

## RECOMMANDATION UIT-R S.1716\*

**Objectifs de qualité de fonctionnement et de disponibilité pour les systèmes de télémétrie, de poursuite et de télécommande du SFS**

(Question UIT-R 262/4)

(2005)

**Domaine de compétence**

Cette Recommandation représente l'aboutissement des études menées sur plusieurs années par le Groupe de travail 4B des radiocommunications. Elle a pour objet de fournir des indications utiles aux concepteurs de systèmes du service fixe par satellite pour ce qui est des aspects techniques et opérationnels des systèmes de poursuite, télémétrie et télécommande.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que tous les satellites du SFS ont des besoins en termes de télémétrie, de poursuite et de télécommande (TT&C, *telemetry, tracking and command*);
- b) que les fonctions TT&C sont réalisées sur des satellites du SFS en orbite de transfert ou en poste sur l'orbite des satellites géostationnaires (OSG);
- c) que l'initialisation et la terminaison des signaux TT&C se font sous le contrôle de l'opérateur de satellite;
- d) que les porteuses TT&C doivent satisfaire à des objectifs de fiabilité supérieurs à ceux des porteuses du trafic normal;
- e) que la perte de porteuses de télécommande sur la liaison montante vers le satellite ou de porteuses de télémétrie et de télémétrie sur la liaison descendante au cours de manoeuvres orbitales ou en période d'éclipse solaire peut se traduire par la perte du satellite;
- f) que certains satellites ayant des liaisons de service dans des bandes au-dessus de 17 GHz peuvent également exploiter des liaisons de service dans des bandes au-dessous de 17 GHz;
- g) que certains opérateurs de systèmes OSG du SFS peuvent placer leurs satellites fonctionnant au-dessus de 17 GHz à proximité de satellites fonctionnant au-dessous de 17 GHz;
- h) que les opérateurs de systèmes OSG du SFS devraient bénéficier d'une certaine souplesse pour exploiter les fonctions TT&C dans la bande de fréquences la plus appropriée;
- j) que les exigences de spectre pour les fonctions TT&C de satellites fonctionnant au-dessus de 17 GHz peuvent avoir une incidence sur les systèmes à satellites fonctionnant au-dessous de 17 GHz,

---

\* La présente Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 6 des radiocommunications.

*recommande*

**1** aux opérateurs de satellites du SFS de concevoir leurs systèmes TT&C sur la base des considérations techniques et opérationnelles indiquées dans l'Annexe 1.

NOTE 1 – Les opérateurs de satellites sont encouragés à fournir des informations supplémentaires sur leurs systèmes TT&C.

## Annexe 1

### Caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes TT&C du SFS

#### 1 Description des fonctions TT&C

La présente Recommandation fournit les caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes TT&C du SFS, et notamment les objectifs de qualité de fonctionnement et de disponibilité des liaisons que devrait prendre en compte un opérateur de satellites. Elle donne aux opérateurs du SFS des lignes directrices sur la conception et le choix d'une fréquence pour leurs systèmes TT&C, sur la base de leurs besoins particuliers.

Il convient de noter que dans l'industrie des satellites commerciaux, l'acronyme TT&C a été remplacé par TC&R qui signifie télémessure, télécommande et télémétrie (*telemetry, command and ranging*). Etant donné que la télémessure spatiale, la poursuite spatiale et la télécommande spatiale sont définies dans l'Article 1 du Règlement des radiocommunications, l'acronyme TT&C a été utilisé dans la présente Recommandation même s'il fait référence à des fonctions du type TC&R.

Le sous-système TT&C d'un engin spatial est conçu pour assurer trois fonctions principales:

- la télécommande pour permettre aux contrôleurs au sol de télécommander les diverses unités électroniques embarquées sur l'engin spatial.
- la télémessure pour permettre aux contrôleurs au sol de surveiller l'état de fonctionnement des diverses unités électroniques embarquées sur l'engin spatial.
- la poursuite/télémétrie pour permettre aux contrôleurs au sol de déterminer la position et l'orientation de l'engin spatial.

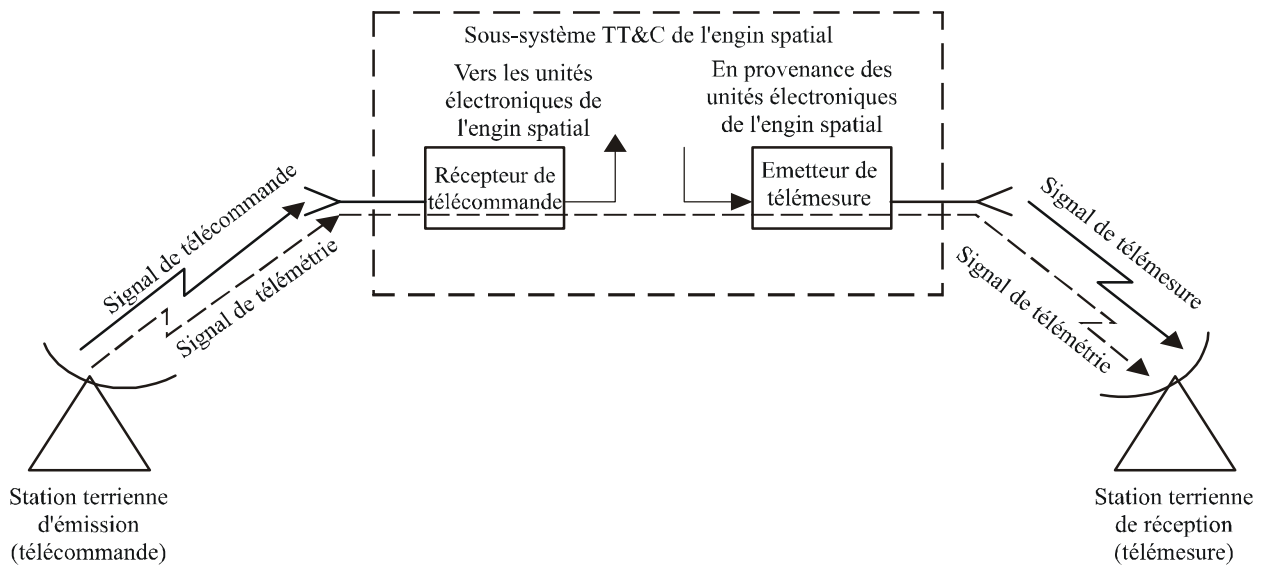
Un sous-système TT&C type est représenté sur la Fig. 1.

Fonction de télécommande: un signal de télécommande est transmis par la station terrienne d'émission (sur la liaison montante). Ce signal est ensuite reçu et traité par le récepteur de télécommande à bord de l'engin spatial puis acheminé vers les unités électroniques appropriées.

Fonction de télémessure: les unités de l'engin spatial conçues à cet effet fournissent un signal d'état à l'émetteur du signal de télémessure. Cet émetteur module et amplifie le signal sur la porteuse de télémessure principale. La porteuse modulée est acheminée de l'émetteur à l'antenne de télémessure, d'où elle est émise vers le sol afin d'être captée par une station terrienne.

Fonction de télémétrie: un signal de télécommande est transmis sur la liaison montante vers le récepteur de télécommande de l'engin spatial. Il est ensuite transmis à l'émetteur de télémessure pour être retransmis vers la Terre. La distance entre la station au sol et l'engin spatial est déterminée par la simple mesure du changement de phase entre le signal transmis et le signal reçu.

FIGURE 1  
Liaison TT&C type



1716-01

### 1.1 Opérations en orbite de transfert et opérations en poste

Les sous-systèmes TT&C de la plupart des satellites utilisés de nos jours présentent deux modes de fonctionnement: le mode en poste et le mode en orbite de transfert/d'urgence (appelé ci-après mode d'urgence). L'orbite de transfert d'un satellite OSG du SFS correspond à une phase critique de la vie d'un satellite commercial. Lorsque le satellite passe d'une orbite terrestre basse à l'orbite OSG, les canaux de télécommande et de télémesure doivent être constamment disponibles; de nombreux opérateurs ont développé des réseaux de stations terriennes au sol extrêmement fiables capables de poursuivre un satellite au cours de la phase de lancement et de début de fonctionnement en orbite (LEOP, *launch and early orbit phase*) à l'aide d'au moins deux stations terriennes à tout instant.

