

## RECOMMANDATION UIT-R SA.1347

**FAISABILITÉ DU PARTAGE DES FRÉQUENCES ENTRE LES RÉCEPTEURS DU SERVICE DE RADIONAVIGATION PAR SATELLITE, LE SERVICE (ACTIF) D'EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE ET LES SERVICES (ACTIFS) DE RECHERCHE SPATIALE DANS LA BANDE 1 215-1 260 MHz**

(Question UIT-R 218/7)

(1998)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que la bande de fréquences 1 215-1 260 MHz est attribuée à titre primaire au service de radionavigation par satellite (espace vers Terre);
- b) que la bande de fréquences 1 215-1 300 MHz est attribuée à titre secondaire, en vertu du renvoi S5.333 aux capteurs actifs spatiaux du service d'exploration de la Terre par satellite et au service de recherche spatiale;
- c) que des études sur le partage ont montré la compatibilité des récepteurs du service de radionavigation par satellite, y compris les récepteurs fonctionnant en mode L5, et des capteurs actifs spatiaux dans les phases d'acquisition et de poursuite (voir l'annexe);
- d) que des essais ont prouvé la compatibilité des récepteurs GPS du service de radionavigation par satellite en phase de poursuite et des radars à synthèse d'ouverture (voir l'annexe),

*recommande*

1 de considérer, vu les points c) et d) ci-dessus, que la bande de fréquences 1 215-1 260 MHz peut être utilisée en partage par le service de radionavigation par satellite et les radars spatioportés à synthèse d'ouverture.

## ANNEXE

**Probabilité de brouillage des récepteurs du service de radionavigation par satellite par les capteurs actifs spatiaux dans la bande 1 215-1 260 MHz****1 Introduction**

La bande de fréquences 1 215-1 260 MHz, attribuée au service de radionavigation par satellite (SRNS), est utilisée par le système mondial de radiopéage (GPS) et le système mondial de navigation par satellite (GLONASS-M). Elle peut aussi être utilisée par les capteurs hyperfréquences actifs à bord de satellites en vertu du renvoi S5.333 du Règlement des radiocommunications. Le seul capteur actif qui a besoin d'utiliser cette bande est le radar à synthèse d'ouverture (radar SAR). La présente annexe contient les analyses de compatibilité des radars SAR spatiaux types avec les récepteurs GPS et GLONASS-M pendant les phases d'acquisition et de poursuite et présente les résultats des tests de compatibilité entre les radars SAR et les récepteurs GPS pendant la phase de poursuite. Par ailleurs, on envisage d'utiliser dans cette bande de fréquences les récepteurs fonctionnant en mode L5 du système GPS.

**2 Caractéristiques techniques des radars spatioportés à synthèse d'ouverture**

Le Tableau 1 contient les caractéristiques techniques de deux radars SAR standard fonctionnant dans la bande 1 215-1 300 MHz; elles offrent un choix de paramètres dont les valeurs pourront être considérées comme représentatives d'un tel radar opérationnel. Les valeurs choisies pour l'analyse sont celles qui correspondent au cas de brouillage le plus défavorable causé à un récepteur du service de radionavigation par satellite.

### 3 Caractéristiques et critères de protection des systèmes GPS et GLONASS-M

La Recommandation UIT-R M.1088 contient la description et les caractéristiques du Système mondial de radiorepérage (GPS) à utiliser dans les études de partage des fréquences entre un récepteur GPS et d'autres services. Le projet de nouvelle Recommandation UIT-R M.1317 contient la description et les caractéristiques du Système mondial de navigation par satellite (GLONASS-M) à utiliser pour les études de partage des fréquences entre un récepteur GLONASS-M et d'autres services. L'utilisation du récepteur L5 du GPS dans cette bande est à l'étude; on annonce que ses caractéristiques seront analogues à celles obtenues avec le code d'acquisition rapprochée (C/A) décrit dans la Recommandation UIT-R M.1088 et, en présence de signaux brouilleurs, il devrait se comporter comme en code C/A du GPS.

