

RECOMMANDATION UIT-R SA.1162-1

**BESOINS DE TÉLÉCOMMUNICATION ET QUALITÉ DE FONCTIONNEMENT
DES LIAISONS DE SERVICE DES SYSTÈMES DE COLLECTE DE DONNÉES
ET DE LOCALISATION DE PLATES-FORMES UTILISÉS PAR
LES SERVICES D'EXPLORATION DE LA TERRE
PAR SATELLITE ET DE MÉTÉOROLOGIE PAR SATELLITE**

(Question UIT-R 142/7)

(1995-1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les systèmes à satellites de collecte de données et de localisation de plates-formes utilisés par le service d'exploration de la Terre par satellite et le service de météorologie par satellite (METSAT) ont des besoins de télécommunication particuliers;
- b) que le système fictif de référence spécifié dans la Recommandation UIT-R SA.1020 définit les liaisons de service et de connexion utilisées pour la collecte de données, et l'interrogation par satellite de plates-formes de collecte de données;
- c) que les objectifs de qualité de fonctionnement pour ces transmissions doivent être compatibles avec les besoins fonctionnels correspondants et avec les limites de qualité de fonctionnement associées aux systèmes et aux bandes de fréquences grâce auxquels seront satisfaits les besoins;
- d) que les objectifs de qualité de fonctionnement applicables à des systèmes représentatifs utilisés dans les services d'exploration de la Terre par satellite (service METSAT inclus) ont pour but de fournir des directives en vue de la mise au point de systèmes réels;
- e) que les objectifs de qualité de fonctionnement peuvent être déterminés d'après la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R SA.1021;
- f) que les objectifs de qualité de fonctionnement sont un préalable à la détermination de critères de brouillage;
- g) que, dans sa Résolution N° 710, la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) a décidé que la prochaine conférence mondiale des radiocommunications compétente devrait examiner l'attribution des bandes 401-403 MHz dans le but de relever le statut des attributions au service d'exploration de la Terre par satellite et au service METSAT pour leur conférer le statut primaire au même titre que le service des auxiliaires de la météorologie,

recommande

- 1** que les spécifications et les caractéristiques décrites dans l'Annexe 1 soient prises en compte dans le cadre des assignations de fréquence et d'autres questions de réglementation concernant les systèmes à satellites de collecte de données et de localisation de plates-formes utilisés par le service d'exploration de la Terre par satellite et le service METSAT, et leur interaction avec des services autres que celui d'exploration de la Terre par satellite;
- 2** que les liaisons de service associées aux systèmes de collecte de données (SCD) aient les objectifs de qualité de fonctionnement spécifiés dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Objectifs de qualité de fonctionnement pour les liaisons SCD du service METSAT

Bande de fréquences (MHz)	Orbite du satellite	Modulation	Angle d'élévation applicable (degrés)	TEB maximum	Disponibilité prescrite (%)	Fonction et type de station terrienne Antenne
401-403 (Terre-espace)	Non géostationnaire	Codage Manchester et modulation MDP	≥ 5	1×10^{-5}	99,6	Collecte de données Antenne à faible gain
	Géostationnaire	Biphase – L	≥ 3	1×10^{-4}	99,6	Collecte de données Antenne à faible gain
460-470 (Espace-Terre)	Non géostationnaire	Biphase – L	≥ 5	1×10^{-5}	99,6	Interrogation de plates-formes de collecte de données Antenne à faible gain
	Géostationnaire	Biphase – L	≥ 3	1×10^{-5}	99,6	Interrogation de plates-formes de collecte de données Antenne à faible gain

NOTE 1 – Les objectifs de qualité de fonctionnement correspondant à tel ou tel système peuvent différer des objectifs présentés dans cette Recommandation; cependant, les objectifs définis ici même constituent une base de détermination des niveaux admissibles de brouillage, seuils minimaux que doivent tolérer les différents systèmes.

NOTE 2 – Des objectifs de qualité de fonctionnement supplémentaires pourraient être associés à une disponibilité de 99,99% du temps lié à la nécessité de synchroniser le récepteur avec les trames de transmission des données et d'éviter des glissements de bits à l'intérieur d'une trame. Toutefois, aux fins de la détermination des critères de brouillage, on peut supposer que ces objectifs sont atteints si les objectifs associés aux niveaux de disponibilité moindres mentionnés ci-dessus sont eux-mêmes atteints.