En général, lorsqu'un satellite atteint sa position orbitale sur l'orbite OSG, le récepteur TT&C commute et passe d'un fonctionnement d'antenne équidirective à un fonctionnement d'antenne à cornet à large ouverture de faisceau. Par conséquent, les spécifications de liaison en mode en poste et en mode d'urgence sont généralement différentes.

Pour déterminer la disponibilité d'une liaison TT&C, les paramètres d'exploitation de la station terrienne au sol et ceux de la station spatiale sont requis. Concernant la fonction de télécommande, il faut connaître l'emplacement de la station terrienne d'émission sur la liaison montante, sa p.i.r.e. d'exploitation ainsi que le seuil de télécommande du satellite pour déterminer la marge réelle de liaison. Compte tenu des caractéristiques de pluie de la région dans laquelle la station terrienne d'émission sur la liaison montante est située, on peut alors calculer la disponibilité (exprimée par un pourcentage) de la liaison de télécommande.

Concernant la fonction de télémesure, il faut connaître l'emplacement de la station terrienne de réception, son seuil de réception ainsi que la p.i.r.e. de télémesure de l'engin spatial pour déterminer la marge réelle de cette liaison. Une fois encore, on peut déterminer la disponibilité de la liaison de télémesure, en tenant compte des caractéristiques de pluie de la région dans laquelle la station terrienne de réception est située.

## 2 Systèmes TT&C fonctionnant dans les bandes des 6/4 GHz

Les porteuses TT&C de satellite utilisées par un opérateur de satellites du SFS appartiennent à une bande de 18 MHz de large, à savoir la bande 6 166-6 184 MHz ou la bande 3 941-3 959 MHz. Suivant la série de satellites considérée, on peut trouver cinq porteuses TT&C dans ces bandes, quatre étant utilisées pour la télécommande et la télémétrie et une en tant que balise en liaison descendante. Les Tableaux 1 et 2 contiennent des informations techniques supplémentaires sur les bilans de liaison et les caractéristiques des systèmes TT&C exploités dans les bandes des 6/4 GHz et utilisés sur des satellites types. Etant donné que les opérateurs repositionnent fréquemment leurs satellites sur de nouveaux créneaux orbitaux en fonction du trafic et de l'état de fonctionnement des satellites, la flexibilité opérationnelle permise par le maintien d'un ensemble commun de paramètres TT&C de base a rendu le réseau plus efficace et plus économique.

Chacune des stations terriennes TT&C est généralement reliée via des installations spécialisées de Terre et sur satellite à un centre de commande de satellite (SCC, *satellite control center*). La disponibilité et la qualité des signaux TT&C sont essentielles pour maintenir la position du satellite et conserver un bon état de fonctionnement (puissance, stabilité, température, etc.); les données à destination ou en provenance d'un satellite doivent présenter des niveaux maximaux de disponibilité et de qualité, en particulier pour la télécommande.

TABLEAU 1  
Bilans de liaison associés à des porteuses de télémétrie types  
dans les bandes des 6/4 GHz

Valeurs types des paramètres de télémétrie et de télécommande en orbite de transfert dans la bande C	
<i>Paramètre</i>	
Fréquence de la porteuse sur la liaison descendante	3 950 MHz
Puissance de l'émetteur	13 dBW
Affaiblissement au niveau de l'émetteur	-9,5 dB
Gain d'antenne	1,9 dBi
p.i.r.e. (valeur type)	1,6 dBW
Affaiblissement sur le trajet (40 671 km) 10 ° d'élévation	-196,6 dB
<i>G/T</i> à la réception	35 dB/K
<i>C/N<sub>0</sub></i>	68,2 dB/Hz
<i>Sous-porteuse en mode normal ou d'intégration (S/C)</i>	
<i>S/C S/N<sub>0</sub></i> disponible	58,6 dB/Hz
<i>S/N<sub>0</sub></i> requis	50,2
Marge de la sous-porteuse	8,4 dB
<i>S/C du signal de télémétrie</i>	
<i>S/N<sub>0</sub></i> disponible sur la liaison descendante	58,6 dB/Hz
<i>S/N<sub>0</sub></i> de la liaison montante	60
<i>S/N<sub>0</sub></i> total	56,2
<i>S/N<sub>0</sub></i> requis	41 dB/Hz
Marge de télémétrie	15,2 dB

TABLEAU 2

**Bilans de liaison associés à des porteuses de télécommande et de télémétrie types**

Paramètre	Orbite de transfert	OSG	Unités
Fréquence de la porteuse	6 175	6 175	(MHz)
p.i.r.e.	90	73,2	(dBW)
Facteur d'étalement au niveau de l'orbite OSG	-163,2	-163,2	(dB/m <sup>2</sup> )
Puissance surfacique au niveau du satellite	-73,2	-90	(dB(W/m <sup>2</sup> ))
Affaiblissements divers	-0,5	-0,4	(dB)
Gain sur 1 m <sup>2</sup>	-37,3	-37,3	(dBi)
Puissance isotrope incidente	-111	-127,7	(dBW)
Gain de l'antenne du satellite	-5,1	7,3	(dBi)
Affaiblissement d'alimentation et de dérivation	-6,5	-6,6	(dB)
Puissance en entrée du récepteur	-122,6	-127	(dBW)
Seuil de puissance du récepteur	-142	-142	(dBW)
Marge	19,4	15	(dB)

**2.1 Disponibilité des fonctions TT&C**

Les opérateurs de satellites du SFS exploités dans les bandes des 6/4 GHz peuvent maintenir les valeurs de leurs marges de liaison TT&C afin de garantir une disponibilité de liaison comprise entre 99,99% et 99,999% du temps. Ces disponibilités sont comparables à celle du segment spatial d'un réseau à satellite. Prenons le cas particulier d'un opérateur de satellites dont les répéteurs présentaient une disponibilité moyenne de 99,9996% en l'an 2000. Ses stations terriennes TT&C ont pu parvenir à des disponibilités supérieures à 99,95% et, grâce à la couverture d'antenne de satellite à large ouverture de faisceau, deux stations terriennes TT&C sont généralement visibles par chaque satellite. Une infrastructure de réseau redondante trajet de Terre/trajet par satellite relie le centre SCC à une station terrienne TT&C. L'objectif de disponibilité du réseau pour ce trajet de Terre/trajet par satellite est de 99,99%. Une disponibilité de liaison TT&C comprise entre 99,99 et 99,999% correspond donc un objectif raisonnable.

Les objectifs types de bilan de liaison TT&C pour un satellite fonctionnant dans les bandes des 6/4 GHz sont donnés dans les Tableaux 1 et 2. Une qualité de fonctionnement similaire pour les liaisons TT&C dans les bandes des 6/4 GHz a été spécifiée pour la plupart des systèmes TT&C de satellite. Il convient en outre de noter que les valeurs de p.i.r.e. sur les liaisons montante et descendante sont des valeurs types susceptibles de varier suivant les stations terriennes TT&C exploitées pour le satellite considéré. Elles ne tiennent pas compte du vieillissement des récepteurs et des amplificateurs de puissance du satellite, ni des caractéristiques de la liaison montante de la station terrienne TT&C. La disponibilité d'une liaison TT&C pourrait être calculée en fonction de la marge disponible, de l'angle d'élévation en exploitation et des conditions de pluie pour chaque station terrienne TT&C considérée. On trouvera dans les Tableaux 3 à 5 des exemples de valeurs de disponibilité ayant pu être atteintes sur la base de ces bilans de liaison types, en faisant l'hypothèse de probabilités d'affaiblissement de propagation pour les trois sites. Les données d'affaiblissement de propagation montrent que pour obtenir une disponibilité supérieure à 99,999% dans les bandes des 6/4 GHz, une marge minimale de 6,5 dB est requise sur la liaison montante tandis qu'une marge minimale de 1,9 dB est requise sur la liaison descendante.

