

RECOMMANDATION UIT-R S.1522

Effets de la perte de synchronisation et de la récupération du rythme sur la disponibilité dans les conduits numériques fictifs de référence

(Question UIT-R 73/4)

(2001)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que l'indisponibilité d'un conduit numérique fictif de référence (CNFR) est déterminée par les effets combinés de la disponibilité des équipements et de celle des liaisons;
- b) que dans certains cas, l'indisponibilité des équipements n'est pas due à la défaillance de ces équipements;
- c) que la Recommandation UIT-R S.521 indique que les CNFR peuvent assurer des fonctions telles que la démodulation/modulation, la correction d'erreurs, le stockage en mémoire tampon et le traitement au niveau du terminal de l'abonné ou de l'équipement des stations terriennes;
- d) que les CNFR peuvent prendre en charge des applications comme le MPEG-2 qui s'appuient sur des mécanismes de codage séquentiel sur plusieurs couches pouvant comprendre, entre autres, la sécurité des adresses, la compression des données ou encore la correction d'erreurs;
- e) que les CNFR peuvent aussi comprendre des applications numériques utilisant d'autres techniques de modulation et de codage comme la modulation par quadrature de phase (MDP-4), la modulation par déplacement de phase à 8 états (MDP-8), la modulation d'amplitude en quadrature (MAQ), la correction d'erreur directe (CED) à un taux de 1/2, 3/4, ou bien les codages Reed-Solomon (RS), Turbo, etc.;
- f) que le rétablissement de telles applications, après la perte du signal, prend parfois beaucoup de temps une fois ce signal rétabli;
- g) que conformément à la Recommandation UIT-R S.579, une liaison est considérée comme indisponible lorsqu'il y a perte du verrouillage de trame ou perte du rythme (synchronisation) du signal numérique reçu pendant plus de 10 secondes consécutives. Ces 10 secondes sont considérées comme le temps d'indisponibilité. La période de temps d'indisponibilité dure jusqu'au rétablissement du verrouillage (synchronisation) pendant 10 secondes consécutives;
- h) que la Recommandation UIT-R S.579 définit la disponibilité et l'indisponibilité d'un CNFR (qui peut comprendre certains éléments du point c) du *considérant* ci-dessus);
- j) que la synchronisation dans le CNFR d'un satellite peut également avoir une incidence sur la perte de synchronisation et la période de reconstitution des couches de protocole supérieures des circuits fictifs de référence (CFR);
- k) que les récepteurs MPEG-2 subissent des dégradations, de type images arrêtées, lorsque des blocs erronés apparaissent sur l'image vidéo et que ces dégradations peuvent être considérées comme des états d'indisponibilité,

recommande

- 1 qu'il soit tenu compte des temps de rétablissement lors de la détermination des exigences de disponibilité des décodeurs numériques dotés de systèmes de synchronisation complexes pouvant subir des dégradations de courte durée du signal en raison de la propagation ou des brouillages (voir l'Annexe 2);
- 2 que les décodeurs numériques sensibles, configurés comme indiqué au point 1 du *recommande*, soient utilisés dans le cas des liaisons conçues pour garantir que les sources de brouillage statistiques n'entraînent pas d'augmentation supplémentaire de la température de bruit équivalente de la liaison et, par conséquent, une perte de synchronisation;
- 3 que les niveaux $C/(N + I)$ indiqués dans le Tableau 1 soient utilisés lorsqu'on examinera la perte de synchronisation dans le cas de démodulateurs/décodeurs numériques types employant diverses techniques de modulation et de codage pour les systèmes à débits inférieurs ou égaux à 34 Mbit/s;
- 4 que, dans le cas où les objectifs de qualité de fonctionnement minimaux sont inférieurs aux valeurs indiquées au point 3 du *recommande*, on considère que le seuil de perte de synchronisation est inférieur de 1 dB à l'objectif de qualité de fonctionnement dégradée;
- 5 que, pour les démodulateurs/décodeurs numériques, les temps de rétablissement indiqués dans le Tableau 2 soient utilisés pour déterminer l'indisponibilité due à une perte de synchronisation dans un CNFR employant de tels démodulateurs/décodeurs numériques;
- 6 que, pour les applications utilisant des récepteurs MPEG-2, des blocs erronés apparaîtront dans l'image vidéo à un $C/(N + I)$ indiqué dans le Tableau 1, de 0,3 dB dans le cas d'un codage MDP-4, à taux 1/2-RS, et de 0,6 dB dans le cas d'un codage MDP-4 à taux 3/4-RS et 7/8-RS (voir l'Annexe 1).