NOTE 3 – Les liaisons de service mentionnées sont entre le satellite et les plates-formes de collecte de données. Les objectifs de qualité de fonctionnement pour les liaisons de connexion associées aux fonctions de collecte de données et d'interrogation de plates-formes de collecte de données ne sont pas établis dans la présente Recommandation.

NOTE 4 – L'interrogation de plate-formes de collecte de données à partir de satellites non géostationnaires sera disponible dans un avenir proche.

ANNEXE 1

Fonctions de télécommunication et caractéristiques exigées des systèmes d'exploration de la Terre par satellite et METSAT utilisés pour la collecte de données et la localisation de plates-formes

1 Principe et applications

La présente Recommandation s'applique aux systèmes d'exploration de la Terre par satellite et METSAT utilisés pour la collecte de données et la localisation de plates-formes. Le but des SCD par satellite est de mettre un réseau de télécommunications à la disposition d'utilisateurs ayant besoin d'informations de diverses sources, qui peuvent se situer n'importe où dans le monde, y compris les océans, les déserts ou les régions difficiles d'accès.

Le concept d'un SCD par satellite est le suivant:

- des plates-formes automatiques, autonomes installées au sol ou montées sur un support (bateau, avion, aérostat, bouée fixe ou dérivante, véhicule terrestre) sont utilisées pour la transmission de paramètres météorologiques (pression, température, humidité, etc.) ou géophysiques (alertes aux tsunamis, données sismiques, océanographiques et géodésiques, etc.). Elles doivent être autant que possible légères et compactes, consommer peu d'énergie et être bon marché;

- l'information compilée et transmise par les plates-formes est reçue à bord d'un satellite et retransmise par l'intermédiaire d'une ou de plusieurs stations terriennes d'acquisition de données vers un centre de gestion du système;
- une fois centralisée, l'information est envoyée aux utilisateurs par des moyens de télécommunication classiques;
- on peut aussi prévoir, si besoin est, d'acheminer des informations du centre de gestion aux plates-formes, par l'intermédiaire du même système.

Un système de ce type diffère des systèmes de télécommunication classiques en ce sens qu'il ne peut être envisagé sans satellite et qu'il cible une catégorie particulière de clients dont les besoins ne peuvent être satisfaits par d'autres moyens. En général, il privilégie une direction de transmission, et sert essentiellement à centraliser l'information, mais il peut être secondé par une installation destinée à la transmission d'informations aux plates-formes de collecte. Enfin, ressource très importante pour de nombreux utilisateurs, la fonction de collecte de données doit pouvoir être facilement couplée à un système de localisation chargé de déterminer les coordonnées des plates-formes de transmission.

Un SCD a plusieurs champs d'application: météorologie, ressources terrestres, hydrographie, observation sismique, vulcanologie, géodésie et géodynamique, bouées océanographiques fixes ou dérivantes, recherche pétrolière, poursuite d'animaux sauvages...

2 Conception d'un système à satellites

On peut utiliser deux types d'orbites: l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) ou l'orbite basse (LEO).

2.1 Systèmes à satellites LEO

Les satellites LEO sont généralement placés sur des orbites circulaires à des altitudes comprises entre 600 et 1 800 km, avec une période de révolution d'approximativement 2 h. Toute la Terre, y compris les pôles, peut être illuminée par un seul satellite, mais le nombre de passages est relativement faible (de 3 à 4 environ par jour au-dessus de l'équateur); on peut l'augmenter en utilisant plusieurs satellites: par exemple, une douzaine de passages par jour au-dessus de l'équateur peuvent être obtenus avec trois satellites. Les passages sont beaucoup plus fréquents à proximité des pôles.

Les plates-formes des systèmes à satellites LEO sont généralement simples, leur bilan radioélectrique étant meilleur que celui des satellites OSG. La fonction de localisation est plus facile à réaliser grâce à l'effet Doppler-Fizeau.

Cependant, ils disposent d'une zone limitée de couverture instantanée; le demi-angle géocentrique type de leur champ de vision est de l'ordre de 30° et la visibilité mutuelle entre le satellite et une balise donnée ne dure généralement que de 10 à 15 min. Par ailleurs, il est nécessaire d'enregistrer des informations à bord du satellite si l'on veut réaliser une couverture mondiale.

