

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1787-3

(03/2018)

Description des systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite (espace vers Terre et espace-espace) et caractéristiques techniques des stations spatiales d'émission fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz

Série M

Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés



Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiopérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2020

© UIT 2020

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R M.1787-3

**Description des systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite
(espace vers Terre et espace-espace) et caractéristiques techniques des stations
spatiales d'émission fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz,
1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz**

(Questions UIT-R 217-2/4 et UIT-R 288/4)

(2009-2012-2014-2018)

Domaine d'application

Les informations relatives aux paramètres orbitaux, aux signaux de navigation et aux caractéristiques techniques des systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite (SRNS) (espace vers Terre et espace-espace) fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz sont présentées dans cette Recommandation. Elles sont destinées à être utilisées pour évaluer l'incidence des brouillages entre systèmes et réseaux du SRNS et avec d'autres services et d'autres systèmes.

Mots clés

Caractéristiques techniques, paramètres orbitaux, signaux de navigation, SRNS

Abréviations/glossaire

ABAS	système complémentaire basé sur des engins spatiaux (<i>aircraft-based augmentation system</i>)
CS	service commercial (<i>commercial service</i>)
ECEF	centré sur la Terre, fixe par rapport à la Terre (<i>Earth-centred, Earth-fixed</i>)
GBAS	système complémentaire basé sur des engins au sol (<i>ground-based augmentation system</i>)
GMS	station de contrôle des émissions au sol (<i>ground monitoring station</i>)
GTRF	cadre de référence terrestre Galileo (<i>Galileo terrestrial reference frame</i>)
GUS	station de liaison montante au sol (<i>ground uplink station</i>)
HA	haute précision (<i>high accuracy</i>)
ITRS	cadre de référence terrestre international (<i>international terrestrial reference frame</i>)
MCS	station de commande principale (<i>master control station</i>)
MRS	station de surveillance et de télémétrie (<i>monitor and ranging station</i>)
NCS	sous-système de communication réseau (<i>network communication subsystem</i>)
OS	service ouvert (<i>open service</i>)
PNT	positionnement, navigation et référence temporelle (<i>positioning, navigation and timing</i>)
PRN	bruit pseudo aléatoire (<i>pseudo-random noise</i>)
PRS	service public réglementé (<i>public regulated service</i>)
PSD	densité spectrale de puissance (<i>power spectral density</i>)
SA	précision normale (<i>standard accuracy</i>)
SBAS	système complémentaire basé sur des satellites (<i>satellite-based augmentation system</i>)

SiS	signal émis dans l'espace (<i>signal-in-space</i>)
SPS	service de positionnement standard (<i>standard positioning service</i>)
WAAS	système complémentaire de zone étendue (<i>wide area augmentation system</i>)

Recommandations et Rapports de l'UIT-R connexes

Recommandation UIT-R M.1318-1 – Modèle d'évaluation des brouillages continus causés par des sources radioélectriques autres que celles du service de radionavigation par satellite aux systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz et 5 010-5 030 MHz

Recommandation UIT-R M.1831-0 – Méthode de coordination pour l'évaluation des brouillages entre systèmes du service de radionavigation par satellite

Recommandation UIT-R M.1901-1 – Orientations générales concernant les Recommandations UIT-R relatives aux systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite fonctionnant dans les bandes de fréquences 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz, 5 000-5 010 MHz et 5 010-5 030 MHz

Recommandation UIT-R M.1902-0 – Caractéristiques et critères de protection applicables aux stations terriennes de réception du service de radionavigation par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 215-1 300 MHz

Recommandation UIT-R M.1903-0 – Caractéristiques et critères de protection applicables aux stations terriennes de réception du service de radionavigation par satellite (espace vers Terre) et aux récepteurs du service de radionavigation aéronautique fonctionnant dans la bande 1 559-1 610 MHz

Recommandation UIT-R M.1904-0 – Caractéristiques, critères de qualité de fonctionnement et critères de protection applicables aux stations de réception du service de radionavigation par satellite (espace-espace) fonctionnant dans les bandes de fréquences 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559 1 610 MHz

Recommandation UIT-R M.1905-0 – Caractéristiques et critères de protection applicables aux stations terriennes de réception du service de radionavigation par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 164-1 215 MHz

Recommandation UIT-R M.2030-0 – Méthode d'évaluation du brouillage par impulsions causé par des sources radioélectriques autres que celles du service de radionavigation par satellite aux systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz

Rapport UIT-R M.766-2 – Possibilités de partage des fréquences entre le système global de détermination de la position (GPS) et d'autres services

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

a) que les systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite (SRNS) permettent de disposer dans le monde entier d'informations précises pour de nombreuses applications de positionnement, de navigation et de référence de temps, y compris des informations de sécurité pour certaines bandes de fréquences et dans certaines conditions;

b) qu'il existe plusieurs systèmes et réseaux du SRNS opérationnels ou en projet;

c) que toute station terrienne dotée des équipements appropriés peut recevoir des informations de navigation provenant des systèmes et réseaux du SRNS à l'échelle mondiale,

reconnaisant

- a) que les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz sont attribuées à titre primaire au SRNS (espace vers Terre, espace-espace);
- b) que les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz sont, de plus, attribuées à titre primaire à d'autres services;
- c) que l'utilisation du SRNS dans la bande 1 215-1 300 MHz est assujettie au numéro **5.329** du Règlement des radiocommunications;
- d) que, conformément au numéro **5.328B** du Règlement des radiocommunications, les systèmes et réseaux du SRNS censés utiliser les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz et 5 010-5 030 MHz pour lesquels les renseignements complets de coordination ou de notification, selon le cas, sont reçus par le Bureau des radiocommunications après le 1er janvier 2005 sont assujettis à l'application des dispositions des numéros **9.12**, **9.12A** et **9.13**;
- e) que, conformément au numéro **9.7** du Règlement des radiocommunications, les stations des réseaux à satellite du SRNS utilisant l'OSG sont soumis à la coordination avec d'autres réseaux à satellite de ce type,
- f) que les Recommandations UIT-R M.1905, UIT-R M.1902, UIT-R M.1903 et UIT-R M.1904 fournissent les caractéristiques techniques et opérationnelles ainsi que les critères de protection applicables aux stations de réception du SRNS (espace vers Terre et espace-espace) fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz;
- g) que la Recommandation UIT-R M.1318 fournit un modèle d'évaluation des brouillages continus que les sources radioélectriques autres que celles du SRNS causent aux systèmes et réseaux du SRNS fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz et 5 010-5 030 MHz;
- h) que la Recommandation UIT-R M.2030 fournit une méthode d'évaluation du brouillage par impulsions causé par des sources radioélectriques autres que celles du service de radionavigation par satellite aux systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz;
- i) que la Recommandation UIT-R M.1901 donne des orientations sur la présente Recommandation et d'autres Recommandations de l'UIT-R relatives aux systèmes et réseaux du SRNS fonctionnant dans les bandes de fréquences 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz et 5 000-5 010 MHz et 5 010-5 030 MHz;
- j) que le Rapport UIT-R M.766 contient des informations utiles pour l'exploitation du SRNS dans la bande 1 215-1 300 MHz;
- k) que la Recommandation UIT-R M.1831 contient une méthode d'évaluation des brouillages entre systèmes du SRNS à utiliser pour la coordination des systèmes et réseaux du SRNS,

recommande

1 de prendre en considération, dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz, les caractéristiques des stations spatiales d'émission et les descriptions de système figurant dans les Annexes 1 à 14:

1.1 pour déterminer la méthode et les critères de coordination mutuelle de systèmes et réseaux du SRNS;

1.2 pour évaluer l'impact des brouillages entre systèmes et réseaux du SRNS (espace vers Terre et espace-espace) et systèmes d'autres services, compte tenu du statut du SRNS par rapport à ces autres services;

2 de considérer que la Note suivante fait partie de la présente Recommandation.

NOTE – Dans les Annexes de la présente Recommandation, le terme «plage de fréquences du signal» désigne la plage de fréquences du signal du SRNS considéré (pour les systèmes AMRC: fréquence porteuse \pm la moitié de la largeur de bande du signal (sauf indication contraire); pour les systèmes AMRF: fréquence de base + (nombre de canaux * espacement des canaux) \pm la moitié de la largeur de bande du signal). Il convient d'indiquer aussi le nombre de canaux. Pour les systèmes AMRF la plage de fréquences du signal est exprimée en MHz.

Annexe 1

Description technique du système mondial de navigation par satellite GLONASS et caractéristiques des stations spatiales d'émission de ce système

1 Introduction

Le système GLONASS est constitué de 24 satellites équi-espacés dans trois plans orbitaux, comptant chacun huit satellites. L'inclinaison orbitale est de 64,8°. Chaque satellite émet des signaux de navigation dans trois bandes de fréquences: L1 (1,6 GHz), L2 (1,2 GHz) et L3 (1,1 GHz). Les satellites émettent deux types de signaux: avec accès multiple par répartition en fréquence et avec accès multiple par répartition en code. Les signaux avec accès multiple par répartition en fréquence se distinguent par la fréquence porteuse utilisée; la même fréquence est utilisable par des satellites antipodaux situés dans le même plan. Les signaux de navigation sont modulés avec un flux binaire continu (qui contient des informations sur les éphémérides et l'heure du satellite), et également un code pseudo-aléatoire pour des mesures de pseudo-distance. Les signaux avec accès multiple par répartition en code ont la même fréquence porteuse et se distinguent par le code utilisé. Ces signaux sont modulés par une séquence binaire structurée qui contient des données codées sur les éphémérides et le temps. Un utilisateur recevant des signaux provenant d'au moins quatre satellites est en mesure de déterminer avec une bonne précision les trois coordonnées de sa position et les trois composantes de son vecteur de vitesse. Les repérages de navigation sont possibles à la surface de la Terre ou à proximité.

1.1 Besoins en fréquences

Les besoins en fréquences du système GLONASS ont été établis sur la base de la transparence de l'ionosphère, du bilan de liaison radioélectrique, de la simplicité des antennes d'utilisateur, de la suppression des signaux dus à la propagation par trajets multiples, du coût des équipements et enfin des dispositions du Règlement des radiocommunications.

1.1.1 Signaux avec accès multiple par répartition en fréquence

Les fréquences porteuses des signaux de navigation avec accès multiple par répartition en fréquence varient d'un multiple entier de 0,5625 MHz dans la bande L1, de 0,4375 MHz dans la bande L2 et de 0,423 MHz dans la bande L3.

Depuis 2006, les nouveaux satellites du système GLONASS utilisent entre 14 et 20 fréquences porteuses dans les différentes bandes. Dans la bande L1, les fréquences porteuses utilisées sont comprises entre 1 598,0625 MHz (valeur inférieure) et 1 605,3750 MHz (valeur supérieure); dans la

bande L2, elles sont comprises entre 1 242,9375 MHz (valeur inférieure) et 1 248,6250 MHz (valeur supérieure) et dans la bande L3, elles sont comprises entre 1 201,7430 MHz (valeur inférieure) et 1 209,7800 MHz (valeur supérieure). Les valeurs nominales des fréquences porteuses des signaux de radionavigation utilisées dans le système GLONASS sont données dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

**Valeurs nominales des fréquences porteuses des signaux de radionavigation
utilisées dans le système GLONASS**

K (numéro de la fréquence porteuse)	F_K^{L1} (MHz)	F_K^{L2} (MHz)	F_K^{L3} (MHz)
12	–	–	1 209,7800
11	–	–	1 209,3570
10	–	–	1 208,9340
09	–	–	1 208,5110
08	–	–	1 208,0880
07	–	–	1 207,6650
06	1 605,3750	1 248,6250	1 207,2420
05	1 604,8125	1 248,1875	1 206,8190
04	1 604,2500	1 247,7500	1 206,3960
03	1 603,6875	1 247,3125	1 205,9730
02	1 603,1250	1 246,8750	1 205,5500
01	1 602,5625	1 246,4375	1 205,1270
00	1 602,0000	1 246,0000	1 204,7040
–01	1 601,4375	1 245,5625	1 204,2810
–02	1 600,8750	1 245,1250	1 203,8580
–03	1 600,3125	1 244,6875	1 203,4350
–04	1 599,7500	1 244,2500	1 203,0120
–05	1 599,1875	1 243,8125	1 202,5890
–06	1 598,6250	1 243,3750	1 202,1660
–07	1 598,0625	1 242,9375	1 201,7430

Deux signaux de navigation à modulation par déplacement de phase (de 180 degrés) décalés de 90 degrés (en quadrature) sont transmis sur chaque fréquence porteuse. Il s'agit d'un signal de précision normale et d'un signal de haute précision.

1.1.2 Signaux avec accès multiple par répartition en code

Les fréquences porteuses des signaux de navigation GLONASS avec accès multiple par répartition en code sont respectivement de 1 600,995 MHz, de 1 248,06 MHz et de 1 202,025 MHz dans les bandes L1, L2 et L3.

Le signal avec accès multiple par répartition en code dans la bande L1 comprend quatre composantes, formées par les modulations MDPB(1), BOC (1,1) et BOC (5,2.5).

Le signal avec accès multiple par répartition en code dans la bande L2 comprend quatre composantes, formées par les modulations MDPB(1), BOC (1,1) et BOC (5,2.5).

Le signal avec accès multiple par répartition en code dans la bande L3 comprend deux composantes, formées par la modulation MDPB(10).

2 Présentation générale du système

Le système GLONASS fournit des données de navigation et des signaux horaires précis aux utilisateurs sur Terre, en mer, dans les airs et dans l'espace.

Le système fonctionne d'après le principe de la trilatération passive. L'équipement d'utilisateur du système GLONASS mesure les pseudo-distances et les pseudo-vitesses radiales à partir de tous les satellites visibles et reçoit des informations sur les éphémérides et les paramètres d'horloge de ces satellites. Ces données permettent de calculer les trois coordonnées de la position de l'utilisateur et les trois composantes du vecteur de vitesse et de corriger l'horloge de l'utilisateur et la fréquence. Le système GLONASS utilise le système de coordonnées PE-90.

3 Description du système

Le système GLONASS comporte trois segments principaux: le segment spatial, le segment de commande et le segment de l'utilisateur.

3.1 Segment spatial

Le système GLONASS comprend 24 satellites situés dans trois plans orbitaux, comptant chacun huit satellites. Les plans sont espacés de 120 degrés en longitude. Les orbites sont inclinées de 64,8 degrés. Les satellites sont équi-espacés de 45 degrés dans un plan en argument de latitude. Leur période de rotation est de 11 h 15 min. L'altitude d'une orbite est de 19 100 km.

3.2 Segment de commande

Le segment de commande comprend le centre de commande du système et un réseau de stations de surveillance. Les stations de surveillance mesurent les paramètres orbitaux des satellites et le décalage de l'horloge des satellites par rapport à l'horloge principale du système. Ces données sont communiquées au centre de commande du système, qui calcule les paramètres de correction des éphémérides et de l'horloge, puis télécharge quotidiennement les messages vers les satellites par l'intermédiaire des stations de surveillance.

3.3 Segment de l'utilisateur

Le segment de l'utilisateur comprend un grand nombre de terminaux d'utilisateur de différents types. Un terminal d'utilisateur comprend une antenne, un récepteur, un processeur et un dispositif d'entrée/sortie. Cet équipement peut être combiné avec d'autres dispositifs de navigation pour accroître la précision et la fiabilité de la navigation. Une telle combinaison peut être particulièrement utile pour les plates-formes très dynamiques.

4 Structure des signaux de navigation

4.1 Signaux avec accès multiple par répartition en fréquence

La structure du signal de précision normale est la même dans les deux bandes L1 et L2 et différente dans la bande L3. Il s'agit d'une séquence pseudo-aléatoire ajoutée modulo 2 à un flux de données numériques continu transmis à un débit de 50 bits/s (L1, L2) et de 125 bits/s (L3). La séquence

pseudo-aléatoire a un rythme d'éléments de 0,511 MHz (pour L1, L2) et de 4,095 MHz (pour L3) et une période de 1 ms.

Dans les bandes L1, L2 et L3, le signal de haute précision est également une séquence pseudo-aléatoire ajoutée modulo 2 à un flux de données continu. Le rythme d'éléments de la séquence pseudo-aléatoire est de 5,11 MHz dans les bandes L1 et L2 et de 4,095 MHz dans la bande L3.

Les données numériques comprennent des informations sur les éphémérides des satellites, l'heure donnée par l'horloge et d'autres informations utiles.

4.2 Signaux avec accès multiple par répartition en code

Dans la bande L1, deux signaux avec accès multiple par répartition en code sont émis sur la même fréquence porteuse de 1 600,995 MHz avec un décalage de 90 degrés (en quadrature). Chaque signal comprend deux composantes avec multiplexage par répartition dans le temps. Le débit de transfert des données est de 125 bits/s et il est identique pour les deux signaux.

Dans la bande L2, deux signaux avec accès multiple par répartition en code sont émis sur la même fréquence porteuse de 1 248,06 MHz avec un décalage de 90 degrés (en quadrature). Chaque signal comprend deux composantes avec multiplexage par répartition dans le temps. Le débit de transfert des données pour les deux signaux est respectivement de 125 bits/s et de 250 bits/s.

Dans la bande L3, un signal avec accès multiple par répartition en code est émis sur la fréquence 1 202,025 MHz et comprend deux signaux à modulation par déplacement de phase de même puissance, qui sont décalés de 90 degrés. Le débit de transfert de données pour le signal est de 100 bits/s.

5 Puissance et spectres des signaux

5.1 Signaux avec accès multiple par répartition en fréquence

Les signaux émis ont une polarisation elliptique droite, avec un facteur d'ellipticité pas pire que 0,7 pour les bandes L1, L2 et L3. La puissance minimale garantie spécifiée pour un signal à l'entrée d'un récepteur (dans l'hypothèse d'un gain d'antenne de 0 dBi) est de -161 dBW (-131 dBm) aussi bien pour le signal de précision normale que pour le signal de haute précision dans les bandes L1, L2 et L3.

Trois classes d'émission sont utilisées dans le système GLONASS: 8M19G7X, 1M02G7X, 10M2G7X. Les caractéristiques de ces signaux sont données dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

Caractéristiques des signaux GLONASS avec accès multiple par répartition en fréquence

Gamme de fréquences	Classe d'émission	Largeur de bande d'émission (MHz)	Puissance de crête maximale de l'émission (dBW)	Densité spectrale de puissance maximale (dB(W/Hz))	Gain de l'antenne (dB)
L1	10M2G7X	10,2	15	-52	11
	1M02G7X	1,02	15	-42	
L2	10M2G7X	10,2	14	-53	10
	1M02G7X	1,02	14	-43	
L3 ⁽¹⁾	8M19G7X	8,2	15	-52,1	12
	8M19G7X	8,2	15	-52,1	

⁽¹⁾ Deux signaux GLONASS L3 sont décalés l'un par rapport à l'autre de 90° (en quadrature).