NOTE 1 – La durée et la fréquence d'apparition des signaux brouilleurs peuvent contribuer à déterminer le niveau maximal de brouillage admissible. On constate que plusieurs occurrences de brouillage de courte durée peuvent générer des périodes d'indisponibilité plus longues que dans le cas de brouillages de plus longue durée, mais moins nombreux (voir l'Annexe 3). Ces conséquences, ainsi que celles des brouillages de courte durée (inférieurs à 1 s), appellent un complément d'étude.

NOTE 2 – Les effets de la perte de synchronisation dans le CNFR d'un satellite aux niveaux de protocole de couches supérieures d'une CFR doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

NOTE 3 – Le Tableau 2 a été élaboré à l'aide de la dernière série de données limitée disponible, reproduite dans l'Annexe 4; cette version provisoire est fournie en attendant que la question soit étudiée plus avant.

TABLEAU 1

**Niveaux $C/(N + I)$ types lors de l'évaluation
de la perte de synchronisation***

Modulation et codage	$C/(N + I)$ (dB)
MDP-4 taux 1/2	3,5
MDP-4 taux 3/4	5,3
MDP-4 taux 7/8	6,0
MDP-8	8,1
MAQ-16	11,0

* Compte tenu des données mesurées de l'Annexe 4.

TABLEAU 2 (voir la Note 3)

Valeurs maximales des temps de rétablissement mesurés

Modulation et codage	Débit binaire de la porteuse	Temps de rétablissement (s)
MDP-4 (taux CED 1/2)	64 kbit/s	40
	2 Mbit/s	4,5
MDP-4 (taux CED 3/4)	64 kbit/s	19,8
	2 Mbit/s	6
	8 Mbit/s	9,3
	34 Mbit/s	2,3
MDP-8 (taux CED 2/3 avec codage RS (201,219))	2 Mbit/s	3,1
	8 Mbit/s	9,1
	34 Mbit/s	4,0

ANNEXE 1

Considérations relatives aux CNFR utilisés pour fournir des services dont la disponibilité est sensible à la récupération du rythme de synchronisation

1 Introduction et objet

Une étude des processus de synchronisation de différents types de récepteurs a été menée sur la base de résultats de mesures ou de renseignements fournis par des constructeurs de récepteurs de stations terriennes. Les objectifs de cette étude étaient de déterminer la durée des brouillages et le niveau de puissance nécessaire pour entraîner une perte de synchronisation du récepteur. Le niveau de dégradation et le temps nécessaire à cette désynchronisation ont été déterminés pour chaque récepteur considéré. La durée de rétablissement de la synchronisation a également été déterminée pour chaque récepteur. Les résultats ont alors été quantifiés de façon à déterminer les critères de perte de synchronisation qui pourraient être applicables à tous les récepteurs de stations terriennes géostationnaires (OSG) du service fixe par satellite (SFS).

2 Récepteurs audio et vidéo numériques

On trouvera dans l'Annexe 2 la description d'un récepteur audio et vidéo numérique MPEG- type et de sa qualité de fonctionnement ainsi qu'une analyse des résultats des tests effectués. Ces résultats montrent qu'un canal satellite analogue à celui testé ci-dessus qui est mis en service avec un codage convolutif MDP-4 1/2-RS ou 7/8-RS concaténé et un taux d'erreur binaire (TEB) de 1×10^{-10} subirait une perte de synchronisation en cas d'augmentation du bruit de 2,2 dB pendant 1 à 2 s. En supposant que les niveaux nominaux $C/(N+I)$ soient rétablis après une perte de synchronisation, il faudrait 4 à 8 s supplémentaires pour que l'équipement revienne à un état de fonctionnement normal.