TABLEAU 1

**Caractéristiques techniques des radars SAR spatioportés fonctionnant dans la bande 1 215-1 300 MHz**

	SAR 1 Standard	SAR 2 Standard
Puissance de crête rayonnée (W)	3 200	1 200
Modulation des impulsions	MF linéaire	MF linéaire
Largeur de bande des impulsions (MHz)	40,0	15,0
Durée des impulsions (µs)	33,8	35,0
Taux de répétition des impulsions (i/s)	1 736,0	1 607,0
Facteur d'utilisation (%)	5,9	5,6
Gain maximal de l'antenne (dBi)	36,4	33,0
Orientation de l'antenne (degrés par rapport au nadir)	20,0	35,0
Polarisation de l'antenne	Rectiligne verticale/horizontale	Rectiligne horizontale
Altitude de l'orbite (km)	400	568

Les récepteurs du GPS et du GLONASS-M sont sensibles au brouillage, qu'il soit pulsé ou continu, dans les phases d'acquisition et de poursuite. Le brouillage provoqué par un radar SAR est du type pulsé. Il peut affecter un récepteur du SRNS de deux manières, à savoir par la saturation ou la destruction de son préamplificateur. Il a pour principal effet de limiter le bon fonctionnement du récepteur lors de la réception d'un signal dont le niveau est suffisamment élevé pour saturer le dispositif limiteur (diode) situé dans les étages RF d'entrée du récepteur et éviter d'endommager les étages suivants du récepteur. Lorsque le limiteur entre en action, le signal utile, de niveau relativement faible, est bloqué pendant la durée de l'impulsion et le temps de retour à la normale du récepteur du SRNS. Si cette période de perte du signal est brève par rapport à la longueur d'information binaire GPS, l'effet sur le bon fonctionnement du récepteur devrait être négligeable. Un autre effet possible du brouillage se produit lorsque la puissance RF de crête ou moyenne est suffisamment élevée pour griller la diode et éventuellement griller le préamplificateur et endommager ainsi le récepteur. Les caractéristiques techniques qui s'appliquent des deux systèmes du SRNS sont résumées dans le Tableau 2. Les niveaux de saturation (niveau d'écrêtage) et de grillage du préamplificateur sont également donnés dans le Tableau 2 pour chacun des systèmes. On notera aussi que depuis son orbite, le radar SAR illumine un point donné de la Terre situé dans le faisceau principal pendant 1 à 2 secondes seulement, ce qui est généralement insuffisant pour une acquisition.

Tout niveau de puissance du signal pulsé reçu qui est inférieur au niveau d'écrêtage du préamplificateur des récepteurs du SRNS est supposé avoir un effet négligeable sur les performances de ce récepteur étant donné que la durée de l'impulsion est relativement brève par rapport à la longueur d'information binaire du SRNS et que le facteur d'utilisation du radar SAR est très faible.

TABLEAU 2

**Caractéristiques et critères de protection des équipements  
d'utilisateur du GPS et du GLONASS-M**

	GPS	GLONASS-M
Fréquence porteuse (MHz)	1 227,6	1 237 - 1 261
Largeur de bande de filtre RF à 3 dB (MHz)	± 17,0	± 20,0
Polarisation	Circulaire droite	Circulaire droite
Gain maximal de l'antenne (dBi)	0,0	0,0
Niveau de grillage (moyen) du préamplificateur (dBW)	0,0	-1,0
Niveau de grillage (de crête) du préamplificateur (dBW)	10,0	0,0
Niveau d'écrêtage du préamplificateur (dBW)	-70,0	-80,0

## 4 Analyses de compatibilité

### 4.1 Analyse de compatibilité en fonction de la dégradation du rapport signal/bruit

La première étape de l'analyse de la probabilité de brouillage d'un récepteur GPS ou GLONASS-M par un radar SAR spatioporté consiste à déterminer si la puissance de crête du signal émis du radar est suffisante pour griller la diode écrêteuse de niveau et entraîner éventuellement le grillage du préamplificateur et endommager le récepteur. La puissance du signal brouilleur reçu d'un radar SAR spatioporté est maximale quand le récepteur du SRNS se trouve dans le faisceau principal de l'antenne de ce radar. Les niveaux de crête du signal brouilleur SAR reçus par un récepteur GPS ou GLONASS-M sont donnés dans le Tableau 3. Les calculs utilisés pour les déterminer partent du principe d'un fonctionnement à la même fréquence.

