

RECOMMANDATION UIT-R S.1557

Caractéristiques et prescriptions opérationnelles relatives aux systèmes du service fixe par satellite fonctionnant dans les bandes 50/40 GHz à utiliser pour les études de partage entre le service fixe par satellite et le service fixe*

(Question UIT-R 250-1/4)

(2002)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la bande 37,5-42,5 GHz est attribuée au service fixe et au service fixe par satellite (SFS) (espace vers Terre) à titre coprimaire;
- b) que dans certains systèmes du SFS, il est prévu d'offrir des débits de données allant du mode de transfert synchrone 1 (STM-1) à dix STM-4;
- c) que pour la plupart des systèmes du SFS, il est proposé d'utiliser des stations terriennes équipées de petites antennes de diamètre inférieur à 1 m pour les liaisons d'utilisateur, pour offrir une disponibilité de liaison de bout en bout de 99,7% au minimum;
- d) que, pour les liaisons de connexion, il peut être nécessaire pour les systèmes du SFS d'utiliser des stations terriennes équipées d'antennes plus grandes (jusqu'à 3 m de diamètre), individuellement coordonnées et placées en des centres pivots ou en des points d'accès aux fibres optiques géographiquement dispersés et que ces applications nécessiteront une disponibilité de liaison de bout en bout de 99,9% au minimum;
- e) qu'il reste à savoir s'il est possible d'utiliser de plus grandes antennes dont le diamètre est supérieur à 2,4 m ($D/\lambda \gg 300$), compte tenu des effets de la déformation du réflecteur principal, des irrégularités de surface, de l'affaiblissement dû au radôme et des moyens d'auto poursuite susceptibles de minimiser l'affaiblissement de pointage dans cette bande;
- f) que dans certains systèmes en projet du SFS fonctionnant dans cette bande on utilise des répéteurs avec traitement à bord pour desservir des mini-stations terriennes d'utilisateur et des répéteurs transparents pour les liaisons de connexion ou les liaisons vers des stations pivot/point d'accès aux fibres optiques;
- g) que les dégradations dues à la propagation sont très importantes dans cette plage de fréquence;
- h) que pour la plupart des systèmes du SFS, il est prévu d'offrir un taux d'erreur binaire (TEB) par temps clair compris entre 1×10^{-7} et 1×10^{-10} ;
- j) que les systèmes du SFS actuellement en projet utilisent la modulation par quadrature de phase (MDP-4) et que les futurs systèmes utiliseront peut-être des schémas de modulation d'ordre plus élevé tels que la modulation par déplacement de phase à 8 états (MDP-8) et la modulation d'amplitude en quadrature, MAQ-16,

* La présente Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 7, 8 et 9 et du Groupe de travail mixte 4-9S des radiocommunications.

recommande

- 1 de tenir compte, lors de la conception des systèmes du SFS et des études de partage dans la bande 37,5-42,5 GHz, des prescriptions opérationnelles exposées dans les Annexes 1 et 2;
- 2 de tenir compte, lors des études de partage entre les services du SFS à 50/40 GHz et les autres services cofréquences et coprimaires, des informations techniques sur certains systèmes du SFS fonctionnant dans la bande 37,5-42,5 GHz contenus dans les Annexes 3 à 6;
- 3 aux administrations qui envisagent d'apporter des modifications à ces systèmes ou qui proposent de futurs réseaux à satellite dans la bande 50/40 GHz, de soumettre les caractéristiques techniques des réseaux du SFS à l'UIT-R afin d'actualiser les annexes.

ANNEXE 1

**Valeurs prescrites des paramètres de liaison descendante
pour les systèmes du SFS fonctionnant
dans la bande 37,5-42,5 GHz**

1 Introduction

La présente Annexe contient des données relatives à la puissance surfacique minimale à respecter pour les liaisons descendantes dans la bande 37,5-42,5 GHz nécessaire afin de pouvoir exploiter des systèmes dans cette bande avec des stations terriennes dotées d'antennes de différentes tailles. Cette étude est fondée sur le SFS en projet exploité dans les bandes 50/40 GHz.

D'après les fiches de notification de l'UIT, un nombre considérable de systèmes du SFS prévus pour être exploités dans les bandes 37,5-42,5 GHz et 47,2-50,2 GHz a été reçu. Ces services devraient offrir des débits de données allant de la qualité vidéoconférence à la transmission de dix STM-1 en passant par la transmission STM-1 (155 Mbit/s) à très haut débit, avec des tailles d'antennes de stations terriennes comprises entre 1 et 3 m. Pour la plupart des systèmes du SFS, il est proposé d'utiliser de petites stations terriennes équipées d'antennes d'un diamètre inférieur à 1 m, offrant une disponibilité de liaison de 99,7% et des stations équipées d'antennes plus grandes (1,5 à 3 m) pour des applications passerelle-passerelle ou station pivot-station pivot, lesquelles exigent une disponibilité de liaison supérieure. En raison de la gravité particulière des dégradations dues à la propagation dans les bandes 40/50 GHz, la plupart des systèmes en projet assureront des services à des angles d'élévation minimum supérieurs à ceux des systèmes du SFS fonctionnant dans les bandes inférieures à 30 GHz. A 40/50 GHz, l'angle d'élévation est de 20°; toutefois, pour certains systèmes dont le système OSG SV, il est prévu d'assurer ce service avec un angle d'élévation minimal de 15°. Les caractéristiques techniques de plusieurs systèmes du SFS en projet devant être exploités dans ces bandes ont été incluses dans la Recommandation UIT-R S.1328.

La présente Annexe a pour objet de définir des caractéristiques techniques additionnelles des systèmes du SFS fonctionnant dans les bandes 40/50 GHz à utiliser par l'UIT-R pour les futures études de partage.

2 Taille d'antenne de station terrienne requise en fonction de la puissance surfacique de la liaison descendante

La présente section contient les calculs des niveaux de puissance surfacique des liaisons descendantes nécessaire pour pouvoir exploiter des réseaux à satellite du SFS fonctionnant dans la bande 40/50 GHz avec diverses tailles d'antennes de stations terriennes et différents taux de disponibilités de liaisons spécifiés.

On peut montrer que la puissance surfacique de la surface de la Terre est donnée par la relation:

$$pfd = S - G_{rxE/S} + 21,45 + 20 \log(f) + 10 \log\left(\frac{1}{BW = sps}\right)$$

dans laquelle:

pfd : puissance surfacique (dB(W/(m² · MHz)))

S : intensité du signal reçu (dBW)

BW : largeur de bande à l'émission (largeur de bande nécessaire) (MHz)

sps : débit de symbole (Msymbole/s)

f : fréquence (GHz)

$G_{rxE/S}$: gain de la station terrienne réceptrice dans l'axe (dBi).

On peut calculer le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ au niveau du récepteur au moyen de la formule suivante:

$$\frac{E_b}{(N_0 + I_0)_\downarrow} = \frac{S}{N_0 + I_0} - 10 \log(bps)$$

et

$$\left(\frac{S}{N_0 + I_0}\right) = S - (N_0 + I_0) = S - G_{rxE/S} + (20,4 + 20 \log(D) + 20 \log(f) + 10 \log(\eta)) - (N_0 + I_0)$$

et

$$(N_0 + I_0) = 10 \log \left(10^{\left(\frac{N_0}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{I_0}{10}\right)} \right)$$

où:

$N_0 = -228,6 + 10 \log(T)$ (dB(W/Hz)), densité de puissance de bruit thermique

T : température de bruit du récepteur de la station terrienne + augmentation de la température de bruit due à la pluie (K)

I_0 : autobrouillage et brouillage causés par d'autres systèmes du SFS exploités dans la même bande (dB(W/Hz))

D : diamètre de l'antenne de la station terrienne (m)

f : fréquence (GHz)

η : efficacité de l'antenne de la station terrienne

bps : débit binaire.

Il est important de noter que pour les liaisons descendantes du SFS, il faut respecter les limites de puissance surfacique pour toutes les fourchettes d'obliquité et tous les angles d'élévation, tandis que le rapport E_b/N_0 qui intéresse le concepteur, doit être minimal sur toutes les fourchettes d'obliquité, angles d'élévation et positions à l'intérieur d'un faisceau. Il faut ajouter que la puissance surfacique est calculée à la surface de la Terre dans des conditions de propagation en espace libre. On peut montrer que le rapport E_b/N_0 au niveau du récepteur du SFS est donné par la formule:

$$\left(\frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_{\downarrow} = pfd + 10 \log \left(\frac{sps}{bps} \right) + 20 \log(D) + 10 \log(\eta) - (N_0 + I_0) - 61,05 - L_{atm/scin} - L_p - EOC - M_{fade} - M_{system}$$

où:

$L_{atm/scin}$: affaiblissement atmosphérique et affaiblissement de scintillation. Dans cette bande, ces affaiblissements sont d'environ 1,2 dB

L_p : paramètre dépendant de la taille de l'antenne (dB)

EOC : limite type de couverture, en général 3,5 dB

M_{fade} : marge d'évanouissement due à la pluie requise pour obtenir la disponibilité de liaison souhaitée (dB)

M_{system} : marge pour le système (2 dB).

On peut montrer à partir des équations précédentes que la taille de l'antenne de la station terrienne de réception (m) est égale à:

$$D = 10 \left(\frac{1}{20} \right) \left(\left(\frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_{\downarrow} - pfd - 10 \log \left(\frac{sps}{bps} \right) - 10 \log(\eta) + (N_0 + I_0) + 61,05 + L_{atm/scin} + L_p + EOC + M_{fade} + M_{system} \right)$$

2.1 Valeur du rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ pour les liaisons descendantes

La valeur du rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ à la réception à respecter, dépend de la modulation (MDP-4, MDP-8, MAQ-16, etc.), du TEB, du codage et de l'affaiblissement de mise en oeuvre. La plupart des systèmes en projet dans ces bandes devraient utiliser la modulation MDP-4 et offrir un TEB compris entre 1×10^{-7} et 1×10^{-9} . La valeur du rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ requise, affaiblissement de mise en oeuvre inclus, est comprise entre 7 et 9 dB selon le codage. Si l'on utilise des modulations d'ordre supérieur (MDP-8, MAQ-16, etc.), le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ requis est nettement plus élevé. Dans la présente étude on a utilisé les modulations MDP-4 et MDP-8.