Les marges de liaison de propagation en ces sites, pour une qualité de fonctionnement TT&C correspondant aux mêmes pourcentages de temps, ont été calculées dans les bandes des 14/11-12 GHz, 30/20 GHz et 50/40 GHz. Si l'on souhaite atteindre des objectifs similaires pour des réseaux à satellite fonctionnant au-dessus de 17 GHz, il faudra placer leurs stations terriennes TT&C dans des régions sèches et les faire pointer suivant des angles d'élévation plus élevés.

TABLEAU 3  
Site TT&C de Clarksburg (angle d'élévation de 23,2°)

<i>Clarksburg</i>					
Fréquence sur la liaison montante	Affaiblissement (dB)				
	6,17 GHz	14,50 GHz	30,00 GHz	50,00 GHz	
Pourcentage de temps					
1	0,32	1,64	7,14	17,93	
0,1	0,68	5,49	22,92	47,84	
0,01	1,77	14,98	55,97	105,61	
0,001	4,17	29,9	98,05	171,73	
Fréquence sur la liaison descendante	Affaiblissement (dB)				
	3,95 GHz	11,70 GHz	20,20 GHz	40,00 GHz	
Pourcentage de temps					
1	0,22	1,08	4,03	11,19	
0,1	0,35	3,61	12,01	34,7	
0,01	0,59	10,18	30,18	81,51	
0,001	1,17	21,12	55,88	137,36	

TABLEAU 4  
Site TT&C de Raisting (angle d'élévation de 15,8°)

<i>Raisting</i>					
Fréquence sur la liaison montante	Affaiblissement (dB)				
	6,17 GHz	14,50 GHz	30,00 GHz	50,00 GHz	
Pourcentage de temps					
1	0,38	1,35	5,32	16,07	
0,1	0,69	4,32	16,73	38,37	
0,01	1,56	11,94	41,59	83,06	
0,001	3,52	24,37	74,92	136,85	
Fréquence sur la liaison descendante	Affaiblissement (dB)				
	3,95 GHz	11,70 GHz	20,20 GHz	40,00 GHz	
Pourcentage de temps					
1	0,28	0,92	3,22	8,77	
0,1	0,43	2,81	9,19	26,49	
0,01	0,67	7,95	23,27	63,05	
0,001	1,17	16,86	44,05	108,76	

TABLEAU 5  
Site TT&C de Beijing (angle d'élévation de 13,5°)

<i>Beijing</i>					
Fréquence sur la liaison montante	Affaiblissement (dB)				
	6,17 GHz	14,50 GHz	30,00 GHz	50,00 GHz	
Pourcentage de temps					
1	0,53	2,59	10,47	26,53	
0,1	1,13	8,5	32,04	66,45	
0,01	2,9	22,46	75,49	140,73	
0,001	6,5	43,11	128,06	221,49	
Fréquence sur la liaison descendante					
	3,95 GHz	11,70 GHz	20,20 GHz	40,00 GHz	
Pourcentage de temps					
1	0,36	1,65	6,19	16,1	
0,1	0,58	5,39	17,35	47,61	
0,01	0,99	14,74	41,72	108,07	
0,001	1,9	29,5	74,5	176,64	

## 2.2 Résumé

Les données techniques susmentionnées concernant les caractéristiques TT&C dans les bandes des 6/4 GHz relatives à un opérateur de satellites du SFS permettent de souligner les objectifs de qualité de fonctionnement et de disponibilité qui ont été pris en compte pour concevoir ces liaisons TT&C.

## 3 Systèmes TT&C fonctionnant dans les bandes des 14/10-11 GHz

### 3.1 Description du système

Nous calculons dans cette étude les valeurs de disponibilité des liaisons de télécommande et de télémétrie pour des engins spatiaux d'opérateurs de satellites fonctionnant dans les bandes des 14/12-11 GHz. Les Tableaux 6 et 7 indiquent les données de liaison de télécommande et le bilan de liaison de télécommande pour ces engins spatiaux, respectivement en mode en poste et en mode d'urgence. Les Tableaux 8 et 9 indiquent les données de liaison de télémétrie et le bilan de liaison de télémétrie pour ces engins spatiaux, respectivement en mode en poste et en mode d'urgence.

Les données énumérées dans ces Tableaux sont réparties en quatre groupes:

- les caractéristiques générales du signal
- les paramètres d'exploitation de l'engin spatial
- les paramètres d'exploitation de la station terrienne sur la liaison montante/la liaison descendante
- le bilan de liaison du canal de télécommande/de télémétrie.

Pour la liaison de télécommande, deux pourcentages de disponibilité sont fournis. Le premier est fondé sur la valeur courante opérationnelle de la p.i.r.e. de la station terrienne et peut être considéré comme représentatif de la «disponibilité opérationnelle» de la liaison. Le second, appelé «disponibilité maximale» de la liaison, est fondé sur la valeur maximale de p.i.r.e. que peut rayonner la station terrienne. En mode d'urgence, lorsque l'attitude/l'orientation de l'engin spatial peuvent ne pas être connues, on suppose que la station terrienne de télécommande rayonne le niveau maximal disponible de p.i.r.e. afin de garantir l'établissement et le maintien d'une liaison stable avec l'engin spatial.

Concernant les bilans de liaison présentés dans les Tableaux 6 à 9, on a fait l'hypothèse d'une valeur générale de 1 dB pour l'affaiblissement additionnel dans le système afin de tenir compte de divers affaiblissements de faible amplitude tels que les affaiblissements dus à un mauvais alignement de l'antenne, les affaiblissements sur le trajet dus à l'absorption dans l'atmosphère, etc. On a supposé que les principaux affaiblissements sur le trajet étaient dus aux affaiblissements d'étalement du signal, à l'affaiblissement dû à la pluie et à l'accroissement de la température de bruit de la station terrienne de réception dû à la pluie. La disponibilité de la liaison a été déterminée en utilisant les cartes de taux (et de probabilité) de pluie figurant dans la Recommandation UIT-R P.618 et les valeurs calculées de la marge de liaison par ciel clair.



TABLEAU 6

## Disponibilité du signal de télécommande en mode normal (en poste)

Engin spatial: désignation Engin spatial: position orbitale (° Elévation)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
<i>Données relatives au signal de télécommande</i>					
Engin spatial: fréquence du signal de télécommande (GHz) Engin spatial: polarisation du signal de télécommande (LV, LH, RHCP, LHCP) Engin spatial: mode d'exploitation (mode en poste, mode d'urgence ou les deux modes)	14,0-14,5 LV EN POSTE	13,5-14,0 LV EN POSTE	13,5-14,0 LH EN POSTE	13,5-14,0 RHCP EN POSTE	13,5-14,0 RHCP EN POSTE
<i>Données relatives à la télécommande de l'engin spatial</i>					
Engin spatial: description du diagramme de l'antenne de réception du signal de télécommande (mondiale ou non mondiale) Engin spatial: puissance surfacique reçue au niveau du seuil de télécommande suivant la direction du site de la station terrienne de télécommande (dB(W/m <sup>2</sup> ))	MONDIALE -105,00	MONDIALE -97,00	MONDIALE -108,00	MONDIALE -87,00	MONDIALE -87,00
<i>Données relatives à la station terrienne de télécommande</i>					
Station terrienne de télécommande: identificateur de localisation Station terrienne de télécommande: altitude du site (en mètres au-dessus du niveau moyen de la mer) Station terrienne de télécommande: taille de l'antenne d'émission (m) Station terrienne de télécommande: gain crête de l'antenne d'émission (dBi) Station terrienne de télécommande: p.i.r.e. maximale disponible (dBW) Station terrienne de télécommande: p.i.r.e. (dBW) Station terrienne de télécommande: taux de précipitation au niveau du site pendant 0,01% d'une année moyenne (mm/h)	ATLANTA, GA 236,22 9,30 61,26 86,00 68,00 80,00	FILMORE, CA 306,00 6,10 56,80 85,00 77,57 25,00	ATLANTA, GA 236,22 13,00 63,80 89,50 78,00 80,00	PERTH, AUS 15,00 11,00 62,00 ? 85,90 25,00	PERTH, AUS 15,00 11,00 62,00 ? 84,70 25,00
<i>Bilan de liaison</i>					
p.i.r.e. sur la liaison montante produite par la station terrienne de télécommande (dBW) Angle d'élévation de la station terrienne (en degrés au-dessus de l'horizon) Distance entre la station terrienne de télécommande et le satellite (m) Affaiblissement d'étalement (dB) Affaiblissement dû aux effets atmosphériques (dB) Affaiblissemements additionnels dans le système (dB) Puissance surfacique du canal de télécommande sur la liaison montante (dB(W/m <sup>2</sup> )) Puissance surfacique au niveau du seuil de télécommande de l'engin spatial (dB(W/m <sup>2</sup> )) Marge de la liaison de télécommande (dB) Disponibilité du canal de télécommande (%)	68,00 50,19 37 066 125,27 162,37 0,00 1,00 -94,37 -105,00 10,63 99,97650	77,57 42,54 37 588 473,28 162,49 0,00 1,00 -84,92 -97,00 12,08 99,99856	78,00 32,81 38 365 626,21 162,67 0,00 1,00 -84,67 -108,00 23,33 99,99597	85,90 27,33 38 853 188,51 162,78 0,00 1,00 -76,88 -87,00 10,12 99,99432	84,70 25,13 39 057 710,39 162,83 0,00 1,00 -78,13 -87,00 8,87 99,99090