La puissance de crête maximale à l'entrée d'un récepteur du SRNS est nettement inférieure à celle qui provoquerait le claquage de la diode écrêteuse de niveau. En conséquence, les émissions d'un radar SAR spatioporté n'endommageront pas la diode écrêteuse ou le récepteur GPS ou GLONASS-M. Le niveau du signal brouilleur à l'entrée du récepteur GPS auquel la diode sature et entraîne une perte momentanée du signal est de -70 dBW. Pendant la phase d'acquisition, ce niveau est inférieur de 6 dB, soit -76 dBW. Même dans la configuration la plus défavorable, ce niveau de brouillage ne serait pas atteint.

Le niveau du signal brouilleur à l'entrée du récepteur GLONASS-M auquel la diode sature et entraîne une perte momentanée du signal est de -80 dBW. Dans la configuration la plus défavorable du Tableau 3, ce niveau peut être dépassé de 1,5 dB en raison des émissions d'un radar SAR. Le faisceau de l'antenne du radar SAR étant en éventail, l'angle par rapport à l'axe principal nécessaire pour produire une discrimination de -1,5 dB est de 0,28°. Une simulation portant sur 15 000 orbites (400 km d'altitude, inclinaison de 57°) a montré qu'un récepteur GLONASS-M fixe se trouvait pendant 0,0019% du temps à moins de 0,56° du faisceau principal d'un radar SAR (0,28° de chaque côté). Par conséquent, un niveau de signal brouilleur supérieur au niveau de saturation de la diode est reçu pendant moins de deux secondes par jour dans l'hypothèse du cas de brouillage le plus défavorable. L'analyse de compatibilité avec le système GLONASS-M a montré que le service devait être compatible avec la présence de plusieurs sources de brouillage SAR (quatre au maximum) illuminant le récepteur GLONASS simultanément dans le faisceau principal, en supposant un taux d'utilisation cumulé de 20% pour les quatre SAR. Etant donné que le nombre de radars SAR spatioportés susceptibles d'être simultanément en orbite et en activité est très faible, et vu la diversité probable des altitudes des orbites, des vitesses et des périodes orbitales de radars SAR dépendant d'administrations différentes, la probabilité que quatre ou même deux radars SAR spatioportés illuminent simultanément un récepteur GLONASS-M est extrêmement faible. De plus, deux ou plusieurs radars SAR n'observent jamais simultanément la même zone étant donné que le brouillage mutuel résulterait empêcherait l'acquisition de données utilisables.

TABLEAU 3

**Puissance maximale du signal brouilleur reçu d'un radar SAR  
par les récepteurs GPS et GLONASS-M**

	Brouillage du récepteur GPS		Brouillage du récepteur GLONASS-M	
	SAR 1	SAR 2	SAR 1	SAR 2
Fréquence centrale (MHz)	1 227,6	1 227,6	1 250,0	1 250,0
Puissance crête rayonnée (dBW)	35,1	30,8	35,1	30,8
Gain de l'antenne d'émission (dB)	36,4	33,0	36,4	33,0
Distance (km)	427,5	709,3	427,5	709,3
Affaiblissement en espace libre (dB)	146,8	151,2	147,0	151,4
Gain de l'antenne de réception (dB)	0,0	0,0	0,0	0,0
Affaiblissement de différence de polarisation (dB)	3,0	3,0	3,0	3,0
Puissance maximale (crête) du signal brouilleur reçu (dBW)	-78,3	-90,4	-78,5	-90,6

Même si le niveau du signal entraîne la saturation de l'étage d'entrée du récepteur et produit une perte momentanée du signal SRNS, il n'a aucun effet sensible sur la qualité de fonctionnement du récepteur si la période de l'impulsion émise par le radar et le temps de retour à la normale du récepteur sont relativement courts par rapport à la longueur d'information binaire du SRNS. Si l'on suppose que le temps de retour à la normale est de 1 µs, l'émission du radar SAR enlève environ 6% du signal du SRNS pendant le temps où le récepteur est saturé.

(Largeur d'impulsion SAR + temps de retour à la normale du SRNS) \* fréquence de récurrence des impulsions SAR = 6,04%