Le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ requis sur la liaison descendante dépend si la charge utile du satellite est constituée par un répéteur avec traitement à bord ou un répéteur transparent (tuyau coudé). Dans le cas d'un récepteur avec traitement à bord, le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ sur la liaison descendante est le même que celui requis pour obtenir le TEB souhaité. Lorsque la charge utile du satellite est un répéteur transparent, ce rapport est donné par la relation:

$$\left(\frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_{\downarrow} = -10 \log \left(10 \left(\left((-0,1) \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_{required} - 10 \left((-0,1) \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_{\uparrow} \right) \right)$$

Dans cette étude, on suppose que ce rapport pour la liaison descendante est le même que celui pour la liaison montante. Par conséquent, ce rapport pour la liaison descendante est supérieur de 3 dB à celui requis pour la réception.

2.2 Densité de bruit thermique, N_0 , et densité de bruit de brouillage, I_0

On peut montrer que la densité de bruit thermique, N_0 , est donnée par la formule suivante:

$$N_0 = -228,6 + 10 \log(T_{rx} + T_{rain}) \quad \text{dB(W/Hz)}$$

où:

T_{rx} : température de bruit du système de réception de la station terrienne (K). La température type du système d'antenne au sol est de 800 K (température de bruit de l'antenne = 70 K; facteur de bruit à la réception = 4,5 dB; filtre/duplexeur = 0,7 dB; affaiblissement dans le câble de liaison = 0,3 dB)

T_{rain} peut être calculé comme suit:

$$T_{rain} = 280 (1 - 10^{-0,1 \text{ (marge pour les évanouissements dus à la pluie)}})$$

Par exemple, si la marge pour les évanouissements dus à la pluie est de 18 dB, l'augmentation de la température de bruit due à la pluie est de 275 K.

Densité de bruit de brouillage, I_0 : la densité de bruit de brouillage calculée doit inclure la densité de bruit intrasystème et la densité de bruit intersystèmes. Dans la présente étude, on attribue 1,5 dB au brouillage intrasystème. Le brouillage inter-systèmes calculé causé par d'autres systèmes du SFS fonctionnant dans la même bande de fréquences dépend de la décroissance du diagramme d'antenne de la station terrienne et de la puissance surfacique sur les liaisons descendantes des autres systèmes du SFS. Dans la présente étude, on a supposé que tous les systèmes du SFS fonctionnaient avec la même puissance surfacique et que l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) était occupé par des engins spatiaux placés à 4° d'intervalle. Ainsi, si tous les systèmes OSG du SFS fonctionnent avec une puissance surfacique de liaison descendante de -105 dB (W/(m² · MHz)), la densité de bruit de brouillage reçu sur une station terrienne équipée d'une antenne de 1 m de diamètre fonctionnant dans la bande des 40 GHz est de -203,44 dB (W/Hz).

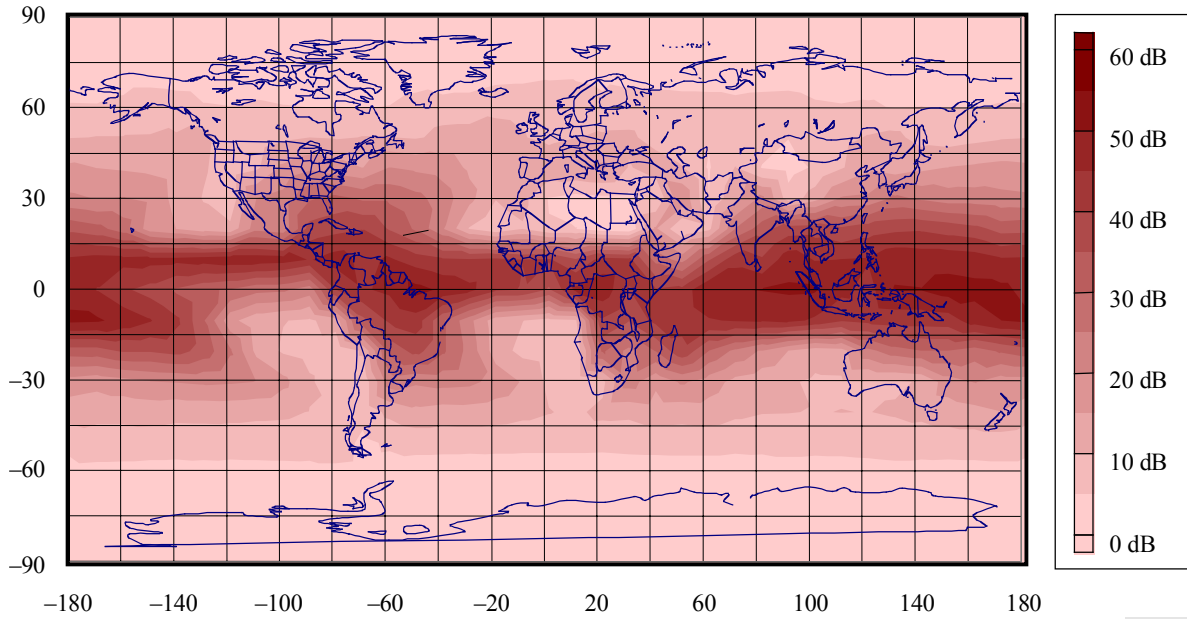
2.3 Marge requise pour les évanouissement dus aux précipitations

Comme indiqué précédemment, pour la plupart des systèmes en projet, il est prévu d'offrir une disponibilité de liaison de 99,7% aux utilisateurs des microstations terriennes (VSAT) et une disponibilité de liaison plus élevée pour les utilisateurs de configurations passerelle-passerelle ou station centrale-station centrale. La marge exigée pour les évanouissements dus à la pluie est indiquée à la Fig. 1. Dans les calculs, on a supposé une disponibilité de liaison de 99,7% et un angle d'élévation de 25°. La Fig. 2 illustre la disponibilité de liaison pour des systèmes du SFS fonctionnant dans la bande des 40 GHz avec une marge pour les évanouissements dus à la pluie de 18 dB.

La Fig. 2 montre qu'une marge pour les évanouissements dus à la pluie de 18 dB ne permettra pas d'obtenir la disponibilité souhaitée de liaison de 99,7% pour la plupart des points du monde. En outre, pour les systèmes qui sont prévus pour offrir des services à des angles d'élévation inférieurs à 25°, il faudra pour obtenir la disponibilité de liaison souhaitée, utiliser des techniques de compensation, à savoir: débits de données variables, diversité d'emplacement, diversité de fréquence, codage lourd, etc.

FIGURE 1

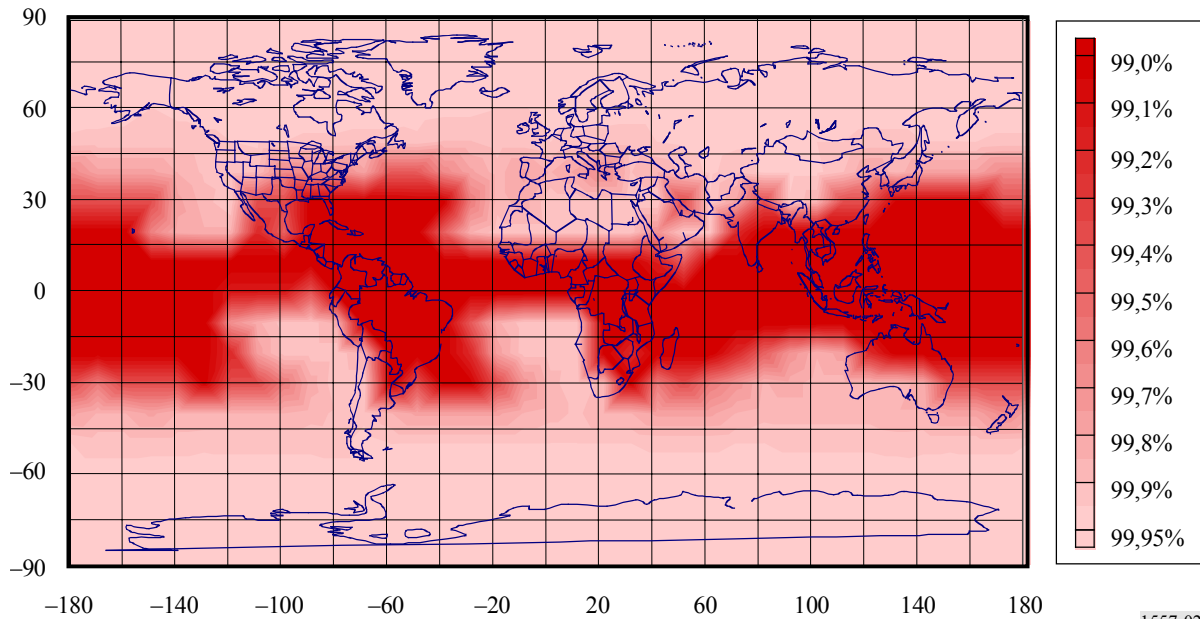
Marge exigée pour les évanouissements dus à la pluie
(Bande de fréquences = 40 GHz; angle d'élévation = 25°; disponibilité de liaison = 99,7%)



1557-01

FIGURE 2

Disponibilité de liaison
(Bande de fréquences = 40 GHz; angle d'élévation = 25°;
marge pour les évanouissements dus aux précipitations = 18 dB)