Un exemple type de système à satellites LEO est celui de la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) des Etats-Unis d'Amérique utilisant deux satellites météorologiques sur des orbites héliosynchrones. Les plans des deux orbites circulaires sont orthogonaux, l'inclinaison d'environ 98°, les altitudes de 830 et 870 km et la période orbitale d'environ 102 min.

2.2 Systèmes à satellites OSG

La zone de couverture géométrique d'un satellite OSG est une calotte sphérique d'un demi-angle géocentrique d'approximativement 81°.

Le satellite OSG permet d'obtenir une visibilité permanente sur une vaste zone, de la taille quasiment d'un hémisphère. L'information est transmise en continu et parvient très rapidement à l'utilisateur. Toutefois, quatre satellites au moins sont nécessaires pour obtenir une couverture mondiale, à l'exclusion des régions polaires. Les plates-formes doivent être équipées d'antennes directives et/ou d'émetteurs de plus forte puissance que ceux utilisés pour des LEO. Enfin, la fonction de localisation est difficile à réaliser.

Lorsqu'on veut obtenir une transmission instantanée, qu'elle soit permanente ou à des moments déterminés, il est indispensable de recourir à un système à satellites OSG.

3 Localisation de plates-formes

Des plates-formes mobiles (aérostats, bouées dérivantes, animaux sauvages, etc.) sont utilisées pour de très nombreuses applications et leurs déplacements, imprévisibles, doivent être suivis si l'on veut mener à bien la mission (détermination du vent, étude des courants marins, étude des migrations, etc.). Dans pareils cas, les fonctions de localisation et de collecte de données sont réalisées simultanément.

On peut mesurer soit la distance, soit la vitesse radiale (effet Doppler), soit les deux à la fois. On réalise un certain nombre de mesures que l'on traite de manière à localiser la plate-forme d'émission avec une précision variant de quelques mètres à quelques kilomètres.

La méthode Doppler de localisation n'est pas applicable aux satellites OSG. La localisation depuis des satellites OSG peut être théoriquement réalisée par interférométrie à partir d'un seul satellite ou par mesure de distance dans la zone de recouvrement de deux satellites.

4 Modes de fonctionnement des plates-formes

4.1 Plates-formes interrogées

4.1.1 Plates-formes interrogées dans les systèmes à satellite OSG

Chaque plate-forme est pourvue d'un émetteur et d'un récepteur. Le centre de gestion du système transmet au satellite un programme de travail contenant les adresses des plates-formes à interroger et l'heure à laquelle cette opération doit être réalisée. Les plates-formes ne peuvent émettre que si elles sont interrogées. Cependant, elles peuvent être conçues de telle sorte qu'elles peuvent demander à être interrogées, comme par exemple les systèmes d'alerte géophysiques. Ce mode de fonctionnement est très fiable et il n'y a aucun risque de brouillage mutuel; la plate-forme doit toutefois être équipée d'un récepteur ce qui en augmente le coût.

4.1.2 Plates-formes interrogées dans les systèmes à satellites LEO

Une liaison de service est actuellement installée dans des systèmes à satellites LEO afin qu'une communication soit possible des centres de gestion vers les plates-formes de collecte de données (PCD). Il s'agit d'une liaison de service polyvalente qui peut simplement être utilisée pour activer ou désactiver les principaux composants consommateurs de puissance d'une PCD, ou avoir une action plus compliquée consistant par exemple à reconfigurer les capteurs de la PCD. Elle peut aussi servir à augmenter le débit de collecte des données en accusant réception des messages correctement reçus et en évitant ainsi une répétition inutile. Cette nouvelle liaison est actuellement mise en place sur le satellite ADEOS-II, qui sera lancé en 1999, et devrait être installée sur les satellites des séries METOP et NPOES.

4.2 Plates-formes fonctionnant selon un mode d'accès aléatoire

Dans les SCD OSG, des plates-formes à accès aléatoire sont utilisées pour la transmission de messages d'alerte. Normalement, la plate-forme n'envoie de message que lorsqu'un seuil fixe lié au phénomène mesuré est atteint ou dépassé. Par exemple, une plate-forme contrôlant l'activité sismique n'envoie de signal que lorsque l'activité sismique est supérieure à la normale. Dans la pratique, on réserve des canaux séparés dans la bande attribuée aux plates-formes à accès aléatoire de manière à réduire la probabilité de brouillage avec les autres types de plate-forme.

