

## RECOMMANDATION UIT-R M.1088

**PRINCIPES DE PARTAGE AVEC LES SYSTÈMES D'AUTRES SERVICES  
EXPLOITÉS DANS LES BANDES ATTRIBUÉES AU SERVICE DE  
RADIONAVIGATION PAR SATELLITE**

(Question UIT-R 83/8)

(1994)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que le système mondial de positionnement (GPS) permet de fournir à des stations aériennes, terrestres et maritimes des informations précises de navigation à l'échelle mondiale;
- b) que les bandes 1 215-1 240 MHz et 1 559-1 610 MHz sont respectivement attribuées, à titre primaire, aux services de radiolocalisation et de radionavigation par satellite, d'une part, et aux services de radionavigation aéronautique et de radionavigation par satellite, d'autre part, dans les trois Régions;
- c) que de nombreuses administrations attribuent en outre la bande 1 215-1 240 MHz, à titre primaire, aux services fixe, mobile et de radionavigation, et la bande 1 559-1 610 MHz, à titre primaire également, au service fixe;
- d) que toute station terrienne convenablement équipée peut recevoir du GPS des informations de navigation à l'échelle mondiale;
- e) que le GPS, remplissant une fonction de radionavigation, est réputé assurer un service de sécurité et que des mesures particulières doivent être donc prises pour le protéger des brouillages préjudiciables,

*recommande*

1. d'employer, lors de l'évaluation des possibilités d'utilisation en partage avec le GPS, les caractéristiques et les informations sur le système présentées dans les Annexes 1 et 2 ci-après.

## ANNEXE 1

**Caractéristiques du récepteur du GPS  
(pour un récepteur type de navigation aérienne, de coût modique)**

Fréquence porteuse de <i>L1</i> :	1 575,42 MHz
Fréquence porteuse de <i>L2</i> :	1 227,6 MHz
Débit d'éléments du code de <i>P</i> :	10,23 Mbit/s
Débit d'éléments du code de <i>C/A</i> :	1,023 Mbit/s
Débit binaire de données pour la navigation:	50 bit/s
Taux d'erreur résiduelle sur les bits:	$10^{-5}$
Niveau minimal de puissance reçue ( <i>L2, P</i> ):	-136 dBm
Niveau minimal de puissance reçue ( <i>L1, P</i> ):	-133 dBm
Niveau minimal de puissance reçue ( <i>L1, C/A</i> ):	-130 dBm
Niveau de limitation du préamplificateur:	-40 dBm
Niveau de mise hors d'état du préamplificateur:	30 dBm (moyenne) 40 dBm (crête)
Temps de récupération après surcharge:	1 s
Bande passante du filtre <i>RF</i> , 3 dB:	$\pm 17$ MHz

Bande passante du filtre <i>RF</i> , 45 dB:	± 50 MHz
Isolement de <i>L1</i> et <i>L2</i> :	40 dB
Facteur de bruit du récepteur:	3 dB
Marge normale du rapport brouillage/signal en acquisition ( <i>L1</i> , <i>C/A</i> ):	24 dB
Marge du rapport brouillage/signal en poursuite, état 5 ( <i>L1</i> , <i>C/A</i> ):	31 dB
Marge du rapport brouillage/signal en poursuite, état 5 ( <i>L1</i> , <i>P</i> ):	41 dB

## ANNEXE 2

### Présentation technique et caractéristiques du système mondial de positionnement (GPS)

#### 1. Le système GPS

##### 1.1 Introduction

Le système mondial de positionnement (Global Positioning System, GPS) comprendra 24 positions de satellites, à raison de 4 positions de satellites dans chacun des six plans orbitaux également espacés et inclinés à 55°. Chaque satellite émettra sur les deux mêmes fréquences des signaux de navigation. Ces signaux sont modulés par un train de bits prédéterminé, qui contient des données codées d'éphémérides et de temps, et ont une largeur de bande suffisante pour donner la précision de navigation nécessaire sans recourir à la transmission bidirectionnelle ou à l'intégration Doppler. Ce système assurera la détermination précise de la position dans les trois dimensions, en tout point de la surface de la Terre ou près d'elle.