1557-02

2.4 Affaiblissement de pointage

L'affaiblissement de pointage hors axe de l'antenne (dB) pour une ouverture circulaire parfaitement et uniformément illuminée peut être déterminé à partir de l'optique physique au moyen de la formule suivante:

$$\text{Affaiblissement} = 10 \log \left(\frac{2J_1(x)}{x} \right)^2$$

dans laquelle:

$$x = \frac{\pi f D}{c} \sin(\varphi)$$

et

f : fréquence

D : antenne du diamètre

c : vitesse de la lumière

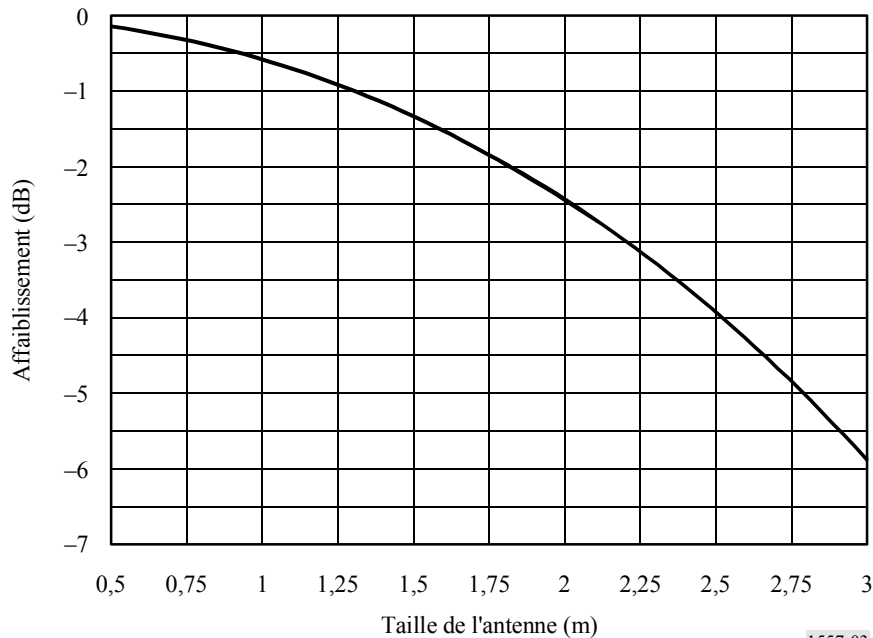
φ : angle hors-axe

$J_1(x)$: fonction de Bessel de premier ordre.

La Fig. 3 représente l'affaiblissement de pointage en fonction de la taille de l'antenne de la station terrienne pour un angle hors-axe de $0,1^\circ$. Dans cette étude, on a attribué $0,7$ dB à l'affaiblissement de pointage de l'antenne de la station terrienne.

FIGURE 3

Affaiblissement de pointage de l'antenne en fonction de sa taille
(angle hors axe = $0,1^\circ$)



1557-03

2.5 Résultats

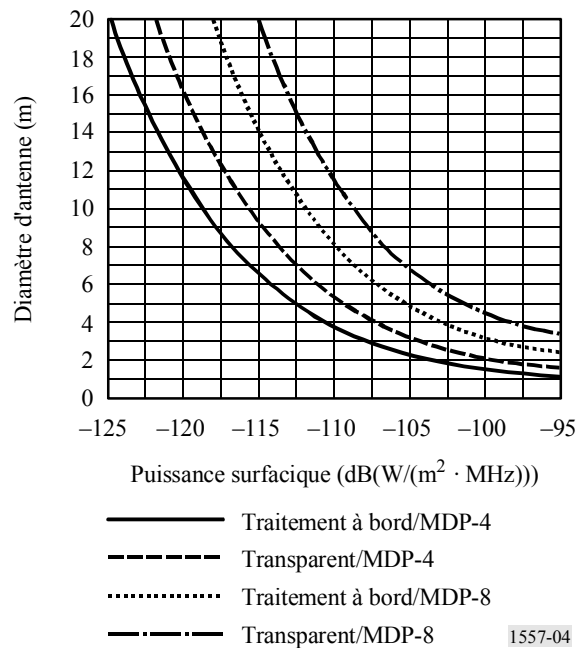
La Fig. 4 montre la taille requise de l'antenne de la station terrienne en fonction de la puissance surfacique sur la liaison descendante. Le calcul repose sur les hypothèses suivantes:

- Marge pour les évanouissements dus à la pluie = 18 dB
- Température de bruit à la réception de la station terrienne = 800 K
- Affaiblissement de pointage = 0,7 dB
- Affaiblissement atmosphérique et de scintillation = 1,2 dB
- Dégradation due à l'autobrouillage = 1,5 dB
- Bord de couverture = 3,5 dB
- Efficacité de l'antenne = 70%
- Fréquence = 40 GHz
- Marge pour le système = 2 dB

- Rapport E_b/N_0 exigé
 - Traitement à bord
 - MDP-4 = 7,0 dB
 - MDP-8 = 10,5 dB
 - Répéteur transparent (tuyau coudé)
 - MDP-4 = 10,0 dB
 - MDP-8 = 13,5 dB.

FIGURE 4

Taille de l'antenne d'une station terrienne en fonction des niveaux de puissance surfacique des liaisons descendantes



3 Discussion des résultats

La plupart des systèmes du SFS en projet fonctionnant dans la bande 40/50 GHz utilisent le traitement à bord pour desservir des VSAT d'utilisation et un répéteur transparent (tuyau coudé) pour les utilisateurs de configurations passerelle-passerelle ou station centrale-station centrale. En général, le diamètre d'une antenne est de 0,5 à 1 m pour les VSAT et de 1 à 3 m pour les configurations passerelle-passerelle et station centrale-station centrale. Pour la plupart des systèmes en projet du SFS dans la bande des 40/50 GHz, il n'est pas envisagé d'utiliser des antennes de station terrienne de diamètre supérieur à 3 m en raison de la très grande complexité d'une antenne à poursuite automatique capable de minimiser l'affaiblissement de pointage dans ces bandes de fréquence.

La Fig. 4 montre que pour un système MDP-4, une puissance surfacique de liaison descendante de -95 dB(W/(m² · MHz)) permet l'utilisation d'une station d'utilisateur VSAT de 1 m fonctionnant dans cette bande. Une station passerelle-passerelle équipée d'une antenne de 3 m pourra être utilisée sur une liaison avec une puissance surfacique de -105 dB(W/(m² · MHz)). Si l'on utilise une antenne de taille inférieure, la puissance surfacique devra être supérieure à -95 dB(W/(m² · MHz)) pour une VSAT et de -105 dB(W/(m² · MHz)) pour les utilisateurs de configuration à passerelle. Toutefois, la puissance surfacique requise sur la liaison descendante peut être différente selon la région hydrométéorologique considérée. De plus, si l'on utilise des modulations d'ordre supérieur, telles la MDP-8, la MAQ-16, les niveaux de puissance surfacique de liaisons descendantes pourront être nettement plus élevés.

4 Résumé

Dans la présente Annexe, on a montré pour le système étudié que des stations équipées d'antenne de 3 m dans des configurations passerelle-passerelle ou station centrale-station centrale pouvaient fonctionner dans la bande 40/50 GHz à condition que le niveau de puissance surfacique de liaison descendante soit égal ou supérieur à -105 dB ($W/(m^2 \cdot MHz)$). On a également montré, que pour pouvoir utiliser des VSAT de 1 m de diamètre, le niveau de puissance surfacique de liaison descendante devait être supérieur ou égal à -95 dB ($W/(m^2 \cdot MHz)$). Même avec ces niveaux, on a montré qu'avec une marge pour les évanouissements dus à la pluie de 18 dB, les systèmes du SFS ne pourront toujours pas offrir la disponibilité de liaison de 99,7% souhaitée en tous les points dans le monde. Toutefois, les niveaux de puissance surfacique exigés peuvent être différents, selon la région hydrométéorologique considérée. Enfin, si l'on prévoit d'utiliser des modulations d'ordre supérieur et/ou des angles d'élévation faibles et/ou des antennes plus petites, le système doit fonctionner avec des niveaux de puissance surfacique plus élevés ou utiliser des techniques palliatives telles la diversité d'emplacement ou la diversité de fréquence, afin d'obtenir la disponibilité de liaison souhaitée.

ANNEXE 2

Analyse des valeurs de puissance surfacique spécifiées dans le Tableau 21-4 du Règlement des radiocommunications (RR), à respecter par les satellites OSG du SFS pour pouvoir exploiter des liaisons descendantes viables avec des stations terriennes passerelles dans les bandes de fréquences 37,5-40 GHz et 42-42,5 GHz

1 Introduction

Dans la présente Annexe, on étudie les contraintes imposées en matière de puissance surfacique pour les liaisons descendantes ainsi que l'influence de l'angle d'élévation dans le cas de stations terriennes réceptrices passerelles du SFS dans les bandes 37,5-40 GHz et 42-42,5 GHz. Les liaisons descendantes du SFS, respectant toutes des limites de puissance surfacique spécifiées dans le Tableau 21-4 du RR et utilisant divers types de modulation et différentes caractéristiques de codage, sont analysées en termes de disponibilité de liaison descendante avec des stations terriennes passerelles du SFS OSG équipées d'antennes de 1,8 à 3 m de diamètre dans certaines fourchettes d'angles d'élévation et de taux de précipitation. On constate en outre, qu'il faut un complément d'étude pour déterminer, conformément avec le point 7 du *invite l'UIT-R* de la Résolution 84 (CMR-2000), les conditions sous lesquelles les limites de puissance surfacique offrent des niveaux de protection suffisants vis-à-vis du service fixe.