Lorsque le récepteur SRNS est saturé (c'est-à-dire lorsque le niveau est supérieur à 70 dBW dans le cas du GPS), le signal est principalement perdu pendant un intervalle de temps correspondant à la largeur de l'impulsion brouilleuse augmentée de l'éventuel temps de retour à la normale de l'étage d'entrée. Au train de données binaires de navigation GPS à 50 bit/s est ajouté modulo 2 la séquence BPA du code P ou du code C/A, soit respectivement 10,23 MHz ou 1,023 MHz; ce signal ensuite module en phase une onde à 1 227,6 MHz. La période binaire des données de navigation du GPS est donc de 20 ms au cours de laquelle sont transmis plus de 204 K éléments de code P et 25† à 43 impulsions SAR. La fraction de puissance du signal perdue au cours de la période binaire est alors égale au rapport entre d'une part, la largeur de l'impulsion brouilleuse majorée du temps éventuel de retour à la normale de l'étage d'entrée du récepteur GPS pour les phases d'acquisition et de poursuite et d'autre part la période entre impulsions. La dégradation ΔSNR, en dB, du rapport signal/bruit (S/B) est égale au rapport entre, d'une part, le rapport S/B en présence de brouillage sur, d'autre part, le rapport S/B en l'absence de brouillage, c'est-à-dire:

$$\Delta\text{SNR} = 10 * \log\left(1 - \frac{\text{PW} + \text{RT}}{\text{IPP}}\right) \quad (1)$$

où PW est la largeur de l'impulsion du radar SAR, RT est le temps de retour à la normale du récepteur GPS et IPP est l'intervalle de temps entre impulsions consécutives du radar SAR; l'argument de la fonction logarithmique est supérieur à zéro. Si l'on suppose que le temps de retour à la normale du récepteur GPS est compris entre 1 et 30 µs pour la gamme des largeurs d'impulsion du radar SAR 1 et les fréquences de récurrence considérées, la dégradation ΔSNR est comprise entre -0,1 et -0,6 dB.

L'antenne à balayage électronique du radar SIR-C est équipée d'une série d'amplificateurs de forte puissance assurant l'amplification et l'émission du signal à 1,25 GHz. L'amplificateur n'est activé que pendant l'émission proprement dite; il est désactivé entre deux impulsions consécutives. Ces amplificateurs sont de classe C c'est-à-dire qu'ils n'émettent qu'en présence de l'impulsion d'entrée. Comme ils sont désactivés entre deux impulsions, l'engin spatial ne produit pas de bruit interimpulsions.

## 4.2 Analyse de compatibilité compte tenu du gain de la boucle de poursuite du récepteur GPS

### 4.2.1 Hypothèses préliminaires

On trouvera ci-après une étude de compatibilité des radars SAR spatioportés et des services GPS dans la bande L2, à savoir au voisinage de 1 227,6 MHz, compte tenu du gain de la boucle de poursuite du récepteur GPS.

Etant donné que l'on ne dispose pas actuellement de renseignements précis sur la phase d'acquisition du code P L2, ni pour les récepteurs ayant la capacité de poursuivre les codes Y/P, ni pour des récepteurs sans code ou pseudo sans code, l'analyse qui suit sera limitée au brouillage des récepteurs L2 du GPS en mode poursuite.

### 4.2.2 Information contenue dans les documents de référence

Le document UIT-R 7-8R/14 présente un radar spatioporté type destiné aux futures missions d'observation de la Terre. La fréquence centrale du radar SAR peut être quelque peu différente de celle du récepteur GPS, mais nous considérons pour cette analyse le cas le plus défavorable dans lequel la fréquence centrale du radar SAR se trouve au centre de la bande du récepteur GPS.

La puissance en crête est de 3 200 watts, la largeur de bande de 10, 20 ou 30 MHz, avec une modulation de fréquence linéaire, la fréquence de récurrence des impulsions est de 1 395 ou 1 736 impulsions/s. La durée maximale d'une impulsion est de 33,8  $\mu$ s.

L'antenne, dont le gain est de 36,4 dB, peut balayer à une élévation de 20 à 55 degrés par rapport au nadir. L'orbite est à 400 km d'altitude.

La Recommandation UIT-R M.1088 présente les récepteurs du GPS; la puissance minimale reçue à 1 227,6 MHz est de -136 dBm; la bande passante à 3 dB du filtre RF est de  $\pm 17$  MHz; les performances du récepteur restent acceptables en présence de signaux parasites entrants dont le niveau est au maximum à 41 dB au-dessus du niveau du signal utile pendant la phase de poursuite, à savoir -95 dBm.

L'étage d'entrée de l'amplificateur sature à une puissance d'entrée de -40 dBm.