L'enveloppe du spectre de puissance du signal de navigation est décrite par la fonction $(\sin x/x)^2$, avec:

$$x = \pi(f - f_c) / f_t$$

où:

- f : fréquence considérée
- f_c : fréquence porteuse du signal
- f_t : rythme d'éléments du signal.

Le lobe principal du spectre constitue le spectre opérationnel du signal. Il occupe une largeur de bande égale à $2f_t$. La largeur des lobes est égale à f_t .

5.2 Signaux avec accès multiple par répartition en code

Le système GLONASS utilise quatre classes d'émission: 2M05G7X, 4M10G7X, 15M4G7X, 20M5G7XCC. Les caractéristiques de ces signaux sont données dans le Tableau 3.

TABLEAU 3

Caractéristiques des signaux GLONASS avec accès multiple par répartition en code

Gamme de fréquences	Classe d'émission	Largeur de bande d'émission (MHz)	Puissance de crête maximale de l'émission (dBW)	Densité spectrale de puissance maximale (dB(W/Hz))	Gain de l'antenne (dB)
L1	2M05G7X	2,05	15,6	-44,1	14
	4M10G7X	4,1	15,6	-46,7	
	15M4G7X	15,4	15,6	-51,3	
	15M4G7X	15,4	15,6	-51,3	
L2	2M05G7X	2,05	14	-45,6	12,5
	4M10G7X	4,1	14	-48,2	
	15M4G7X	15,4	14	-52,8	
	15M4G7X	15,4	14	-52,8	
L3	20M5G7XCC	20,5	13	-56,6	12,4
	20M5G7XCC	20,5	13	-56,6	

Annexe 2

Description technique et caractéristiques du système mondial de positionnement Navstar (GPS)

1 Introduction

Des informations à jour sur le système mondial de positionnement Navstar (GPS) sont disponibles gratuitement à l'adresse URL <http://www.gps.gov>. Des informations sur le fonctionnement du système GPS dans les bandes 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz figurent dans la dernière version des documents de spécification d'interface GPS IS-GPS-200 et GPS IS-GPS-800 accompagnés de leurs derniers avis de révision. Des informations à jour sur le fonctionnement du système GPS dans la bande 1 164-1 215 MHz figurent dans la dernière version de la spécification d'interface GPS IS-GPS-705 accompagnée de ses derniers avis de révision. Des informations supplémentaires sur le segment spatial et le segment de commande du système GPS figurent dans la publication *GPS SPS Performance Standard*.

La constellation de base des satellites GPS comprend nominalement au moins 24 satellites opérationnels dans six plans orbitaux équi-espacés et inclinés de 55 degrés. Les satellites GPS font le tour de la Terre en 12 heures et émettent des signaux de navigation en continu. Le système permet de déterminer avec précision la position en trois dimensions n'importe où à la surface de la Terre ou à proximité.

1.1 Besoins en fréquences du système GPS

Les besoins en fréquences du système GPS sont fondés sur une évaluation de la précision requise par les utilisateurs, la résolution du retard dû à la propagation espace vers Terre, la suppression des

signaux dus à la propagation par trajets multiples ainsi que le coût et les configurations des équipements. Deux canaux sont centrés sur 1 575,42 MHz (signal GPS L1) et 1 227,6 MHz (signal GPS L2). Un troisième canal GPS centré sur 1 176,45 MHz (signal GPS L5) prend en charge les applications de l'aviation civile.

Le canal L1 est utilisé pour déterminer la position d'un utilisateur à 22 m près. Un second signal, émis dans les deux canaux L1 et L2, offre aux récepteurs à code $P(Y)$ la diversité de fréquences et la plus grande largeur de bande nécessaires pour accroître la précision de distance, pour déterminer le retard dû à la propagation Terre vers espace et pour supprimer les signaux dus à la propagation par trajets multiples afin d'augmenter la précision totale d'un ordre de grandeur. Toute combinaison de deux canaux ou plus peut être utilisée pour offrir la diversité de fréquences et la plus grande largeur de bande nécessaires pour accroître la précision de distance, pour déterminer le retard dû à la propagation Terre vers espace et pour assurer une certaine redondance. Les signaux civils L1 et L5 offrent cette capacité aux récepteurs de l'aviation civile et les signaux L1, L2 et L5 offrent aussi cette capacité aux récepteurs commerciaux.

2 Présentation générale du système

Le GPS est un système de radiocommunications spatiales fonctionnant en continu et par tous les temps, utilisé pour la navigation, le positionnement et le transfert de l'heure, qui fournit des informations extrêmement précises de position et de vitesse en trois dimensions et une référence de temps précise et commune à l'intention des utilisateurs dotés des équipements appropriés n'importe où à la surface de la Terre ou à proximité.

Le système fonctionne d'après le principe de la trilatération passive. L'équipement d'utilisateur GPS mesure d'abord les pseudo-distances à quatre satellites, calcule leur position, et synchronise son horloge avec le GPS en utilisant les paramètres de correction des éphémérides et de l'horloge qu'il reçoit. (Les mesures sont qualifiées de «pseudo» parce qu'elles sont faites avec une horloge d'utilisateur imprécise et contiennent des éléments d'erreur fixes dus aux décalages de l'horloge de l'utilisateur par rapport à l'heure GPS.) Il détermine ensuite la position de l'utilisateur en trois dimensions dans un système de coordonnées cartésiennes WGS-84 (système géodésique mondial 1984) centré sur la Terre et fixe par rapport à la Terre, et le décalage de l'horloge de l'utilisateur par rapport à l'heure GPS, essentiellement par la résolution simultanée de quatre équations de distance.

De même, on peut estimer la vitesse en trois dimensions de l'utilisateur et le décalage du rythme de son horloge en résolvant quatre équations de vitesse, à partir des mesures de pseudo-vitesse par rapport à quatre satellites.

Le GPS offre le service de positionnement normal (SPS, *standard positioning service*) aux utilisateurs civils.

3 Segments du système

Le système comporte trois segments principaux: le segment spatial, le segment de commande et le segment de l'utilisateur. La fonction principale de chaque segment est décrite ci-après.

3.1 Segment spatial

Le segment spatial comprend les satellites GPS, qui ont la fonction de points de référence «célestes», et émettent depuis l'espace des signaux de navigation avec un codage précis de l'heure. La constellation opérationnelle est constituée d'au moins 24 satellites sur des orbites de 12 heures avec un demi grand axe de 26 600 km environ. Les satellites sont situés dans six plans orbitaux, inclinés de 55 degrés par rapport à l'équateur. Il y a normalement au moins quatre satellites dans chaque plan.

Le satellite est un engin stabilisé sur trois axes. Les éléments essentiels de sa charge utile principale de navigation sont l'étalon de fréquence atomique pour la précision horaire, le processeur pour l'enregistrement des données de navigation, le dispositif de signaux de bruit pseudo-aléatoire (BPA) pour la production du signal de télémétrie, et l'antenne d'émission dans la bande L. Tandis que les émissions sur une seule fréquence permettent la navigation de base, les émissions sur plusieurs fréquences permettent la correction des retards ionosphériques dans le temps de propagation du signal.

3.2 Segment de commande

Le segment de commande est constitué d'une station de commande principale (MCS, *master control station*), d'antennes au sol et d'un réseau de stations de surveillance. La MCS est responsable de tous les aspects de commande et de contrôle de la constellation.

3.3 Segment de l'utilisateur

Le segment de l'utilisateur est l'ensemble de tous les équipements des utilisateurs et des équipements de soutien. L'équipement type de l'utilisateur comprend une antenne, un récepteur-processeur GPS, un ordinateur et des dispositifs d'entrée/sortie. Il acquiert et poursuit le signal de navigation provenant d'au moins quatre satellites en vue, mesure les temps de propagation et les décalages de fréquence Doppler, les convertit en pseudo-distances et pseudo-vitesses, et en déduit la position et la vitesse en trois dimensions et règle l'heure GPS. (L'heure GPS est différente de l'heure UTC, mais la différence est inférieure à une seconde et les signaux GPS transportent les informations nécessaires à la conversion entre les deux. De plus, l'heure GPS est continue tandis que l'heure UTC comporte des secondes intercalaires.) Les équipements des utilisateurs vont du récepteur relativement simple et léger jusqu'à des récepteurs perfectionnés, intégrés à d'autres capteurs ou systèmes de navigation pour garantir une certaine précision dans des environnements très dynamiques.

4 Structure du signal GPS

Le signal de navigation GPS émis depuis les satellites se compose de trois porteuses modulées: L1, à une fréquence centrale de 1 575,42 MHz ($154 f_0$), L2, à une fréquence centrale de 1 227,6 MHz ($120 f_0$) et L5, à une fréquence centrale de 1 176,45 MHz ($115 f_0$), où $f_0 = 10,23$ MHz. f_0 provient de l'étalon de fréquence atomique du satellite, auquel tous les signaux produits sont rapportés de façon cohérente. Dans le texte qui suit, on énumère les signaux émis sur chaque fréquence porteuse GPS (et ceux qui possèdent plusieurs composantes sont décrits plus avant) et on décrit brièvement les paramètres RF et de traitement du signal.

Sur la porteuse L1, le GPS émet quatre signaux: L1 C/A, L1 P(Y), L1C et M qui sont décrits au § 6.1.

Sur la porteuse L2, le GPS émet trois signaux: L2 C/A (rarement) ou L2C, L2 P(Y) et M qui sont décrits au § 6.2.

Sur la porteuse L5, le GPS émet un seul signal, désigné par L5. Le signal L5 a deux composantes émises en quadrature de phase qui sont décrites au § 6.3.

Les Tableaux 4, 5 et 6 donnent, respectivement, les valeurs des principaux paramètres des signaux L1, L2 et L5 émis par le GPS. Ces paramètres comprennent les caractéristiques RF suivantes: plage de fréquences du signal, largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF des satellites, méthode de modulation du signal et niveau de puissance minimale reçue à la sortie d'une antenne de réception de référence située à la surface de la Terre.

Les tableaux contiennent également les paramètres suivants de traitement numérique du signal: le débit d'éléments du code de bruit pseudo-aléatoire (BPA) et les débits binaires et de symboles des

données des messages de navigation. De plus, pour chaque fréquence porteuse, on fournit les paramètres de polarisation et d'ellipticité maximale de l'antenne d'émission des satellites.

Les fonctions des codes de télémétrie (également appelés codes BPA) sont doubles:

- ils assurent de bonnes caractéristiques d'accès multiple entre les différents satellites, puisque tous les satellites émettent sur les mêmes fréquences porteuses et ne se différencient entre eux que par les codes BPA uniques qu'ils utilisent; et
- leurs caractéristiques de corrélation permettent de mesurer avec précision le temps d'arrivée et de rejeter les signaux dus à la propagation par trajets multiples et les signaux brouilleurs.

Les valeurs indiquées dans les Tableaux 4, 5 et 6 sont celles qu'il est recommandé d'utiliser dans les évaluations initiales de la compatibilité RF avec le système GPS.

5 Puissance et spectres des signaux

Les satellites GPS utilisent une antenne à faisceau conformé qui diffuse des signaux d'une puissance quasi uniforme aux récepteurs proches de la surface de la Terre. Les signaux émis sur les porteuses L1, L2 et L5 ont une polarisation circulaire dextrogyre, avec l'ellipticité dans le cas le plus défavorable indiquée dans les Tableaux 4, 5 et 6, pour une plage angulaire de $\pm 14,3^\circ$ par rapport à la direction du nadir.

6 Paramètres d'émission GPS

Les caractéristiques des signaux émis par le GPS sont données ci-après.

En plus des modulations par déplacement de phase (MDP), le GPS emploie des modulations de porteuse à double décalage (BOC, *binary offset carrier*). BOC(m,n) désigne une modulation de porteuse à double décalage avec un décalage de la fréquence porteuse de $m \times 1,023$ (MHz), un rythme du code de $n \times 1,023$ (Méléments/s) et une densité spectrale de puissance normalisée donnée par:

$$BOC_{m,n}(f) = f_c \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi f}{f_c}\right) \tan\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)}{\pi f} \right]^2$$

où:

f : fréquence (MHz)

f_c : rythme d'éléments; c'est-à-dire $n \times 1,023$ Méléments/s

f_s : fréquence de l'onde carrée de la porteuse décalée (s); c'est-à-dire $m \times 1,023$ MHz.

Les modulations BOC utilisées par le GPS créent des transitions de phase additionnelles dans chaque période d'élément du code BPA d'étalement. Le nombre de transitions de phase additionnelles est fonction de m et n , définis ci-dessus, et est égal à (m/n) fois le rythme d'éléments du code BPA.

6.1 Paramètres d'émission GPS L1

Le GPS utilise quatre signaux dans la bande 1 559-1 610 MHz attribuée au SRNS, à savoir L1 C/A, L1C, L1 P(Y) et M. Le signal M utilise une modulation BOC(10,5). Le signal L1C a deux composantes. L'une des composantes, appelée L1C_D, est modulée par un message de données et

l'autre, appelée L1C_P, ne comporte pas de données (c'est-à-dire signal pilote uniquement). Les deux composantes utilisent des codes BPA différents. (La composante ne comportant pas de données améliore les caractéristiques d'acquisition et de poursuite du SRNS). La composante L1 P(Y) et les deux composantes L1C sont émises en phase tandis que la composante L1 C/A est émise en quadrature par rapport à ces signaux (décalage de 90 degrés). Les principaux paramètres des émissions GPS L1 sont présentés dans le Tableau 4.

La composante L1C_D utilise une modulation BOC(1,1). La composante L1C_P utilise une modulation BOC multiplexée (MBOC) avec multiplexage temporel entre une modulation BOC(1,1) et une modulation BOC(6,1). La modulation MBOC a une densité spectrale de puissance normalisée donnée par:

$$MBOC(f) = \frac{29}{33} BOC_{1,1}(f) + \frac{4}{33} BOC_{6,1}(f)$$

La densité spectrale de puissance totale des composantes du signal L1C est donnée par:

$$S(f) = \frac{1}{4} BOC_{1,1}(f) + \frac{3}{4} MBOC(f) = \frac{10}{11} BOC_{1,1}(f) + \frac{1}{11} BOC_{6,1}(f)$$

TABLEAU 4

Émissions GPS L1 dans la bande 1 559-1 610 MHz

Paramètre	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 575,42 ± 15,345
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	1,023 (C/A, L1C _D et L1C _P) 10,23 (P(Y)) 5,115 (M)
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	50 (C/A, P(Y) et (L1C _D))
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	50 (C/A et P(Y)) 100 (L1C _D)
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(1) (C/A) MDPB-R(10) (P(Y)) BOC(10,5) (M) BOC(1,1) (L1C _D) MBOC (L1C _P) (Voir Note 3) (Voir Note 1)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Ellipticité (dB)	1,8 maximum
Niveau de puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne de référence (dBW)	-158,5 (C/A) -163,0 (L1C _D) -158,25 (L1C _P) -161,5 (P(Y)) -158 (M) (Voir Note 2)
Largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF (MHz)	30,69

Notes du Tableau 4:

NOTE 1 – Pour les paramètres du système GPS du SRNS, MDPB-R(n) désigne une modulation par déplacement de phase bivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s). BOC(m,n) désigne une modulation de porteuse à double décalage avec un décalage de la fréquence porteuse de $m \times 1,023$ (MHz) et un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s).

NOTE 2 – La puissance minimale reçue est mesurée à la sortie d'une antenne de réception d'utilisateur de référence à polarisation rectiligne de 3 dBi (située près du sol) pour l'orientation normale la plus défavorable lorsque l'angle d'élévation du satellite vu depuis la surface de la Terre est supérieur à 5° au-dessus de l'horizon terrestre.

NOTE 3 – Voir le texte plus haut pour plus de détails sur la modulation MBOC.

6.2 Paramètres d'émission GPS L2

Le GPS émet trois signaux dans la bande 1 215-1 300 MHz attribuée au SRNS, à savoir L2 C/A (rarement) ou L2C, L2 P(Y) et M. Le signal M utilise une modulation BOC(10,5). Le signal L2C civil est un multiplex par répartition dans le temps d'un canal de données de navigation (simplement appelé le canal de données) et d'un canal sans données (également appelé canal pilote) transmis avec une phase cohérente. Ces deux composantes du signal utilisent des codes BPA différents. Les principaux paramètres des émissions GPS L2 sont présentés dans le Tableau 5.

TABLEAU 5

Émissions GPS L2 dans la bande 1 215-1 300 MHz

Paramètre	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 227,6 ± 15,345
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	1,023 (C/A et L2C) 10,23 (P(Y)) 5,115 (M)
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	50 (C/A et P(Y)) 25 (L2C)
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	50 (C/A, P(Y) et L2C)
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(1) (C/A et L2C) MDPB-R(10) (P(Y)) BOC(10,5) (M) (Voir Note 1)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Ellipticité (dB)	3,2 maximum
Niveau de puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne de référence (dBW)	-164,5 (C/A et P(Y)) -160,0 (L2C) -158 (M) (Voir Note 2)
Largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF (MHz)	30,69

Notes du Tableau 5:

NOTE 1 – Pour les paramètres du système GPS du SRNS, MDPB-R(*n*) désigne une modulation par déplacement de phase bivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s). BOC(*m,n*) désigne une modulation de porteuse à double décalage avec un décalage de la fréquence porteuse de $m \times 1,023$ (MHz) et un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s).

NOTE 2 – La puissance minimale reçue est mesurée à la sortie d'une antenne de réception d'utilisateur de référence à polarisation rectiligne de 3 dBi (située près du sol) pour l'orientation normale la plus défavorable lorsque l'angle d'élévation du satellite vu depuis la surface de la Terre est supérieur à 5 degrés au-dessus de l'horizon terrestre.

6.3 Paramètres d'émission GPS L5

Le GPS utilise le signal de navigation L5 dans la bande 1 164-1 215 MHz attribuée au SRNS. Le signal L5 a deux composantes L5I et L5Q. La composante L5Q ne comportant pas de données (on parle également de canal «pilote») est modulée par un message de données. La composante L5I comporte des données de navigation fournissant des informations horaires, de navigation et de positionnement. Ces deux composantes L5 fonctionnent en quadrature de phase, utilisent des codes BPA différents et sont transmises à puissance égale. Les principaux paramètres des émissions GPS L5 sont présentés dans le Tableau 6.

TABLEAU 6
Émissions GPS L5 dans la bande 1 164-1 215 MHz

Paramètre	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 176,45 ± 12
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	10,23
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	50 (L5I)
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	100 (L5I)
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(10) (Voir Note 1)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Ellipticité (dB)	2,4 maximum
Niveau de puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne de référence (dBW)	-157,9 (L5I) -157,9 (L5Q) (Voir Note 2)
Largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF (MHz)	24

NOTE 1 – Pour les paramètres du système GPS du SRNS, MDPB-R(*n*) désigne une modulation par déplacement de phase bivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s).