2 Hypothèses relatives au paramètre des systèmes OSG du SFS

Les paramètres de base des systèmes OSG du SFS fonctionnant dans les bandes 37,5-40 GHz et 42-42,5 GHz devraient prendre des valeurs situées dans les fourchettes indiquées dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Paramètres des systèmes OSG du SFS et hypothèses utilisées pour l'analyse

Paramètre de système	Valeur des paramètres et unités			
Angle d'élévation vers l'engin spatial OSG (degrés)	17,5	20,0	22,5	25,0
Taille du faisceau ponctuel de l'antenne de l'engin spatial (degrés)	0,3	0,4	0,5	0,5
Puissance spectrale surfacique au centre du faisceau (dB(W/(m ² · MHz))	-111,5	-109	-107	-105,5
Configuration du répéteur	Transparente (tuyau coudé) ou avec remodulation (traitement à bord)			
Débit de données	Varié			
Modulation, correction d'erreur directe (CED)	MDP-4, taux 5/6 avec code de Reed-Solomon (RS) (répéteur transparent (tuyau coudé)) ou MDP-8, taux 2/3 avec code RS 188,204 (traitement à bord)			
Seuil de fonctionnement du démodulateur (C/N)	7,1 dB (MDP-4, taux 5/6, RS 188,204) 9,3 dB (MDP-8, taux 2/3, RS 188,204)			
Liaison utilisateur – passerelle – TEB et disponibilité minimale due aux évanouissements sur le trajet espace vers Terre (souhaitable/marginal)	Quasi sans erreur (correspondant à un TEB $\leq 2 \times 10^{-4}$ avant décodage RS) supérieure à 99,95/99,90%			
Diamètre de la station terrienne réceptrice (avec un réflecteur primaire parabolique) (m)	1,8; 2; 2,4 et 3 ⁽¹⁾			
Rendement de l'antenne (%)	64			
Affaiblissement d'alimentation (dB)	2,5			
Diagramme d'antenne hors axe choisi (pour l'estimation du brouillage avec le satellite adjacent)	$32 - 25 \log \varphi$ ($2^\circ < \varphi < 8^\circ$)			
Précision de poursuite de l'antenne (degrés)	$\pm 0,05$			
Contribution au bruit de liaison ⁽²⁾	La contribution relative réelle dépend d'un certain nombre de facteurs tels que la taille de l'antenne de réception et la nature de la liaison (transparente ou avec remodulation) $C/I_{Liaison} = 20$ dB (transparente) $C/I_{Liaison} = 30$ dB (avec remodulation)			
Contribution au bruit de liaison montante	$C/(N + I)_{Total} = 20$ dB (transparente) $C/(N + I)_{Total} \rightarrow \infty$ (avec remodulation)			
Température de bruit du système (dépend de l'angle d'élévation)	460 K (valeur type pour un angle d'élévation de 25°) avec un amplificateur à faible bruit/bloc à faible bruit présentant un facteur de bruit de 3 dB			

(1) Voir le § 4.1.

(2) Le bruit de liaison inclut les contributions contrapolaires, du canal adjacent et du produit d'intermodulation.

On a supposé que le diagramme d'antenne de la station spatiale OSG du SFS était le suivant:

Gain (dB) par rapport au faisceau principal:

$$\begin{aligned} & -12 (\varphi/\varphi_0)^2 && \text{pour } 0 \leq (\varphi/\varphi_0) \leq 1,45 \\ & -(22 + 20 \log (\varphi/\varphi_0)) && \text{pour } 1,45 < (\varphi/\varphi_0) < 4,5 \end{aligned}$$

où:

φ : angle hors axe (degrés)

φ_0 : ouverture du faisceau à mi-puissance (degrés)

2.1 Hypothèses relatives au bilan de liaison

Pour tous les calculs relatifs au cas de satellites à répéteur transparent ou à répéteur avec remodulation, les hypothèses habituelles suivantes ont été utilisées:

- La station terrienne passerelle est placée au bord du faisceau ponctuel du satellite c'est-à-dire à 2 dB en dessous de la valeur au centre du faisceau.
- La même fréquence de liaison descendante est utilisée par 4 autres faisceaux du satellite et ont la même polarisation. Il existe un espacement géographique suffisant entre chaque faisceau de sorte que le rapport C/I imputable à chaque faisceau cofréquence/copolaire est de 30 dB et que la valeur cumulée de ce rapport est de 24 dB.
- Tous les faisceaux de liaison du satellite sont à polarisation circulaire.
- Pour l'attribution des brouillages par les systèmes de Terre, on suppose que la contribution au brouillage de ces systèmes est tout juste suffisante pour abaisser la marge pour le système de manière telle que la disponibilité de liaison est affectée de façon telle que l'indisponibilité en présence de brouillage par les systèmes de Terre est supérieure de 10% à l'indisponibilité en l'absence d'un tel brouillage.
- Dans des conditions d'évanouissement dû à la pluie, sur le trajet oblique provenant du satellite, seul le C/N thermique est affecté. Dans ces conditions, ce rapport est diminué par la somme de:
 - l'évanouissement dû aux précipitations A_p (dB) tel que déterminé dans la Recommandation UIT-R P.618; et
 - la dégradation due au bruit thermique pendant l'évanouissement dû à la pluie de A_p .

Pour l'attribution de bruit de liaison, $C/I_{Liaison}$, les configurations avec répéteur transparent et répéteur à remodulation ont été traitées différemment. Pour les répéteurs transparents, on a supposé que la porteuse reçue était l'une des nombreuses porteuses d'un répéteur à accès multiple par répartition en fréquence (AMRF). Pour modéliser cette situation, on a attribué 20 dB au rapport C/I pour le bruit de liaison descendante étant donné que les produits d'intermodulation sont prépondérants sur la liaison descendante. On a également supposé que les petites antennes d'utilisateur émettaient avec une marge par ciel clair tout juste suffisante pour permettre l'utilisation de la commande de puissance sur la liaison descendante, ainsi le rapport C/I total sur la liaison montante ne sera vraisemblablement pas supérieur à 20 dB. Dans le cas d'un répéteur avec remodulation, on a supposé que le satellite émettait en direction des stations terriennes passerelles avec un répéteur monoposteuse. Pour modéliser cette situation on a attribué au rapport C/I correspondant au bruit de liaison descendante une valeur de 30 dB. Etant donné que dans le cas de répéteurs à remodulation, la liaison montante ne contribue pas au rapport C/N_{Total} une valeur importante (100 dB) a été affectée au rapport total C/I de liaison montante pour représenter cette situation.

3 Gabarit de limite de puissance surfacique utilisé pour l'analyse

On a utilisé un gabarit de puissance surfacique comme base de limitation de la puissance surfacique maximale, qu'il était possible d'obtenir avec un faisceau ponctuel émis depuis l'OSG vers un point de la surface de la Terre pour réception par une station terrienne passerelle. Un faisceau ponctuel a été positionné vers un point pour lequel l'angle d'incidence du faisceau ou du satellite avait par hypothèse une valeur minimale dans la zone de service considérée, ce qui correspondait au scénario du bord de la zone de couverture. Le gabarit de limite de puissance spectrale du Tableau 21-4 du RR est reproduit dans le Tableau 2. Bien qu'aucune analyse n'a été effectuée au moyen des limites de puissance surfacique spécifiées dans le Tableau 21-4 du RR applicables à la bande 40,5-42,0 GHz, compte tenu du fait que dans la fourchette d'angles d'élévation considérée dans la présente analyse, les limites de puissance surfacique spécifiées dans le Tableau 21-4 du RR sont très voisines et que l'on s'attend à avoir des performances voisines pour une station terrienne de taille donnée avec un angle d'élévation donné et en un point donné.

TABLEAU 2

Gabarit de limite de puissance surfacique utilisé pour l'analyse

Gabarit de puissance surfacique du Tableau 21-4 pour les bandes 37,5-40 GHz et 42-42,5 GHz	
Densité spectrale de puissance surfacique (dB(W/(m ² · MHz)))	Angle d'incidence δ au-dessus du plan horizontal
-127	$0 \leq \delta \leq 5^\circ$
$-127 + (4/3) (\delta - 5)$	$5^\circ \leq \delta \leq 20^\circ$
$-107 + (2/5) (\delta - 20)$	$20^\circ \leq \delta \leq 25^\circ$
-105	$25^\circ \leq \delta$

Dans tous les cas, on a supposé pour le calcul de disponibilité, que la station terrienne se trouvait à 45° de latitude et que le modèle de pluie était celui de la Recommandation UIT-R P.618. Les groupes de liaison avaient les caractéristiques communes suivantes:

Fréquence: 38,75 GHz

Latitude: 45° N

Altitude de la station terrienne: 0 m (au-dessus du niveau moyen de la mer)

Pression barométrique: 1 018,9 hPa

Altitude moyenne de l'isotherme 0° en conditions pluvieuses (h_R): 2,45 km (en Amérique du Nord et dans l'ouest de l'Europe jusqu'à 60° E comme indiqué dans la Recommandation UIT-R P.839)

Facteur de bruit de l'amplificateur à faible bruit/bloc à faible bruit à l'antenne de la station terrienne: 3,0 dB

Absorption atmosphérique: on a utilisé la Recommandation UIT-R P.676. Etant donné que les valeurs de la densité de vapeur d'eau peuvent évoluer à 45° N de latitude sur une fourchette étendue, on a supposé que les régions ayant des climats plus humides (c'est-à-dire, des taux de précipitation plus élevés) avaient des concentrations de vapeur d'eau plus élevées. En outre, les densités de vapeur d'eau plus élevées correspondent à des températures plus élevées. Comme dans la présente analyse il s'agit de démontrer l'effet de variations des paramètres atmosphériques (et autres paramètres) sur la disponibilité de liaison, on a retenu les valeurs suivantes:

Température de l'air, densité de la vapeur d'eau (taux de précipitation dépassé pendant 0,01% du temps):

15° C, 5 g/m³ (pour $R_{0,01} = 25$ mm/h), climat sec

18° C, 7,5 g/m³ (pour $R_{0,01} = 37,5$ mm/h), climat moyen

21° C, 10 g/m³ (pour $R_{0,01} = 50$ mm/h), climat humide

3.1 Gabarit de puissance surfacique utilisé

Dans tous les cas étudiés, on a utilisé les limites de puissance surfacique spécifiées dans le Tableau 21-4 du RR. Les niveaux de puissance surfacique sont produits par des faisceaux ponctuels dont l'ouverture est comprise entre 0,3 et 0,5° correspondant à des gains compris entre 55 et 50,5 dBi respectivement. Ces tailles de faisceaux ponctuels sont caractéristiques de certains des faisceaux à gain plus élevé des systèmes géostationnaires du SFS fonctionnant à 50/40 GHz qu'on envisage d'utiliser et pour lesquels les données visées à l'Appendice 4 du RR ont été fournies à l'UIT. La Fig. 11 représente les niveaux de puissance surfacique émis depuis une station spatiale utilisant des faisceaux ponctuels de 0,3°; 0,4°, 0,5° et 0,6° positionnés avec des angles d'incidence de 17,5°; 20°; 22,5° et 25°. Il convient de noter que, pour respecter les limites de puissance surfacique spécifiées dans le Tableau 21-4 du RR aux faibles angles d'incidence, la taille du faisceau ponctuel considéré devra être d'autant plus faible que l'angle d'élévation du faisceau ponctuel en direction d'une antenne de la station passerelle sera faible.