LH: (Polarisation) horizontale linéaire (*linear horizontal*)LV: (Polarisation) verticale linéaire (*linear vertical*)LHCP: Polarisation circulaire gauche (*left-hand circular polarization*)RHCP: Polarisation circulaire droite (*right-hand circular polarization*)

NOTE 1 – Toutes les valeurs du seuil de télécommande de l'engin spatial sont des valeurs de spécification.

TABLEAU 7

## Disponibilité du signal de télécommande en mode d'urgence

Engin spatial: désignation Engin spatial: position orbitale (° Elévation)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
<i>Données relatives au signal de télécommande</i>					
Engin spatial: fréquence du signal de télécommande (GHz) Engin spatial: polarisation du signal de télécommande (LV, LH, RHCP, LHCP) Engin spatial: mode d'exploitation (mode en poste, mode d'urgence ou les deux modes)	14,0-14,5 LV URGENCE	13,5-14,0 LV URGENCE	13,5-14,0 LH URGENCE	13,5-14,0 RHCP EN STATION	13,5-14,0 RHCP URGENCE
<i>Données relatives à la télécommande de l'engin</i>					
Engin spatial: description du diagramme de l'antenne de réception du signal de télécommande (mondiale ou non mondiale) Engin spatial: puissance surfacique reçue au niveau du seuil de télécommande suivant la direction du site de la station terrienne de télécommande (dB(W/m <sup>2</sup> ))	MONDIALE -105,00	MONDIALE -78,00	MONDIALE -108,00	MONDIALE -82,00	MONDIALE -82,00
<i>Données relatives à la station terrienne de télécommande</i>					
Station terrienne de télécommande: identificateur de localisation Station terrienne de télécommande: altitude du site (en mètres au-dessus du niveau moyen de la mer) Station terrienne de télécommande: taille de l'antenne d'émission (m) Station terrienne de télécommande: gain crête de l'antenne d'émission (dBi) Station terrienne de télécommande: p.i.r.e. maximale disponible (dBW) Station terrienne de télécommande: p.i.r.e. (dBW) Station terrienne de télécommande: taux de précipitation au niveau du site pendant 0,01% d'une année moyenne (mm/h)	ATLANTA, GA 236,22 9,30 61,26 86,00 68,00 80,00	FILMORE, CA 306,00 6,10 56,80 85,00 77,57 25,00	ATLANTA, GA 236,22 13,00 63,80 89,50 78,00 80,00	PERTH, AUS 15,00 11,00 62,00 ? 85,90 25,00	PERTH, AUS 15,00 11,00 62,00 ? 84,70 25,00
<i>Bilan de liaison</i>					
p.i.r.e. sur la liaison montante produite par la station terrienne de télécommande (dBW) Angle d'élévation de la station terrienne (en degrés au-dessus de l'horizon) Distance entre la station terrienne de télécommande et le satellite (m) Affaiblissement d'étalement (dB) Affaiblissement dû aux effets atmosphériques (dB) Affaiblissements additionnels dans le système (dB) Puissance surfacique du canal de télécommande sur la liaison montante (dB(W/m <sup>2</sup> )) Puissance surfacique au niveau du seuil de télécommande de l'engin spatial (dB(W/m <sup>2</sup> )) Marge de la liaison de télécommande (dB) Disponibilité du canal de télécommande (%)	86,00 50,19 37 066 125,27 162,37 0,00 1,00 -76,37 -105,00 28,63 99,99884	85,00 42,54 37 588 473,28 162,49 0,00 1,00 -77,49 -78,00 0,51 99,19300	89,50 32,81 38 365 626,21 162,67 0,00 1,00 -73,17 -108,00 34,83 99,99915	85,90 27,33 38 853 188,51 162,78 0,00 1,00 -76,88 -82,00 5,12 99,97633	84,70 25,13 39 057 710,39 162,83 0,00 1,00 -78,13 -82,00 3,87 99,95327

NOTE 1 – Toutes les valeurs du seuil de télécommande de l'engin spatial sont des valeurs de spécification.

TABLEAU 8

**Disponibilité du signal de télémétrie en mode normal (station)**

Engin spatial: désignation	USASAT-24K	USASAT-23F	USASAT-25K	USASAT-14I-2	USASAT-14H
Engin spatial: position orbitale (° Elévation)	-91,00	-94,95	-45,00	68,50	166,00
<i>Données relatives au signal de télémétrie</i>					
Engin spatial: fréquence du signal de télémétrie (GHz)	11,7-12,2	11,45-11,7	11,45-11,7	11,45-11,7	12,5-12,75
Engin spatial: polarisation du signal de télémétrie (LV, LH, RHCP, LHCP)	LV	RHCP	LV	LH	LH
Engin spatial: mode d'exploitation (mode en poste, mode d'urgence ou les deux modes)	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
Engin spatial: mode de télémétrie (mode normal, mode d'intégration ou les deux modes)	DEUX MODES	DEUX MODES	DEUX MODES	DEUX MODES	DEUX MODES
<i>Données de télémétrie relatives à l'engin spatial</i>					
Engin spatial: description du diagramme de l'antenne de télémétrie (mondiale ou non mondiale)	MONDIALE	MONDIALE	MONDIALE	MONDIALE	MONDIALE
Engin spatial: p.i.r.e. du canal de télémétrie sur la liaison descendante en direction de la station terrienne de réception (dBW)	5,00	10,00	11,26	12,50	12,50
<i>Données relatives à la station terrienne de télémétrie</i>					
Station terrienne de télémétrie: identificateur de localisation	ATLANTA, GA	FILMORE, CA	ATLANTA, GA	PERTH, AUS	PERTH, AUS
Station terrienne de télémétrie: altitude du site (m)	236,22	306,00	236,22	15,00	15,00
Station terrienne de télémétrie: taille de l'antenne de réception (m)	9,30	6,10	13,00	11,00	11,00
Station terrienne de télémétrie: gain crête de l'antenne de réception (dBi)	60,01	55,30	62,20	60,00	60,00
Station terrienne de télémétrie: $G/T$ (dB/K)	37,50	34,00	40,40	38,50	38,50
Station terrienne de télémétrie: Valeur $C/N_0$ minimale requise pour la réception du signal de télémétrie émis par l'engin spatial (dB)	48,50	48,50	48,50	48,50	48,50
Station terrienne de télémétrie: taux de précipitation au niveau du site pendant 0,01% d'une année moyenne (mm/h)	80,00	25,00	80,00	25,00	25,00
<i>Bilan de liaison</i>					
p.i.r.e. sur la liaison descendante en direction de la station terrienne (dBW)	5,00	10,00	11,26	12,50	12,50
Angle d'élévation de la station terrienne (en degrés au-dessus de l'horizon)	50,19	42,54	32,81	27,33	25,13
Distance entre le satellite et la station terrienne de réception (m)	37 066 125,27	37 588 473,28	38 365 626,21	38 853 188,51	39 057 710,39
Affaiblissement sur le trajet (dB)	205,19	205,13	205,49	205,41	206,39
Affaiblissement dû aux effets atmosphériques (dB)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Affaiblissements additionnels dans le système (dB)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$G/T$ de la station terrienne – par ciel clair (dB/K)	37,50	34,00	40,40	38,50	38,50
Dégradation due à la pluie du facteur $G/T$ de la station terrienne (dB)	-3,48	-4,30	-4,31	-4,49	-4,47
$G/T$ de la station terrienne – par temps de pluie (dB/K)	34,02	29,71	36,09	34,01	34,04
Constante de Boltzman	-228,60	-228,60	-228,60	-228,60	-228,60
$C/N_0$ (dB)	62,43	63,18	70,46	69,70	68,75
$C/N_0$ requis (dB) – @ 4 000 bit/s	54,50	54,50	54,50	54,50	54,50
Marge	7,93	8,68	15,96	15,20	14,25
Disponibilité (%)	99,9846	99,9986	99,9962	99,9997	99,9990