NOTE 2 – La puissance minimale reçue est mesurée à la sortie d'une antenne de réception d'utilisateur de référence à polarisation rectiligne de 3 dBi (située près du sol) pour l'orientation normale la plus défavorable lorsque l'angle d'élévation du satellite vu depuis la surface de la Terre est supérieur à 5 degrés au-dessus de l'horizon terrestre. La puissance totale reçue pour la combinaison des composantes de signal en quadrature L5I et L5Q est de -154,9 dBW. La puissance émise des futurs systèmes GPS en cours d'acquisition augmentera et passera à -157,0 dBW (L5I) et -157,0 dBW (L5Q).

Annexe 3

Description technique et caractéristiques du système Galileo

1 Introduction

Le système Galileo est constitué d'une constellation de 30 satellites (24 satellites d'émission et six satellites de réserve actifs en orbite) dans trois plans orbitaux équidistants les uns des autres et inclinés de 56 degrés, avec dix satellites dans chaque plan. Chaque satellite émet des signaux de navigation sur les trois fréquences porteuses. Ces signaux sont modulés avec un flux binaire structuré, contenant des données d'éphémérides codées et des messages de navigation et ayant une largeur de bande suffisante pour produire la précision de navigation nécessaire sans recourir à une émission bidirectionnelle ou à une intégration Doppler. Le système fournit une référence temporelle précise et permet de déterminer avec précision la position en trois dimensions n'importe où à la surface de la Terre ou à proximité.

1.1 Besoins en fréquences

Les besoins en fréquences du système Galileo sont fondés sur une évaluation de la précision requise par les utilisateurs, la résolution du retard dû à la propagation espace vers Terre, la suppression des signaux dus à la propagation par trajets multiples ainsi que le coût et les configurations des équipements. Les satellites Galileo émettent en continu quatre signaux radiofréquence cohérents mais utilisables de façon indépendante et centrés sur les fréquences suivantes (le nom de signal correspondant est donné entre parenthèses): 1 176,45 MHz (E5a), 1 207,14 MHz (E5b), 1 278,75 MHz (E6) et 1 575,42 MHz (E1). Les signaux (ESa) et (ESb) sont multiplexés avec une seule et même modulation, appelée AltBOC (signal BOC de remplacement) qui utilise une seule porteuse à 1 191,795 MHz.

Le système Galileo émet sur trois fréquences porteuses pour transmettre les signaux jusqu'à l'utilisateur:

- E5: 1 191,795 MHz
(dont les composantes peuvent aussi être reçues indépendamment à l'aide des porteuses virtuelles E5a: 1 176,450 MHz et E5b: 1 207,140 MHz)
- E6: 1 278,750 MHz; et
- E1: 1 575,420 MHz

Au total, dix signaux multiplexés et modulés sur les trois porteuses sont émis et utilisées pour fournir les services Galileo de «positionnement/navigation/référence temporelle» (PNT) dans différentes configurations. Les récepteurs peuvent être conçus pour traiter un ou plusieurs signaux, selon l'application, les besoins des utilisateurs et/ou le marché ciblé.

Toutes les composantes de signal (porteuses, sous-porteuses, codes de télémétrie, débits binaires) sont déduites de manière cohérente d'un générateur d'horloge atomique commun embarqué.

Par rapport aux signaux de navigation à bande étroite et monofréquence, la diversité de fréquences et la grande largeur de bande utilisées par les signaux Galileo permettront d'accroître la précision de la télémétrie afin de résoudre le problème du retard dû à la propagation espace vers Terre et ont amélioré la suppression des signaux dus à la propagation par trajets multiples, deux facteurs qui permettent d'augmenter la précision totale.

2 Présentation générale du système

Galileo est un système de radiocommunications spatiales fonctionnant en continu et par tous les temps, utilisé pour la navigation, le positionnement et le transfert de l'heure, qui permet de fournir des informations extrêmement précises de position et de vitesse en trois dimensions et une référence de temps précise et commune aux utilisateurs dotés des équipements appropriés.

Le système fonctionne d'après le principe de la trilatération passive. Une fois que l'équipement d'utilisateur Galileo acquiert les signaux émis par au moins quatre satellites Galileo, il mesure les pseudo-distances jusqu'aux satellites, calcule leur position, et synchronise son horloge avec l'heure du système Galileo en utilisant les paramètres de correction des éphémérides et de l'horloge qu'il reçoit. Le récepteur détermine ensuite la position de l'utilisateur en trois dimensions dans un cadre de référence terrestre Galileo compatible avec le cadre de référence terrestre international, et le décalage de l'horloge de l'utilisateur par rapport à l'heure Galileo, essentiellement par la résolution simultanée de quatre équations de distance.

De même, on peut estimer la vitesse en trois dimensions de l'utilisateur et le décalage du rythme de son horloge en résolvant quatre équations de vitesse, à partir des mesures de pseudo-vitesse par rapport à quatre satellites. Les mesures sont qualifiées de «pseudo» parce qu'elles sont faites avec une horloge d'utilisateur imprécise (à bas coût) et contiennent des éléments d'erreur fixes dus aux décalages de l'horloge du récepteur par rapport à l'heure Galileo.

2.1 Applications Galileo

Service de base

Galileo fournit un service, ouvert et gratuit, de positionnement, de navigation et de référence temporelle (PNT) et ainsi prend en charge une large gamme d'applications, en particulier celles destinées au grand public. Ce service cible les mêmes communautés d'utilisateurs que le service de positionnement GPS standard. Les signaux émis et les signaux GPS sont interopérables, de sorte qu'il est possible d'utiliser conjointement des solutions GPS et PNT Galileo.

Transport aérien, maritime, routier et ferroviaire

Les signaux Galileo E1 et E 5 sont destinés à être utilisés pour les applications exigeantes liées à la sécurité (sécurité des aéronefs en particulier) et, sur le long terme, des récepteurs bifréquence pourront apporter des informations de navigation, plus fiables, plus précises et plus exactes que les récepteurs monofréquence.

Service commercial

Galileo assure un service commercial chiffré de diffusion de données facilitant le développement d'applications professionnelles et offrant une qualité améliorée par rapport au service de base, notamment en termes de garantie de service et d'authentification des signaux.

Service gouvernemental

Galileo assure un service public réglementé fortement chiffré dont l'accès est restreint aux autorités publiques chargées de la protection civile, de la sécurité nationale et de l'application de la loi.

Service de recherche et de sauvetage

Le service Galileo de recherche et de sauvetage (SAR) constitue un apport précieux pour le système international Cospas Sarsat et joue un rôle important pour les satellites de recherche de sauvetage en orbite terrestre moyenne (MEOSAR). Les satellites Galileo peuvent détecter les signaux d'urgence (émis à 406 MHz) provenant des balises de détresse à bord des navires, des avions ou des terminaux d'utilisateur portables; la localisation est ensuite retransmise aux centres de secours nationaux. A un moment donné dans le temps au moins un satellite Galileo est visible depuis n'importe quel point à la

surface de la Terre ce qui permet de détecter, d'identifier et de localiser quasiment en temps réel les signaux d'alerte et de détresse. Il est accusé réception activement de chaque appel de détresse reçu et un message de retour est envoyé pour indiquer que l'appel de détresse a été reçu. La balise peut ainsi libérer le canal utilisé pour les communications d'urgence.

3 Segments du système

Le système comporte trois segments principaux: le segment spatial, le segment de commande et le segment de l'utilisateur. La fonction principale de chaque segment est décrite ci-après.

3.1 Segment spatial

Le segment spatial comprend les satellites Galileo, qui ont la fonction de points de référence «célestes», et émettent depuis l'espace des signaux de navigation avec un codage précis de l'heure. La constellation opérationnelle est constituée de 24 satellites (plus six satellites de réserve actifs) sur des orbites de 14 heures avec un demi grand axe de 30 000 km environ. On utilise trois plans orbitaux équidistants les uns des autres, avec 10 satellites (y compris deux satellites de réserve) dans chaque plan ayant une inclinaison de 56° par rapport à l'équateur.

3.2 Segment au sol

Le segment au sol Galileo commande toute la constellation Galileo, surveille le bon fonctionnement de chaque satellite et télécharge des données vers chaque satellite qui sont ensuite diffusées sous forme du message de navigation qui est envoyé aux récepteurs des utilisateurs. Les principaux paramètres de ce message de navigation, la synchronisation d'horloge et les éphémérides des satellites sont calculés à partir des mesures faites par un réseau mondial de stations. Les fonctions de télémétrie, de poursuite et de commande utilisent les attributions faites au service d'exploitation spatiale juste au-dessus de 2 GHz.

Le segment au sol assure les fonctions suivantes:

- gestion de la constellation et commande des satellites;
- traitement et contrôle des données de navigation et d'intégrité du système;
- maintien en position des engins spatiaux et surveillance de la qualité de fonctionnement (télémétrie, télécommande et télémétrie);
- acheminement en liaison montante des données de mission dans la bande 5 000-5 010 MHz attribuée au SRNS.

3.3 Segment de l'utilisateur

Le segment de l'utilisateur comprend tous les terminaux d'utilisateur et les équipements de soutien associés. Le terminal d'utilisateur Galileo comprend généralement une antenne, un récepteur-processeur et des dispositifs d'entrée/sortie, selon le cas. Il acquiert et poursuit les signaux de navigation provenant de tous les satellites Galileo en visibilité directe, calcule les pseudo-distances et les pseudo-vitesses, et déduit instantanément la position et la vitesse en trois dimensions et la référence temporelle du système.

4 Structure du signal Galileo

Le présent paragraphe décrit les signaux Galileo utilisés dans des applications de positionnement, de navigation et de transfert de l'heure (PNT).

4.1 Signal Galileo E1

Le signal Galileo E1 est transmis sur la fréquence centrale 1 575,42 MHz.

Il comprend trois composantes qui peuvent être utilisées de manière autonome ou en combinaison avec d'autres signaux suivant la qualité de fonctionnement requise par l'application. Les composantes sont essentiellement utilisées pour le service ouvert (OS, *open service*) et le service public réglementé (PRS, *public regulated service*), qui incluent des messages de navigation. La porteuse Galileo E1 fait l'objet d'une modulation MBOC (comprenant la composante avec données E1-B et la composante sans données E1-C) pour le service OS, et est modulée avec un code en cosinus BOCcos (15;2,5) (composante E1A) pour le service PRS. Le flux de données E1B peut contenir des messages supplémentaires transmis pour améliorer la fonction de navigation et de référence temporelle.

Une modulation BOC est utilisée pour obtenir la forme spectrale requise (distribution de densité spectrale de puissance en fréquence) pour le signal émis. Les signaux de type BOC sont exprimés sous la forme $BOC(f_{sub}, f_{chip})$, où les fréquences indiquées sont des multiples du débit d'éléments du code GPS C/A de 1,023 Méléments/s.

La densité spectrale de puissance du signal Galileo PRS est donnée par:

$$G_{BOC_{\cos}(f_s, f_c)}(f) = f_c \left[\frac{2 \sin\left(\frac{\pi f}{f_c}\right) \sin^2\left(\frac{\pi f}{4 f_s}\right)}{\pi f \cos\left(\frac{\pi f}{2 f_s}\right)} \right]^2$$

où $f_s = 15 \times 1,023$ MHz est la fréquence de la sous-porteuse et $f_c = 2,5 \times 1,023$ MHz est le rythme d'éléments.

La modulation MBOC donne le spectre $G_{MBOC}(f)$ du signal suivant:

$$G_{MBOC}(f) = \frac{10}{11} G_{BOC(1,1)}(f) + \frac{1}{11} G_{BOC(6,1)}(f)$$

où:

$$G_{BOC(f_s, f_c)}(f) = f_c \left(\frac{\tan\left(\frac{\pi f}{s f_s}\right) \sin\left(\frac{\pi f}{f_c}\right)}{\pi f} \right)^2$$

avec:

$f_s = 1 \times 1,023$ MHz est la fréquence de la sous-porteuse et $f_c = 1 \times 1,023$ MHz est le débit d'éléments pour BOC(1,1)

$f_s = 6 \times 1,023$ MHz est la fréquence de la sous-porteuse et $f_c = 1 \times 1,023$ MHz est le débit d'éléments pour BOC(6,1).

TABLEAU 7

Émissions Galileo E1 dans la bande 1 559-1 610 MHz

Paramètre	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 559-1 591
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	1,023 (MBOC) 2,5575 (BOC _{cos} (15,2,5))
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	125 (E1-B)
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	250 (E1-B)
Méthode de modulation du signal	MBOC (OS) BOC _{cos} (15,2,5) (PRS)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Niveau de puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne référence (dBW)	-157,25 (MBOC) (voir Note 2)

NOTE 1 – Pour de plus amples détails sur la modulation MBOC, voir le texte du paragraphe juste avant ce tableau.

NOTE 2 – La puissance minimale reçue à la surface de la Terre est mesurée à la sortie d'une antenne de réception isotrope de gain 0 dBic pour un angle d'élévation au moins égal à 5 degrés.

4.2 Signal Galileo E6

Le signal Galileo E6 est émis sur la fréquence centrale de 1 278,75 MHz.

Il permet d'offrir un canal de diffusion de données pour le service commercial (CS, *commercial service*) et un service public réglementé (PRS), qui incluent tous les deux un message de navigation.

La porteuse E6 est modulée avec une modulation MDPB(5) pour offrir le service commercial. Elle est également modulée avec un code BOC_{cos}(10,5) pour offrir la composante E6 du service PRS (le spectre du signal Galileo E6 PRS suit la même équation que celui du signal E1 PRS ci-dessus, mais avec $f_s = 10 \times 1,023$ MHz et $f_c = 5 \times 1,023$ MHz).

TABLEAU 8

Émissions Galileo E6 dans la bande 1 215-1 300 MHz

Paramètre	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 260-1 300
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	5,115 (MDPB(5)) 10,23 (BOC _{cos} (10,5))
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	500 (E6-B)
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	1000 (E6-B)
Méthode de modulation du signal	MDPB(5) (CS) BOC _{cos} (10,5) (PRS)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Niveau de puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne référence (dBW)	-155,25 (MDPB(5)) (Voir Note)

NOTE – La puissance minimale reçue à la surface de la Terre est mesurée à la sortie d'une antenne de réception isotrope de gain 0 dBic pour un angle d'élévation au moins égal à 5 degrés.

4.3 Signal Galileo E5

Pour produire le signal Galileo E5, centré sur 1 191,795 MHz, on utilise une modulation AltBOC avec une fréquence de sous-porteuse de bande latérale égale à 15,345 MHz. Il en résulte deux lobes latéraux.

Le lobe latéral inférieur du signal Galileo E5, appelé signal Galileo E5a, permet d'offrir un deuxième signal (réception bi fréquence) pour le service ouvert (OS), y compris les messages de données de navigation.

Le signal E5a est un signal d'accès pour le service ouvert transmis dans la bande E5 comprenant un canal de données et un canal pilote (sans données).

Le lobe latéral supérieur du signal Galileo E5, appelé signal Galileo E5b, apporte une composante supplémentaire au service ouvert (OS).

Le signal E5a est un signal d'accès pour le service ouvert transmis dans la bande comprenant un canal de données et un canal pilote (sans données).

La densité spectrale de puissance du signal Galileo E5 AltBOC est donnée par:

$$G_{AltBOC}(f) = \frac{4f_c}{\pi^2 f^2} \frac{\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)}{\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)} \left[\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) - \cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) - 2 \cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) \cos\left(\frac{\pi f}{4f_s}\right) + 2 \right]$$

où:

$f_s = 15 \times 1,023$ MHz est la fréquence de la sous-porteuse et $f_c = 10 \times 1,023$ MHz est le rythme d'éléments.

TABLEAU 9

Émissions Galileo E5 dans la bande 1 164-1 215 MHz

Paramètre	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 164-1 219
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	10,23 ($G_{AltBOC}(15,10)$)
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	25 (E5-a) 125 (E5b)
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	50 (E5a), 250 (E5b)
Méthode de modulation du signal	AltBOC (15,10) (Voir Note 1)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Niveau de puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne référence (dBW)	-155,25 pour E5a (Voir Note 2) -155,25 pour E5b (Voir Note 2)

NOTE 1 – Pour de plus amples renseignements sur la modulation G_{ALTBOC} , voir le texte du paragraphe juste avant ce tableau.

NOTE 2 – La puissance minimale reçue à la surface de la Terre est mesurée à la sortie d'une antenne de réception isotrope de gain 0 dBic pour un angle d'élévation au moins égal à 5 degrés.

Annexe 4

Description technique et caractéristiques du système à satellites quasi zénithal (QZSS)

1 Introduction

Le système à satellites quasi zénithal (QZSS, *quasi-zenith satellite system*) est constitué de sept satellites et deux satellites de réserve actifs. Les satellites sont soit sur une orbite non géostationnaire inclinée de 45 degrés soit sur l'orbite des satellites géostationnaires. Chaque satellite émet des signaux de navigation sur les quatre mêmes fréquences porteuses. Ces signaux de navigation sont modulés avec un flux binaire prédéterminé, contenant un codage des données d'éphémérides et de l'heure, et ayant une largeur de bande suffisante pour produire la précision de navigation nécessaire sans recourir à une émission bidirectionnelle ou à une intégration Doppler.

1.1 Besoins en fréquences

Les besoins en fréquences du système QZSS sont fondés sur une évaluation de la précision requise par les utilisateurs, la résolution du retard dû à la propagation espace vers Terre, la suppression des signaux dus à la propagation par trajets multiples ainsi que le coût et les configurations des équipements. Trois canaux initiaux sont utilisés dans le système QZSS: 1 575,42 MHz (L1), 1 227,6 MHz (L2) et 1 176,45 MHz (L5). Un signal à haut débit de données (LEX) sera ajouté, centré sur 1 278,75 MHz (L6).

Le système QZSS assure un service de navigation pour les régions d'Asie orientale et d'Océanie, y compris le Japon.

2 Présentation générale du système

QZSS est un système de radiocommunications spatiales fonctionnant en continu et par tous les temps, utilisé pour la navigation, le positionnement et le transfert de l'heure, qui fournit des signaux compatibles avec le GPS (L1, L2 et L5) et un signal complémentaire transportant un message de données à plus haut débit (L6).

Le système fonctionne d'après le principe de la trilatération passive. Un récepteur d'utilisateur QZSS mesure d'abord les pseudo-distances, les pseudo-vitesses ou les deltas de pseudo-distances à au moins quatre satellites, calcule la position et la vitesse des satellites et le décalage temporel de leur horloge par rapport au cadre temporel de référence en utilisant les paramètres de correction des éphémérides et de l'horloge qu'il reçoit. Il détermine ensuite la position et la vitesse de l'utilisateur en trois dimensions dans un système de coordonnées cartésiennes ITRF (cadre de référence terrestre international) centré sur la Terre et fixe par rapport à la Terre (ECEF), et le décalage de l'horloge de l'utilisateur par rapport au cadre temporel de référence.

3 Segments du système

Le système comporte trois segments principaux: le segment spatial, le segment de commande et le segment de l'utilisateur. La fonction principale de chaque segment est décrite ci-après.