Etant donné les contraintes imposées par le gabarit de puissance surfacique défini dans le Tableau 21-4 du RR, les bilans de liaison ont été calculés pour des liaisons descendantes dirigées vers des stations terriennes passerelles équipées d'antennes dont le diamètre est compris entre 1,8 et 3,0 m pour des angles d'élévation de 25° jusqu'à 17,5° par pas de 2,5° pour chacun des trois ensembles de paramètres climatiques différents. Les courbes donnant les disponibilités calculées pour les trois climats considérés (25 mm/h, 37,5 mm/h et 50 mm/h) sont présentées aux Fig. 5, 6 et 7 respectivement pour les quatre tailles d'antenne dans le cas d'un répéteur transparent. De même, les courbes correspondant à l'utilisation d'un répéteur avec remodulation sont données aux Fig. 8, 9 et 10. Il convient de noter que les Fig. 5, 6 et 7 correspondent à la modulation MDP-4 et les Fig. 8, 9 et 10 à la modulation MDP-8.

FIGURE 5

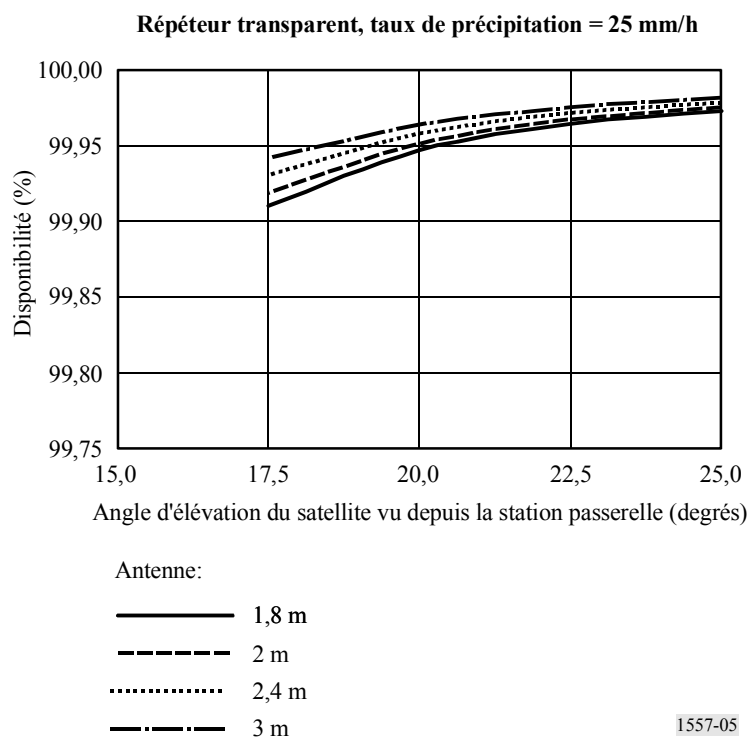
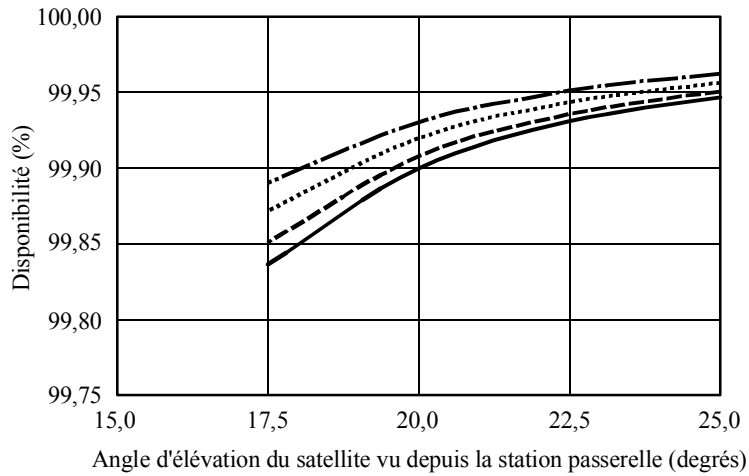


FIGURE 6

Répéteur transparent, taux de précipitation = 37,5 mm/h



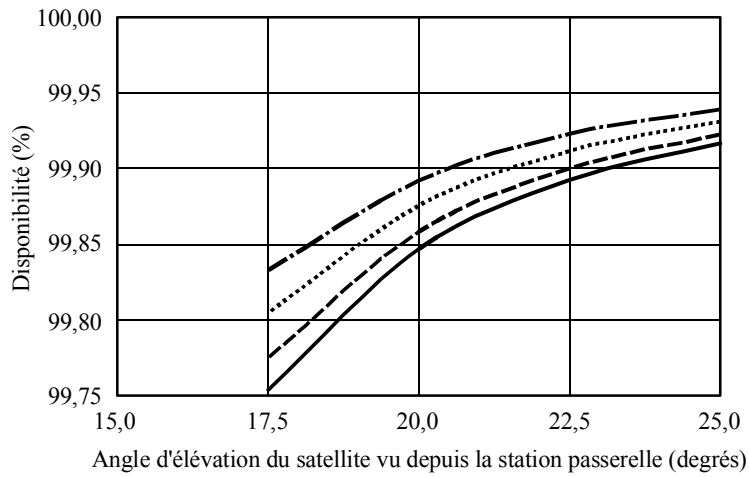
Antenne:

- 1,8 m
- - - 2 m
- 2,4 m
- · - · 3 m

1557-06

FIGURE 7

Répéteur transparent, taux de précipitation = 50 mm/h



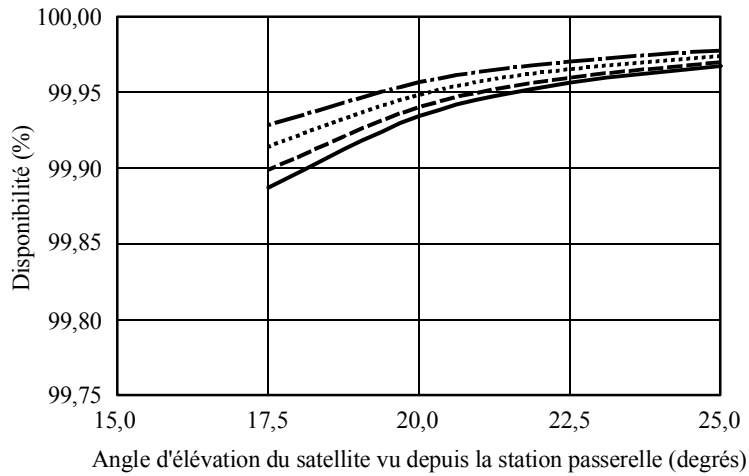
Antenne:

- 1,8 m
- - - 2 m
- 2,4 m
- · - · 3 m

1557-07

FIGURE 8

Répéteur avec remodulation, taux de précipitation = 25 mm/h



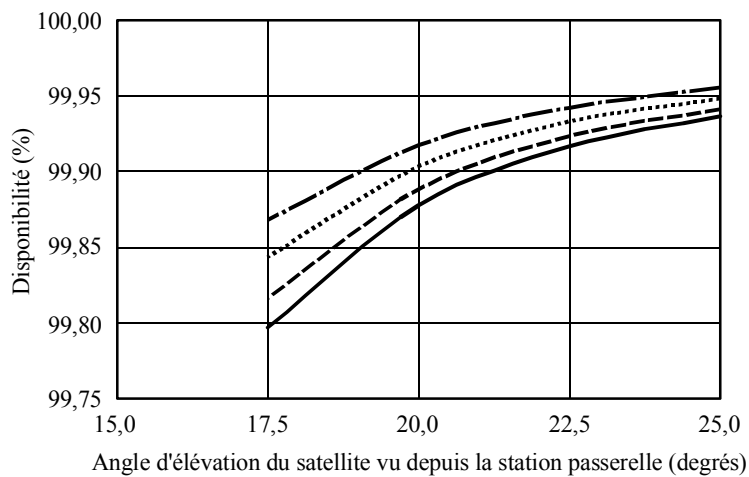
Antenne:

- 1,8 m
- - - 2 m
- 2,4 m
- · - · - 3 m

1557-08

FIGURE 9

Répéteur avec remodulation, taux de précipitation = 37,5 mm/h



Antenne:

- 1,8 m
- - - 2 m
- 2,4 m
- · - · - 3 m

1557-09

FIGURE 10

Répéteur avec remodulation, taux de précipitation = 50 mm/h

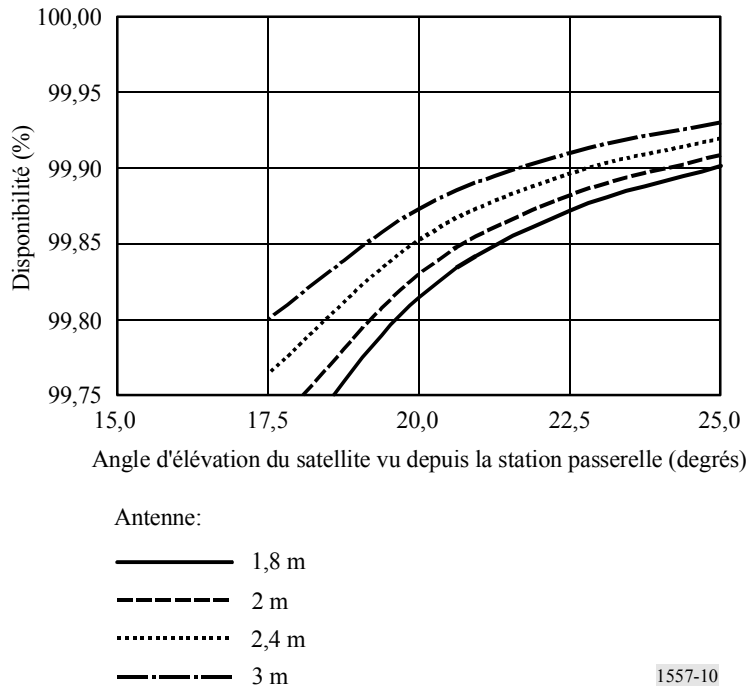
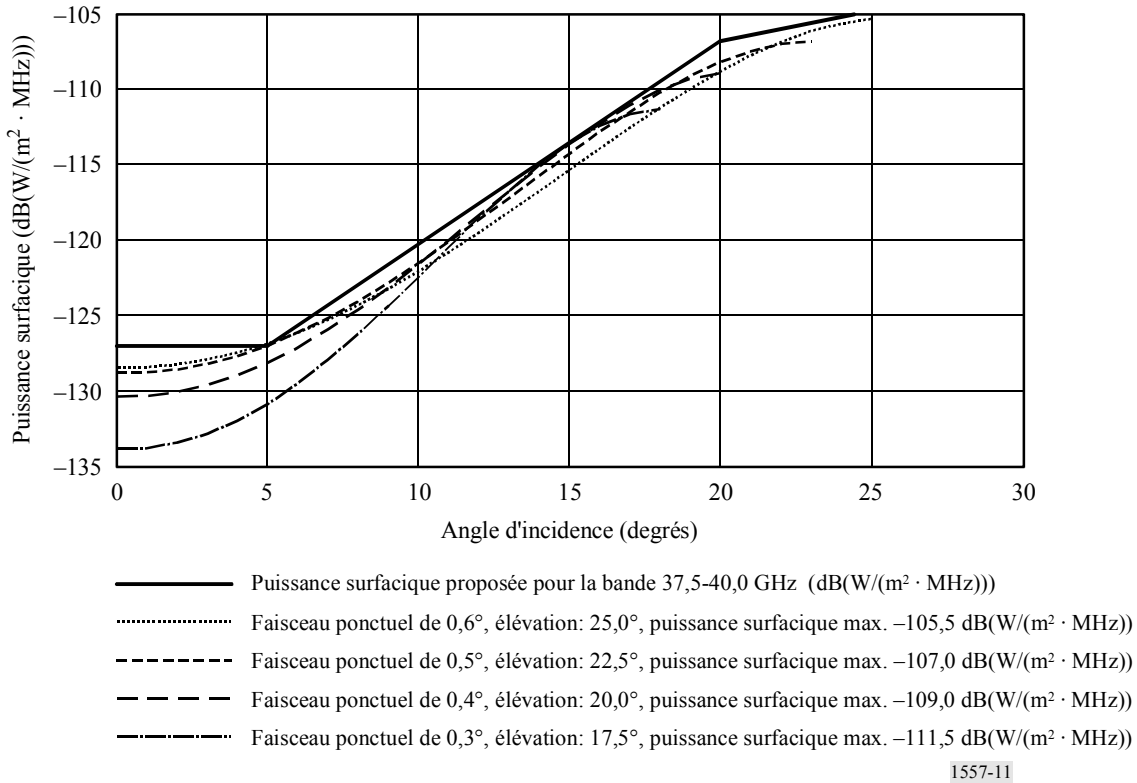


FIGURE 11

Tailles des faisceaux de liaison descendante du SFS/OSG et niveau de puissance surfacique maximum associé respectant la limite de puissance surfacique proposée dans la bande 37,5-40,0 GHz



4 Domaines dans lesquels d'autres études techniques sont nécessaires

4.1 Taille de l'antenne de station terrienne dans les bandes 50/40 GHz

La possibilité d'utiliser des antennes plus grandes (c'est-à-dire $D > 2,4$ m où $D/\lambda \gg 300$) à des fréquences supérieures à 30 GHz nécessite un complément d'étude sur les effets des déformations du réflecteur principal, les irrégularités de surface et la précision d'un système de poursuite pas à pas sur les caractéristiques d'antenne. Une augmentation du gain de l'antenne pour améliorer le rapport C/N par ciel clair sera en partie contrebalancée par l'augmentation de l'erreur de pointage de l'antenne de la station terrienne ayant une précision type de poursuite de $0,05^\circ$.

La possibilité d'utiliser à ces fréquences des antennes de grandes dimensions reste à étudier. Ainsi à la fréquence de réception de 39 GHz, une antenne de 3,7 m de diamètre aurait un rapport diamètre/longueur d'onde de 481. En outre, si l'on suppose que la fréquence d'émission de l'antenne est de 49 GHz, l'ouverture de faisceau à 3 dB serait de $0,11^\circ$ et le rapport diamètre/longueur d'onde de 605.

4.2 Nécessité d'un radôme et effet possible sur les caractéristiques de l'antenne par temps clair

En raison de la taille des gouttes de pluie, qui est supérieure dans les bandes de fréquences 50/40 GHz au quart de la longueur d'onde, les affaiblissements dus à la diffusion par la pluie seront importants. L'utilisation de revêtements de réflecteur hydrophobes pourrait éviter d'équiper les antennes de radômes et celles-ci présenteraient alors de meilleures caractéristiques par temps clair. L'affaiblissement du signal utile dans les conditions de ciel clair résultant de l'utilisation d'un radôme à ces fréquences n'est pas connu. Et dans les bilans de liaisons présentés ici, on suppose qu'il n'y a pas de radôme.

5 Discussion des résultats

Les Tableaux 3 à 8 présentent un récapitulatif et une comparaison des conditions sous lesquelles différents niveaux de qualité de fonctionnement des liaisons descendantes peuvent être obtenues. Les Tableaux 3, 4 et 5 correspondent aux Fig. 5, 6 et 7 et les Tableaux 6, 7 et 8 aux Fig. 8, 9 et 10. Le guide ci-dessous peut être utilisé pour établir une comparaison grossière des disponibilités de liaisons descendantes qu'il est possible d'obtenir sur les fourchettes de taille d'antenne, d'angle d'élévation et de paramètres climatiques considérés pour les répéteurs transparents (Tableaux 3 à 5) et les répéteurs à remodulation (Tableaux 6 à 8).

Guide d'interprétation des résultats

Qualité d'un signal reçu en fonction de la disponibilité de liaison

0: Disponibilité $< 99,90\%$ (inacceptable)

1: $99,90\% \leq$ Disponibilité $< 99,925\%$ (médiocre)

2: $99,925\% \leq$ Disponibilité $< 99,95\%$ (correcte)

3: $99,95\% \leq$ Disponibilité $< 99,975\%$ (acceptable)

4: Disponibilité $> 99,975\%$ (objectif dépassé).

TABLEAU 3

Répéteurs transparents (MDP-4, taux 5/6, RS 188,204 (Taux de pluie = 25 mm/h))

Angle d'élévation (degrés)	Diamètre de l'antenne réceptrice de la station terrienne passerelle (m)			
	1,8	2	2,4	3
17,5	1	1	2	2
20	2	3	3	3
22,5	2	3	3	4
25	3	3	4	4

TABLEAU 4

Répéteurs transparents (MDP-4, taux 5/6, RS 188,204 (Taux de pluie = 37,5 mm/h))

Angle d'élévation (degrés)	Diamètre de l'antenne réceptrice de la station terrienne passerelle (m)			
	1,8	2	2,4	3
17,5	0	0	0	0
20	0	1	1	2
22,5	2	2	2	3
25	2	3	3	3

TABLEAU 5

Répéteurs transparents (MDP-4, taux 5/6, RS 188,204 (Taux de pluie = 50 mm/h))

Angle d'élévation (degrés)	Diamètre de l'antenne réceptrice de la station terrienne passerelle (m)			
	1,8	2	2,4	3
17,5	0	0	0	0
20	0	0	0	0
22,5	0	1	1	1
25	1	1	2	2

TABLEAU 6

Répéteurs à remodulation (MDP-8, taux 2/3, RS 188,204 (Taux de pluie = 25 mm/h))

Angle d'élévation (degrés)	Diamètre de l'antenne réceptrice de la station terrienne passerelle (m)			
	1,8	2	2,4	3
17,5	0	0	1	2
20	2	2	2	3
22,5	3	3	3	3
25	3	3	3	4

TABLEAU 7

Répéteurs à remodulation (MDP-8, taux 2/3, RS 188,204 (Taux de pluie = 37,5 mm/h))

Angle d'élévation (degrés)	Diamètre de l'antenne réceptrice de la station terrienne passerelle (m)			
	1,8	2	2,4	3
17,5	0	0	0	0
20	0	0	1	1
22,5	1	1	2	2
25	2	2	2	3

TABLEAU 8

Répéteurs à remodulation (MDP-8, taux 2/3, RS 188,204 (Taux de pluie = 50 mm/h))

Angle d'élévation (degrés)	Diamètre de l'antenne réceptrice de la station terrienne passerelle (m)			
	1,8	2	2,4	3
17,5	0	0	0	0
20	0	0	0	0
22,5	0	0	0	1
25	1	1	1	2

5.1 Interprétation des résultats

Lorsqu'on utilise le gabarit de puissance surfacique du Tableau 21-4 du RR, il est possible d'obtenir pour les liaisons descendantes des disponibilités de l'ordre de 99,95% pour des angles d'élévation aussi faibles que 20° avec des tailles d'antenne comprises entre 1,8 et 3 m. La taille nécessaire de l'antenne pour obtenir des performances acceptables dépend de la zone climatique et de l'angle

d'élévation. Il est possible d'obtenir des disponibilités médiocres pour les liaisons descendantes présentant des angles d'élévation aussi faibles que $17,5^\circ$ dans les zones climatiques sèches seulement si l'on utilise des antennes plus grandes. Il sera possible d'obtenir des performances acceptables à condition d'utiliser des antennes de 1,8 m dans des climats secs et avec des angles d'élévation plus élevés. La possibilité d'utiliser des antennes de station terrienne du SFS de plus de 2,4 m dans les bandes 50/40 GHz appelle un complément d'étude (voir le § 4.1).