On a remarqué que des blocs erronés apparaissent sur l'image reçue à un niveau de seuil plus élevé que le niveau de perte de synchronisation. On considère que le signal vidéo MPEG-2 est indisponible lorsque des blocs erronés sont visibles sur l'image vidéo. Dans le cas d'un signal MPEG-2 codé par MDP-4 à un taux de 1/2, des blocs erronés sont apparus à un seuil C/N supérieur de 0,3 dB au seuil de perte de synchronisation. Dans le cas d'un signal MPEG-2 codé par MDP-4 à un taux de 7/8, des blocs erronés sont apparus à un seuil C/N supérieur de 0,6 dB au seuil de perte de synchronisation.

3 Récepteurs de données

Il ressort des résultats de tests de la qualité de fonctionnement de récepteurs numériques fonctionnant à divers débits binaires que leur marge pour la perte de synchronisation est du même ordre que les valeurs indiquées au § 2.1. Lorsque la valeur du rapport E_b/N_0 tombe au-dessous du seuil autorisé pendant 1 à 2 s, il y a perte de synchronisation en termes de fréquences et de données. Le temps nécessaire pour retrouver la synchronisation dépend de l'algorithme utilisé et de la largeur de bande qu'il doit balayer. En règle générale, cette durée est fonction du débit de données, de la méthode de modulation (modulation par inversion de phase (MDP-2), MDP-4, etc.), des techniques de codage/décodage et du taux de codage utilisé. La durée totale de récupération de la synchronisation en fréquence et en données varie, dans le cas de débits binaires moyens ou élevés, jusqu'à des valeurs en Mbit/s. Les résultats des tests illustrant la gamme des temps de rétablissement sont donnés dans le Tableau 8.

4 Services par paquets

Les services de données par paquets peuvent être affectés pour de plus longues périodes, même si le dysfonctionnement du système est de courte durée.

L'UIT-T considère qu'il y a indisponibilité lorsqu'un service est indisponible pendant au moins 10 s. Les informations d'acheminement relatives au service par paquets sont mises à jour toutes les 30 s. Un dysfonctionnement de courte durée et ses effets peuvent influencer sur deux cycles de ces mises à jour au maximum. On peut donc en conclure que même si la perte de synchronisation du récepteur ne dure que 1 à 15 s, les conséquences générales, y compris le temps de rétablissement du service, peuvent être une période d'indisponibilité bien plus longue de ce service.

5 Réseaux à satellite avec fonctions de traitement embarqué

Les satellites étant désormais équipés de systèmes de traitement embarqué, il faut aussi tenir compte de la perte de synchronisation sur la liaison montante de ces réseaux quand on évalue les conséquences du brouillage causé, notamment, par des systèmes non OSG à des systèmes OSG du SFS. Une étude complémentaire devra être faite pour déterminer les durées et les niveaux de brouillage nécessaires pour entraîner une perte de synchronisation des récepteurs de satellites dotés de fonctions de traitement embarqué.

6 Résumé et conclusions

Des tests de qualité de fonctionnement et de sensibilité aux brouillages ont été effectués sur différents types de récepteurs/démodulateurs fonctionnant ou qu'il est prévu d'exploiter dans les

bandes des 30/20 GHz et 14/11 GHz. Des renseignements complémentaires sur les autres configurations et les améliorations apportées aux techniques actuelles sont nécessaires.