### 4.2.3 Hypothèses relatives au fonctionnement du récepteur GPS

Lorsqu'ils parviennent au récepteur, les signaux GPS sont nettement inférieurs au bruit de fond de l'équipement; le signal échantillonné et codé par le récepteur est donc essentiellement du bruit; pour que le codage soit optimal, le bruit doit être maintenu par une boucle de commande automatique de gain (CAG) à l'entrée du convertisseur analogique/numérique (CAN) à un niveau constant défini par  $\sigma = A/3$ , où  $\sigma$  est l'écart type du bruit et A le niveau de saturation du convertisseur.

On peut considérer que la constante de temps de la boucle CAG est grande par rapport à la période de récurrence des impulsions d'entrée (716  $\mu$ s au maximum).

On peut supposer que le niveau de bruit à l'entrée est de -97 dBm, avec un facteur de bruit total du récepteur de 4 dB et une largeur de bande équivalente à l'entrée de 20 MHz.

Donc, le seuil de saturation équivalent du CAN est de -87,5 dBm à l'entrée du récepteur. On suppose ici que le codeur est du type à 4 bits ce qui correspond aux codeurs actuellement utilisés dans les récepteurs.

Partant de cette hypothèse, on peut conclure qu'en régime permanent, le récepteur effectue le codage de l'ensemble signal + bruit majoré d'un bruit de quantification à large bande ( $Q^2/12$ , où Q est le niveau de quantification) de 19,3 dB au-dessous du bruit et avec un bruit de saturation de 30 dB inférieur au bruit, ce qui est parfaitement négligeable.

Nous supposons également que le gain de l'antenne du récepteur GPS est de 0 dB.

### 4.2.4 Brouillage des récepteurs GPS par les radars SAR spatioportés

Considérons un récepteur situé à la surface de la Terre, à une distance minimale du radar, c'est-à-dire pour un angle d'incidence de 20° du faisceau radar.

Considérons également le cas le plus défavorable où la bande occupée par le radar couvre entièrement la bande du récepteur GPS. La distance du satellite au récepteur est de 424 km.

Supposons que le gain de l'antenne du récepteur est de 0 dB.

Dans ces conditions, la puissance à l'entrée du récepteur est de -45,4 dBm, soit nettement au-dessus du seuil de brouillage du récepteur. Ce niveau est inférieur au niveau de saturation de l'amplificateur d'entrée, qui donc ne sature pas, mais la saturation se produira au niveau du codeur.

Il convient maintenant d'évaluer les effets de cette saturation au niveau du codeur sur la qualité de la poursuite. Il est évident d'abord qu'il y a saturation uniquement en présence des impulsions du radar; à ce niveau, on peut estimer que le temps de désaturation est négligeable par rapport à la durée d'impulsion. Etant donné que la constante de temps de la CAG devrait être beaucoup plus grande que l'intervalle de récurrence des impulsions d'entrée, la CAG agit de manière à ce qu'à l'entrée du codeur la puissance soit constante en présence des impulsions saturantes et la puissance de l'ensemble signal + bruit soit égale à la valeur nominale en l'absence d'impulsion.

La puissance équivalente à l'entrée du codeur due à ce type de signal a été calculée; elle a permis de déterminer le nouveau réglage qui sera utilisé dans la boucle de CAG à l'aide de l'équation suivante:

$$A^2dc + (1 - dc)\sigma^2 = A^2/9 \quad (2)$$

où  $dc$  est le facteur d'utilisation du radar.

On peut en déduire que dans le cas présent,  $\sigma^2 = A^2/18$ , c'est-à-dire que le réglage de la CAG sera supérieur de 3 dB à ce qu'il était précédemment en raison de la puissance plus grande des impulsions saturantes.

De ce qui précède, on peut conclure aisément ce qui se produit à la sortie du récepteur; on peut identifier trois effets:

- Premièrement, les impulsions saturantes à l'entrée du récepteur ne sont pas corrélées avec les répliques de code et on peut considérer qu'elles ajoutent du bruit à l'entrée; comme le réglage de la CAG diffère de 3 dB, le signal codé PSB utile du GPS est diminué de 3 dB alors que la puissance totale à l'entrée du CAN est maintenue constante par la boucle CAG; on peut en conclure que le rapport signal/bruit en sera réduit de 3 dB, ce qui augmente de 40% le bruit en poursuite.

Etant donné que, en vertu du document UIT-R 7-8R/14, le rapport entre le signal utile et les signaux parasites continus peut être de 41 dB, ce qui correspond à des niveaux de brouillage supérieurs de 2 dB au bruit du récepteur ou encore à une diminution du rapport signal/bruit de plus de 3 dB, on peut conclure que dans le cas présent, le niveau du signal brouilleur est acceptable.