##### 1.1.1 Besoins de fréquences

Les besoins en fréquences du système GPS sont fondés sur une évaluation de la précision nécessaire aux usagers, de la résolution du retard dû à la propagation espace-Terre, de l'affaiblissement dû à la propagation par trajets multiples, et du coût ainsi que des configurations des équipements. Deux canaux ont été choisis pour l'exploitation du système GPS: 1 575,42 MHz (*L1*) et 1 227,6 MHz (*L2*). Le canal *L1* servira à déterminer la position d'un usager, à 150 m près. Un second signal, émis sur les deux canaux *L1* et *L2*, assure la diversité de fréquences et la plus grande largeur de bande nécessaires pour que l'accroissement de la précision de repérage, la résolution du retard dû à la propagation Terre-espace et la suppression de l'affaiblissement dû à la propagation par trajets multiples augmentent la précision totale dans un rapport de 1 à 10. Des signaux de télémessure et de maintenance dirigés à partir des installations de commande situées aux Etats-Unis d'Amérique vers le satellite, et retour, utiliseront la bande attribuée à la télémessure aux Etats-Unis d'Amérique.

Le GPS assurera un service mondial de navigation. Les conditions requises pour la sécurité de navigation (voir le numéro 953 du Règlement des radiocommunications) qu'exige un tel service soulignent l'importance capitale de ce que d'autres services radioélectriques ne provoquent pas de brouillage préjudiciable aux récepteurs du GPS.

##### 1.2 Vue d'ensemble du système

Le GPS est un système spatial, fonctionnant par tous les temps, de radionavigation continue, de détermination de la position et de transfert de temps, qui assurera avec une extrême précision la détermination de la vitesse et de la position dans les trois dimensions, ainsi qu'une référence de temps précise et commune à l'intention des usagers dotés des équipements appropriés, en tout point de la surface de la Terre ou près d'elle.

Le système fonctionne d'après le principe de la triangulation passive. L'équipement de l'utilisateur du GPS mesure d'abord les pseudo-distances à quatre satellites, calcule leur position, et synchronise son horloge avec le GPS au moyen des paramètres d'éphémérides et de correction d'horloge qu'il reçoit. Il détermine alors la position de l'utilisateur dans un espace à trois dimensions, dans un système de coordonnées cartésiennes WGS-84 centré et fixé sur la Terre, et le décalage de l'horloge de l'utilisateur relativement à l'heure du GPS, essentiellement par le calcul des solutions simultanées de quatre équations de distance.

De même, on peut estimer la vitesse dans les trois dimensions de l'utilisateur et le décalage du rythme de son horloge en résolvant quatre équations de variation des distances, étant donné les mesures de la variation des pseudo-distances à quatre satellites. Les mesures sont qualifiées de «pseudo» parce qu'elles sont faites par 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 du GPS.

Le GPS assure deux niveaux de précision de navigation: le service de positionnement précis («Precise Positioning Service», PPS) et le service de positionnement normal («Standard Positioning Service», SPS). Pour le PPS, les précisions horizontale, verticale et temporelle sont, dans 95% des cas, de 18 m, 30 m et 170 ns, respectivement. Les précisions correspondantes dans le SPS sont de 100 m, 166 m et 330 ns. La précision de la mesure de vitesse déduite du PPS est presque entièrement fonction de la conception du récepteur et de la dynamique de l'utilisateur, mais on peut obtenir une précision type de 0,2 m/s par axe dans 95% des cas.

### **1.3 Description du système**

Le système se compose de trois segments principaux: le segment spatial, le segment de commande et le segment de l'utilisateur. La fonction principale de chaque segment est comme suit:

#### **1.3.1 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 horaire précis. Selon le projet actuel, la constellation opérationnelle de 24 satellites fonctionnera sur des orbites de 12 h avec un demi grand axe de 26 600 km environ. Les satellites seront placés dans six plans orbitaux, inclinés de 55° sur l'équateur. Il y aura 4 satellites dans chaque plan. On optimisera la phase des satellites pour assurer que cinq d'entre eux au moins soient visibles des usagers, à 5° sur l'horizon.