Les résultats de tests effectués sur des récepteurs types utilisés pour les systèmes vidéo et audio numériques, les services de transmission de données et les applications vocales montrent que les niveaux de bruit ou de brouillage qui dépassent les niveaux de seuil C/N indiqués dans le Tableau 1 pendant un bref laps de temps entraînent une perte de synchronisation du récepteur. Ces tests montrent aussi que lorsque les signaux sont ramenés à leurs niveaux nominaux $C/(N + I)$, après une perte de synchronisation, les temps de rétablissement du récepteur dépendent de la modulation, du codage et du débit binaire (voir le Tableau 2). Il est nécessaire d'étudier plus en détail la durée et la fréquence d'apparition des sources de brouillage, afin de quantifier avec précision leurs effets sur les services pourvus de fonctions de synchronisation intégrées.

Pour les systèmes testés, il est évident que le temps de rétablissement du service est un facteur important à prendre en considération lorsque l'on détermine les exigences de qualité du service. Plusieurs facteurs influent sur la durée totale nécessaire au rétablissement du service, à savoir la synchronisation du démodulateur et des bits, la synchronisation de l'image, le décodage de la correction d'erreurs, la synchronisation de sécurité, le rétablissement des connexions pour les circuits téléphoniques et la réinitialisation des protocoles de transmission pour les circuits de données.

ANNEXE 2

Perte de synchronisation due à un brouillage de courte durée causé à un récepteur audio et vidéo numérique MPEG-2

1 Introduction

La présente Annexe traite du processus de synchronisation d'un récepteur vidéo numérique couramment utilisé par les radiodiffuseurs pour les reportages d'actualités par satellite et la distribution vidéo. Des récepteurs complexes du même type sont aussi utilisés pour des applications de réception directe chez le particulier et du service de radiodiffusion par satellite (SRS), la distribution de données, le transfert de fichiers, la diffusion de données, etc. Ce type de récepteur a été sélectionné pour les tests et l'évaluation, car les données vidéo font l'objet d'un codage complexe et sont fortement compressées lorsque la perte de synchronisation peut entraîner de longues interruptions. D'autres récepteurs conçus pour des types de services différents fonctionneront de la même manière, mais avec des durées d'interruption différentes.

2 Objectifs et approche

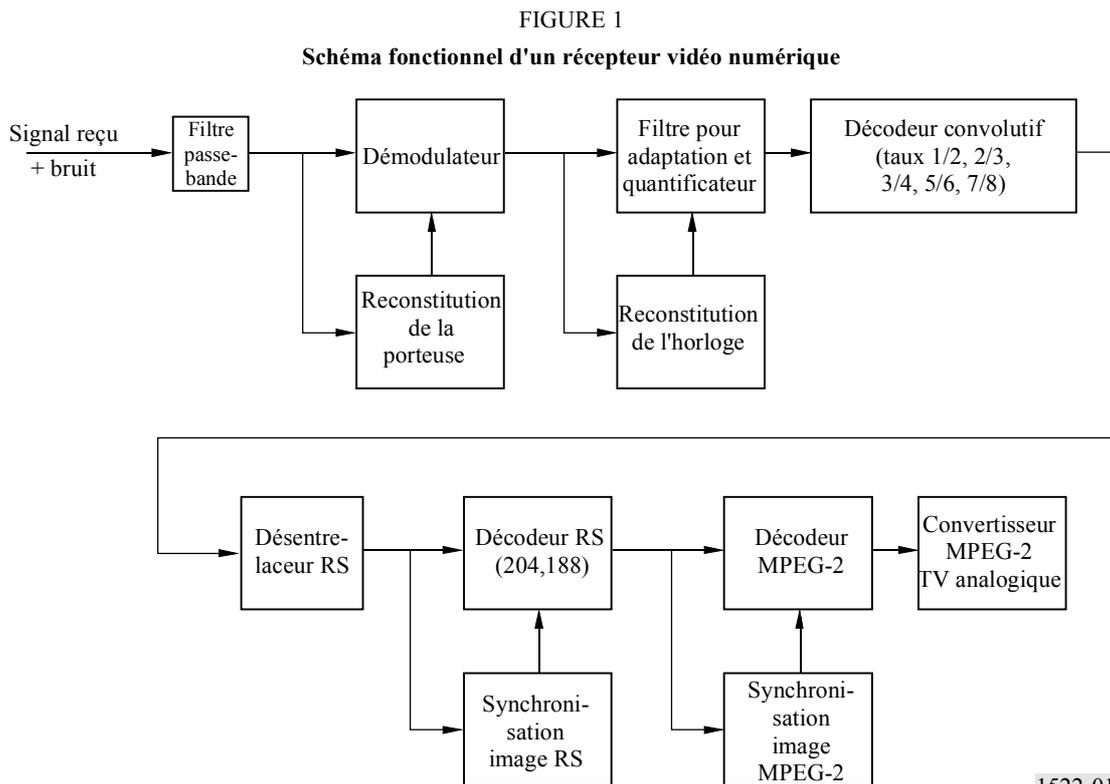
Les objectifs de l'étude étaient de déterminer la durée du brouillage et le niveau de puissance nécessaire pour entraîner une perte de synchronisation du récepteur et de caractériser sa durée d'interruption. Pour effectuer ces mesures, le brouillage a été modélisé sous la forme d'un bruit Gaussien, conformément aux procédures de tests reconnues relatives au brouillage provenant de sources numériques. Les mesures ont été faites en augmentant le niveau de bruit, afin de simuler la source de brouillage. Les tests initiaux visaient à définir la performance en matière de TEB du récepteur et les résultats ont été comparés aux spécifications du constructeur, afin de garantir un fonctionnement correct du système testé. Des tests supplémentaires ont été réalisés pour déterminer la durée