Dans les SCD LEO, chaque plate-forme répète son message séparément et à des intervalles donnés. Des brouillages peuvent donc se produire entre des plates-formes se trouvant en visibilité directe du satellite au même moment. En conséquence, le satellite ne peut travailler qu'avec un nombre limité de ces plates-formes en visibilité au même moment.

4.3 Plates-formes autoprogrammées

Les SCD OSG utilisent principalement des plates-formes autoprogrammées. Chaque plate-forme transmet automatiquement ses messages dans des délais prédéterminés. Les intervalles de transmission sont déterminés par une horloge interne à la plate-forme, qui est identifiée par son adresse et la fréquence (correspondant au canal assigné) à laquelle elle transmet son message. Dans la pratique, les exploitants des satellites gèrent l'assignation des créneaux temporels et les canaux d'émission des plates-formes.

5 Caractéristiques types de l'émetteur d'une plate-forme

5.1 Plates-formes des systèmes LEO

Les caractéristiques types de plates-formes LEO de collecte de données et de localisation indiquées ci-après sont celles des SCD ARGOS et MOS.

Chaque plate-forme émet de façon sporadique. Chaque émission se compose de deux parties successives: une porteuse pure est transmise pendant la première alors que dans la seconde le signal est modulé par le message à transmettre.

- Partie non modulée:
 - durée de l'ordre de 160 ms.
- Partie modulée:
 - elle comprend 48 bits de service suivis des données provenant des capteurs. Selon le nombre de capteurs, la durée totale de la partie modulée varie de 200 à 760 ms.
- Période de répétition:
 - plates-formes à localiser: choisie entre 60 et 100 s;
 - plates-formes utilisées seulement pour la collecte de données: choisie au-dessus de 200 s.
- Codage:
 - codage Manchester, biphasé, d'un débit binaire de 400 bit/s.
- Porteuse:
 - plates-formes ARGOS actuelles = 401,65 MHz \pm 3 kHz;
 - plates-formes MOS actuelles = 401,50 MHz;
 - dans un futur proche (à partir de 1995) = 401,65 MHz \pm 30 kHz;
 - modulation: MIC/MDP avec un indice de modulation de $1,1 \pm 0,1$ rad.
- Puissance émise:
 - moins de ou proche de 3 W.
- Stabilité de fréquence (de manière à obtenir une précision de localisation inférieure à 1 km):
 - la dérive à moyen terme (15 min) ne doit pas dépasser $0,5 \times 10^{-9}$ /min;
 - stabilité à court terme (100 ms): 10^{-9} .

La précision de localisation est fonction dans une certaine mesure de la stabilité de l'oscillateur de la plate-forme; cette spécification peut varier selon l'objectif recherché.

Certaines plates-formes de systèmes à satellites LEO sont actuellement à l'étude en vue de l'incorporation d'un récepteur dans la bande 460-470 MHz. Ces récepteurs recevront, en provenance d'un satellite défilant, un flux continu de données à faible débit (généralement quelques centaines de bit/s) contenant des fanions et des messages. La puissance surfacique reçue sera faible, les récepteurs devront donc être très sensibles, mais peu onéreux et pas trop compliqués. L'antenne sera de type faible coût/faible gain.

5.2 Plates-formes des systèmes OSG

Dans les systèmes OSG météorologiques, les transmissions PCD sont dénommées «rapports» et le contenu de ces rapports varie selon la nature nationale ou internationale du service. Les informations ci-dessous caractérisent les émissions destinées au système international.