Le satellite est un engin stabilisé sur les trois axes. Les principaux éléments de sa charge utile principale de navigation sont l'étalon de fréquence atomique pour la précision horaire, le processeur pour la mise en mémoire des données de navigation, l'ensemble de signal de bruit pseudo-aléatoire (BPA) pour produire le signal de mesure de distance, et l'antenne d'émission dans la bande 1,2/1,6 GHz, dont le diagramme de gain, à faisceau conformé, diffuse des signaux d'une puissance quasi uniforme sur les deux fréquences de la bande 1,2/1,6 GHz vers les usagers situés sur la surface de la Terre ou près d'elle. L'émission sur deux fréquences permettra la correction des retards ionosphériques dans la propagation du signal.

#### **1.3.2 Segment de commande**

Le segment de commande assure les fonctions de poursuite, de calcul, d'actualisation et de contrôle nécessaires à la commande quotidienne de tous les satellites du système. Il se compose d'une station directrice maîtresse («Master Control Station», MCS) située à Colorado Springs (Colorado, Etats-Unis d'Amérique), où a lieu le traitement de toutes les données, et de cinq stations de contrôle largement espacées, situées à l'île de l'Ascension, à Diego Garcia, à Kwajalein, à Colorado Springs et à Hawaï. Au site de trois de ces stations de contrôle, se trouvent les antennes au sol pour le transfert des signaux de maintenance des satellites.

Les stations de contrôle poursuivent passivement tous les satellites en vue et accumulent les données de mesure de distance et les données Doppler. Ces données sont traitées à la MCS pour calculer les éphémérides, la dérive des horloges des satellites, et les retards par propagation du satellite, et utilisées ensuite pour produire des messages destinés aux satellites. Trois fois par jour, au moins, 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 à l'utilisateur.

#### **1.3.3 Segment de l'utilisateur**

Le segment de l'utilisateur est l'ensemble de tous les équipements des usagers et des équipements de soutien. L'équipement type de l'utilisateur se compose d'une antenne, du récepteur-processeur du GPS, d'un ordinateur et des dispositifs d'entrées/sorties. Il acquiert et poursuit le signal de navigation provenant de quatre satellites en vue – ou davantage – mesure les temps de transfert des RF et les décalages de fréquence par effet Doppler, les convertit en pseudo-distances et pseudo-vitesses, et en déduit la position dans les trois dimensions, la vitesse et l'heure du système. Les équipements des usagers iront du récepteur relativement simple, léger et portable jusqu'à des récepteurs perfectionnés, intégrés à d'autres capteurs ou systèmes de navigation pour un fonctionnement précis dans des conditions de dynamique élevée.

### 1.4 Structure du signal du GPS

Le signal de navigation du GPS, émis depuis les satellites, se compose de deux porteuses modulées:  $L1$ , à une fréquence centrale de 1 575,42 MHz ( $154 f_0$ ), et  $L2$ , à une fréquence centrale de 1 227,6 MHz ( $120 f_0$ ), où  $f_0 = 10,23$  MHz.  $f_0$  est la sortie de l'étalon de fréquence atomique du satellite, auquel tous les signaux produits sont rapportés de façon cohérente.

Le signal sur  $L1$  est modulé par un code de bruit pseudo-aléatoire (BPA) d'acquisition précise ( $P$ ) et par un code de bruit pseudo-aléatoire d'acquisition approchée ( $C/A$ ), chacun desquels est additionné en modulo 2 à un train de données binaires de navigation à 50 bit/s, avant la modulation en phase. Le code de  $P$  est une longue séquence binaire pseudo-aléatoire de 0 et de 1, avec une cadence d'horloge de 10,23 MHz et une période d'une semaine, exactement. Chaque samedi à minuit, il est réinitialisé, et sert d'indicateur permanent du temps hebdomadaire à bord de l'engin spatial. Le code de  $C/A$  est un code court, d'une cadence d'horloge de 1,023 MHz et d'une période de 1 ms exactement.