moyenne de perte de synchronisation et le temps de rétablissement. Des tests ont également été effectués afin de mesurer les effets des salves de bruit sur la qualité de fonctionnement du récepteur.

3 Description du récepteur

Le récepteur vidéo numérique testé comprend des décodeurs vidéo numériques MPEG-2 et numériques audio MPEG-2 sur un seul canal par porteuse. Ce type de configuration permet la réception directe de signaux audio et vidéo numérisés et de données provenant de transmissions par réseau à satellite. Lors du test, le signal reçu était modulé en MDP-4, lorsque le récepteur acceptait des débits allant de 2,5 Mbit/s à 15 Mbit/s.

On trouvera sur la Fig. 1 un schéma fonctionnel représentant la chaîne de traitement du récepteur. Le signal reçu est démodulé et filtré pour adaptation et les symboles détectés sont quantifiés. Les symboles quantifiés sont alors décodés de manière convolutionnelle (Viterbi). Le système peut être réglé à des taux de codage de 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, ou 7/8. Les symboles entrent alors dans un décodeur de type RS puis un désentrelaceur qui protège le décodeur RS contre les rafales d'erreurs générées par le décodeur Viterbi. Le décodeur RS produit des images au format MPEG-2. Celles-ci sont décodées et démultiplexées et le signal MPEG-2 est converti au format TV analogique.