NOTE 1 – Toutes les valeurs de p.i.r.e. pour le signal de télémétrie émis par l'engin spatial sont des valeurs prédites.

NOTE 2 – La valeur  $C/N_0$  de la station spatiale correspond à un débit binaire après démodulation de 4 000 bit/s et à un taux d'erreurs binaires de  $10^{-6}$ .

TABLEAU 9

## Disponibilité du signal de télémesure en mode d'urgence

Engin spatial: désignation	USASAT-24K	USASAT-23F	USASAT-25K	USASAT-14I-2	USASAT-14H
Engin spatial: position orbitale (° Elévation)	-91,00	-94,95	-45,00	68,50	166,00
<i>Données relatives au signal de télémesure</i>					
Engin spatial: fréquence du signal de télémesure (GHz)	11,7-12,2	11,45-11,7	11,45-11,7	11,45-11,7	12,5-12,75
Engin spatial: polarisation du signal de télémesure (LV, LH, RHCP, LHCP)	LV	RHCP	LV	LH	LH
Engin spatial: mode d'exploitation (mode en poste, mode d'urgence ou les deux modes)	URGENCE	URGENCE	URGENCE	URGENCE	URGENCE
Engin spatial: mode de télémesure (mode normal, mode d'intégration ou les deux modes)	DEUX MODES	DEUX MODES	DEUX MODES	DEUX MODES	DEUX MODES
<i>Données de télémesure relatives à l'engin spatial</i>					
Engin spatial: description du diagramme de l'antenne de télémesure (mondiale ou non mondiale)	MONDIALE	MONDIALE	MONDIALE	MONDIALE	MONDIALE
Engin spatial: p.i.r.e. du canal de télémesure sur la liaison descendante en direction de la station terrienne de réception (dBW)	5,00	5,00	6,73	0,00	0,00
<i>Données relatives à la station terrienne de télémesure</i>					
Station terrienne de télémesure: identificateur de localisation	ATLANTA, GA	FILMORE, CA	ATLANTA, GA	PERTH, AUS	PERTH, AUS
Station terrienne de télémesure: altitude du site (m)	236,22	306,00	236,22	15,00	15,00
Station terrienne de télémesure: taille de l'antenne de réception (m)	9,30	6,10	13,00	11,00	11,00
Station terrienne de télémesure: gain crête de l'antenne de réception (dBi)	60,01	55,30	62,20	60,00	60,00
Station terrienne de télémesure: $G/T$ (dB/K)	37,50	34,00	40,40	38,50	38,50
Station terrienne de télémesure: Valeur $C/N_0$ minimale requise pour la réception du signal de télémesure émis par l'engin spatial (dB)	48,50	48,50	48,50	48,50	48,50
Station terrienne de télémesure: taux de précipitation au niveau du site pendant 0,01% d'une année moyenne (mm/h)	80,00	25,00	80,00	25,00	25,00
<i>Bilan de liaison</i>					
p.i.r.e. sur la liaison descendante en direction de la station terrienne (dBW)	5,00	5,00	6,73	0,00	0,00
Angle d'élévation de la station terrienne (en degrés au-dessus de l'horizon)	50,19	42,54	32,81	27,33	25,13
Distance entre le satellite et la station terrienne de réception (m)	37 066 125,27	37 588 473,28	38 365 626,21	38 853 188,51	39 057 710,39
Affaiblissement sur le trajet (dB)	205,19	205,13	205,49	205,41	206,39
Affaiblissement dû aux effets atmosphériques (dB)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Affaiblissements additionnels dans le système (dB)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$G/T$ de la station terrienne - par ciel clair (dB/K)	37,50	34,00	40,40	38,50	38,50
Dégradation due à la pluie du facteur $G/T$ de la station terrienne (dB)	-3,48	-3,53	-4,18	-3,25	-2,97
$G/T$ de la station terrienne - par temps de pluie (dB/K)	34,02	30,47	36,22	35,25	35,53
Constante de Boltzman	-228,60	-228,60	-228,60	-228,60	-228,60
$C/N_0$ (dB)	62,43	58,95	66,06	58,44	57,74
$C/N_0$ requis (dB) - @ 4 000 bit/s	54,50	54,50	54,50	54,50	54,50
Marge	7,93	4,45	11,56	3,94	3,24
Disponibilité (%)	99,9846	99,9913	99,9905	99,9823	99,9526

NOTE 1 – Toutes les valeurs de p.i.r.e. pour le signal de télémesure émis par l'engin spatial sont des valeurs prédites.

NOTE 2 – La valeur  $C/N_0$  de la station spatiale correspond à un débit binaire après démodulation de 4 000 bit/s et à un taux d'erreurs binaires de  $10^{-6}$ .

TABLEAU 10  
Disponibilité de la liaison de télémétrie

Engin spatial: désignation Engin spatial: position orbitale (° Elévation)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
Engin spatial: mode d'exploitation (mode en poste, mode d'urgence ou les deux modes)	EN POSTE	EN POSTE	EN POSTE	EN POSTE	EN POSTE
Disponibilité du canal de télécommande (%)	99,97650	99,99856	99,99597	99,99432	99,99090
Disponibilité du canal de télémétrie (%)	99,9846	99,9986	99,9962	99,9997	99,9990
Disponibilité du canal de télémétrie (%)	99,96110	99,99716	99,99217	99,99402	99,98990
Engin spatial: désignation Engin spatial: position orbitale (° Elévation)	USASAT-24K -91,00	USASAT-23F -94,95	USASAT-25K -45,00	USASAT-14I-2 68,50	USASAT-14H 166,00
Engin spatial: mode d'exploitation (mode en poste, mode d'urgence ou les deux modes)	URGENCE	URGENCE	URGENCE	URGENCE	URGENCE
Disponibilité du canal de télécommande (%)	99,99884	99,19300	99,99915	99,97633	99,95327
Disponibilité du canal de télémétrie (%)	99,9846	99,9913	99,9905	99,9823	99,9526
Disponibilité du canal de télémétrie (%)	99,98344	99,18437	99,98965	99,95863	99,90589

### 3.2 Disponibilités des liaisons TT&C

Comme l'indique le Tableau 6, pour un mode normal d'exploitation en poste, la «disponibilité opérationnelle» de la liaison de télécommande est comprise entre 99,97650% et 99,99856%, avec une valeur moyenne de 99,99125%. De même, pour la télémesure en mode en poste, la disponibilité de liaison est comprise entre 99,9846% et 99,9997%, avec une valeur moyenne de 99,99562% (voir le Tableau 8).