Le signal sur  $L2$  est modulé en phase à 2 états, soit par le code de  $P$ , soit par le code de  $C/A$ , selon l'ordre de la station au sol. Le même train de données à 50 bit/s est additionné en modulo 2 au code, avant la modulation en phase, comme pour le signal sur  $L1$ . En exploitation normale, le code de  $P$  sera transmis sur  $L2$ .

L'application à la porteuse de la modulation en phase à 2 états transforme les séquences binaires de code BPA en séquences de +1 et -1, et transforme l'addition modulo 2 en multiplication. On peut ainsi décrire les signaux  $L1$  et  $L2$  émis par le satellite comme une fonction du temps.

Les fonctions des codes BPA sont doubles:

- ils assurent de bonnes caractéristiques d'accès multiple à des satellites différents, puisque tous les satellites émettent sur les deux mêmes fréquences porteuses et ne se différencient entre eux que par le couple unique de codes  $P$  et  $C/A$  qu'ils transmettent; et
- leurs caractéristiques de corrélation permettent la mesure précise du temps d'arrivée, de l'affaiblissement des signaux dû à la propagation par trajets multiples et des signaux brouilleurs.

Le train de données à 50 bit/s fournit le message de navigation, qui est formaté en cinq sous-trames d'une durée de 6 s. Chaque sous-trame, qui se compose de dix mots de 30 bits, commence par un mot de télémesure (TLM) et par le mot de passage du code  $C/A$  au code de  $P$  (HOW). Ce dernier permet que le transfert de  $C/A$  à  $P$  se fasse à la fin de toute sous-trame de 6 s. Les trois premières sous-trames contiennent les données d'éphémérides et de correction d'horloge du satellite particulier que l'on poursuit. Ces messages sont normalement valables pendant une période de 4 h.

Les sous-trames 4 et 5 contiennent les informations d'almanach qui définissent les éphémérides moins précises de tous les satellites de la constellation, ainsi que l'état général du satellite, des messages spéciaux, le décalage du temps du GPS relativement au temps universel coordonné (UTC), etc. Les deux sous-trames 4 et 6 disposent de 25 pages de données chacune, qui sont transmises de façon cyclique. Il faut donc 6 s pour recevoir une page, et 2,5 min pour recevoir l'ensemble des 25 pages de données.

### 1.5 Puissance et spectres du signal

Les satellites du GPS utilisent une antenne à faisceau conformé qui diffuse une puissance quasi uniforme aux usagers du système. Les signaux émis sont polarisés circulairement vers la droite, avec une ellipticité qui n'est pas pire que 0,7 dB pour  $L1$ , et que 2,0 dB pour  $L2$ , pour une plage angulaire de  $\pm 14,3^\circ$  par rapport à la ligne de visée. Pour un angle d'élévation du satellite  $\geq 5^\circ$ , la spécification de puissance minimale garantie est de -133 dBm pour la composante de code  $P$  sur  $L1$ , et de -130 dBm pour la composante de code  $C/A$  sur  $L1$ . Le niveau de puissance correspondant pour  $L2$ , qui ne porte que le code  $P$ , est de -136 dBm au moins. La puissance effective reçue des satellites est normalement supérieure de 4-5 dB aux valeurs spécifiées.

## 2. Fréquence d'exploitation

L'exploitation principale ( $L1$ ) se situe dans un segment de la bande 9, attribuée à la radionavigation par satellite.

## 3. Fonctions de télémesure

Le GPS est un système passif. Il ne nécessite pas de liaison montante pour la navigation. On économise donc le spectre en plaçant les fonctions de télémesure et de télésurveillance dans les bandes attribuées à cet usage.

#### 4. Caractéristiques du récepteur

Différentes configurations de récepteur du GPS conviennent à des applications différentes, selon la dynamique des véhicules et l'environnement de brouillages. Les caractéristiques types d'un récepteur peu coûteux et peu perfectionné sont présentées à l'Annexe 1.

