurs de haute puissance du service terrestre de radiolocalisation seront source de brouillage. Toutefois, si l'antenne de l'émetteur est à balayage horizontal, le brouillage aura une période de répétition faible et l'utilisation du SRRS sera donc possible. Pour établir une liaison avec le satellite, il suffit pour les usagers du SRRS de disposer d'un faible temps d'émission exempt de brouillage. En tirant parti de ces périodes exemptes de brouillage, il pourrait être possible d'établir des communications valables dans ces zones.

3. *Liaison satellite vers station terrienne centrale (5150-5216 MHz)*

La bande 5150-5216 MHz est attribuée, conformément au numéro 797 du Règlement des radiocommunications, au service fixe par satellite et au service intersatellites, pour les liaisons de connexion du service de radionavigation aéronautique et/ou du service mobile aéronautique (R) sous réserve d'un accord obtenu conformément à la procédure prévue à l'Article 14. Cette bande est également attribuée sur une base mondiale au service de radionavigation aéronautique pour l'exploitation du système international d'atterrissage aux hyperfréquences (MLS) conformément au numéro 796 du Règlement des radiocommunications. Cependant, les équipements MLS qui sont actuellement en cours de mise au point et ceux qui sont disponibles fonctionnent seulement dans la bande 5030-5090 MHz.

La bande 5 150 - 5 216 MHz est également attribuée, conformément au numéro 797A du Règlement des radiocommunications, au SRRS (espace-Terre) pour les liaisons de connexion, conjointement avec les systèmes SRRS fonctionnant dans les bandes 1 610 - 1 626,5 MHz et 2 483,5 - 2 500 MHz, à condition que la puissance surfacique totale à la surface de la Terre ne doit en aucun cas dépasser $-159 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans aucune bande de 4 kHz, pour tous les angles d'incidence.

Dans certains pays, la bande 5 150 - 5 250 MHz est également attribuée, à titre primaire, au service mobile, sous réserve d'accord obtenu conformément aux procédures de l'article 14.

3.1 *Brouillage causé à des récepteurs du système d'atterrissage aux hyperfréquences (MLS)*

La partie des équipements MLS qui pourraient être exploités dans cette bande seraient des stations de réception mobiles placées à bord des aéronefs et destinés à l'approche finale et à l'atterrissage dans les aéroports importants. Le système devrait présenter une température de bruit voisine de 2600 K et un gain d'antenne à la réception voisin de 3 dBi.

En prenant pour hypothèse ces caractéristiques et une puissance surfacique maximale du satellite du SRRS égale à $-159 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande de 4 kHz, on obtient un rapport bruit/brouillage supérieur à 30 dB. Cette valeur serait suffisante pour assurer la protection des récepteurs MLS et par conséquent aucun problème de partage de fréquences ne devrait se poser dans cette bande.

3.2 *Brouillage causé à la station terrienne centrale du SRRS*

Tout problème de brouillage occasionné par les émetteurs du MLS à la station terrienne centrale sera résolu par le choix d'un site approprié pour la station terrienne et par une coordination afin d'éviter de se trouver à proximité d'installations aéroportuaires utilisant les systèmes MLS.

3.3 Partage avec le service mobile

La limitation à $-159 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ de la puissance surfacique des émissions SRRS, spécifiée dans le numéro 797A du Règlement des radiocommunications pour protéger les récepteurs MLS du service de radionavigation aéronautique, est largement suffisante pour protéger également les récepteurs du service mobile.

Les procédures de coordination normalement utilisées entre stations terriennes et stations de Terre (voir l'Appendice 28 du Règlement des radiocommunications) devraient suffire à protéger les stations terriennes réceptrices SRRS du brouillage causé par les émetteurs au sol du service mobile. Toutefois, ces procédures peuvent ne pas être applicables aux émetteurs de bord du service mobile. Etant donné la faiblesse des signaux reçus de la station spatiale du SRRS dans ces bandes, les émetteurs de bord du service mobile dans certains pays peuvent causer, à de grandes distances de la station terrienne réceptrice, des brouillages d'un niveau inadmissible. Un complément d'information et d'étude est nécessaire.

4. *Liaison station terrienne de contrôle vers satellite (6525-6541,5 MHz)*

Cette liaison, exploitée comme une liaison de connexion dans une bande attribuée au service fixe par satellite, fera l'objet d'une coordination normale avec les autres systèmes à satellites (voir l'Appendice 29 au Règlement des radiocommunications) et des stations de Terre (voir l'Appendice 28 au Règlement des radiocommunications).

5. *Partage à l'intérieur du SRRS*

L'emploi de codes de bruit pseudo-aléatoire pour le système du SRRS afin de produire la modulation par étalement du spectre des signaux des usagers vers le satellite permet à un grand nombre d'usagers d'accéder simultanément au satellite. Le même processus est également efficace lorsqu'il s'agit d'extraire les signaux des brouillages produits par les autres systèmes du SRRS dans la même zone de service, mais il faut alors que les signaux soient modulés par des codes de bruit pseudo-aléatoire présentant de bonnes caractéristiques de corrélation croisée. Les codes Gold par exemple, constituent une catégorie de codes qui présentent de telles caractéristiques et qui peuvent être facilement produits en grand nombre. Cette méthode de coordination faisant appel à l'emploi de codes Gold permet à un système du SRRS d'être exploité conjointement avec d'autres systèmes du SRRS dans la même zone.

————— Pour les systèmes desservant différentes zones, le partage est encore amélioré grâce à la discrimination apportée par l'antenne à gain élevé du satellite du SRRS.