En mode d'urgence, lorsque l'orientation de l'engin spatial peut ne pas être connue, on peut raisonnablement supposer que le signal de télécommande est transmis en utilisant la valeur maximale disponible de la p.i.r.e. produite par la station au sol afin de garantir la fiabilité de la liaison vers l'engin spatial. Par conséquent, pour ce mode d'exploitation, la «disponibilité maximale» de la liaison est la grandeur pertinente à considérer. Le Tableau 7 indique que la disponibilité maximale de la liaison de télécommande en mode d'exploitation d'urgence est comprise entre 99,193% et 99,99915%, avec une valeur moyenne de 99,82411%. Dans le cas de la liaison de télémesure (voir le Tableau 9), la disponibilité est comprise entre 99,9526% et 99,9913%, avec une valeur moyenne de 99,98026%.

En ce qui concerne la fonction de télémétrie, aucune donnée de mesure directe n'a été obtenue. Cependant, on peut parvenir à une bonne estimation de la disponibilité en multipliant les valeurs de disponibilité des liaisons de télécommande et de télémesure pour chacun des cas considérés. En utilisant cette méthode, la disponibilité de la liaison de télémétrie est comprise entre 99,9611% et 99,99716%, avec une valeur moyenne de 99,98687% (voir le Tableau 10), dans l'hypothèse d'un engin spatial fonctionnant en mode normal pour les liaisons de télécommande et de télémesure. Les valeurs de disponibilité correspondantes en mode d'urgence (liaisons de télécommande et de télémesure) sont comprises entre 99,18437% et 99,98965%, avec une valeur moyenne de 99,8044%.

### 3.3 Contraintes applicables à la taille de l'antenne de télécommande

Pour garantir la fiabilité des opérations TT&C dans les bandes des 14/11-12 GHz, la liaison montante de télécommande vers un engin spatial doit être très fiable; par conséquent, le récepteur de télécommande de l'engin spatial doit présenter une certaine sensibilité et doit pouvoir fonctionner dynamiquement sur une large gamme afin de pouvoir prendre en compte des marges élevées d'affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante. De tels récepteurs de télécommande sont également sensibles aux brouillages causés par d'autres porteuses partageant les mêmes fréquences et qui risquent de déclencher des télécommandes erronées au niveau du récepteur TT&C de l'engin spatial. Pour garantir que les brouillages sur la liaison montante et sur la liaison descendante causés par des porteuses de communication et de télécommande issus de réseaux à satellite adjacents auront un effet négligeable en termes de réduction de la marge d'affaiblissement disponible, on utilise généralement des antennes de station terrienne d'émission de grande taille fortement directives pour transmettre des signaux de télécommande à destination de l'engin spatial et recevoir des signaux de télémesure en provenance d'un tel engin. Le facteur le plus contraignant pour déterminer le diamètre d'antenne TT&C est l'espacement minimal requis entre satellites pour réutiliser la même fréquence de télécommande sur un engin spatial adjacent.

Pour modéliser le cas de satellites adjacents réutilisant la même fréquence aux fins de la transmission sur la liaison montante de télécommande, on a considéré le brouillage cumulatif causé par les stations terriennes qui émettent sur la liaison montante en direction des quatre réseaux à satellite adjacents les plus proches. Ce niveau de brouillage a été calculé puis comparé au critère de brouillage du récepteur de télécommande. On a supposé que tous les satellites étaient placés à équidistance suivant un multiple entier de  $2^\circ$ . Dans ce cas, les deux satellites les plus proches sont à  $\varphi^\circ$  du réseau à satellite utile tandis que les deux satellites suivants sont à  $2\varphi^\circ$  de ce réseau. Considérant, pour le système analysé, que le niveau de sensibilité au brouillage pour le récepteur de

télécommande du satellite est de  $-125 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , auquel s'ajoute 1 dB de marge additionnelle, on a fait varier la taille d'antenne de la station terrienne de télécommande par incréments d'environ 2 m entre une valeur minimale de 9 m et une valeur maximale de 15 m, afin d'évaluer l'incidence du diamètre d'antenne sur l'espacement entre satellites utilisant les mêmes fréquences.

Le Tableau 11 indique l'espacement orbital résultant en fonction du diamètre d'antenne de liaison montante. Comme prévu, les résultats montrent que lorsque le diamètre d'antenne de liaison montante passe de 9 m à 15 m, l'espacement entre satellites peut être diminué de  $12^\circ$  à  $8^\circ$ . Dans le cas d'un réseau à satellite présentant un critère de brouillage du récepteur de télécommande du satellite très sensible, l'espacement entre satellites dépend des caractéristiques de protection du récepteur de télécommande. Etant donné que les valeurs du rapport  $C/I$  pour les liaisons montantes types de télécommande et les liaisons descendantes types de télémesure sont supérieures à 50 dB, le brouillage causé par le satellite adjacent intervient comme une composante négligeable dans le bruit total sur la liaison montante de télécommande; le brouillage causé par le satellite adjacent n'a donc pas été pris en compte pour calculer la disponibilité de la liaison montante de télécommande ou la disponibilité de la liaison descendante de télémesure.

TABLEAU 11

**Exemples de l'espacement orbital minimal requis en fonction du diamètre d'antenne  
pour des satellites adjacents réutilisant la même fréquence  
sur la liaison montante de télécommande à 14 GHz**

Diamètre d'antenne sur la liaison montante de télécommande (m)	9	11,3	13	15
Gain de l'antenne de liaison montante (dBi)	60,19	62,17	63,38	64,63
Séparation orbitale, $X$ (degrés)	12	10	10	8
Valeur $C/I$ cumulative due aux quatre satellites les plus proches (dB)	52,41	52,39	53,61	52,41
Puissance surfacique cumulative au niveau du satellite utile produite par les quatre satellites brouilleurs les plus proches $\text{dB(W/m}^2\text{)}$	-126,1	-126,1	-127,3	-126,1

NOTE 1 – On suppose que chaque réseau à satellite utilise des paramètres de station terrienne homogènes. On suppose que chaque station terrienne transmet une valeur de p.i.r.e. sur la liaison montante de télécommande de 89 dBW à la même fréquence et que chaque porteuse de télécommande occupe une même largeur de bande.

NOTE 2 – On suppose que les diamètres des antennes d'émission sur la liaison montante sont les mêmes pour chaque réseau de satellite. L'enveloppe du diagramme de rayonnement pour les angles considérés pour chaque antenne de station terrienne d'émission était la suivante:

$$\begin{array}{lll}
 29 - 25 \log(\varphi) & \text{dBi} & \text{pour } 2^\circ < \varphi \leq 7^\circ \\
 7,9 & \text{dBi} & \text{pour } 7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ \\
 32 - 25 \log(\varphi) & \text{dBi} & \text{pour } 9,2^\circ < \varphi \leq 48^\circ
 \end{array}$$

où  $\varphi$  est l'angle de séparation topocentrique par rapport au satellite brouilleur.

Les opérateurs utilisant des antennes de grande taille pourraient diminuer l'espacement orbital entre leurs satellites, qui pourraient utiliser la même fréquence de télécommande. En outre, certains récepteurs de télécommande présentent des spécifications de protection moins contraignantes et pourraient donc permettre une réutilisation de fréquences pour un espacement entre satellites plus petit.

Bien que l'on utilise un critère de brouillage cumulatif égal à  $-125 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , cela n'empêche pas l'utilisation cofréquence de porteuses numériques sur la liaison montante du satellite adjacent, ce qui pourrait aboutir à des prescriptions moins contraignantes en matière d'espacement entre satellites que dans le cas où la liaison montante de télécommande est coordonnée à une porteuse similaire.