Si l'on compare les résultats obtenus pour les satellites à répéteurs transparents et ceux obtenus pour les satellites à répéteur à remodulation, il est évident que les performances de ces derniers types de satellite dépendent moins de la taille de l'antenne. Cela tient en particulier au fait que la contribution des autres bruits de liaison est plus faible. Toutefois, ces répéteurs sont plus sensibles au taux de pluie compte tenu du seuil de démodulation plus élevé (9,3 dB à comparer avec 7,1 dB pour les autres) associé à un schéma de modulation d'ordre plus élevé utilisé par le réseau à satellites dotés de répéteurs à remodulation. La qualité du signal diminue sensiblement avec le taux de pluie.

En général, on pourra obtenir un niveau de performance médiocre à acceptable avec des antennes de 2 à 2,4 m dans des zones climatiques où le taux de pluie est inférieur à 37,5 mm/h.

ANNEXE 3

Caractéristiques techniques du système OSG-V1 du SFS

Le système OSG-V1 a été conçu pour fonctionner dans les bandes 37,5-40,0 GHz et 42,0-42,5 GHz et servir à un petit nombre d'applications passerelles coordonnées individuellement en des centres pivots point d'accès aux fibres dispersés. Le système OSG-V1 devrait offrir une disponibilité de liaison de bout en bout d'au moins 99,9% avec les passerelles ou les liaisons pivots. Selon le lieu d'implantation des stations centrales/points d'accès aux fibres, le diamètre de l'antenne pourra atteindre 3 m. Les débits de données seront compris entre ceux correspondant à la qualité vidéo conférence et ceux à très haut débit de dix STM-4 (6,22 Gbit/s) en passant par le STM-1 (155 Mbit/s). Dans ces bandes, les dégradations dues à la propagation sont très importantes. Afin d'obtenir la disponibilité de liaison recherchée tout en ne dépassant pas les niveaux de puissance surfacique spécifiés dans le Tableau 21-4 du RR et dans le *décide* 2 de la Résolution 84 (CMR-2000), on utilisera un débit de données, une modulation et un codage variables. La gravité des dégradations de propagation, ainsi que les exigences de protection du service fixe dans les bandes 37,5-40,0 GHz et 42,0-42,5 GHz, altéreront les possibilités de mise en oeuvre des systèmes du SFS qui, sans ces contraintes auraient présenté des caractéristiques optimales.

Dans le système OSG-V1, il est prévu d'utiliser la bande 40,0-42,0 GHz avec des VSAT placées en tout point de la zone de service. La disponibilité minimale de bout en bout des liaisons d'utilisateur VSAT sera de 99,7%. Le diamètre des antennes des VSAT d'utilisateur sera compris entre 0,5 et 1 m. Le débit de données à la réception sera compris entre le STM-1 (155 Mbit/s) et quatre STM-1 (4×155 Mbit/s) selon le lieu, la taille de l'antenne et la disponibilité de la liaison. Pour ces liaisons, le TEB sera compris entre environ 1×10^{-7} et 1×10^{-10} .

Les caractéristiques des liaisons descendantes du système OSG-V1 du SFS fonctionnant dans la bande 37,5-42,5 GHz sont données dans les Tableaux 9 et 10.

TABLEAU 9

Caractéristiques des liaisons descendantes du système OSG-V1 fonctionnant dans les bandes 37,5-40,0 GHz et 42,0-42,5 GHz

Paramètre	Station centrale	
	Conditions nominales de fonctionnement	Avec techniques de compensation des évanouissements sur les liaisons descendantes
Fréquence (GHz)	37,5-40 et 42-42,5	
Charge utile	Répéteur transparent	
Disponibilité de liaison (%)	Jusqu'à 99,9 de bout en bout	
Débit de données ⁽¹⁾	$N \times 622$ Mbit/s; $N = 1$ à 10 Jusqu'à 6,22 Gbit/s (sur une porteuse)	$N \times 155$ Mbit/s; $N = 1$ à 10 Jusqu'à 1,55 Gbit/s (sur une porteuse)
Méthode d'accès	AMRF/MRT ou MRT	
Modulation	MDP-8	MDP-4-O
Codage	RS	Code à concaténation
Taux de codage	0,90	0,45
Largeur de bande d'un canal	250 MHz pour 622 Mbit/s; 2,5 GHz pour 10×622 Mbit/s 2,5 GHz pour $1 \times 6,22$ Gbit/s	250 MHz pour 155 Mbit/s; 2,5 GHz pour 10×155 Mbit/s 2,5 GHz pour $1 \times 1,55$ Gbit/s
Gain d'antenne à la réception (dBi)	58,57	
Ouverture du faisceau d'antenne (degrés)	0,19	
Polarisation	Circulaire	
Température de bruit à la réception (K)	800	
Dégradation/attribution pour les brouillages (dB) ⁽²⁾	1,5	
Autres affaiblissements (dB) ⁽³⁾	2,0	
Marge pour le système (dB)	1,0	
TEB	1×10^{-9} ou mieux	
E_b/N_0 exigé à la réception (dB) ⁽⁴⁾	9,37	4,88
E_b/N_0 exigé pour les liaisons descendantes (dB) ⁽⁵⁾	12,37	7,88

MDP-4-O: modulation par quadrature de phase décalée

MRT: multiplexage par répartition dans le temps

- (1) N est choisi sur la base des conditions de propagation, on peut aussi ajuster le débit de données à l'émission pour obtenir la disponibilité de liaison souhaitée.
- (2) Dégradation due aux brouillages intrasystème et inter-systèmes.
- (3) Inclut l'affaiblissement de pointage, l'affaiblissement atmosphérique et l'affaiblissement de scintillation.
- (4) Inclut l'affaiblissement de mise en oeuvre.
- (5) On suppose que le rapport C/N (ou E_b/N_0) de liaison montante est égal au rapport C/N (ou E_b/N_0) de liaison descendante. Par conséquent, le rapport E_b/N_0 de liaison descendante doit être supérieur de 3 dB au rapport E_b/N_0 exigé.

TABLEAU 10

Caractéristiques des liaisons descendantes du système OSG-V1 fonctionnant dans la bande 40,0-42,0 GHz

Paramètre	Système du SFS fonctionnant dans la bande 40-42 GHz			
	Répéteur transparent		Charge utile avec traitement	
Modulation	MDP-8	MDP-4-O	MDP-8	MDP-4-O
Fréquence (GHz)	41		41	
Limite de couverture (dB)	3,5		3,5	
Disponibilité de liaison (%) ⁽¹⁾	99,7 ou plus		99,7 ou plus	
Débit de données (Mbit/s) ⁽²⁾	Jusqu'à 622	Jusqu'à 465	Jusqu'à 622	Jusqu'à 465
Méthode d'accès	MRT		MRT	
Codage/taux de code ⁽³⁾	Code à concaténation/taux de code ajustable			
Largeur de bande de codage	250 MHz pour 622 Mbit/s	250 MHz pour 155 Mbit/s	250 MHz pour 622 Mbit/s	250 MHz pour 155 Mbit/s
Diamètre d'antenne (m) ⁽⁴⁾	0,5		0,5	
Gain de l'antenne à la réception (dBi)	45		45	
Ouverture à 3 dB du faisceau (degrés)	0,98		0,98	
Polarisation	Circulaire		Circulaire	
Température de bruit à la réception (K)	800		800	
Dégradation due aux brouillages (dB) ⁽⁵⁾	2,0		2,0	
Autres affaiblissements (dB) ⁽⁶⁾	2,0		2,0	
Marge système (dB)	1,0		1,0	
TEB	1×10^{-10}		1×10^{-10}	
E_b/N_0 exigé (dB) ⁽⁷⁾	9,36	7,0	9,36	7,0
E_b/N_0 de liaison descendante exigé (dB) ⁽⁸⁾	12,36	10,0	9,36	7,0

(1) Dépend des coordonnées de l'utilisateur.

(2) Dépend des coordonnées de l'utilisateur et du taux de précipitation.

(3) Dépend de la marge d'affaiblissement dû à la pluie requise.

(4) La taille réelle de l'antenne dépend des coordonnées de l'utilisateur, du débit de données exigé et de la disponibilité de liaison.

(5) Dégradation due aux brouillages intrasystème et inter-systèmes.

(6) Inclut l'affaiblissement de pointage, l'affaiblissement atmosphérique et l'affaiblissement de scintillation.

(7) Inclut l'affaiblissement de mise en oeuvre.

(8) On suppose que le rapport C/N (ou E_b/N_0) de liaison montante est égal au rapport C/N (ou E_b/N_0) de liaison descendante. Par conséquent, le rapport E_b/N_0 de liaison descendante doit être supérieur de 3 dB au rapport E_b/N_0 exigé.

ANNEXE 4

Station d'utilisateur: caractéristiques techniques du système OSG du SFS MULTIMEDIASAT

Dans la bande 37,5-42,5 GHz, le système MULTIMEDIASAT est prévu pour fonctionner avec des VSAT placées en tout point de la zone de service et offrir différents types d'applications (vidéo à la demande, accès IP, diffusion de données, ...). La disponibilité de bout en bout des liaisons d'utilisateur (VSAT) sera d'au moins 98%. Le diamètre d'antenne des microstations sera de 0,3 ou de 0,6 m, le débit de données à la réception de 25,4 Mbit/s en présence de dégradations dues à la propagation, ou de 38,1 Mbit/s dans des conditions de ciel clair. L'adaptabilité du débit binaire aux conditions de transmission permet à certaines données de rester constantes dans des conditions de quasi-pluie: ainsi le TEB de ces liaisons sera de 1×10^{-10} et la largeur de bande de canal sera également constante tandis que le rapport E_b/N_0 sera maintenu à 7,0 dB. L'angle d'élévation opérationnel minimal pris en considération pour ce système est de 25°.