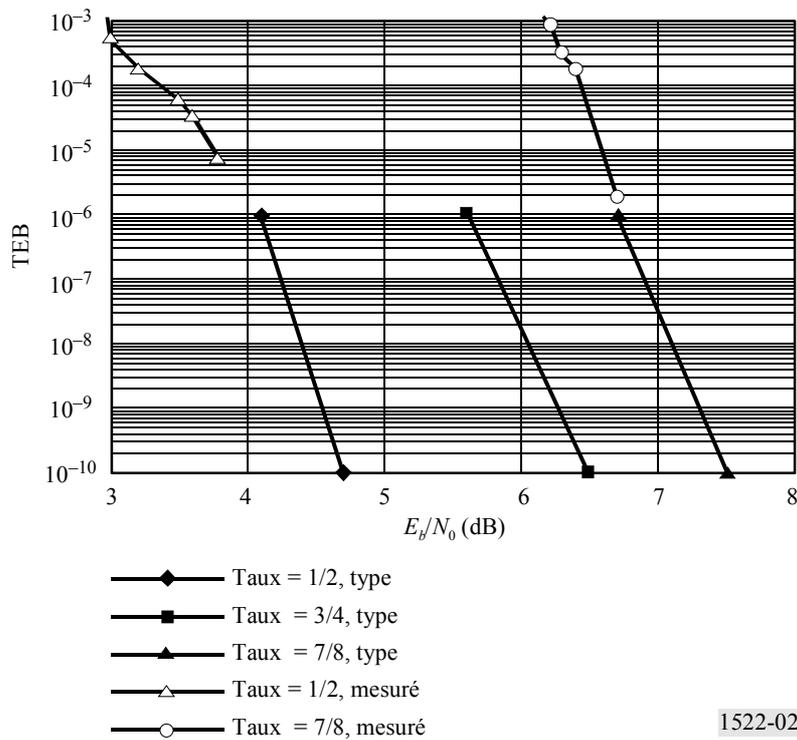


1522-01

Comme l'indique la Fig. 1, le récepteur possède plusieurs niveaux de synchronisation, de la récupération de la porteuse initiale à la synchronisation de l'image MPEG-2 précédant sa conversion au format de télévision analogique. En général, les fonctions de synchronisation de niveau supérieur sont davantage exposées au risque de perte de synchronisation que les fonctions de niveau inférieur. Par conséquent, la synchronisation de l'image et du codage sera perdue avant celle de la porteuse. La perte et le rétablissement de la synchronisation sont essentiellement des fonctions logicielles. Le comportement du récepteur peut donc dépendre du logiciel spécifique utilisé.

La Fig. 2 présente des courbes de qualité de fonctionnement caractéristiques du décodeur RS, pour différents taux de codage convolutionnel. Le seuil de qualité de fonctionnement par ciel clair est généralement fixé au point où la valeur du TEB = 1×10^{-10} , ce qui correspond à un rapport $E_b/N_0 = 4,7$ dB pour un taux de codage de 1/2, et un rapport $E_b/N_0 = 7,5$ dB pour un taux de codage de 7/8.

FIGURE 2
TEB après décodage RS/Viterbi



1522-02

Les seuils d'évanouissement sont définis ici comme le point de fonctionnement minimal du récepteur. Dans le cas de réseaux à satellite, ces seuils sont placés au point où la valeur du TEB = 1×10^{-6} . Le Tableau 3 donne les seuils d'évanouissement du rapport E_b/N_0 pour différents taux de codage à convolution.

TABLEAU 3

Seuils d'évanouissement pour un TEB = 1×10^{-6}

Taux	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
E_b/N_0 (dB)	4,1	4,8	5,6	6,1	6,7

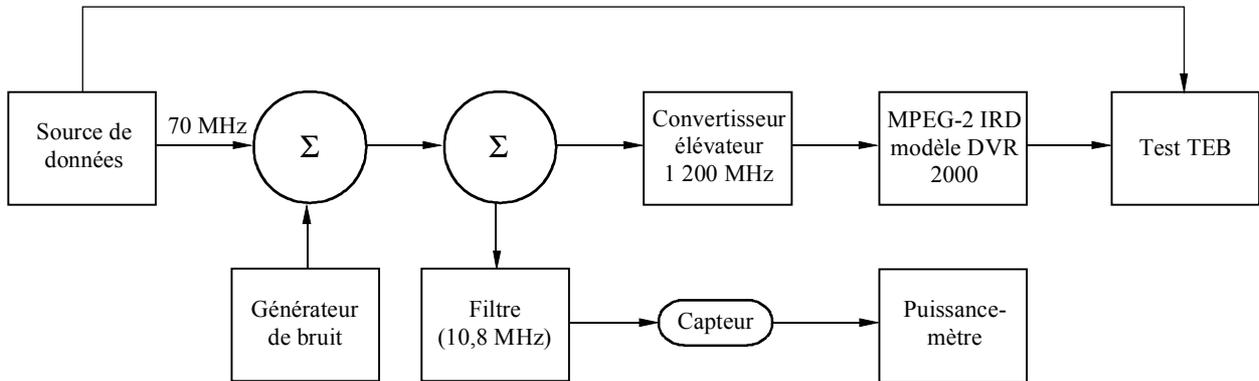
3.1 Qualité de fonctionnement du récepteur