### 3.4 Comparaison entre les disponibilités de liaison TT&C pour les réseaux du SFS au-dessus et au-dessous de 17 GHz

Une analyse de sensibilité des liaisons montantes de télécommande et des liaisons descendantes de télémétrie TT&C dans les bandes des 30/20 GHz et des 50/40 GHz a été menée en utilisant les paramètres de conception de la liaison TT&C dans les bandes des 14/12 GHz comme objectif de qualité de fonctionnement de base. Une liste des paramètres système de base pour les trois différentes bandes de fréquences, ainsi que leurs liaisons de télécommande et de télémétrie associées, est donnée dans le Tableau 12. Il convient de noter que l'utilisation de paramètres supposés différents pour les liaisons dans les bandes des 30/20 GHz et des 50/40 GHz pourrait conduire à des résultats autres que ceux obtenus dans la présente analyse. Les niveaux de puissance de l'émetteur, les valeurs de gain d'antenne de station terrienne, les températures de bruit de station terrienne et de station spatiale dans les bandes des 30/20 GHz et des 50/40 GHz ainsi que les valeurs de gain d'antenne de satellite sont fondés sur des valeurs types ou représentatives tirées de la documentation disponible. Pour toutes les liaisons, les stations terriennes TT&C étaient situées à  $44,2^\circ \text{ N}$ ,  $80,9^\circ \text{ O}$ .

TABLEAU 12

#### Paramètres système d'un réseau à satellite

Bande de fréquences	(GHz)	50/40	30/20	14/12
Engin spatial: position orbitale	(degrés E)	-107,3	-107,3	-107,3
Angle d'élévation de la station terrienne	(degrés)	32,7	32,7	32,7
Taux de précipitation au niveau de la station terrienne dépassé pendant 0,01% de l'année	(mm/h)	35,7	35,7	35,7
Altitude du site de la station terrienne au-dessus du niveau moyen de la mer	(km)	0,3	0,3	0,3
<i>Bilan de liaison (liaison montante)</i>				
Fréquence sur la liaison montante	(GHz)	50,0	30,0	14,0
Polarisation sur la liaison montante		C	C	C
Diamètre de l'antenne de la station terrienne	(m)	2,4	6,3	9,0
Gain de l'antenne de la station terrienne	(dBi)	60,1	64,0	60,5
p.i.r.e. de la station terrienne	(dBW)	77,0	91,8	89,0
Absorption dans l'atmosphère	(dB)	4,4	1,6	0,4
Erreur de pointage de l'antenne de la station terrienne	(dB)	0,2	0,4	0,1
Largeur de bande sur la liaison montante	(kHz)	1 300,0	1300,0	1 300,0
Valeur C/N (bruit thermique) sur la liaison montante (en conditions nominales de ciel clair)	(dB)	44,2	60,5	55,2
<i>Niveaux nominaux d'exploitation sur la liaison montante</i>				
Puissance reçue par l'engin spatial sur la liaison montante	(dBW)	-99,3	-99,3	-99,3
Puissance surfacique seuil sur la liaison montante au niveau de l'engin spatial	(dB(W/m <sup>2</sup> ))	-96,2	-94,8	-90,0
Puissance surfacique sur la liaison montante (en conditions nominales de ciel clair)	(dB(W/m <sup>2</sup> ))	-90,2	-72,9	-74,2
Marge sur la liaison montante	(dB)	6,0	21,9	15,8
Disponibilité sur la liaison montante	(%)	98,476	99,965	99,998



TABLEAU 12 (*fin*)

<i>Bilan de liaison (liaison descendante)</i>				
Fréquence sur la liaison descendante	(GHz)	40,0	20,2	11,7
Polarisation sur la liaison descendante		C	C	C
Diamètre de l'antenne de la station terrienne	(m)	2,4	6,3	9,0
Gain de l'antenne de la station terrienne	(dBi)	58,1	60,6	58,9
<i>Niveaux nominaux d'exploitation par ciel clair</i>				
Température de bruit de l'amplificateur à faible bruit de la station terrienne	(K)	300,0	200,0	160,0
Température de bruit système de la station terrienne	(K)	447,7	367,8	242,1
G/T de la station terrienne (par ciel clair)	(dB/K)	31,6	34,9	35,1
Largeur de bande sur la liaison descendante	(kHz)	300,0	300,0	300,0
Valeur C/N (bruit thermique) sur la liaison descendante (en conditions nominales de ciel clair)	(dB)	19,7	22,4	18,0
Seuil C/N	(dB)	5,0	5,0	3,3
<i>Paramètres de l'engin spatial</i>				
p.i.r.e. de l'engin spatial	(dBW)	32,4	26,5	15,0
Gain de l'antenne d'émission de l'engin spatial	(dBi)	52,4	46,5	35,3
Puissance d'émission de l'engin spatial	(dBW)	-20,0	-20,0	-20,3
G/T de l'engin spatial (par ciel clair)	(dB/K)	22,4	17,0	6,5
<i>Dégradations sur la liaison descendante en conditions de pluie</i>				
Absorption atmosphérique	(dB)	1,8	2,4	0,2
Affaiblissement dû au système d'alimentation	(dB)	1,0	1,0	1,0
Erreur de pointage de l'antenne de la station terrienne	(dB)	0,1	0,2	0,1
Evanouissements dus à la pluie A1(p1)	(dB)	13,7	16,3	12,4
Dégradation C/N (bruit thermique)	(dB)	1,0	1,0	2,4
Marge sur la liaison descendante	(dB)	14,7	17,4	14,8
Disponibilité sur la liaison descendante	(%)	99,771	99,987	99,999

Sur la liaison montante, la puissance surfacique «seuil» du réseau à satellite dans les bandes des 14/12 GHz de référence a été utilisée pour calculer le niveau de la puissance reçue en entrée du récepteur de télécommande embarqué. Ce niveau de puissance reçue correspond à la valeur minimale requise en exploitation nominale. Le niveau de puissance surfacique «seuil» dans les bandes des 14/12 GHz était de  $-90 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Une analyse de sensibilité a été effectuée dans les bandes des 14/12 GHz afin de montrer l'incidence de l'emplacement de la station terrienne TT&C (angle d'élévation et taux de précipitation) sur la qualité de fonctionnement obtenue pour les liaisons montantes de télécommande et les liaisons descendantes de télémétrie. En se fondant sur des liaisons types dans les bandes des 14/12 GHz, les disponibilités obtenues pour les liaisons montantes de télécommande et les liaisons descendantes de télémétrie pour les satellites sont généralement d'environ 99,98%. Cette valeur de disponibilité, obtenue en mode normal d'exploitation, a été utilisée comme base pour déterminer les niveaux de disponibilité ou la qualité de fonctionnement susceptibles d'être atteints dans d'autres bandes de fréquences (bandes des 30/20 GHz ou des 50/40 GHz par exemple). Il convient de noter que seul le mode «normal» d'exploitation est considéré dans la présente analyse de sensibilité.

Pour mettre en oeuvre une méthode valable de comparaison des données, une latitude constante de  $18^{\circ}$  N a été utilisée. Cette latitude a permis de considérer une large gamme de taux de précipitation sur une plage minimale de longitudes (entre  $-20^{\circ}$  O et  $-70^{\circ}$  O). Elle a également été choisie parce qu'elle nécessitait une interpolation minimale des coefficients numérisés requis pour calculer le taux de précipitation, la hauteur de pluie et l'absorption atmosphérique conformément respectivement aux Recommandations UIT-R P.837, UIT-R P.839 et UIT-R P.676.

En général, lorsque la valeur locale du taux de précipitation s'accroît pour un angle d'élévation donné, la disponibilité diminue. La disponibilité des fonctions TT&C pour un taux de précipitation donné décroît également avec l'angle d'élévation. On a considéré dans notre exemple une valeur maximale du taux de précipitation de 100 mm/h. La Fig. 2 indique en fonction du taux de précipitation l'angle d'élévation minimal requis pour parvenir à une disponibilité de 99,98%. La Fig. 3 indique en fonction de l'angle d'élévation les valeurs maximales permises du taux de précipitation pour parvenir à une disponibilité de 99,98%. Les données représentées correspondent aux bandes de fréquences des 14/12 GHz et des 30/20 GHz. Aucune donnée n'est indiquée pour les bandes des 50/40 GHz puisque, quelle que soit la combinaison taux de précipitation/angle d'élévation considérée, la disponibilité de 99,98% n'a pu être atteinte.