- Deuxièmement, les impulsions saturantes entrantes introduisent un bruit de quantification supplémentaire comparé à l'ensemble signal d'entrée + bruit; ce rapport est augmenté de la différence de 3 dB ci-dessus du réglage de la CAG, correspondant à un rapport bruit à l'entrée/bruit de quantification de 16,3 dB, valeur également négligeable.
- Troisièmement, les opérations de corrélation dans le récepteur et avec les répliques des codes PRN se feront dans un temps plus court étant donné que le signal utile ne sera plus correctement codé en présence des impulsions saturantes; pour de faibles facteurs d'utilisation, la forme et la fonction de corrélation ne seront pas affectées, seul le niveau à la sortie sera réduit d'un rapport  $(1-dc)$ , correspondant dans le cas présent à un affaiblissement de 0,3 dB du signal, ce qui est également acceptable.

#### 4.2.5 Conclusion de l'analyse de compatibilité compte tenu du gain de la boucle de poursuite du GPS

L'analyse qui précède permet de conclure que l'exploitation de radars SAR décrite dans la Recommandation UIT-R M.1088 est compatible avec le bon fonctionnement des récepteurs GPS dans la bande L2.

Les impulsions entrantes saturent le convertisseur CAN sans provoquer toutefois de dégradation inacceptable des performances du récepteur consécutive au fonctionnement du circuit de CAG.

Cela ne devrait se vérifier que pour les facteurs d'utilisation d'environ 10% du radar SAR, valeur pour laquelle le bruit de poursuite du récepteur GPS devrait augmenter de 50% en raison de la dégradation de 4 dB du rapport signal/bruit.

Au-delà de cette limite du facteur d'utilisation, l'augmentation du bruit de poursuite sera plus grande et peut être acceptable si l'on fait intervenir le processus de filtrage des données de navigation.

Pour la présente conclusion, il faut se rappeler que les effets en question sont peu probables étant donné que pour un tel brouillage, le faisceau du radar doit être orienté vers le récepteur GPS et que de tels phénomènes ne devraient se produire que pendant des durées très limitées (quelques secondes) étant donné que le faisceau radar est très étroit (1 degré en azimut ou 7,5 km au niveau du sol) et que sa vitesse de déplacement au sol est proche de 6 km/s.

Par ailleurs, il convient de souligner que les radars spatioportés n'utilisent pas, jusqu'à présent, les 85 MHz de la bande 1 215-1 300 MHz et que si l'on craint des brouillages préjudiciables, on peut faire en sorte que la fréquence centrale des radars SAR soit située dans la partie supérieure de cette bande pour éviter le chevauchement de la bande radar et de la bande L2 du GPS.

Etant donné que 20 MHz sont nécessaires pour le GPS, cela est possible pour des largeurs de bande SAR allant jusqu'à 60 MHz.

Pour compléter ces études, il faudrait d'autres informations sur les récepteurs GPS, particulièrement en ce qui concerne la phase d'acquisition; l'étude devrait également être appliquée aux récepteurs GLONASS.