TABLEAU 11

Caractéristiques des liaisons descendantes du système MULTIMEDIASAT fonctionnant dans la bande 37,5-42,5 GHz

Paramètres	Station pivot			
	Conditions nominales d'exploitation		Avec pluie	
Fréquence (GHz)	37,5-42,5			
Charge utile	Répéteur transparent			
Disponibilité de liaison (%)	Jusqu'à 98 de bout en bout			
Débit de données (Mbit/s)	38,1		25,4	
Méthode d'accès	AMRF/MRT ou MRT			
Modulation	MDP-8		MDP-4	
Codage	RS et CED			
Taux de codage	(204,188) pour code RS, et 1/2 pour le code CED			
Largeur de bande de canal (MHz)	36			
Diamètre d'antenne (m)	0,3	0,6	0,3	0,6
Gain d'antenne à la réception (dBi)	40	46	40	46
Ouverture de faisceau de l'antenne (degrés)	1,65	0,82	1,65	0,82
Polarisation	Rectiligne (horizontale et verticale)			
Température de bruit à la réception (K)	350			
Dégradation inter-systèmes et intrasystème (dB)	4,1	5,2	2,3	4,3
Autres affaiblissements (dB) ⁽¹⁾	2,0			
Marge système (dB)	1,0	1,7	1,0	4,0
TEB	1×10^{-10}			
E_b/N_0 exigé (dB) ⁽²⁾	7,0			

(1) Inclut l'affaiblissement de pointage, l'affaiblissement atmosphérique et l'affaiblissement de scintillation.

(2) La valeur du rapport E_b/N_0 tient compte des variations diurnes de la puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.)

Il convient de noter que les niveaux de puissance surfacique opérationnels sont conformes avec ceux spécifiés dans le Tableau 21-4 du RR et que d'éventuelles utilisations de limites de puissance surfaciques inférieures (par exemple, diminuées de 12 dB) ne permettront pas d'utiliser le système inutilisable sous toutes les conditions.

ANNEXE 5

Station d'utilisateur: caractéristiques techniques du système OSG à haute densité du SFS

Les paramètres systèmes de ce système OSG du SFS prévu pour fournir des services à satellite à haute densité sont présentés dans le Tableau 12. Ce système est prévu pour une desserte régionale comprenant l'Europe, le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord. Cette zone de service est couverte par un satellite OSG doté d'une antenne multifaisceau (72 faisceaux ponctuels présentant chacun une largeur de faisceau de $0,65^\circ$). Les bilans de liaisons ont été calculés pour une liaison aller et pour une station d'utilisateur placée à deux endroits différents en Europe (l'Ouest de la France pour le cas 1 et l'Italie du Sud pour le cas 2). Les résultats sont présentés dans le Tableau 13. Le système est conçu pour respecter les limites de puissance surfacique spécifiées dans le Tableau 21-4 du RR dans la bande 37,5-42,5 GHz attribuées aux satellites OSG.

TABLEAU 12

Paramètres systémiques (OSG, station d'utilisateur)

Orbite	Géostationnaire
Altitude (km)	35 785,8
Couverture	Couverture régionale comprenant l'Europe, le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord
Nombre de faisceaux	72 par satellite
Ouverture de faisceau (degrés)	Diamètre : 0,65
Fréquence des liaisons montantes (GHz)	47,2 à 50,2
Fréquence des liaisons descendantes (GHz)	37,5 à 42,5
Liaison inter-satellites (oui ou non)	Non
Charge utile	Avec traitement à bord
Disponibilité du service (%)	99,50
Débit de données utile (Mbit/s)	2×55 par faisceau
Capacité du satellite	$72 \times 2 \times 55$ MHz = 7,92 Gbit/s
Méthode d'accès pour la liaison aller	Porteuses MRT
Méthode d'accès pour la liaison retour	AMRT-MF
Modulation	MDP-4
Codage	Codage Turbo
Largeur de bande du canal (MHz)	60
Nombre de répéteurs actifs	144
Puissance à saturation de l'ATOP (W)	120
Gain d'antenne à l'émission (maximum) (dBi)	48,8
p.i.r.e. de satellite à saturation (dBW)	61 au bord du faisceau
Gain d'antenne à la réception de la station d'utilisateur à 41 GHz	50,4 dBi pour un diamètre de 1 m (limite de couverture) 44,4 dBi pour un diamètre de 0,5 m (centre de couverture)
Ouverture du faisceau d'antenne à 3 dB et à 41 GHz	0,48° pour un diamètre de 1 m 0,95° pour un diamètre de 0,5 m
Polarisation	Linéaire
Température de bruit de la station d'utilisateur (K)	532 par ciel clair
TEB	1×10^{-9}
Rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ à respecter pour les liaisons descendantes (dB)	4,5

ATOP: amplificateur à tube à ondes progressives

TABLEAU 13
Caractéristiques utilisées pour établir le bilan de liaison
(OSG, station d'utilisateur: 0,5 m),
disponibilité 99,5%

	Cas 1		Cas 2	
	Ciel clair	Ouest de la France	Ouest de la France	Italie du Sud
	Avec pluie	Avec pluie	Avec pluie	Avec pluie
Fréquence des liaisons descendantes (GHz)	41,0	41,0	41,0	41,0
p.i.r.e. de satellite (dBW)	68,0	68,0	68,0	68,0
Dispersion spatiale (dB/m ²)	162,6	162,6	162,6	162,6
Débit binaire d'information (Mbit/s)	55,0	36,0	20,0	20,0
Taux de modulation (MDP-4)	2	2	2	2
Taux de codage	3/4	3/4	3/4	3/4
Débit de transmission (Msymbole/s)	40,7	26,7	14,8	14,8
Puissance surfacique (dB(W/m ²))	-96,6	-106,2	-108,6	-108,6
Puissance spectrale surfacique à la station terrienne (dB(W/(m ² · MHz)))	-112,7	-120,5	-120,3	-120,3
Densité maximale de puissance spectrale surfacique (dB(W/(m ² · MHz)))	-110,7	-108,9	-106,3	-106,3
E_b/N_0 (dB)	16,2	7,8	7,9	7,9
E_b/I_0 (dB)	14,3	14,3	14,3	14,3
$E_b/N_0 + I_0$ (dB)	11,1	5,9	6,0	6,0
Marge pour la mise en oeuvre du modem (dB)	0,8	0,8	0,8	0,8
E_b/N_0 exigé (dB)	4,5	4,5	4,5	4,5
Marge (dB)	5,8	0,6	0,7	0,7
Puissance spectrale surfacique du bruit (dB(W/(m ² · MHz)))	-121,9	-114,8	-112,3	-112,3
Puissance spectrale surfacique totale (dB(W/(m ² · MHz)))	-110,4	-107,9	-105,4	-105,4

ANNEXE 6

Station passerelle: caractéristiques techniques **du système non OSG du SFS**

Ce système est constitué d'une constellation équatoriale de type orbite moyenne qui offre aux passerelles de raccordement aux réseaux terrestres des connexions de circuits quasi permanentes à 155 Mbit/s entre un faisceau et un point quelconque de la Terre au moyen d'un anneau de liaison inter-satellites (LIS) à haut débit et avec une capacité de diffusion. Chaque satellite dispose au maximum de 5 faisceaux ponctuels indépendants dirigés sur les principales zones urbaines du monde. Les caractéristiques du système non OSG du SFS en projet assurant des liaisons descendantes fonctionnant dans la bande 37,5-42,5 GHz sont données dans le Tableau 14.

TABLEAU 14
Paramètres systémiques (non OSG, passerelle 3 m)

	Ciel clair
Orbite	Orbite moyenne (équatoriale)
Altitude (km)	12 000
Couverture (degrés)	± 56
Nombre de satellites	7
Nombre de faisceaux	35 (5 par satellite)
Fréquence (GHz) ⁽¹⁾	37,5-42,5
LIS	Oui
Charge utile	Répéteur transparent
Disponibilité du service (%)	99,95
Débit de données (Mbit/s) ⁽²⁾	$N \times 155$ par faisceau; $N = 1$ à 6
Capacité d'un satellite (sans LIS) (Gbit/s) ⁽²⁾	4,65
Méthode d'accès	AMRF
Modulation	MDP-4
Codage	3/4 convolutif et RS
Largeur de bande d'un canal (MHz)	160
Nombre de répéteurs (sauf LIS) ⁽²⁾	15 (actifs)
Puissance de l'ATOP à saturation (W)	100
Gain d'antenne à l'émission (maximum) (dB)	44,9
p.i.r.e. (dBW)	61,2
Gain d'antenne à la réception	47,5 dB à 49 GHz et 45,6 dB à 38 GHz
Ouverture à 3 dB du faisceau d'antenne à la réception	0,476° à 49 GHz
Polarisation	Rectiligne
Température de bruit à la réception (K)	700
Marge système (dB) ⁽³⁾	0,5
TEB	1×10^{-9}
E_b/N_0 de bout en bout exigé (dB)	5
E_b/N_0 exigé pour les liaisons descendantes (dB) ⁽⁴⁾	8

(1) Liaisons montantes: 42,5-43,5 GHz et 47,2-50,2 GHz.

(2) Données fondées 1,1 GHz en émission et en réception.

(3) 0,6 dB en présence de pluie.

(4) On suppose que le rapport C/N (ou E_b/N_0) de liaison montante est égal au rapport C/N (ou E_b/N_0) de liaison descendante. Par conséquent, le rapport E_b/N_0 de liaison descendante doit être supérieur de 3 dB au rapport E_b/N_0 de bout en bout exigé.