3.1 Segment spatial

Le segment spatial comprend les satellites QZSS, qui ont la fonction de points de référence «célestes», et émettent depuis l'espace des signaux de navigation avec un codage précis de l'heure. La

constellation opérationnelle de sept satellites se compose de satellites sur orbite non géostationnaire et de satellites sur orbite géostationnaire. Les satellites sur orbite non géostationnaire fonctionnent sur des orbites de 24 heures avec une apogée et un périhélie à des altitudes respectivement de 39 970 km et de 31 602 km. Chacun de ces trois satellites sur orbite non géostationnaire est situé dans un plan orbital distinct, incliné de 45° par rapport à l'équateur. Les plans orbitaux sont équidistants les uns des autres et la phase des satellites est telle qu'il existe toujours un satellite visible à un angle d'élévation élevé depuis le Japon. Les positions sur l'orbite géostationnaire sont à l'étude.

Deux satellites de réserve actifs sont eux aussi à l'étude; ils sont destinés à satisfaire les besoins du système afin qu'il puisse fournir des fonctions de navigation avec la constellation QZSS, avec un minimum de 7 satellites.

Le satellite est un engin stabilisé sur trois axes. Les éléments essentiels de sa charge utile principale de navigation sont l'étalon de fréquence atomique pour la précision horaire, le processeur pour l'enregistrement des données de navigation, le dispositif de signaux BPA pour la production du signal de télémétrie, et l'antenne d'émission à faisceau conformé dans la bande 1,2/1,6 GHz, qui diffuse des signaux d'une puissance quasi uniforme sur les quatre fréquences de la bande 1,2/1,6 GHz vers les utilisateurs situés sur la surface de la Terre ou à proximité. L'émission sur deux fréquences (par exemple L1 et L2) permettra la correction des retards ionosphériques dans le temps de propagation du signal.

3.2 Segment de commande

Le segment de commande assure les fonctions de poursuite, de calcul, d'actualisation et de surveillance nécessaires à la commande quotidienne de tous les satellites du système. Il se compose d'une station de commande principale (MCS, *master control station*) située au Japon, où a lieu le traitement de toutes les données, et de stations de surveillance très espacées les unes des autres dans la zone visible depuis le segment spatial.

Les stations de surveillance poursuivent passivement tous les satellites en vue et mesurent des données de télémétrie et des données Doppler. Ces données sont traitées à la MCS pour calculer les éphémérides des satellites, les décalages et les dérives d'horloge, et les retards de propagation, et utilisées ensuite pour produire des messages destinés aux satellites. Ces informations réactualisées sont transmises aux satellites pour y être mises en mémoire et être transmises ensuite par les satellites comme partie intégrante des messages de navigation destinés aux utilisateurs.

3.3 Segment de l'utilisateur

Le segment de l'utilisateur est l'ensemble de tous les récepteurs des utilisateurs et des équipements de soutien. Le récepteur type de l'utilisateur comporte une antenne, un récepteur-processeur QZSS (qui traite également les signaux GPS), un ordinateur et des dispositifs d'entrée/sortie.

Il acquiert et poursuit le signal de navigation provenant de plus de quatre satellites en vue, dont un (ou plusieurs) satellite(s) QZSS et un (ou plusieurs) satellite(s) GPS, mesure les temps de propagation RF, les phases des signaux RF et les décalages de fréquence Doppler, les convertit en pseudo-distances, phases de porteuse et pseudo-vitesses et/ou delta de pseudo-distances, et en déduit la position et la vitesse en trois dimensions et le décalage temporel du récepteur par rapport au cadre temporel de référence.

Les équipements des utilisateurs vont du récepteur mobile relativement simple et léger jusqu'à des récepteurs perfectionnés, intégrés à d'autres capteurs ou systèmes de navigation pour garantir une certaine précision dans des environnements très dynamiques.

4 Structure du signal QZSS

Les signaux de navigation QZSS émis depuis les satellites sont constitués de quatre porteuses modulées: L1, à une fréquence centrale de 1 575,42 MHz ($154 f_0$), L2, à une fréquence centrale de 1 227,6 MHz ($120 f_0$), L5, à une fréquence centrale de 1 176,45 MHz ($115 f_0$) et L6, à une fréquence centrale de 1 278,75 MHz ($125 f_0$), où $f_0 = 10,23$ MHz. f_0 est la sortie de l'unité de référence de fréquence du satellite, auquel tous les signaux produits sont rapportés de façon cohérente.

Le signal L1 est constitué de quatre signaux à modulation par déplacement de phase bivalente (MDPB) multiplexés en quadrature. Deux d'entre eux (L1-C/A et L1S) sont modulés avec deux codes d'étalement BPA différents qui sont des séquences résultant de la somme modulo 2 des sorties de deux registres à décalage avec réinjection linéaire de 10 bits ayant une fréquence d'horloge de 1,023 MHz et une période de 1 ms. Chacun d'eux est ajouté modulo 2 à un flux de données de navigation à 50 bits/s/50 symboles/s ou 250 bits/s/500 symboles/s avant la MDPB. Les deux autres signaux (composante avec données du signal L1C et composante sans données du signal L1C) sont modulés avec deux codes d'étalement différents ayant une fréquence d'horloge de 1,023 MHz et avec deux ondes carrées identiques ayant une fréquence d'horloge de 0,5115 MHz. Le flux de données est ajouté modulo 2 à l'un d'eux.

Le signal L2 est modulé par la MDPB avec un code d'étalement L2C. Le code L2C a une fréquence d'horloge de 1,023 MHz avec des codes d'étalement en alternance ayant une fréquence d'horloge de 0,5115 MHz: L2CM avec une période de 20 ms et L2CL avec une période de 1,5 s. Un flux de données à 25 bits/s/50 symboles/s est ajouté modulo 2 au code avant la modulation de phase.

Le signal L5 est constitué de deux signaux MDPB (I et Q) multiplexés en quadrature et d'un signal MDPQ (signal L5). Les signaux dans les deux canaux I et Q sont modulés avec deux codes d'étalement L5 différents, ayant tous les deux une fréquence d'horloge de 10,23 MHz et une période de 1 ms. Un flux de données de navigation à 50 bits/s/100 symboles/s est émis sur le canal I et aucune donnée (canal «pilote» sans données) n'est émise sur le canal Q. Le seul signal MDPQ a un débit d'horloge de 10,23 MHz et une période de 1 ms et contient des messages de complément.

Le signal L6 est également un signal à modulation MDPB. Un ensemble de petites séquences de code Kasami est employé pour le code d'étalement ayant une fréquence d'horloge de 5,115 MHz.

5 Puissance et spectres des signaux

Les satellites QZSS utilisent une antenne à faisceau conformé qui diffuse des signaux d'une puissance quasi uniforme aux utilisateurs du système. Les signaux émis ont une polarisation circulaire dextrogyre, avec une ellipticité meilleure que 1,2 dB pour le signal L1 et meilleure que 2,2 dB pour les signaux L2, L5 et L6. Les puissances de signal reçues par l'utilisateur pour des angles d'incidence supérieurs à 10 degrés sont définies dans l'hypothèse d'une antenne de récepteur à polarisation circulaire dextrogyre de 0 dBi.

La puissance minimale reçue garantie pour les signaux L1, L2, L5 et L6 est indiquée dans les Tableaux 10, 11 et 12.

6 Fréquence de fonctionnement

Dans le système QZSS, un signal L1 est émis dans un segment de la bande 1 559-1 610 MHz, un signal L2 et un signal L6 sont émis dans un segment de la bande 1 215-1 300 MHz et un signal L5 est émis dans un segment de la bande 1 164-1 215 MHz attribuées au SRNS.

7 Fonctions de télémesure

Il n'est pas nécessaire que le système QZSS utilise des signaux de télémesure dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz.

8 Paramètres d'émission QZSS

Étant donné que le système QZSS émet des signaux de navigation du SRNS espace vers Terre dans quatre bandes, les paramètres d'émission QZSS sont donnés dans quatre tableaux correspondant à ces quatre bandes.

8.1 Paramètres d'émission QZSS L1

Le système QZSS utilisera plusieurs signaux dans la bande 1 559-1 610 MHz attribuée au SRNS, à savoir L1 C/A, L1C et L1S. Les satellites QZSS sur orbite non géostationnaire utilisent chacun un signal L1-C/A, un signal L1C et un signal L1S. Les satellites QZSS sur orbite géostationnaire utilisent chacun un signal L1-C/A, un signal L1C et deux signaux L1S (L1Sa et L1Sb).

TABLEAU 10
Émissions QZSS dans la bande 1 559-1 610 MHz

Paramètre	Valeur du paramètre (Note 1)
Fréquence porteuse (MHz)	1 575,42
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	1,023
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	50 (C/A), 250 (L1S), 25 (L1C)
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	50 (C/A), 500 (L1S), 50 (L1C)
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(1) (C/A & L1S) BOC(1,1) composante avec données du signal L1C) MBOC (signal pilote L1C (composante sans données) du second satellite QZSS et des satellites suivants. Le premier satellite utilise une modulation BOC (1,1) pour sa composante sans données) (Voir Note 2)
Polarisation et ellipticité (dB)	circulaire dextrogyre, maximum 1,2
Niveau de puissance minimale reçue à l'entrée de l'antenne (dBW)	-158,5 (C/A), -163 (L1C données), -158,25 (L1C sans données), -161 (L1-SAIF) (Voir Note 3)
Largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF (MHz)	32

Notes du Tableau 10:

NOTE 1 – Le signal de nom L1S est utilisé pour le second satellite et les satellites suivants. Le premier satellite QZSS utilise un signal RF qui a les mêmes caractéristiques que le signal L1S mais le nom du signal est L1-SAIF.

NOTE 2 – Pour les paramètres du système QZSS du SRNS, MDPB-R(n) désigne une modulation par déplacement de phase bivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s). BOC(m,n) désigne une modulation de porteuse à double décalage avec un décalage de la fréquence porteuse de $m \times 1,023$ (MHz) et un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s).

NOTE 3 – Pour la puissance minimale reçue dans le système QZSS, on suppose que le gain de l'antenne de réception est minimal pour des angles supérieurs ou égaux à 10 degrés au-dessus de l'horizon terrestre vus depuis la surface de la Terre.

8.2 Paramètres d'émission QZSS L2

Le système QZSS utilisera deux signaux dans la bande 1 215-1 300 MHz attribuée au SRNS, à savoir L2C et L6.

TABLEAU 11
Émissions QZSS L2C dans la bande 1 215-1 300 MHz

Paramètre	Description du paramètre du SRNS
Fréquence porteuse (MHz)	1 227,6
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	1,023 (L2C)
Débits binaires/de symboles des données de navigation (bits)	25 (L2C)
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	50 (L2C)
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(1) (L2C) (Voir Note 1)
Polarisation et ellipticité (dB)	circulaire dextrogyre, maximum 2,2
Niveau de puissance minimale reçue à l'entrée de l'antenne (dBW)	-160 de puissance totale (Voir Note 2)
Largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF (MHz)	32

NOTE 1 – Pour les paramètres du système QZSS du SRNS, MDPB-R(n) désigne une modulation par déplacement de phase bivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s).

NOTE 2 – Pour la puissance minimale reçue dans le système QZSS, on suppose que le gain de l'antenne de réception est minimal pour des angles supérieurs ou égaux à 10 degrés au-dessus de l'horizon terrestre vus depuis la surface de la Terre.

TABLEAU 12

Émissions QZSS L6 dans la bande 1 215-1 300 MHz (Note 1)

Paramètre	Description du paramètre du SRNS
Fréquence porteuse (MHz)	1 278,75
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	5,115 (L6)
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	2 000 (L6)
Débits binaires/de symboles des données de navigation (symboles/s)	250 (L6)
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(5) (L6) (Voir Note 2)
Polarisation et ellipticité (dB)	circulaire dextrogyre, maximum 2,2
Niveau de puissance minimale reçue à l'entrée de l'antenne (dBW)	-155,7 de puissance totale (Voir Note 3)
Largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF (MHz)	56 (Voir Note 4)

NOTE 1 – Le signal de nom L6 est utilisé pour le second satellite et les satellites suivants. Le premier satellite QZSS utilise un signal RF qui a les mêmes caractéristiques que le signal L6 mais le nom du signal est LEX.

NOTE 2 – Pour les paramètres du système QZSS du SRNS, MDPB-R(*n*) désigne une modulation par déplacement de phase bivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s).

NOTE 3 – Pour la puissance minimale reçue dans le système QZSS, on suppose que le gain de l'antenne de réception est minimal pour des angles supérieurs ou égaux à 10 degrés au-dessus de l'horizon terrestre vus depuis la surface de la Terre.

NOTE 4 – La valeur de 56 MHz n'est pas représentative de la largeur de bande à 3dB du signal d'émission.

8.3 Paramètres d'émission QZSS L5

Le système QZSS utilisera trois signaux de navigation (L5I, L5Q et L5S) dans la bande 1 164-1 215 MHz attribuée au SRNS, à savoir L5I et L5Q, qui sont émis en quadrature et avec la même puissance. Le signal L5Q ne comporte pas de données (on parle également de canal «pilote»). Quant au signal L5I, il comporte des données de navigation fournissant des informations de référence temporelle, de navigation et de positionnement. Le signal L5S comporte lui aussi des données de navigation fournissant des informations de référence temporelle, de navigation et de positionnement.

TABLEAU 13

Émissions QZSS dans la bande 1 164-1 215 MHz

Paramètre	Description du paramètre du SRNS
Fréquence porteuse (MHz)	1 176,45
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	10,23
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	50 (L5I), 250 (L5S)
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	100 (L5I), 500 (L5S)
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(10) (L5) MDPQ-R(10) (L5S) (Voir Note 1)
Polarisation et ellipticité (dB)	circulaire dextrogyre, 2,2
Niveau de puissance minimale reçue à l'entrée de l'antenne (dBW)	-157,9 par canal (L5I ou L5Q) -157 (L5S) (Voir Note 2)
Largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF (MHz)	38,0

NOTE 1 – Pour les paramètres du système QZSS du SRNS, MDPB-R(*n*) désigne une modulation par déplacement de phase bivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s). MDPQ(*n*) désigne une modulation par déplacement de phase quadrivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s).

NOTE 2 – Pour la puissance minimale reçue dans le système QZSS, on suppose que le gain de l'antenne de réception est minimal pour des angles supérieurs ou égaux à 10° au-dessus de l'horizon terrestre vus depuis la surface de la Terre.

Annexe 5**Description technique et caractéristiques du système complémentaire basé sur des satellites MTSAT (MSAS)****1 Introduction**

L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a défini le système mondial de navigation par satellite (GNSS, *global navigation satellite system*) comme un système mondial de détermination de la position et de l'heure, qui se compose d'une ou de plusieurs constellations de satellites, de récepteurs embarqués et d'un contrôle de l'intégrité du système, renforcés selon les besoins afin d'appuyer la qualité de navigation requise pour l'exploitation voulue, et a élaboré les normes et pratiques recommandées internationales (SARP) pour offrir un service mondial transparent de navigation aérienne.

Pour assurer le service de navigation du GNSS, diverses combinaisons des éléments suivants du GNSS installés au sol, dans l'espace et/ou à bord d'engins spatiaux seront utilisées:

- a) Système mondial de positionnement (GPS).
- b) Système mondial de navigation par satellite (GLONASS).

- c) Système complémentaire basé sur des engins spatiaux (ABAS).
- d) Système complémentaire basé sur des satellites (SBAS).
- e) Système complémentaire basé au sol (GBAS).
- f) Récepteur GNSS d'engin spatial.

Le système complémentaire basé sur des satellites MTSAT (satellite de transport multifonctionnel) (système MSAS) est un système SBAS défini comme un système complémentaire à large couverture dans lequel l'utilisateur reçoit des informations complémentaires en provenance d'un émetteur de satellite. Le système MSAS joue le rôle de la fonction SRNS dans les satellites MTSAT.

Le système MSAS utilise deux satellites MTSAT pour renforcer la fiabilité et la robustesse du système. Chaque satellite MTSAT émet des signaux complémentaires GPS (signaux du SRNS) sur une fréquence porteuse. Ces signaux incluent les informations suivantes: télémétrie, statut de satellite GPS, correction différentielle de base (corrections des éphémérides et de l'horloge de satellite GPS) et correction différentielle précise (corrections liées à l'ionosphère).

1.1 Besoins en fréquences

Les besoins en fréquences du système MSAS sont basés sur le canal GPS L1 centré sur 1 575,42 MHz.

Compte tenu de la nécessité de garantir la «sécurité» de la navigation aéronautique, il est extrêmement important que les autres services de radiocommunication ne causent pas de brouillages préjudiciables aux utilisateurs de la navigation aérienne.

La fonction SRNS des satellites MTSAT nécessite une fréquence de liaison de connexion sur la liaison montante entre les stations terriennes au sol et les satellites, et cette utilisation doit bénéficier d'une protection suffisante vis-à-vis des autres signaux du SFS.

2 Présentation générale du système

Les satellites MTSAT constituent le segment spatial du système MSAS et diffusent des informations complémentaires GPS aux utilisateurs dotés des équipements appropriés, notamment pour garantir la «sécurité» de l'aviation civile.

L'équipement d'utilisateur MSAS mesure la position GPS de l'utilisateur en trois dimensions dans un système de coordonnées cartésiennes WGS-84 centré sur la Terre et fixe par rapport à la Terre (ECEF), et obtient les informations d'intégrité GPS produites dans les stations MCS sur la base des données GPS reçues dans les stations de surveillance au sol en temps réel.

3 Segments du système

Le système MSAS comporte trois segments principaux: le segment spatial, le segment au sol et le récepteur embarqué SBAS (segment de l'utilisateur). La fonction principale de chaque segment est décrite ci-après.

3.1 Segment spatial

Le segment spatial MSAS est une charge utile de navigation de satellites MTSAT. Il retransmet les signaux du SRNS produits par les stations terriennes au sol (GES). La constellation des deux satellites MTSAT fonctionne sur deux orbites géostationnaires à 135°E, 140°E ou 145°E. Chaque satellite MTSAT est un engin stabilisé sur trois axes. Les éléments essentiels de sa charge utile de navigation sont une antenne de réception pour le signal de liaison de connexion acheminé par liaison montante depuis les stations au sol, un convertisseur-abaisseur de fréquence de la bande des 14 GHz vers la bande des 1,5 GHz, un amplificateur de forte puissance pour le signal de liaison de service et une

antenne d'émission à faisceau conformé, qui diffuse des signaux d'une puissance quasi uniforme aux utilisateurs.