## 5 Démonstration de la compatibilité GPS/SAR

Le récepteur GPS a été installé dans les locaux du JPL en visibilité totale des satellites du GPS. L'antenne GPS a été connectée directement au récepteur GPS et celui-ci a été activé en mode L2 code P. Les données GPS obtenues après calage sur les données du satellite GPS ont été observées et les opérateurs ont observé et enregistré les données de position et le rapport signal/bruit dans la boucle de poursuite. Deux baies d'équipements RF SIR-C ont été installées et l'équipement GSE a été mis sous tension de manière à fournir des signaux en bande L de +18 dBm à la sortie du convertisseur-élévateur de fréquence. Les baies SIR-C GSE ont été reliées aux atténuateurs par un câble RF de 12 mètres de long, et un autre câble, de même longueur, a été utilisé pour relier les atténuateurs au coupleur directif à l'entrée du récepteur GPS afin d'obtenir un niveau en crête de -75 dBW à l'entrée du récepteur GPS pour tenir compte de l'affaiblissement du coupleur directif à l'entrée. Le câble d'antenne du récepteur GPS a été déconnecté et un coupleur directif a été ajouté; le câble RF a été connecté entre les baies SIR-C GSE et les atténuateurs et entre les atténuateurs et le coupleur directif à l'entrée du récepteur GPS. Le radar SIR-C a été réglé de manière à ce que la largeur de bande soit égale à 40 MHz, fréquence de récurrence des impulsions à 1 736 Hz, la largeur d'impulsion à 33,8  $\mu$ s et le niveau à l'entrée du récepteur GPS à -75 dBW afin d'obtenir un facteur d'utilisation maximal pour les conditions nominales; l'effet produit sur le récepteur des GPS a été observé. Les mesures du rapport de tensions signal/bruit pour le mode C/A et pour le mode L2-P ont été exécutées sur un signal de référence utilisant une atténuation maximale de 121 dB pendant une minute, suivie du signal brouilleur à -75 dBW pendant une minute. Cette mesure a été répétée pendant plusieurs minutes puis elle a été moyennée. La procédure a été répétée pour diverses combinaisons de paramètres du radar dont le niveau du signal d'entrée qui a été porté à -43 dBW pour la plupart des phases de l'essai, soit 32 dB au-dessus du niveau correspondant au cas le plus défavorable, qui devrait provenir du radar SAR spatioporté. Cela tient compte de tout écart de gain de l'antenne GPS inférieur à 32 dB. Le récepteur GPS est resté calé et la dégradation du rapport signal/bruit a été notée (Tableau 4). Il n'y a pas eu de dégradation de la précision de détermination de la position au cours de tous les essais.

Comme ces essais ont été effectués avec un prototype d'équipement d'émission SAR, le récepteur GPS a reçu, pendant tous les essais, les niveaux attendus de bruit entre les impulsions émises par le radar SAR. Pendant tous les tests, il n'y a pas eu perte de calage du récepteur GPS ou baisse de précision de détermination de la position. On peut en conclure que le bruit entre les impulsions émises par le radar SAR est inférieur au niveau seuil de brouillage du récepteur GPS.

## 6 Résumé

La probabilité de brouillage des récepteurs types du service de radionavigation par satellite (SRNS) par les radars SAR a été analysée dans la présente annexe tant pour les phases d'acquisition que de poursuite en tenant compte des écarts de gain et de l'utilisation éventuelle du mode L5. Deux systèmes du service de radionavigation par satellite fonctionnant dans la bande 1 215-1 260 MHz sont le système mondial de radiopérage (GPS) et le système mondial de navigation par satellite (GLONASS-M). Dans l'analyse on a supposé que le radar SAR et le système SRNS fonctionnaient à la même fréquence. Les niveaux de puissance en crête du signal aux récepteurs GPS et GLONASS-M produite par les émissions du radar SAR ont été calculés pour le cas le plus défavorable; on a constaté que les niveaux obtenus étaient nettement insuffisants pour griller l'amplificateur et endommager éventuellement un récepteur GPS ou GLONASS-M. Même dans le cas le plus défavorable, le niveau de saturation à l'entrée du récepteur GPS ne sera jamais dépassé.

Dans cette configuration la plus défavorable, le niveau de saturation à l'entrée du récepteur GLONASS-M sera parfois légèrement dépassé (1,5 dB). Compte tenu du diagramme d'antenne et des paramètres orbitaux des radars SAR, le niveau de saturation d'un récepteur GLONASS-M serait dépassé pendant moins de 2 s par jour. Toutefois, comme l'impulsion émise par le radar SAR est brève et que le facteur d'utilisation est faible, les périodes pendant lesquelles le signal GLONASS-M pourrait être dégradé par un signal brouilleur supérieur au niveau d'écrêtage du préamplificateur sont relativement courtes comparées à la longueur d'information binaire GLONASS-M. Pour cette raison, les effets sur les performances du récepteur devraient être peu sensibles.