Les rapports PCD au format international se composent des éléments contigus suivants:

- porteuse non modulée pendant 5 s;
- un préambule de 250 bits alterné de «0» et de «1»;
- un mot de synchronisation codé sous forme d'une séquence linéaire de 15 bits au maximum;
- l'adresse PCD, soit un mot en code BCH de 31 bits;
- les données d'environnement, soit un maximum de 649 mots, chacun de 8 bits;
- la séquence de fin de transmission de 31 bits;

- débit binaire de 100 bit/s;
- codage Manchester NRZ en sous-phase.
- Porteuse:
 - la PCD internationale dispose de 33 canaux, de 3 kHz chacun, qui occupent la bande de fréquences 402,001-402,100 MHz;
 - par coordination, les exploitants des satellites utilisent en partage d'autres fréquences nationales de PCD dans la bande 401-403 MHz;
 - modulation: la porteuse est modulée en phase, l'indice de modulation étant de 60°.
- Puissance transmise:
 - approximativement 10 W pour une plate-forme disposant d'une antenne à gain élevé; environ 40 W pour une antenne semi-isotropique (de l'horizon au zénith tous azimuts). La polarisation de l'antenne est circulaire droite.
- Stabilité de fréquence:
 - $1,5 \times 10^{-6}$ /an; la gigue de phase quadratique moyenne au niveau de la porteuse non modulée ne doit pas dépasser 3° (valeur efficace).

6 Caractéristiques types du récepteur d'un satellite

6.1 Caractéristiques du récepteur d'un satellite LEO

6.1.1 Caractéristiques du récepteur d'un satellite utilisé pour un SCD ARGOS

- Variation de la puissance reçue de la PCD:
 - de -161 à -138 dBW, pour un gain d'antenne variant de -6 dBi au nadir à +2 dBi à l'horizon du satellite (la marge du système autorise la réception d'une importante quantité de signaux jusqu'à -167 dBW).
- Niveau type de densité de puissance de bruit:
 - -201 dB(W/Hz), (température de bruit équivalente à la réception = 600 K).
- Taux d'erreur binaire (pour des messages exempts de brouillage):
 - inférieur à 1×10^{-5} .
- Largeur de bande de réception:
 - 24 kHz, centrée sur 401,65 MHz, et 80 kHz à partir de 1995.
- Nombre de canaux de traitement:
 - 4, et 8 à partir de 1995.

6.1.2 Caractéristiques du récepteur d'un satellite utilisé pour un SCD MOS

- Variation de la puissance surfacique reçue d'une PCD:
 - de -145 à -120 dB(W/m²).
- Niveau type de densité de puissance de bruit:
 - -201 dB(W/Hz).
- Taux d'erreur binaire (pour des messages exempts de brouillage):
 - inférieur à 1×10^{-5} .
- Largeur de bande de réception:
 - 80 kHz centrée sur 401,5 MHz.

6.2 Caractéristiques du récepteur d'un satellite OSG

- Variation de la puissance surfacique reçue d'une PCD:
 - de -150 à -140 dB(W/m²).

- Sensibilité du récepteur:
 - $G/T = -28,5 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ avec une marge de 3 dB (pour un gain d'antenne de $-0,8 \text{ dBi}$).
- Taux d'erreur binaire:
 - inférieur à 1×10^{-4} .
- Largeur de bande du récepteur de relais de données:
 - 0,2 MHz ou plus selon le type de satellite.

6.3 Caractéristiques de l'émetteur d'un satellite LEO

L'émetteur, actuellement à l'étude, aura les principales caractéristiques suivantes:

- fréquence: dans la bande 460-470 MHz,
- puissance de l'émetteur: faible puissance, inférieure à 10 W (à l'étude),
- largeur de bande occupée par l'émetteur: de l'ordre de quelques kHz (à l'étude),
- gain de l'antenne: variable du nadir à l'horizon vu par le satellite pour compenser l'affaiblissement dans l'espace (à l'étude).

7 Conclusions

Les systèmes à satellites de collecte de données et de localisation de plates-formes utilisés par le service d'exploration de la Terre par satellite et par le service METSAT mettent des données à la disposition d'utilisateurs ayant besoin d'informations de diverses sources, situées n'importe où dans le monde, y compris les océans, les déserts ou les régions difficiles d'accès. Les systèmes OSG fournissent ces données en 5 min en moyenne, mais ne couvrent pas les régions polaires tandis que les systèmes LEO offrent une couverture mondiale ainsi que la possibilité de localiser les plates-formes, si nécessaire, dans un délai maximum de 1 à 3 h. Ces systèmes de collecte de données et de localisation, qui utilisent des récepteurs de satellite et de PCD très sensibles, ont des besoins de télécommunication très particuliers.