3.2 Segment au sol

Le segment au sol est constitué de deux stations MCS, de quatre stations de surveillance au sol (GMS), de deux stations de surveillance et de télémétrie (MRS) et d'un sous-système de communication réseau (NCS). Les stations MCS sont les éléments centraux du système MSAS et sont situées dans les centres d'exploitation de satellites aéronautiques à Hitachi-ohta et à Kobe. La mise en place de deux stations permet d'éviter une interruption de service en cas de panne d'équipements, de catastrophe naturelle ou de conditions météorologiques difficiles. Les stations GMS reçoivent les données MSAS émises depuis les satellites MTSAT et les transfèrent aux stations MCS par le biais du sous-système NCS. Elles reçoivent les signaux GPS L1 et L2 (1 227,6 MHz) du GPS, qu'elles utilisent pour surveiller les signaux GPS ainsi que pour estimer le temps de propagation dans l'ionosphère. Elles sont situées à quatre endroits, à savoir Sapporo, Tokyo, Fukuoka et Naha. Les stations MRS ont pour fonction de collecter les données de base nécessaires pour déterminer la position des satellites MTSAT et créer les données de télémétrie (données de positionnement équivalentes à celles du GPS), en plus des fonctions des stations GMS. Les stations MRS sont établies en deux endroits à l'est et au sud de l'empreinte des satellites MTSAT, à savoir à Hawaii et à Canberra (Australie), afin d'obtenir des mesures de distance de haute précision grâce à de grandes lignes de base.

3.3 Segment de l'utilisateur

Le segment de l'utilisateur (récepteur embarqué SBAS) détermine la position de l'engin spatial au moyen des constellations GPS et du signal SBAS. Le récepteur embarqué SBAS acquiert les données de télémétrie et de correction, et applique ces données pour déterminer l'intégrité et améliorer la précision de la position obtenue.

4 Structure des signaux MSAS

Les signaux du SRNS pour le système MSAS sont compatibles avec les signaux GPS L1 et les porteuses modulées avec une fréquence centrale de 1 575,42 MHz et une largeur de bande de 2,2 MHz. La séquence émise est la somme modulo 2 du message de navigation à un débit de 500 symboles/s et du code de bruit pseudo-aléatoire de 1 023 bits. Elle doit ensuite être modulée par la MDPB sur la porteuse à un débit de 1,023 Méléments/s.

5 Puissance et spectres des signaux

Les satellites MTSAT utilisent une antenne à faisceau conformé qui diffuse des signaux d'une puissance quasi uniforme aux utilisateurs MSAS. Les signaux émis ont une polarisation circulaire dextrogyre. Les caractéristiques du signal MSAS émis depuis les satellites MTSAT sont données dans le Tableau 14.

TABLEAU 14

Caractéristiques des signaux MSAS

Fréquence porteuse (MHz)	Type d'émission	Largeur de bande attribuée (MHz)	Puissance de crête maximale (dBW)	Densité de puissance maximale (dB(W/kHz))	Gain d'antenne (dBi)
1 575,42	2M20G1D	2,2	13,0	-17,3	20,0
	2M20G7D	2,2	16,0	-14,3	

6 Fréquence de fonctionnement

Le segment spatial MSAS fonctionne aux fréquences GPS L1 à une fréquence porteuse centrale de 1 575,42 MHz avec une largeur de bande de 2,2 MHz, dans un segment de la bande 1 559-1 610 MHz attribuée au SRNS.

7 Fonctions de télémesure

Il n'est pas nécessaire que le système MSAS utilise des signaux de télémesure dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz et 5 010-5 030 MHz.

Annexe 6**Description technique et caractéristiques des réseaux LM-RPS****1 Introduction**

Les réseaux LM-RPS sont constitués de satellites géostationnaires avec une charge utile du SRNS à plusieurs canaux et de deux stations de liaison montante au sol (GUS) prenant en charge chaque charge utile de navigation. Dans la mise en œuvre actuelle, un satellite est situé à 133° de longitude ouest et un deuxième satellite est situé à 107,3° de longitude ouest.

Les réseaux LM-RPS à 107,3° et 133° de longitude ouest assurent un service SRNS de diffusion unique à la Federal Aviation Administration (FAA) aux Etats-Unis en assurant une diffusion qui couvre l'espace aérien national des Etats-Unis. Les réseaux LM-RPS font partie du système complémentaire de zone étendue (WAAS) de la FAA. D'autres réseaux LM-RPS pourront être ajoutés à l'avenir pour assurer un service SBAS analogue aux administrations de l'aviation et aux espaces aériens nationaux dans d'autres régions du monde. Les réseaux LM-RPS fournissent des données complémentaires, qui complètent les données GPS en fournissant des informations d'intégrité dans les diffusions GPS, et une amélioration de la précision des signaux de télémétrie GPS, à l'intention des utilisateurs de l'aviation. Les utilisateurs de l'aviation ont besoin de systèmes SBAS pour avoir une plus grande précision et une plus grande intégrité pour la navigation et la sécurité d'exploitation.

2 Présentation générale du système

Les réseaux LM-RPS sont exploités en tant que service commercial qui offre un service de diffusion SRNS utile aux administrations de l'aviation.

La diffusion du message WAAS par les stations spatiales de réseau LM-RPS assure la couverture requise des espaces aériens nationaux avec un nombre minimal d'émetteurs et élimine une multitude de problèmes techniques associés aux systèmes complémentaires basés au sol. Le réseau LM-RPS est un service de diffusion hybride utilisant à la fois des liaisons montantes du SFS et des liaisons descendantes du SRNS, d'où une complexité légèrement plus grande que dans le cas des diffusions normales du SFS. Les données de message WAAS non formaté sont reçues en provenance des stations principales WAAS par les stations au sol LM-RPS sur un réseau de communications au sol et vérifiées avant transmission au satellite. Les stations au sol appliquent une correction d'erreur directe au message WAAS et l'alignent temporellement sur la période de la sous-trame de diffusion GPS puis achemine le message par liaison montante à la charge utile de navigation, qui reçoit et rediffuse le message aux utilisateurs à la surface de la Terre et aux utilisateurs de l'aviation dans les espaces aériens nationaux couverts.

3 Configuration du système

Le réseau LM-RPS comporte deux parties: les satellites ou segment spatial et les stations au sol ou segment au sol.

3.1 Segment spatial

Les différents satellites, au départ LM-RPS 133W et LM-RPS 107,3 W, et potentiellement d'autres qui desserviront d'autres régions du monde, constituent le segment spatial des réseaux LM-RPS. Chaque satellite fonctionne de manière indépendante, dans le cadre du système WAAS, pour fournir un signal dans l'espace (SiS) fiable presque tout le temps (99,9995% de fiabilité).

Les satellites reçoivent le message WAAS en provenance d'une des deux stations de liaison montante au sol (GUS) et le retransmettent vers la Terre, fournissant un signal SiS double dans la zone de couverture. On prévoit à l'avenir d'ajouter un troisième signal SiS pour assurer une très grande fiabilité (> 99,9995%).

Chaque charge utile de navigation est un simple répéteur de type bouclage ou à transposition de fréquence. Chacune reçoit le message WAAS acheminé par liaison montante sur une paire de canaux à fréquence fixe dans la bande des 6 GHz attribuée au SFS pour les liaisons montantes, désignés par LM-RPS C1 et LM-RPS C5, qui sont filtrés et transposés vers les fréquences LM-RPS L1 (dans la bande 1 559-1 610 MHz) et LM-RPS L5 (dans la bande 1 164-1 215 MHz). Ce sont les mêmes fréquences que celles indiquées dans l'Annexe 2 respectivement pour les signaux GPS L1 et GPS L5. Des amplificateurs et des antennes d'émission spéciales émettent les signaux du SRNS vers la Terre, assurant une couverture de faisceau mondiale sur toute la surface de la Terre jusqu'à une altitude de 100 000 km, ce qui permet de couvrir l'espace aérien souhaité. La zone de couverture est définie par un cône avec un angle de 8,75° par rapport à l'axe de visée.

3.2 Segment au sol

Chaque paire de stations GUS LM-RPS fonctionne comme un ensemble redondant permettant d'avoir une liaison montante de grande fiabilité avec un satellite LM-RPS.

Les stations GUS sont interconnectées par un réseau terrestre qui les raccorde au système WAAS. Elles communiquent entre elles et avec la station de commande principale WAAS afin de déterminer quelle station GUS est désignée comme étant la station GUS principale pour diffuser le message WAAS à la charge utile de navigation et quelle est la station GUS de secours. La station GUS de

secours diffuse son message WAAS vers une charge RF et remplace rapidement la station principale en cas de défaillance de celle-ci.

Une station GUS se compose de deux équipements de base, à savoir un équipement de réseau et de traitement et un équipement d'émission RF. L'équipement de réseau et de traitement reçoit et vérifie les données de message WAAS via le réseau terrestre, puis les formate dans la structure de signal de diffusion correcte, donnant lieu à un signal à fréquence intermédiaire (FI) à 70 MHz. Le signal FI est transposé vers les fréquences LM-RPS C1 et C5, amplifié, et transmis à la charge utile de navigation par une antenne de type parabole fonctionnant dans la bande C (équipement RF).

La station GUS possède une antenne recevant les signaux transmis par la charge utile de navigation (liaison descendante) aux fréquences LM-RPS et GPS L1 et L5 pour calculer et corriger les retards ionosphériques dans le temps de propagation du signal. Ce bouclage du signal vers la station GUS depuis la charge utile de navigation permet d'utiliser le signal SiS pour la mesure de distances afin d'augmenter la disponibilité d'un signal de navigation dans des endroits et à des moments où la couverture GPS est insuffisante. La station GUS reçoit également les signaux transmis par les autres stations GUS (bande des 6 GHz) et les signaux L1 et L5 transmis par les satellites via des liaisons descendantes pour garantir que le signal n'a pas été altéré. En cas de signal altéré, l'équipement de traitement fera basculer la station GUS principale sur station de secours et la station GUS de secours sur station principale. Si le signal est toujours altéré, l'équipement de traitement diffusera un message «ne pas utiliser» au lieu du message complémentaire WAAS. La combinaison de quatre stations GUS et de deux satellites LM-RPS, à 133° O et 107,3° O, garantit qu'un signal SiS fiable sera présent dans l'espace aérien national presque tout le temps, répondant au souhait de fiabilité de la FAA. Les futures stations spatiales LM-RPS potentielles à d'autres positions orbitales permettront d'offrir des fiabilités analogues aux administrations d'aviation dans d'autres régions.

4 Signal LM-RPS

Les réseaux LM-RPS diffusent les messages complémentaires WAAS sur chacune des deux fréquences LM-RPS L1 et LM-RPS L5. La communauté de l'aviation détermine la structure du signal pour les messages SBAS. Le format et la structure de base des messages SBAS sont les mêmes que pour le signal de navigation GPS transmis sur ces fréquences par les satellites GPS, car les messages SBAS sont destinés à être reçus par les récepteurs d'utilisateur équipés pour recevoir les messages GPS.

La structure de signal commune inclut un code C/A avec le message WAAS incorporé et un code civil de type GPS. Le système est conçu de sorte que l'un des signaux de code C/A et P(Y) ou les deux puissent être incorporés sur les liaisons montantes et puissent donc être transmis respectivement sur les liaisons descendantes LM-RPS L1 et LM-RPS L5.

Le format du signal pour la diffusion LM-RPS L1 est décrit plus en détail dans la spécification WAAS concernant L1 (FAA-E-2892B) et le format du signal pour la diffusion LM-RPS L5 est défini dans la spécification du signal élaborée par la RTCA concernant L5 (RTCA/DO-261).

Les niveaux de signal des diffusions LM-RPS sur les canaux L1 et L5 depuis les stations spatiales LM-RPS-133W et LM-RPS-107,3W figurent dans le Tableau 15. Le niveau du signal d'émission diminue d'environ 3 dB par rapport au niveau de crête (dans la direction du nadir depuis le satellite) au bord de la zone de couverture à un angle de 8,75° par rapport à l'axe de visée. On peut s'attendre à des caractéristiques analogiques pour les autres réseaux LM-RPS.

TABLEAU 15

Intensité des signaux L1 et L5 provenant des satellites LM-RPS

Puissance isotrope rayonnée équivalente de crête (dBW)⁽¹⁾	LM-RPS L1	LM-RPS L5
LM-RPS-133W	36,6	33,0
LM-RPS-107,3W	34,2	34,9

⁽¹⁾ La puissance de crête est obtenue au point de la zone de couverture d'émission dans la direction du nadir.

5 Fréquences de fonctionnement LM-RPS

Les fréquences de liaison montante LM-RPS ont été choisies avec soin de manière à utiliser la largeur de bande disponible dans les bandes attribuées au service fixe par satellite mais sans que des brouillages soient créés avec les liaisons montantes du SRNS ou d'autres fournisseurs du SFS. Le système LM-RPS utilise des liaisons montantes dans la bande C étendue (6 425-6 700 MHz) pour les satellites LM-RPS-133 W et LM-RPS-107,3 W. Ces fréquences de liaison montante, qui sont des fréquences attribuées au SFS, sont indiquées ici pour référence. Pour le satellite LM-RPS-133W, le signal C1, qui se transpose en signal L1, utilise 6 639,27 MHz comme fréquence porteuse, et le signal C5, qui se transpose en signal L5, est transmis sur 6 690,42 MHz. Pour le satellite LM-RPS-107,3W, le signal C1 est transmis sur 6 625,45 MHz et le signal C5 sur 6 676,45 MHz.

Comme indiqué précédemment, les fréquences de liaison descendante sont celles du signal GPS-L1 sur 1 575,42 MHz et du signal GPS-L5 sur 1 176,45 MHz. Étant donné que les signaux LM-RPS utilisent les mêmes fréquences que les signaux GPS, ils sont distingués des autres signaux GPS sur L1 et L5 par l'utilisation d'un code BPA unique, de manière identique à l'utilisation par le système GPS de codes BPA différents pour chaque satellite individuel. Le code BPA est coordonné avec l'opérateur du système GPS pour garantir la compatibilité avec les diffusions de signaux GPS et d'autres signaux de type GPS.

6 Spectre de commande et de télémétrie

Les satellites LM-RPS à 133° et 107,3° de longitude ouest sur lesquels sont embarquées des charges utiles de navigation fonctionnent en tant que «satellites en copropriété». Ils utilisent en partage les fonctionnalités de deux satellites commerciaux du SFS. Les fonctions de commande et de télémétrie sont intégrées dans les systèmes de télémétrie, de poursuite et de télécommande (TT&C) des engins spatiaux. Grâce à l'utilisation en partage des fonctions TT&C, le système LM-RPS n'a pas besoin de spectre supplémentaire pour commander ses satellites. Les futurs satellites LM-RPS qui desserviront d'autres régions du monde pourront fonctionner de manière analogue en tant que «satellites en copropriété» ou en tant que satellites autonomes avec des fréquences dédiées pour les fonctions TT&C dans la gamme des 4/6 GHz.

7 Paramètres d'émission LM-RPS

Étant donné que le système LM-RPS émet des signaux de navigation du SRNS espace vers Terre dans deux bandes, les paramètres d'émission LM-RPS sont donnés dans deux tableaux correspondant à ces deux bandes.

7.1 Paramètres d'émission LM-RPS L1

Les principaux paramètres des émissions LM-RPS L1 sont indiqués dans le Tableau 16.

TABLEAU 16
Émissions LM-RPS L1 dans la bande 1 559-1 610 MHz

Paramètre	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 575,42 ± 12
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	1,023
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	250
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	500
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(1) (Voir Note 1)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Ellipticité (dB)	2,0 maximum
Niveau de puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne de référence (dBW)	-158,5 (Voir Note 2)
Largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF (MHz)	24,0

NOTE 1 – Pour les paramètres du système LM-RPS du SRNS, MDPB-R(*n*) désigne une modulation par déplacement de phase bivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s).

NOTE 2 – La puissance minimale reçue dans le système LM-RPS est mesurée à la sortie d'une antenne de réception d'utilisateur de référence à polarisation rectiligne de 3 dBi (située près du sol) pour l'orientation normale la plus défavorable lorsque l'angle d'élévation du satellite vu depuis la surface de la Terre est supérieur à 5 degrés au-dessus de l'horizon terrestre.

7.2 Paramètres d'émission LM-RPS L5

Les principaux paramètres des émissions LM-RPS L5 sont indiqués dans le Tableau 17.

TABLEAU 17

Émissions LM-RPS L5 dans la bande 1 164-1 215 MHz

Paramètre	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 176,45 ± 12
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	10,23
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	250
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	500
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(10) (Voir Note 1)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Ellipticité (dB)	2,0 maximum
Niveau de puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne de référence (dBW)	-157,9 (Voir Note 2)
Largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF (MHz)	24,0

NOTE 1 – Pour les paramètres du système LM-RPS du SRNS, MDPB-R(*n*) désigne une modulation par déplacement de phase bivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s).

NOTE 2 – La puissance minimale reçue dans le système LM-RPS est mesurée à la sortie d'une antenne de réception d'utilisateur de référence à polarisation rectiligne de 3 dBi (située près du sol) pour l'orientation normale la plus défavorable lorsque l'angle d'élévation du satellite vu depuis la surface de la Terre est supérieur à 5 degrés au-dessus de l'horizon terrestre.

Annexe 7**Description technique du système COMPASS et caractéristiques de ses stations spatiales d'émission****1 Introduction**

Le système COMPASS est constitué d'une constellation de 30 satellites non géostationnaires et de cinq satellites géostationnaires positionnés à 58,75° E, 80° E, 110,5° E, 140° E et 160° E. Chaque satellite émet des signaux de navigation sur les trois mêmes fréquences porteuses. Ces signaux de navigation sont modulés avec un flux binaire prédéterminé, contenant un codage des données d'éphémérides et de l'heure, et ayant une largeur de bande suffisante pour produire la précision de navigation nécessaire sans recourir à une émission bidirectionnelle ou à une intégration Doppler. Le système permet de déterminer avec précision la position, la vitesse et l'heure en trois dimensions n'importe où à la surface de la Terre ou à proximité.

1.1 Besoins en fréquences

Les besoins en fréquences du système COMPASS sont fondés sur une évaluation de la précision requise par les utilisateurs, la résolution du retard dû à la propagation espace vers Terre, la suppression des signaux dus à la propagation par trajets multiples ainsi que le coût et les configurations des

équipements. Trois canaux initiaux sont utilisés dans le système COMPASS: 1 575,42 MHz, 1 191,795 MHz et 1 268,52 MHz. Cette diversité de fréquences et la grande largeur de bande utilisées par le système COMPASS accroîtront la précision de la télémétrie afin de résoudre le retard dû à la propagation espace vers Terre et amélioreront la suppression des signaux dus à la propagation par trajets multiples afin d'augmenter la précision totale.

2 Présentation générale du système

Le système COMPASS est un système de radiocommunications spatiales fonctionnant en continu et par tous les temps, utilisé pour la navigation, le positionnement et le transfert de l'heure, qui fournit des informations extrêmement précises de position et de vitesse en trois dimensions et une référence de temps précise et commune à l'intention des utilisateurs dotés des équipements appropriés n'importe où à la surface de la Terre ou à proximité.