La compatibilité entre les systèmes GPS et les radars SAR a été clairement démontrée. Le GPS fonctionne à la fréquence centrale de 1 227,6 MHz en mode L2 code P et une largeur de bande du récepteur de  $\pm 17$  MHz et le code C/A. Le mode L5 peut être ajouté de manière orthogonale au mode L2 dans cette bande; on prévoit que ses caractéristiques seront analogues à celles du code C/A. Le radar cartographique spatial SIR-C fonctionne à la fréquence centrale de 1 237,5 MHz avec une bande passante de 40 MHz en bande L. La puissance en crête des impulsions SIR-C est nettement plus élevée que la limite pour ondes entretenues spécifiée du GPS; toutefois, comme les impulsions du SIR-C ne brouillent le code PN reçu par le GPS que pendant le bref instant correspondant à la largeur d'impulsion du SIR-C, le calage n'est pas perdu et en fait, le rapport signal/bruit n'est que légèrement dégradé en présence des impulsions brouilleuses; aucune dégradation de la précision de détermination de la position n'a été observée. Ces essais ont permis de mettre en évidence que les codes P et C/A du GPS-L2 fonctionnent aux valeurs nominales en présence de brouillages causés par les radars SIR-C fonctionnant en bande L et en bande C.

TABLEAU 4

Démonstration de compatibilité - Effet de la configuration d'essai sur le récepteur GPS	Calage oui/non	Mode C/A Changement de rapport S/N (dB)	Mode P2 Changement de rapport S/N (dB)
Largeur de bande 40 MHz, fréq. de récurrence des impulsions 1 736 Hz, largeur d'impulsion 33,8 $\mu$ s et niveau d'entrée -75 dBW, soit le facteur d'utilisation maximal	Oui	-0,9	-0,8
Largeur de bande 40 MHz, fréq. de récurrence des impulsions 1 736 Hz, largeur d'impulsion 33,8 $\mu$ s et augmentation du niveau d'entrée à -65 dBW, soit le facteur d'utilisation maximal	Oui	-0,9	-0,7
Largeur de bande 40 MHz, fréq. de récurrence des impulsions 1 736 Hz, largeur d'impulsion 33,8 $\mu$ s et augmentation du niveau d'entrée à -43 dBW (maximum possible avec 0 dB d'affaiblissement), soit le facteur d'utilisation maximal	Oui	-0,8	-0,3
Largeur de bande 40 MHz, fréq. de récurrence des impulsions 2 160 Hz, largeur d'impulsion 33,8 $\mu$ s, et niveau d'entrée -43 dBW, soit le facteur d'utilisation maximal en conditions autres que nominales	Oui	-0,9	-0,6
Largeur de bande 40 MHz, fréq. de récurrence des impulsions 2 160 Hz (fréq. non opérationnelle maximale possible), largeur d'impulsion 16,9 $\mu$ s et niveau d'entrée -43 dBW, soit le facteur d'utilisation moyen en conditions autres que nominales	Oui	-0,7	-0,4
Largeur de bande 40 MHz, fréq. de récurrence des impulsions 1 395 Hz, largeur d'impulsion 16,9 $\mu$ s et niveau d'entrée -43 dBW, soit un facteur d'utilisation faible	Oui	-0,2	-0,1
Largeur de bande 40 MHz, fréq. de récurrence des impulsions 1 240 Hz (fréq. non opérationnelle maximale possible), largeur d'impulsion 33,8 $\mu$ s et niveau d'entrée -43 dBW, soit le facteur d'utilisation minimal en conditions autres que nominales	Oui	-0,1	-0,2
Largeur de bande 10 MHz, fréq. de récurrence des impulsions 1 240 Hz, largeur d'impulsion 8,45 $\mu$ s et niveau d'entrée -43 dBW, soit un facteur d'utilisation extrêmement faible et sans chevauchement des bandes	Oui	-0,3	+0,1
Largeur de bande 40 MHz, fréq. de récurrence des impulsions 2 160 Hz, largeur d'impulsion 33,8 $\mu$ s niveau d'entrée -43 dBW, soit le facteur d'utilisation maximal; filtre d'entrée du récepteur remplacé par un filtre de présélection à large bande de 550 MHz	Oui	-1,4	-1,4
Largeur de bande 40 MHz, fréq. de récurrence des impulsions 2 160 Hz, largeur d'impulsion 33,8 $\mu$ s et niveau d'entrée -75 dBW, soit le facteur d'utilisation maximal et niveau réaliste en provenance de l'espace; maintien du filtre d'entrée à large bande de 550 MHz	Oui	-1,0	-1,7
Largeur de bande 40 MHz en bande C, fréq. de récurrence des impulsions 2 160 Hz, largeur d'impulsion 33,8 $\mu$ s et niveau d'entrée -51,5 dBW (maximum possible en bande C avec affaiblissement de 0 dB), soit le facteur d'utilisation maximal, et pour déterminer l'effet du rayonnement depuis l'espace en bande C	Oui	-1,5	-1,5