FIGURE 2

Angle d'élévation minimal permettant de parvenir à une disponibilité de 99,98% en fonction du taux de précipitation

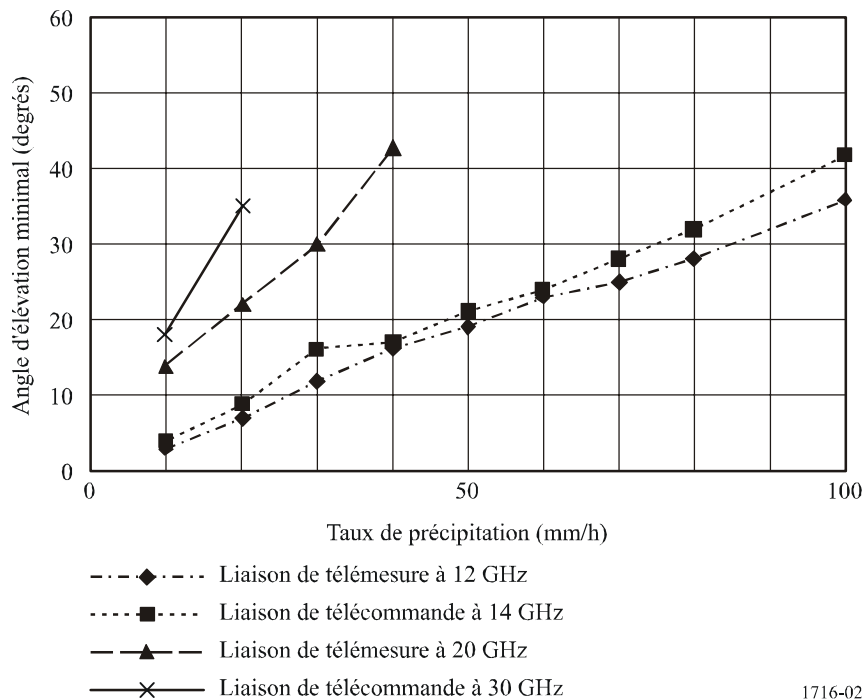
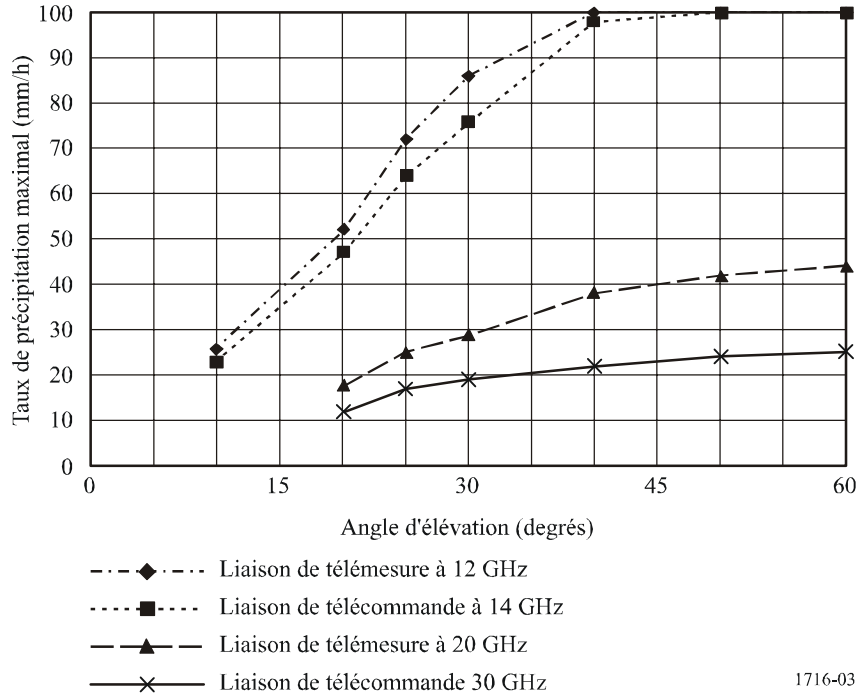


FIGURE 3

Taux de précipitation maximal permettant de parvenir à une disponibilité de 99,98% en fonction de l'angle d'élévation



1716-03

#### 4 Objectifs de disponibilité TT&C pour les réseaux du SFS fonctionnant dans les bandes des 30/20 GHz

Il existe un réseau national du SFS dans les bandes des 30/20 GHz dont les porteuses de télécommande TT&C sur la liaison montante sont censées fonctionner à la limite inférieure de la bande 29,5-30 GHz et dont les objectifs de disponibilité varient entre 99,98 et 99,95% en exploitation normale ou en poste suivant la configuration considérée pour l'antenne de réception du satellite ou sont de 99,97% en orbite de transfert.

Les porteuses de télémétrie sur la liaison descendante appartiendraient de la même façon à la limite inférieure de la bande 19,7-20,2 GHz avec un objectif de disponibilité égal à 99,95% en exploitation normale ou en station et à 99,9% en orbite de transfert. L'objectif de qualité de fonctionnement en termes de TEB pour le démodulateur de données au niveau de la station terrienne de réception TT&C est de  $1 \times 10^{-6}$ .

## 5 Résumé

Les paragraphes précédents ont permis de présenter des données de qualité de fonctionnement TT&C types. Après examen de ces données, il est clair que la disponibilité de liaison varie dans des proportions relativement larges et que la disponibilité de la liaison de télécommande est généralement inférieure à celle de la liaison de télémétrie. Toutefois, il faut garder à l'esprit que, pour la plupart des engins spatiaux modernes, le flux des données de télémétrie est généralement de nature continue. Sur la liaison de télécommande, l'opérateur ne fournit pas un flux continu de commandes à l'engin spatial; par conséquent, l'opérateur peut donc décider de la ou des périodes propices à l'envoi d'une commande et de nombre de ces envois. On peut donc supposer que le niveau moyen de fiabilité des signaux de télémétrie, de télécommande et de télémétrie est, en principe, bien supérieur aux valeurs de disponibilité indiquées dans les Tableaux 6 et 7.

En comparant la qualité de fonctionnement et les disponibilités des systèmes TT&C fonctionnant dans les bandes des 30/20 GHz et des 50/40 GHz lorsqu'on utilise des paramètres de conception de liaison TT&C similaires à ceux des bandes des 14/11-12 GHz, on a montré qu'un certain nombre de facteurs limitent la qualité de fonctionnement des liaisons TT&C au-dessus de 17 GHz.

En outre, la Lettre circulaire CA/99 du Bureau des radiocommunications (BR) a prié les administrations et les Membres du Secteur de fournir les caractéristiques techniques et opérationnelles de leurs systèmes TT&C du SFS. Une base de données a été créée par le BR à la page suivante du site web de l'UIT: <http://web.itu.ch/brsg/srg4/info/wp4b/index.html>. Le Tableau 13 fournit une synthèse des données obtenues en réponse à la Lettre circulaire CA/99 du BR:

TABLEAU 13

**Résumé des marges de disponibilité et de liaison indiquées  
en réponse à la Lettre circulaire CA/99 du BR**

Disponibilité de la liaison (%)	6/4 GHz			14/11 GHz			20 GHz		
	Minimale	Maximale	Moyenne	Minimale	Maximale	Moyenne	Minimale	Maximale	Moyenne
Télémétrie	99,7	99,998	99,76859	94,9981	99,9923	99,14992	99,42525	99,97716	99,70121
Télémétrie	99,7	99,999	99,80755	99,9	99,999	99,96253	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Télécommande	99,7	99,999	99,83424	99,3403	99,99874	99,89163	99,9	99,99511	99,94756

Marge de liaison (dB)	6/4 GHz			14/11 GHz			20 GHz		
	Minimale	Maximale	Moyenne	Minimale	Maximale	Moyenne	Minimale	Maximale	Moyenne
Télémétrie	0,7	42,31633	13,07245	0,48482	30,9111	16,26529	1,306482	7,30482	4,305651
Télémétrie	0,5	39,45	24,40857	6	30,8	19,41385	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Télécommande	0,5	24,5	7,307692	2,38	22,2	10,97929	13,7	19,6	16,65