Le système fonctionne d'après le principe de la trilatération passive. L'équipement d'utilisateur COMPASS mesure d'abord les pseudo-distances à quatre satellites, calcule leur position, et synchronise son horloge avec le système COMPASS en utilisant les paramètres de correction des éphémérides et de l'horloge qu'il reçoit. Il détermine ensuite la position de l'utilisateur en trois dimensions et le décalage de l'horloge de l'utilisateur par rapport à l'heure COMPASS, essentiellement par la résolution simultanée de quatre équations de distance.

De même, on peut estimer la vitesse en trois dimensions de l'utilisateur et le décalage du rythme de son horloge en résolvant quatre équations de vitesse, à partir des mesures de pseudo-vitesse par rapport à quatre satellites.

3 Segments du système

Le système comporte de trois segments principaux: le segment spatial, le segment de commande et le segment de l'utilisateur. La fonction principale de chaque segment est décrite ci-après.

3.1 Segment spatial

Le segment spatial comprend cinq satellites géostationnaires et une constellation de 30 satellites non géostationnaires, qui ont la fonction de points de référence «célestes», et émettent depuis l'espace des signaux de navigation avec un codage précis de l'heure. Les 5 satellites géostationnaires (GSO) sont respectivement positionnés à 58,75° E, 80° E, 110,5° E, 140° E et 160° E, tandis que deux satellites de secours non actifs sont positionnés à 144,5° E et 84° E. La constellation opérationnelle de 30 satellites non géostationnaires comprend 27 satellites en orbite moyenne (MEO) et trois satellites en orbite géostationnaire inclinée (IGSO). Les 27 satellites en orbite moyenne sont situés dans trois plans orbitaux (neuf satellites par plan), inclinés d'environ 55 degrés par rapport à l'équateur et la hauteur de l'orbite est d'environ 21 500 km. Les trois satellites en orbite géostationnaire inclinée sont situés dans les plans orbitaux inclinés d'environ 55 degrés par rapport à l'équateur et la longitude du croisement est d'environ 118° E.

3.2 Segment de commande

Le segment de commande assure les fonctions de poursuite, de calcul, d'actualisation et de surveillance nécessaires à la commande quotidienne de tous les satellites du système. Il se compose d'une station de commande principale (MCS, *master control station*) située à Beijing (Chine), où a lieu le traitement de toutes les données, et de stations de surveillance très espacées les unes des autres dans la zone visible depuis le segment spatial.

Les stations de surveillance poursuivent passivement tous les satellites en vue et mesurent des données de télémétrie et des données Doppler. Ces données sont traitées à la MCS pour calculer les éphémérides des satellites, les décalages et les dérives d'horloge, et les retards de propagation, et utilisées ensuite pour produire des messages destinés aux satellites. Ces informations réactualisées sont transmises aux satellites pour y être mises en mémoire et être transmises ensuite par les satellites comme partie intégrante des messages de navigation destinés aux utilisateurs.

3.3 Segment de l'utilisateur

Le segment de l'utilisateur est l'ensemble de tous les équipements des utilisateurs et des équipements de soutien. L'équipement type de l'utilisateur comprend une antenne, un récepteur-processeur COMPASS, un ordinateur et des dispositifs d'entrée/sortie. Il acquiert et poursuit le signal de navigation provenant d'au moins quatre satellites en vue, mesure les temps de propagation RF, les phases des signaux RF et les décalages de fréquence Doppler, les convertit en pseudo-distances, phases de porteuse et pseudo-vitesses, et en déduit la position et la vitesse en trois dimensions et l'heure système. Les équipements des utilisateurs vont du récepteur relativement simple et léger jusqu'à des récepteurs perfectionnés, intégrés à d'autres capteurs ou systèmes de navigation pour garantir une certaine précision dans des environnements très dynamiques.

4 Structure du signal COMPASS

Le présent paragraphe décrit brièvement les signaux COMPASS qui peuvent être utilisés dans des applications de navigation et de transfert de l'heure.

4.1 Signaux COMPASS dans la bande 1 559-1 610 MHz

Le système COMPASS utilise deux signaux dans la bande 1 559-1 610 MHz attribuée au SRNS. Les deux signaux sont centrés sur 1 575,42 MHz.

Le signal B1-A utilise une modulation BOC(14,2). Il comprend deux composantes en quadrature de phase. L'une des composantes, B1-A_D, est modulée avec un flux de données de navigation à 50 bits/s/100 symboles/s et l'autre composante, B1-A_P, ne comporte pas de données.

Le signal B1-C comprend deux composantes en quadrature de phase. L'une des composantes, B1-C_D, est modulée avec un flux de données de navigation à 50 bits/s / 100 symboles/s et l'autre composante, B1-C_P, ne comporte pas de données.

En plus des modulations MDP, le système COMPASS utilise des modulations BOC. Une modulation BOC (m,n) est une modulation de la porteuse avec décalage binaire, avec un décalage de la fréquence porteuse de $m \times 1,023$ (MHz), un débit de code de $n \times 1,023$ (Méléments/s) et une densité spectrale de puissance normalisée donnée par:

$$BOC_{m,n}(f) = \frac{nT_{sw}}{m} \frac{\sin\left(\frac{\pi f T_{sw}}{2}\right)^4}{\left(\frac{\pi f T_{sw}}{2}\right)^2} \frac{\sin(n\pi f T_{sw})^2}{\sin(\pi f T_{sw})^2}$$

La composante B1-C utilise une modulation MBOC (6,1,1/11).

La densité spectrale de puissance totale des composantes du signal B1-C est donnée par:

$$S(f) = \frac{10}{11} BOC_{1,1}(f) + \frac{1}{11} BOC_{6,1}(f)$$

4.2 Signaux COMPASS dans la bande 1 164-1 300 MHz

Le système COMPASS utilise trois signaux dans la bande 1 164-1 300 MHz attribuée au SRNS, comprenant les signaux B2, B3 et B3-A.

Pour produire le signal COMPASS B2, centré sur une fréquence de 1 191,795 MHz, on utilise une modulation AltBOC (15,10). Le signal a deux lobes latéraux.

Le lobe latéral inférieur du signal COMPASS B2, comprend deux composantes en quadrature de phase. L'une des composantes, B2_{a-D}, est modulée avec un flux de données de navigation à 25 bits/s/50 symboles/s et l'autre composante, B2_{a-P}, ne comporte pas de données.

Le lobe latéral supérieur du signal COMPASS B2, COMPASS B2_b, comprend deux composantes en quadrature de phase. L'une des composantes B2_{b-D}, est modulée avec un flux de données de navigation à 50 bits/s 100 symboles/s binaire et l'autre composante B2_{b-P}, ne comporte pas de données.

La densité spectrale de puissance du signal AltBOC est donnée par:

Avec:

$$G(f) = \frac{4f_c}{\pi^2 f^2} \frac{\cos^2\left(\frac{\pi f}{f_c}\right)}{\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)} \left[\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) - \cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) - 2 \cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) \cos\left(\frac{\pi f}{4f_s}\right) + 2 \right]$$

où:

$$f_s = 15 \times 1,023 \text{ MHz est la fréquence de la sous-porteuse}$$

$$f_c = 10 \times 1,023 \text{ MHz est le débit d'éléments.}$$

Le signal B3 est centré sur 1 268,52 MHz. La porteuse est modulée par la MDPB avec un code BPA ayant un débit d'éléments de 10,23 Méléments/s (dans le canal I ou dans le canal Q), qui est ajouté modulo 2 à un flux de données de navigation binaire à 500 bits/s avant la modulation.

Le signal B3-A est également centré sur 1 268,52 MHz, et utilise une modulation BOC(15; 2,5). Il comprend deux composantes en quadrature de phase. L'une des composantes, B3-A_D, est modulée avec un flux de données de navigation à 50 bits/s / 100 symboles/s et l'autre composante, B3-A_P, ne comporte pas de données.

5 Puissance et spectres des signaux

Le niveau minimal de puissance reçue à la surface de la Terre, pour tout angle d'élévation égal ou supérieur à 5 degrés, sur la base d'une antenne de réception de 0 dBi, isotrope et idéalement adaptée, est le suivant:

TABLEAU 18

Signal	Puissance minimale reçue du réseau MEO (dBW)	Puissance minimale reçue du réseau OSG/IOSG (dBW)
signal B1-A	-156,9	-157,7
signal B1-C	-158,0	-157,7
signal B2 _a /B2 _b	-154,5	-156,8
signal B3/B3-A	-156,0	-158,3

Annexe 8

Description technique et caractéristiques des réseaux de navigation Inmarsat

1 Introduction

Les réseaux de répéteurs de navigation Inmarsat sont constitués de sept satellites géostationnaires avec une charge utile du SRNS pour fournir une capacité spatiale à des systèmes SBAS. Quatre charges utiles du SRNS sont des charges utiles à canal unique sur des satellites Inmarsat de troisième génération (Inm-3) et trois charges utiles du SRNS sont des charges utiles à plusieurs canaux sur des satellites Inmarsat de quatrième génération (Inm-4). En plus de la fourniture d'un service dans le cadre du SRNS, les mêmes satellites offrent un service de communications mobiles par satellite dans les bandes des 1,5/1,6 GHz attribuées au SMS. Ces informations sont susceptibles de changer à l'avenir.

Les positions orbitales des satellites sont indiquées dans le Tableau 19. Il convient de noter que des satellites pourront être déplacés de temps à autre, en fonction des exigences globales du système. Toutes les émissions sont coordonnées conformément au Règlement des radiocommunications de l'UIT. Les informations pertinentes pour la publication anticipée, pour la demande de coordination et pour la notification sont soumises par l'Administration du Royaume-Uni.

TABLEAU 19

Longitude des satellites

Satellite	Position orbitale
3F1	64° E
3F2	15,5° O
3F3	178° E
3F5	54° E
4F1	143,5° E
4F2	64° E
4F3	98° O

1.1 Présentation générale du système

Le système Inmarsat comporte quatre charges utiles de navigation pour des systèmes SBAS, plus précisément deux charges utiles de navigation pour le service européen de navigation par complément géostationnaire (EGNOS), une charge utile pour le système complémentaire de zone étendue (WAAS) jusqu'en novembre 2017 et une charge utile de navigation pour le banc d'essai SBAS de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande.

Dans le système EGNOS actuel, l'Agence de supervision du GNSS (GSA) utilise un répéteur de navigation Inm-3 couvrant l'est de l'océan atlantique (AOR-E) à 15,5° W (satellite 3F2) et un répéteur de navigation Inm-4 couvrant le Moyen-Orient et l'Asie (MEAS) à 64° E (satellite 4F2).

Dans le système WAAS, la Federal Aviation Administration (FAA) utilise un répéteur de navigation Inm-4 couvrant la région des Amériques (AMER) à 98° W (satellite 4F3) jusqu'en novembre 2017.

Dans le banc d'essai SBAS de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, Geoscience Australia (GA) utilise un répéteur de navigation Inm-4 couvrant la région Asie-Pacifique (APAC) à 143,5° E (satellite 4F1).

2 Configuration du système

Le réseau de répéteurs de navigation Inmarsat est constitué de répéteurs de navigation (ou segment spatial) sur des satellites Inmarsat-3 et Inmarsat-4 disponibles pour assurer des fonctions SBAS.

2.1 Segment spatial

Le répéteur de navigation présent sur chacun des satellites Inm-3 est un simple répéteur à transposition de fréquence. Chaque satellite reçoit le signal SBAS acheminé par liaison montante sur un canal unique à fréquence fixe appartenant à la bande 5 925-6 700 MHz attribuée au SFS. Ce signal est filtré et transposé sur la fréquence GPS-L1 (centrée sur 1 575,42 MHz) et est également acheminé par liaison descendante dans la bande 3 400-4 200 MHz attribuée au SFS.

Le répéteur de navigation présent sur chacun des satellites Inm-4 est également un simple répéteur à transposition de fréquence. Chaque satellite reçoit les signaux SBAS acheminés par liaison montante sur une paire de canaux à fréquence fixe appartenant à la bande 5 925-6 700 MHz attribuée au SFS. Les signaux sont filtrés et transposés sur la fréquence GPS-L1 (centrée sur 1 575,42 MHz) et sur la fréquence GPS-L5 (centrée sur 1 176,45 MHz).

Dans les deux cas (satellites Inm-3 et satellites Inm-4), le signal du SRNS est amplifié et transmis vers la Terre via une antenne à faisceau de couverture mondiale, couvrant la surface visible de la Terre et les engins spatiaux jusqu'à une altitude d'environ 30 000 m (environ 100 000 pieds). Ces systèmes ont été conçus pour améliorer l'intégrité et la précision des principaux signaux de navigation GPS et GLONASS.

2.2 Segment au sol

L'opérateur du SBAS concerné fournit l'infrastructure au sol SBAS associée. Celle-ci reçoit les signaux du SRNS et calcule les données de correction appropriées, avant incorporation dans le signal transmis sur la liaison montante.

3 Signaux SBAS

Les réseaux de répéteurs de navigation Inmarsat transmettent les messages complémentaires SBAS soit uniquement sur la fréquence GPS-L1 (Inm-3), soit sur les deux fréquences GPS-L1 et GPS-L5 (Inm-4). La communauté de l'aviation détermine la structure du signal pour les messages SBAS. Le format et la structure de base des messages SBAS sont les mêmes que pour le signal de navigation GPS transmis sur ces fréquences par les satellites GPS, car les messages SBAS sont destinés à être reçus par les récepteurs d'utilisateur équipés pour recevoir les messages GPS.

La structure de signal commune inclut un code C/A avec le message SBAS incorporé et un code civil de type GPS. Le système est conçu de sorte que l'un des signaux de code C/A et P(Y) puisse être incorporé sur les liaisons montantes et puisse donc être transmis sur les liaisons descendantes L1 et L5.

Le format du signal L1 est décrit plus en détail dans la spécification WAAS concernant L1 (FAA-E-2892B) et le format du signal L5 est défini dans la spécification du signal élaborée par la RTCA concernant L5 (RTCA/DO-261).

Les niveaux de puissance des signaux de navigation transmis sur L1 et L5 depuis les stations spatiales Inm-3 et Inm-4 figurent dans le Tableau 20. Le niveau du signal d'émission diminue d'environ 3 dB par rapport au niveau de crête (dans la direction du nadir depuis le satellite) au bord de la zone de couverture à un angle d'environ 8,75 degrés par rapport à l'axe.

TABLEAU 20

p.i.r.e. nominale* (dBW) des signaux L1 et L5 (crête du faisceau)

Satellite	L1	L5
Inm-3F1	33	N/A
Inm-3F2	33	N/A
Inm-3F3	33	N/A
Inm-3F5	33	N/A
Inm-4F1	31,4	29,9
Inm-4F2	31,4	29,9
Inm-4F3	31,4	29,9

* Conformément aux fiches de notification soumises par Inmarsat à l'UIT.

NOTE – La puissance de crête est obtenue au point de la zone de couverture d'émission dans la direction du nadir.

Les signaux sont distingués des autres signaux GPS par l'utilisation d'un code BPA unique, de manière identique à l'utilisation par le système GPS de codes BPA différents pour chaque satellite individuel. Le code BPA est coordonné avec l'opérateur du système GPS pour garantir la compatibilité avec les diffusions de signaux GPS et d'autres signaux de type GPS.

4 Spectre de commande et de télémétrie

Les répéteurs de navigation font partie de la charge utile des satellites, au même titre que des répéteurs assurant des services mobiles par satellite. Les fonctions de commande et de télémétrie pour la partie navigation sont intégrées dans les systèmes TT&C globaux des engins spatiaux. Grâce à l'utilisation en partage des fonctions TT&C, aucun spectre supplémentaire n'est nécessaire pour commander les répéteurs de navigation.

Annexe 9

Description technique et caractéristiques du réseau NIGCOMSAT SBAS

1 Introduction

Les réseaux du système complémentaire basé sur des satellites Nigcomsat (NigSAS) sont constitués de trois satellites géostationnaires avec une charge utile du SRNS. La situation actuelle est la suivante: le satellite NIGCOMSAT-1G (42,5° E) a été mis sur orbite le 13 mai 2007 et les satellites NIGCOMSAT-1A (19,2° O) et NIGCOMSAT-1D (22° E) en sont au stade de la planification. Les trois satellites auront la même charge utile du SRNS.

2 Plan de fréquences et de polarisations

Comme indiqué dans le Tableau 21, chaque satellite reçoit le signal SBAS acheminé par liaison montante dans la bande C et achemine par liaison descendante le signal de navigation dans la bande L.

TABLEAU 21

Canal	Fréquence (MHz)	Polarisation	Largeur de bande
C1-liaison montante	6 698,42	circulaire lévogyre	4 MHz
C5-liaison montante	6 639,45	circulaire lévogyre	20 MHz
L1-liaison descendante	1 575,42	circulaire dextrogyre	4 MHz
L5-liaison descendante	1 176,45	circulaire dextrogyre	20 MHz

3 Segment de l'utilisateur

Le système NigSAS est conçu pour être compatible avec les systèmes complémentaires pour les systèmes GPS et Galileo. Ainsi, il fournira des données d'intégrité et de correction aux récepteurs compatibles GPS/Galileo.

4 Segment au sol

Sans objet, car le système NigSAS a pour objet de fournir une capacité spatiale aux réseaux SBAS existants.

5 Service de navigation

La zone de couverture pour la réception dans la bande L inclut l'Afrique, l'Europe de l'ouest, l'Europe de l'Est et l'Asie pour la charge utile du SRNS du satellite NIGCOMSAT-1G.

6 Signal de navigation

Le système NigSAS transmet des messages SBAS aux fréquences porteuses L1 et L5 avec une structure au format GPS. Les méthodes de modulation des composantes en phase (I) et en quadrature (Q) du signal dépendent du choix de la fréquence porteuse. Le signal SBAS provenant de chaque satellite est distingué des autres signaux SBAS par l'utilisation de codes de bruit pseudo-aléatoire (codes BPA). Le débit des données de navigation aux deux fréquences est de 50 bits/s.

6.1 Signal L1

La fréquence L1 de 1 575,42 MHz est modulée par la MDPB dans le canal I, avec un code BPA L1 C/A ayant un débit d'éléments de 1,023 Méléments/s et une longueur de code de 1 023. Le choix de la modulation du canal Q est laissé au locataire de la charge utile du SRNS, dont le réseau GNSS/SBAS existant sera complété. Le Tableau 22 contient d'autres informations connexes.

TABLEAU 22

Fréquence porteuse (MHz)	Désignation de l'émission	Largeur de bande attribuée (MHz)	Puissance de crête maximale (dBW)	Densité de puissance maximale (dB(W/Hz))	Gain de l'antenne (dBi)
1 575,42	4M00X2D	4,0	17,9	-42,1	13,5
	2M20X2D	2,2	17,9	-42,1	

6.2 Signal L5

La fréquence L5 de 1 176,42 MHz est modulée, à la fois dans les canaux I et Q, avec deux codes BPA L5 différents. Le débit d'éléments de chaque code BPA L5 est de 10,23 Méléments/s et la longueur de code de 10 230. Mais seule la composante en phase est modulée avec les données de navigation. Le rythme de code plus élevé du signal L5 permet d'améliorer la fonction d'autocorrélation du segment de l'utilisateur. Le Tableau 23 contient d'autres informations connexes.