Un équipement type d'utilisateur du GPS comprend quatre composants principaux: l'antenne, le récepteur-processeur, l'ordinateur et l'élément de commande et d'affichage. L'antenne est, dans la plupart des cas, un élément relativement simple qui assure la couverture hémisphérique des deux fréquences  $L1$  et  $L2$ . Il ne sera pas nécessaire de pointer cette antenne omnidirectionnelle pour recevoir les signaux de tous les satellites visibles, mais elle n'aura aussi qu'une faible capacité de discrimination spatiale contre les brouillages.

L'étage d'entrée RF du récepteur type se compose d'un filtre de bande, d'un préamplificateur, et d'un changeur-abaisseur de fréquence multiétats. Le filtre de bande doit assurer l'affaiblissement hors bande. Pour empêcher que des brouillages de forte puissance n'endommagent le récepteur, l'ensemble préamplificateur-filtre sera également muni d'un limiteur à diodes.

Après l'amplification et l'abaissement à une fréquence intermédiaire adéquate, le récepteur produit un schéma de code qu'il essaie d'apparier au schéma de code entrant pour reconnaître un satellite particulier. On appelle ce processus corrélation, ou contraction du code. Après la contraction du code, la bande passante du récepteur est réduite, tandis que tout signal brouilleur sera étalé par la réplique de code produite sur place. L'acquisition normale consiste à synchroniser avec le signal de  $C/A$  et à transférer ensuite à  $P$ . C'est là la phase de fonctionnement du récepteur la plus vulnérable (état 1) aux brouillages extérieurs, parce qu'il ne s'est pas encore verrouillé sur le code.

Une fois le code acquis, l'alignement, ou synchronisation du signal entrant et de la réplique produite sur place, est maintenu tant par la boucle de poursuite du code que par la boucle de poursuite de la porteuse. Une fois verrouillées les boucles de porteuse et de code, le récepteur peut démoduler les données, mesurer la pseudo-distance et la variation de pseudo-distance. Cet état de fonctionnement du récepteur (état 5) peut être maintenu si le niveau du signal brouilleur est plus élevé de 41 dB que l'un ou l'autre des signaux  $P$ ,  $L1$  ou  $L2$ , et plus élevé de 31 dB que le signal de  $C/A$ ,  $L1$ . La plupart des types de récepteurs transforment les signaux de sortie de leurs corrélateurs en signaux numériques et effectuent leurs boucles de poursuite, ainsi que les autres fonctions logiques de commande du récepteur, au moyen de logiciels.

#### 5. Seuils de brouillage

Le récepteur du GPS est sensible à deux formes de brouillage. Le premier mécanisme de brouillage agit sur la diode de haut niveau du limiteur de l'étage d'entrée RF. La diode sera saturée et empêchera la mise hors d'état des étages suivants du récepteur lorsque le niveau de crête de puissance RF à l'entrée du récepteur sera égal ou supérieur à  $-40$  dBm, provoquant une perte temporaire de signal. Si la puissance moyenne de RF à l'entrée du récepteur dépasse 1 W, ou si la puissance de crête de RF dépasse 10 W, la diode de haut niveau de l'écrêteur peut cesser de fonctionner pour cause de destruction.

Le second mécanisme de brouillage touche le processus de détection du récepteur du GPS. Lorsque les brouillages ajoutent du bruit au récepteur, cela agit sur les caractéristiques d'acquisition et de poursuite en abaissant le rapport signal/bruit dans les circuits de détection ou dans les dispositifs de poursuite. Le niveau maximal de brouillage que peut tolérer la caractéristique de poursuite sans augmenter de façon appréciable son temps d'acquisition est supérieur de 24 dB au niveau du signal de  $C/A$ ,  $L1$ . En comparant ce niveau de brouillage à la puissance minimale spécifiée du signal reçu de  $C/A$ ,  $L1$ , on détermine que le seuil de brouillage pour une acquisition normale est de  $-106$  dBm. A des niveaux supérieurs, le temps d'acquisition se dégrade. De même, les seuils de brouillage pour un fonctionnement dans l'état 5 sont de  $-92$  dBm pour le signal  $P$  sur  $L1$ , et de  $-99$  dBm pour le signal de  $C/A$  sur  $L1$ .