TABLEAU 23

Fréquence porteuse (MHz)	Désignation de l'émission	Largeur de bande attribuée (MHz)	Puissance de crête maximale (dBW)	Densité de puissance maximale (dB(W/Hz))	Gain de l'antenne (dBi)
1 176,45	20M0X2D	20	16,5	-53,5	13,0
	4M00X2D	4	16,5	-43,5	

Annexe 10

Description technique du système régional indien de navigation par satellite (IRNSS) et du système SBAS indien, GAGAN (système d'amélioration de la navigation assisté par GPS)

1 Introduction

L'Inde met actuellement en œuvre son propre système régional de navigation par satellite (IRNSS) au-dessus du sous-continent indien et des zones limitrophes. Le système IRNSS fonctionnera dans la bande 1 164-1 215 MHz et éventuellement dans la bande 1 559-1 610 MHz. La constellation de base du système IRNSS comprend 3 satellites OSG et 4 satellites OSG en orbite inclinée (I-OSG) de 29° E par rapport au plan de l'équateur. Il est prévu d'ajouter à la constellation de base de 7 satellites 4 satellites I-OSG supplémentaires, ce qui fait une constellation de 11 satellites au total. Ce système vise à fournir des données de position, de navigation et de référence de temps précises.

L'Inde met actuellement en œuvre un système SBAS (système complémentaire à satellites), le système GAGAN (système de navigation complémentaire GEO assisté par GPS) au-dessus de l'espace aérien indien. Le système complémentaire à satellites indien, GAGAN, est censé offrir une précision, une fiabilité, une intégrité et une continuité meilleures que celles offertes par le système GPS de base. Les caractéristiques du segment spatial et du segment au sol sont similaires à celles d'autres systèmes SBAS mis en œuvre, tels le système WAAS au-dessus de l'espace aérien américain, le système EGNOS dans la région ECAC de l'Europe et le système MSAS au-dessus du Japon.

1.1 Besoins en fréquences des systèmes IRNSS et GAGAN

Les besoins en fréquences du système IRNSS sont basés sur une évaluation de la précision nécessaire concernant la position, la navigation et le temps, sur les estimations du temps de propagation espace vers Terre ainsi que de la propagation par trajets multiples et du bruit du récepteur et enfin sur le coût et la configuration de l'équipement.

Sur la porteuse L5, le système IRNSS émet deux signaux sur la fréquence centrale 1 176,45 MHz, à savoir un signal pour le service de positionnement standard (SPS) avec une modulation MDPB à 1 MHz et un signal pour le service restreint (RS) avec une modulation BOC (5,2).

Sur la porteuse L1, il est prévu que le système IRNSS émettra deux signaux sur la fréquence centrale 1 575,42 MHz, à savoir un signal SPS avec une modulation BOC (1,1) ou CBOC (6,1, 1/11) ou TMBOC (6,1, 1/11) et un signal RS avec une modulation BOC (5,2) ou BOC (4,2) ou BOC (12,2) (un schéma de modulation sera choisi parmi ces trois options en fonction des résultats de la coordination avec les autres opérateurs du système GNSS).

Le système complémentaire à satellites indien, GAGAN, émet des signaux complémentaires dans la bande 1 559-1 610 MHz (avec une fréquence centrale de 1 575,42 MHz) et dans la bande 1 164-1 215 MHz (avec une fréquence centrale de 1 176,45 MHz).

2 Présentation générale des systèmes

Le système IRNSS est un système de radionavigation par satellite tout temps fonctionnant en continu qui fournit des données de positionnement, de navigation et horaires à tout utilisateur équipé d'un récepteur approprié, n'importe où dans la zone de service.

Le système fonctionne sur le principe de la trilatération passive. L'équipement d'utilisateur mesure les pseudodistances par rapport à au moins 4 satellites et calcule sa position après avoir synchronisé son horloge sur celle du système IRNSS en utilisant les éphémérides et les paramètres de correction d'horloge qu'il reçoit.

Il détermine ensuite la position de l'utilisateur en trois dimensions dans le système de référence W65-84 ainsi que le décalage de l'horloge de l'utilisateur par rapport au temps IRNSS en résolvant simultanément 4 équations de distance.

On peut estimer en trois dimensions la vitesse de l'utilisateur et le décalage du débit d'horloge en résolvant les quatre équations de distance compte tenu des mesures de pseudo distance par rapport aux quatre satellites. Les mesures sont des «pseudomesures» car elles sont réalisées à l'aide d'une horloge d'utilisateur peu précise (bon marché) au niveau du récepteur, et contiennent des biais fixes pour tenir compte des décalages des horloges des récepteurs par rapport au temps IRNSS.

Les charges utiles du système indien SBAS GAGAN sont acheminées sur trois satellites géostationnaires de communication indiens. Les charges utiles du système complémentaire GAGAN transmettent des corrections aux signaux reçus du système GPS de base pour améliorer la précision, l'intégrité, la disponibilité et la continuité.

2.1 Applications des systèmes IRNSS et GAGAN

Les services IRNSS sont destinés à fournir des données de positionnement, de navigation et horaires au grand public ainsi que des services d'intérêt général.

3 Segments des systèmes

Les systèmes IRNSS et GAGAN comportent trois grands segments: le segment spatial, le segment de commande et le segment utilisateur. La principale fonction de chaque segment est la suivante.

3.1 Segment spatial

Le segment spatial du système IRNSS comprend sept satellites – trois satellites OSG et 4 satellites I-OSG – qui fonctionnent comme des points de référence célestes émettant depuis l'espace des signaux de navigation codés selon un code temporel précis. La constellation IRNSS est visible depuis

tous les points de la zone de service à tout moment. Il est prévu d'ajouter 4 autres satellites I-OSG à la constellation dans un proche avenir.

3.2 Segment au sol

Le segment au sol du système IRNSS contrôle l'ensemble de la constellation IRNSS, gère la santé des satellites et télécharge des données qui sont ensuite transmises aux utilisateurs, Il reçoit les transmissions des satellites et les éléments essentiels comme les données, la synchronisation des horloges et les éphémérides des orbites, sont calculés à partir de mesures effectuées par un réseau de stations au sol déployées dans la zone de service.

Les principaux éléments du segment au sol sont les suivants:

- Le dispositif de contrôle des satellites IRNSS (IRSCF) assure la gestion de la constellation et le contrôle des satellites, l'entretien des engins spatiaux et le contrôle des performances ainsi que les liaisons montantes pour les données des missions.
- Le Centre de navigation indien (INC) abrite le logiciel de navigation qui assure les fonctions de traitement et de contrôle de la navigation et de l'intégrité.
- Les stations IRNSS de télémétrie et de surveillance de l'intégrité sont utilisées pour faciliter la télémétrie en continu unidirectionnelle du satellite IRNSS et pour déterminer l'intégrité de la constellation IRNSS. Ces stations IRNSS poursuivent en permanence les signaux de navigation de la constellation IRNSS et transmettent au Centre INC des données contenant des informations de pseudotélémétrie et des informations sur la phase des porteuses.
- Le dispositif de référence temporelle du réseau IRNSS (IRNWT) fournit une référence de temps stable au réseau IRNSS.
- Les stations de télémétrie AMRC IRNSS (IRCDR) effectuent des opérations de télémétrie bidirectionnelles précises.

Le segment au sol du système GAGAN comprend des stations de contrôle de satellite, les stations INLUS (stations terrestres de liaison montante indiennes) et un ensemble de stations de référence INRES. Les données fournies par les stations INRES sont collectées et analysées par le centre principal de contrôle (MCC) et les corrections nécessaires sont communiquées, via la liaison montante, aux charges utiles de navigation du système GAGAN.

3.3 Segment de l'utilisateur

Le segment de l'utilisateur du système IRNSS et celui du système GAGAN comprennent l'ensemble de toutes les données d'utilisateur et l'équipement d'appui associé. Ils se composent en règle générale d'une antenne, d'un récepteur IRNSS/GAGAN, d'un ordinateur et d'un dispositif d'entrée/de sortie. Il est aussi envisagé d'intégrer un récepteur GNSS pouvant recevoir des données de systèmes IRNSS, GAGAN, GPS, Galileo, GLONASS et d'autres constellations dans le segment de l'utilisateur.

4 Structures des signaux des systèmes IRNSS et GAGAN

4.1 Structure des signaux du système IRNSS

Les signaux du système IRNSS sont centrés à 1 176,45 MHz et 1 575,42 MHz. Le signal à bande étroite est un signal MDPB de 1 MHz émettant des codes Gold.

Le signal IRNSS plus large est modulé avec une modulation BOC (5,2). La modulation BOC est une mesure pour constituer la forme spectrale d'un signal émis. Les signaux de type BOC sont habituellement exprimés sous la forme BOC ($f_{\text{sub}}, f_{\text{chip}}$) où les fréquences sont des multiples du débit d'éléments de 1,023 Méléments/s.

La densité spectrale de puissance du signal BOC est donnée par:

$$G_{BOC_{\sin(f_s, f_c)}}(f) = f_c \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) \cos\left(\frac{\pi f}{f_c}\right)}{\cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) \pi f} \right]^2$$

où:

$n f_s = 5 \times 1,023$ MHz est la fréquence de la sous porteuse

$f_c = 2,0 \times 1,023$ MHz est le rythme d'éléments.

4.1.1 Description des signaux du système IRNSS

TABLEAU 24

Paramètres du signal IRNSS L5

Paramètre (unité)	Description du paramètre SRNS	
	SPS	RS
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 176,45 ± 12	
Débits d'éléments du code BPA (Méléments/s)	1,023	2,046
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	25	
Débits de symboles des données de navigation (symbole/s)	50	
Méthode de modulation du signal	MDPB (1 MHz)	BOC (5,2)
Polarisation	circulaire dextrogyre	
Ellipticité (dB)	1,8 maximum	
Niveau de la puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne de référence (dBW)	-156,37	-159,30
Largeur de bande à 3 dB du filtre de l'émetteur RF (MHz)	24	

TABLEAU 25

Paramètres du signal IRNSS L1

Paramètre (unité)	Description du paramètre SRNS	
	SPS	RS
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 575,42 ± 12	1 575,42 ± 12 (pour BOC _s (5,2)/BOC _c (4,2)) / 1 575,42 ± 15 (pour BOC _c (12,2))
Débits d'éléments du code BPA (Méléments/s)	1,023	2,046
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	25	
Débits de symboles des données de navigation (symbole/s)	50	
Méthode de modulation du signal*	BOC (1,1)/CBOC(6,1,1/11) / TMBOC(6,1,1/11)**	BOC _s (5,2)/BOC _c (4,2)/ BOC _c (12,2)
Polarisation	circulaire dextrogyre	
Ellipticité (dB)	1,8 maximum	
Niveau de la puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne de référence (dBW)	-156,37 –161,74	
Largeur de bande à 3 dB du filtre de l'émetteur RF (MHz)	24	24 (pour BOC _s (5,2)/BOC _c (4,2)) / 30 (pour BOC _c (12,2))

* L'une des options de modulation sera choisie en fonction des résultats de la coordination avec les autres opérateurs de systèmes SRNS.

** La modulation MBOC combine deux signaux avec modulation BOC. La modulation BOC avec multiplexage dans le temps (TMBOC) et la modulation BOC composite (CBOC) sont deux types de mise en œuvre de la modulation MBOC. Dans un signal TMBOC, deux signaux BOC sont multiplexés dans le temps. Dans un signal CBOC, la puissance du signal est partagée entre les deux signaux BOC.

Le signal TMBOC(6,1,1/11) comprend i) une modulation BOC(6,1) pendant 1/11 du temps; et ii) une modulation BOC(1,1) pendant 10/11 du temps.

Le signal CBOC(6,1,1/11) est la somme de i) 1/11 de la puissance de la modulation BOC (6,1); et ii) 10/11 de la puissance de la modulation BOC(1,1).

$$s(t) = \frac{(\alpha * boc(t) - \alpha * bpsk(t)) * \cos(2\pi f_{sc} t) - (\beta * pilot(t) + \gamma * boc(t) * pilot(t) * bpsk(t)) * \sin(2\pi f_{sc} t)}{}$$

4.2 Émissions du système GAGAN

TABLEAU 26

Émissions GAGAN L1 dans la bande 1 559-1 610 MHz

Paramètre (unité)	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 575,42 ± 9 (C/A)
Débits d'éléments du code BPA (Méléments/s)	1,023 (C/A)
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	250 (C/A)
Débits de symboles des données de navigation (symbole/s)	500 (C/A)
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(1) (C/A)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Ellipticité (dB)	2,0 maximum
Niveau de la puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne de référence (dBW)	-157,37 (C/A)
Largeur de bande à 3 dB du filtre de l'émetteur RF (MHz)	18

TABLEAU 27

Émissions GAGAN L5 dans la bande 1 164-1 215 MHz

Paramètre (unité)	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 176,45 ± 12
Débits d'éléments du code BPA (Méléments/s)	10,23
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	250 (L5I)
Débits de symboles des données de navigation (symbole/s)	500 (L5I)
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(10)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Ellipticité (dB)	2,0 maximum
Niveau de la puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne de référence (dBW)	-156,3 (L5I)
Largeur de bande à 3 dB du filtre de l'émetteur RF (MHz)	24

Annexe 11

Description technique et caractéristiques du système complémentaire à satellites de la Corée (KASS)

1 Introduction

Le système complémentaire à satellites de la Corée (KASS), destiné principalement à l'aviation, sera mis en place avec le satellite coréen vers 2022¹.

Le système KASS émettra des signaux complémentaires GPS (signaux du SRNS) sur deux porteuses. Ces signaux comprennent des informations de télémétrie, le statut de satellite GPS, une correction différentielle de base (corrections des éphémérides et de l'horloge de satellite GPS) et une correction différentielle précise (corrections ionosphériques).

1.1 Plan de fréquences et de polarisations

Les besoins en fréquences du système KASS sont basés sur les canaux GPS L1 et GPS L5 centrés respectivement sur 1 575,42 MHz et 1 176,45 MHz.

La fonction SRNS du système KASS nécessite une fréquence de liaison de connexion sur la liaison montante entre le segment au sol et le segment spatial. Les bandes C et Ku seront respectivement utilisées pour les liaisons de connexion des satellites commerciaux étrangers en exploitation et du satellite coréen.

La fréquence et le type de polarisation pour les porteuses du système KASS sont indiqués dans le Tableau 28.

TABLEAU 28

Fréquence et type de polarisation pour les porteuses du système KASS

Porteuse	Fréquence (MHz)	Type de polarisation	Largeur de bande (MHz)
L1	1 575,42	circulaire dextrogyre	4
L5	1 176,45	circulaire dextrogyre	20

2 Présentation générale du système

La station spatiale du système KASS diffuse des informations complémentaires GPS aux utilisateurs dotés des équipements appropriés, partout dans la péninsule coréenne ou à proximité.

L'équipement d'utilisateur KASS mesure la position GPS de l'utilisateur en trois dimensions dans un système de coordonnées cartésiennes WGS-84 centré sur la Terre et fixe par rapport à la Terre (ECEF), et obtient les informations d'intégrité GPS produites dans les stations de traitement KASS (KPS) sur la base des données GPS reçues dans les stations de référence KASS (KRS) en temps réel.

¹ La Corée (République de) prévoit de mettre en place de façon transitoire le système SBAS régional coréen en utilisant des stations spatiales décrites dans d'autres Annexes de la présente Recommandation, de 2018 à 2022 environ, avec les caractéristiques du segment au sol et du segment de l'utilisateur décrites dans la présente Annexe.

3 Segments du système

Le système KASS comporte trois segments principaux: le segment spatial, le segment au sol et le segment de l'utilisateur. La fonction principale de chaque segment est décrite ci-après.

3.1 Segment spatial

La charge utile de navigation du segment spatial KASS reçoit et transmet les signaux du SRNS produits par le segment au sol. Le satellite coréen sera situé à l'une des positions 113°E, 116°E ou 128,2°E utilisées pour le SFS (service fixe par satellite), le SRS (service de radiodiffusion par satellite) et le SETS (service d'exploration de la Terre par satellite).

La charge utile de navigation comprend une antenne de réception pour le signal de liaison de connexion acheminé par liaison montante depuis les stations terriennes, un convertisseur-abaisseur de fréquence de la bande des 6/4 GHz ou des 14/11 GHz vers la bande des 1,5 GHz ou des 1,2 GHz, un amplificateur de forte puissance pour le signal de liaison d'utilisateur et une antenne d'émission à faisceau ponctuel destinée à couvrir la péninsule coréenne et les alentours.

3.2 Segment au sol

Le segment au sol est constitué des stations suivantes:

- 5 (au moins) stations de référence KASS (KRS),
- 2 stations de traitement KASS (KPS),
- 2 stations de commande KASS (KCS), et
- 4 stations de liaison montante KASS (KUS).

Le segment au sol – stations KRS, KPS, KCS et KUS – sera situé en Corée. Avec 2 stations KPS, le service SBAS dans la zone de service ne sera pas interrompu en cas de catastrophe naturelle ou d'autres phénomènes. Une station KUS reçoit les données KASS transmises par le segment spatial et les transfère à une station KPS par une liaison de communication de Terre ou une liaison par satellite. Une station KRS reçoit les signaux GPS L1 (1 575,42 MHz), L2 (1 227,6 MHz) et L5 (1 176,45 MHz) provenant des satellites GPS et les utilise pour surveiller les signaux GPS ainsi que pour calculer le retard ionosphérique et corriger en conséquence le temps de propagation du signal. En plus des fonctions d'une station KUS, une station KRS collecte les données de base nécessaires pour déterminer la position des satellites KASS et créer les données de télémétrie (données de positionnement équivalentes à celles du GPS).

3.3 Segment de l'utilisateur

Le segment de l'utilisateur (récepteur KASS) dans l'atmosphère, sur les océans et sur terre, détermine sa position géographique au moyen des constellations GPS et du signal KASS. Le récepteur KASS acquiert des données de télémétrie et de correction plus précises.

4 Structure des signaux KASS

Les signaux du SRNS pour le système KASS sont compatibles avec les signaux GPS L1 et L5 et les porteuses modulées ayant respectivement une fréquence centrale de 1 575,42 MHz et de 1 176,45 MHz et une largeur de bande de 4,0 MHz et de 20 MHz. La séquence émise est la somme modulo 2 du message de navigation à un débit de 500 symboles/s et du code de bruit pseudo-aléatoire de 1 023 bits. Enfin, on applique une modulation MDPB à un débit de 1,023 Méléments/s. Les méthodes de modulation des composantes en phase (I) et en quadrature (Q) du signal dépendent du choix de la fréquence porteuse.

5 Puissance et spectres des signaux

Le segment spatial du système KASS utilise une antenne à faisceau ponctuel qui diffuse des signaux avec un niveau de puissance approprié aux utilisateurs KASS. Les signaux émis sur les porteuses L1 et L5 ont une polarisation circulaire dextrogyre. Les caractéristiques des signaux KASS émis depuis le segment spatial sont données dans le Tableau 29.

TABLEAU 29

Caractéristiques des signaux KASS

Fréquence porteuse (MHz)	Largeur de bande assignée (MHz)	Puissance de crête maximale (dBW)	Gain d'antenne (dBi, en limite de zone de couverture)	p.i.r.e. maximale (dBW, en limite de zone de couverture)
1 575,42 (L1)	4,0	11,6	16,5	28,1
1 176,45 (L5)	20,0	9,7	16,5	26,2

Annexe 12

Description technique et caractéristiques d'un système de contrôle et de correction différentielle (SDCM)

1 Introduction

Le système SDCM est un système complémentaire basé sur des satellites pour le système mondial de navigation GLONASS, qui accroît la précision et assure l'intégrité des signaux radioélectriques de précision normale aux fins de la localisation des utilisateurs de la navigation maritime, aéronautique, de Terre et spatiale.

2 Présentation générale du système

Le système SDCM comporte trois satellites géostationnaires. Les positions orbitales des satellites et les noms des réseaux à satellite correspondants notifiés à l'UIT sont fournis dans le Tableau 30.

TABLEAU 30

Positions orbitales des satellites et réseaux à satellite correspondants

Réseau à satellite	Position orbitale sur l'OSG
WSDRN-M	16°W
CSDRN-M	95°E
VSSRD-2M	167°E

Toutes les assignations de fréquence des réseaux à satellite visés dans le Tableau 30 sont inscrites dans le Fichier de référence conformément au Règlement des radiocommunications de l'UIT.

3 Configuration du système

Le système SDCM comporte deux segments: le segment spatial et le segment au sol.

3.1 Segment spatial

Le segment spatial comprend trois satellites qui transmettent des données aux utilisateurs SDCM via des émissions SBAS.

3.2 Segment au sol

Le segment au sol comprend le centre de commande SDCM, des systèmes au sol transmettant les données SDCM aux utilisateurs, l'infrastructure de commande du réseau et de la charge utile, et des stations terriennes de réception pour la collecte des mesures, réparties dans le monde entier.

4 Signal SDCM

Les réseaux à satellite WSDRN-M, CSDRN-M et VSSRD-2M fournissent des données aux utilisateurs SDCM en transmettant des signaux AMRC au format de message SBAS sur une fréquence porteuse de 1 575,42 MHz avec une largeur de bande de 24 MHz.

La séquence émise est la somme modulo 2 du message de navigation à un débit de 500 symboles/s et du code de bruit pseudo-aléatoire de 1 023 bits. La porteuse fait l'objet d'une modulation MDPB à un débit de 1,023 Méléments/s. Les messages de symboles SDCM ont un débit d'éléments de 500 bits/s et sont synchronisés avec une période de 1 ms pour le code C/A.

Les valeurs de crête de la puissance isotrope rayonnée équivalente du signal SDCM L1 C/A sont indiquées dans le Tableau 31.

TABLEAU 31

Valeurs de puissance du signal SDCM L1 émis depuis les satellites

Nom du réseau à satellite	Position orbitale sur l'OSG	Valeur de crête de la puissance isotrope rayonnée équivalente (dBW)*
WSDRN-M	16°W	33,7
CSDRN-M	95°E	33,7
VSSRD-2M	167°E	33,7

* La valeur de crête de la p.i.r.e. correspond à un pointage du faisceau décalé de 7° vers le nord par rapport au point subsatellite.

4.1 Fréquence porteuse SDCM

Comme indiqué plus haut, la fréquence 1 575,42 MHz est la fréquence utilisée pour le signal SDCM L1 C/A sur la liaison descendante. Étant donné que le signal SDCM L1 C/A utilise la même fréquence que les signaux GPS, il est distingué des autres signaux GPS dans la plage L1 par l'utilisation d'un code BPA unique, de manière identique à l'utilisation par le système GPS de codes BPA différents pour chaque satellite individuel. Le code BPA est coordonné avec l'opérateur du système GPS pour garantir la compatibilité avec les diffusions de signaux GPS et d'autres signaux de type GPS.

4.2 Paramètres de base du signal SDCM

Le système SDCM transmet des signaux AMRC au format de messages SBAS dans la bande de fréquences L1 dans le sens espace vers Terre. Les paramètres de base du signal SDCM L1 C/A sont donnés dans le Tableau 32.

TABLEAU 32
Paramètres de base du signal SDCM L1 C/A

Paramètre	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 575,42 ± 12
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	1,023
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	250
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	500
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(1) (Voir Note 1)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Ellipticité (dB)	2,0 maximum
Niveau de puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne de référence (dBW)	-158,5 (Voir Note 2)
Largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF (MHz)	24

NOTE 1 – Pour les paramètres du système GPS du SRNS, MDPB-R(*n*) désigne une modulation par déplacement de phase bivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s).

NOTE 2 – La puissance minimale reçue émanant du système SDCM est mesurée à la sortie d'une antenne de réception d'utilisateur de référence à polarisation circulaire dextrogyre de 0 dBi (située près de la surface de la Terre) pour l'orientation normale la plus défavorable lorsque l'angle d'élévation du satellite est supérieur à 5 degrés au-dessus du plan horizontal.

Annexe 13

Description technique et caractéristiques du réseau SBAS du SES

1 Introduction

Actuellement, le système SES prend en charge deux systèmes SBAS différents, à savoir le système complémentaire de zone étendue (WAAS) et le service européen de navigation par complément géostationnaire (EGNOS), qui fournissent tous les deux des données sur l'intégrité des signaux GPS reçus, ce qui permet de les utiliser dans des applications essentielles pour la sécurité.

La charge utile WAAS à bord du satellite SES-15 à 129°W appuiera les services SRNS de la Federal Aviation Administration (FAA) aux États-Unis en assurant une diffusion qui couvre l'espace aérien national des États-Unis. La FAA fournit ce service car il améliore la capacité des aéronefs équipés de GPS à effectuer des atterrissages de précision et il renforce la sécurité des vols.

Les charges utiles EGNOS à bord des satellites SES-5 et ASTRA-5B, respectivement à 5°E et 31,5°E, sont analogues au WAAS mais diffusent des signaux qui couvrent actuellement les États Membres de la Conférence européenne de l'aviation civile (CEAC)².

Il convient de noter que les positions orbitales des satellites mentionnées ci-dessus sont celles de septembre 2017 et que les satellites peuvent être déplacés de temps à autre, en fonction des exigences globales du système.

2 Présentation générale du système

La charge utile WAAS à bord du satellite SES-15 et les charges utiles EGNOS à bord des satellites SES-5 et ASTRA-5B utilisent des liaisons de service dans les bandes 1 164-1 215 MHz et 1 559-1 610 MHz attribuées au SRNS sur la surface visible de la Terre dans la même plage de fréquences que les signaux GPS L1 (dans la bande 1 559-1 610 MHz) et L5 (dans la bande 1 164-1 215 MHz), avec des liaisons montantes de connexion aux États-Unis et en Europe dans les bandes de fréquences indiquées dans le Tableau 33 ci-après.

Les charges utiles WAAS et EGNOS fourniront des données aux récepteurs GPS compatibles WAAS et EGNOS. Ces informations seront ensuite utilisées pour corriger les erreurs de mesure de la position GPS, améliorant ainsi la précision de la correction de la position GPS qu'il est possible d'obtenir de 10 mètres à environ 1 mètre. La principale station de liaison montante de connexion pour le signal WAAS sera la station terrienne SES South Mountain à Somis (Californie), avec une station de secours immédiat située à Brewster (Washington). Concernant le système EGNOS, les stations de liaison montante de connexion pour les satellites SES-5 et ASTRA-5B sont basées à Betzdorf (Luxembourg) et à Redu (Belgique).

Les stations au sol appliquent une correction d'erreur directe aux messages WAAS et EGNOS et les alignent temporellement sur la période de la sous-trame de diffusion GPS, puis acheminent ces messages par liaison montante aux charges utiles de navigation, qui reçoivent et rediffusent les messages aux utilisateurs à la surface de la Terre et aux utilisateurs de l'aviation dans les espaces aériens nationaux couverts.

La charge utile WAAS utilisera également une balise de poursuite à 3 700,2 MHz.

TABLEAU 33

Bandes des liaisons de connexion WAAS et EGNOS pour les signaux L1 et L5

Satellite	Liaison de connexion pour L1 (MHz)	Liaison de connexion pour L5 (MHz)
SES-15 (WAAS)	6 628,27-6 650,27	6 679,42-6 701,42
SES-5 (EGNOS)	5 840,42-5 860,42	5 778,795-5 829,795
ASTRA-5B (EGNOS)	5 823,420-5 847,420	5 725,197-5 778,393

3 Configuration du système

3.1 Segment spatial

La charge utile de navigation est un simple répéteur de type bouclage ou à transposition de fréquence. Celui-ci reçoit les messages WAAS ou EGNOS acheminés par liaison montante sur une paire de

² La couverture réelle du faisceau est plus importante car elle couvre les masses terrestres visibles.

canaux à fréquence fixe dans la bande attribuée au SFS pour les liaisons montantes, les filtre et les transpose vers la bande 1 559-1 610 MHz (pour le signal L1) et la bande 1 164-1 215 MHz (pour le signal L5). Des amplificateurs et des antennes d'émission spéciales émettent les signaux du SRNS vers la Terre, couvrant les espaces aériens souhaités.

3.2 Segment au sol

L'opérateur du SBAS concerné fournit l'infrastructure au sol SBAS associée. Celle-ci reçoit les signaux du SRNS et calcule les données de correction appropriées, avant incorporation dans le signal transmis sur la liaison montante.

4 Structure des signaux des charge utiles WAAS et EGNOS

Les messages complémentaires WAAS et EGNOS sont diffusés sur la même fréquence que les signaux GPS L1 et L5. La communauté de l'aviation détermine la structure du signal pour les messages SBAS. Le format et la structure de base des messages SBAS sont les mêmes que pour le signal de navigation GPS transmis sur ces fréquences par les satellites GPS, car les messages SBAS sont destinés à être reçus par les récepteurs d'utilisateur équipés pour recevoir les messages GPS.

La structure de signal commune inclut un code C/A GPS avec le message WAAS incorporé et un code civil de type GPS. Le système est conçu de sorte que l'un des signaux de code C/A et P(Y) GPS ou les deux puissent être incorporés sur les liaisons montantes et puissent donc être transmis sur les liaisons descendantes L1 et L5.

Les niveaux des signaux L1 et L5 transmis depuis les charges utiles WAAS et EGNOS à bord des stations spatiales du SES sont indiqués dans le Tableau 34.

TABLEAU 34

Intensité des signaux L1 et L5 transmis depuis les charges utiles WAAS et EGNOS à bord des satellites du SES

Valeur de crête de la puissance isotrope rayonnée équivalente (dBW) ⁽¹⁾	L1	L5
SES-15 (WAAS)	35,5	34,7
SES-5 (EGNOS)	35,7	36,6
ASTRA-5B (EGNOS)	35,7	36,6

⁽¹⁾ La puissance de crête est obtenue au point de la zone de couverture d'émission dans la direction du nadir.

5 Fréquences de fonctionnement des charges utiles SBAS du SES

Les fréquences centrales sur la liaison montante et sur la liaison descendante pour les charges utiles WAAS et EGNOS du SES sont indiquées dans le Tableau 35.

TABLEAU 35
Fréquences centrales WAAS et EGNOS pour L1 et L5

Satellite	Liaison montante pour L1 (MHz)	Liaison descendante pour L1 (MHz)	Liaison montante pour L5 (MHz)	Liaison descendante pour L5 (MHz)
SES-15 (WAAS)	6 639,27	1 575,42	6 690,42	1 176,45
SES-5 (EGNOS)	5 850,42	1 575,42	5 804,295	1 191,795
ASTRA-5B (EGNOS)	5 835,42	1 575,42	5 751,795	1 191,795

Étant donné que les signaux des charges utiles WAAS et EGNOS du SES utilisent les mêmes fréquences que les signaux GPS, ils sont distingués des signaux normaux GPS L1 et L5 par l'utilisation d'un code BPA unique, de manière identique à l'utilisation par le système GPS de codes BPA différents pour chaque satellite individuel. Le code BPA est coordonné avec l'opérateur du système GPS pour garantir la compatibilité avec les diffusions de signaux GPS et d'autres signaux de type GPS.

6 Spectre de commande et de télémétrie

La charge utile WAAS du satellite SES-15 à 129°W et les charges utiles EGNOS des satellites SES-5 et ASTRA-5B respectivement à 5°E et 31,5°E sont toutes des charges utiles de navigation embarquées à bord des satellites du SES et leurs fonctions de commande et de télémétrie sont intégrées dans les systèmes TT&C des engins spatiaux.

Toutefois, la charge utile WAAS du satellite SES-15 utilise une balise de poursuite à polarisation verticale à 3 700,2 MHz.

7 Paramètres d'émission

La charge utile WAAS du satellite SES-15 à 129°W et les charges utiles EGNOS des satellites SES-5 et ASTRA-5B respectivement à 5°E et 31,5°E émettent des signaux de navigation du SRNS dans le sens espace vers Terre dans deux bandes, qui font l'objet des Tableaux 36 et 37 correspondant à ces deux bandes.

7.1 Paramètres d'émission du signal L1

Les principaux paramètres des émissions du signal L1 sont indiqués dans le Tableau 36.

TABLEAU 36

Émissions du signal L1 dans la bande 1 559-1 610 MHz

Paramètre	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 575,42 ± 11
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	1,023
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	250
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	500
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(1) (Voir Note 1)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Ellipticité (dB)	2,0 maximum
Niveau de puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne de référence (dBW)	-158,5 (Voir Note 2)
Largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF (MHz)	24,0

NOTE 1 – Pour les paramètres du SRNS, MDPB-R(*n*) désigne une modulation par déplacement de phase bivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s).

NOTE 2 – La puissance minimale reçue est mesurée à la sortie d'une antenne de réception d'utilisateur de référence à polarisation rectiligne de 3 dBi (située près du sol) pour l'orientation normale la plus défavorable lorsque l'angle d'élévation du satellite est supérieur à 5 degrés au-dessus du plan horizontal.

7.2 Paramètres d'émission du signal L5

Les principaux paramètres des émissions du signal L5 sont indiqués dans le Tableau 37.

TABLEAU 37

Émissions du signal L5 dans la bande 1 164-1 215 MHz

Paramètre	Valeur du paramètre
Plage de fréquences du signal (MHz)	1 176,45 ± 11
Débit d'éléments du code BPA (Méléments/s)	10,23
Débits binaires des données de navigation (bits/s)	250
Débits de symboles des données de navigation (symboles/s)	500
Méthode de modulation du signal	MDPB-R(10) (Voir Note 1)
Polarisation	circulaire dextrogyre
Ellipticité (dB)	2,0 maximum
Niveau de puissance minimale reçue à la sortie de l'antenne de référence (dBW)	-157,9 (Voir Note 2)
Largeur de bande à 3 dB du filtre d'émission RF (MHz)	24,0

NOTE 1 – Pour les paramètres du SRNS, MDPB-R(*n*) désigne une modulation par déplacement de phase bivalente utilisant des éléments rectangulaires avec un débit d'éléments de $n \times 1,023$ (Méléments/s).

NOTE 2 – La puissance minimale reçue est mesurée à la sortie d'une antenne de réception d'utilisateur de référence à polarisation rectiligne de 3 dBi (située près du sol) pour l'orientation normale la plus défavorable lorsque l'angle d'élévation du satellite est supérieur à 5 degrés au-dessus du plan horizontal.

Annexe 14**Description technique et caractéristiques du réseau SBAS d'Eutelsat****1 Introduction**

Eutelsat exploitera la prochaine génération du service européen de navigation par complément géostationnaire (EGNOS). La charge utile sera embarquée sur le futur satellite EUTELSAT 5 West B (E5WB) avec un lancement prévu pour fin 2018. Le satellite E5WB permettra d'améliorer la précision et la fiabilité des informations de localisation pour les systèmes du SRNS.

2 Configuration du système

Le réseau Eutelsat comprend un satellite géostationnaire à 5°W et deux stations au sol.

2.1 Segment spatial

Le satellite E5WB utilisera deux répéteurs d'une largeur de bande de 24 MHz pour traiter le signal du SRNS sur la liaison montante produit par le segment au sol. Il reçoit les signaux SBAS acheminés par liaison montante sur des canaux à fréquence fixe dans la gamme de fréquences 5 850-6 700 MHz. Les signaux sont filtrés et transposés dans deux plages de fréquences: le signal L1 (centré sur 1 575,42 MHz) et le signal L5 (centré sur 1 176,45 MHz). Les signaux du SRNS sont transmis vers

la Terre via une antenne à faisceau de couverture mondiale, couvrant la surface visible de la Terre. L'antenne a un gain isotrope maximal de 20 dBi et une précision de pointage d'environ 0,2 degrés.

2.2 Segment au sol

L'opérateur du SBAS concerné fournit l'infrastructure au sol SBAS associée. Celle-ci reçoit les signaux du SRNS et calcule les données de correction appropriées, avant incorporation dans le signal transmis sur la liaison montante. Les paramètres de l'antenne de 9 mètres de diamètre pour les liaisons de connexion dans la gamme de fréquences 5 850-6 700 MHz figurent dans le Tableau 38.

TABLEAU 38

Paramètres de l'antenne des stations au sol

Diamètre de l'antenne	Ouverture de faisceau	Gain isotrope maximal	Diagramme de rayonnement de l'antenne
9 mètres	0,39°	53 dBi	29-25 log

2.3 Segment de l'utilisateur

Le segment de l'utilisateur comprend une multitude de terminaux différents pouvant recevoir les données provenant des systèmes GPS et Galileo et d'autres constellations du SRNS conjointement avec les données EGNOS et effectuer des calculs pour obtenir des corrections et des distances plus précises.

3 Caractéristiques d'émission

Les caractéristiques d'émission des signaux de navigation L1 et L5 émis sont indiquées dans le Tableau 39.

TABLEAU 39

Caractéristiques d'émission

Fréquence porteuse	Largeur de bande assignée	Polarisation	Puissance de crête maximale	Gain d'antenne
1 575,42 MHz (signal L1)	24 MHz	circulaire dextrogyre	17 dBW	20 dBi
1 176,45 MHz (signal L5)	24 MHz	circulaire dextrogyre	17 dBW	20 dBi

Le format et la structure de base des messages SBAS sont les mêmes que pour le signal de navigation GPS transmis sur ces fréquences par les satellites GPS. Les signaux comprennent un code C/A avec le message SBAS incorporé et un code P(Y), qui peuvent tous les deux être incorporés sur les liaisons montantes et peuvent donc être transmis en tant que signaux L1 et L5 sur la liaison descendante respectivement dans les bandes 1 559-1 610 MHz et 1 164-1 215 MHz.