La Fig. 3 présente le montage utilisé pour le test TEB visant à vérifier le fonctionnement du matériel testé. Le débit de transmission était de 3,68 Mbit/s. Deux taux de codage différents (1/2 et 7/8) ont été testés. La qualité de fonctionnement du récepteur est présentée dans la Fig. 2. Il a

été difficile de mesurer des TEB très faibles en raison du temps considérable nécessaire pour effectuer les mesures. Cependant, les résultats semblent concorder avec la qualité de fonctionnement type des modems. La qualité de fonctionnement de ce système a été comparée à celle d'autres systèmes et les résultats ont concordé, à 0,3 dB près.

FIGURE 3

Montage utilisé pour le test TEB



DVR: récepteur vidéo numérique
IRD: récepteur-décodeur intégré

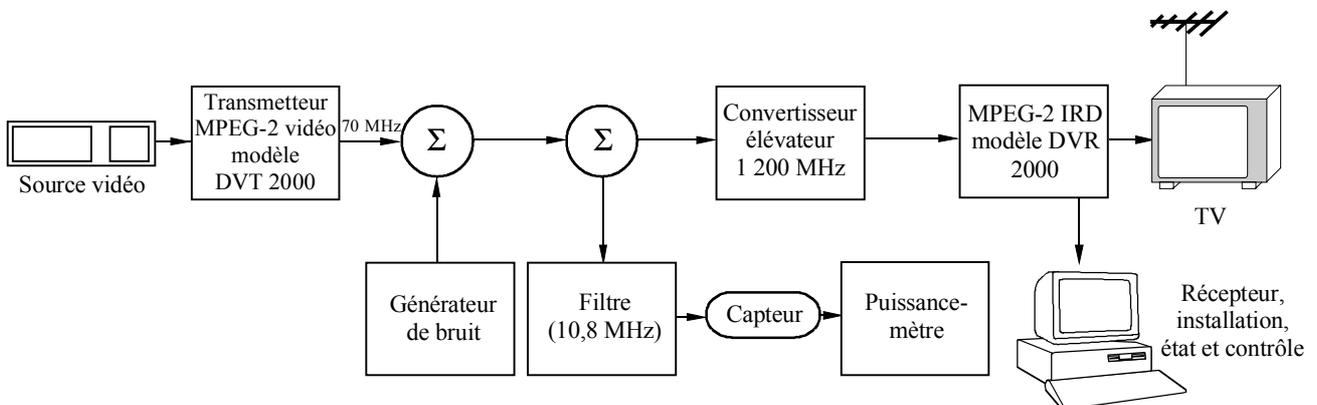
1522-03

4 Matériel utilisé pour tester le système

La Fig. 4 décrit le montage utilisé pour le test visant à évaluer le mécanisme de synchronisation du récepteur. La source vidéo choisie était un programme sportif. Ce test a montré que la qualité de fonctionnement du récepteur était liée à la quantité de mouvements présents dans la vidéo. Cette source a été choisie en raison de son contenu, constitué de mouvements systématiquement désordonnés et imposant de lourdes contraintes aux algorithmes de compression vidéo.

FIGURE 4

Montage utilisé pour le test des données vidéo



DVT: transmetteur vidéo numérique

1522-04

Les mesures de puissance ont été effectuées en termes de rapport C/N , puis exprimées en termes de E_b/N_0 , à l'aide de la formule suivante:

$$E_b/N_0 = C/N + 10 \log (B_n/d_r) = C/N + 4,68 \quad (1)$$

où:

B_n : largeur de bande du bruit = 10,8 MHz

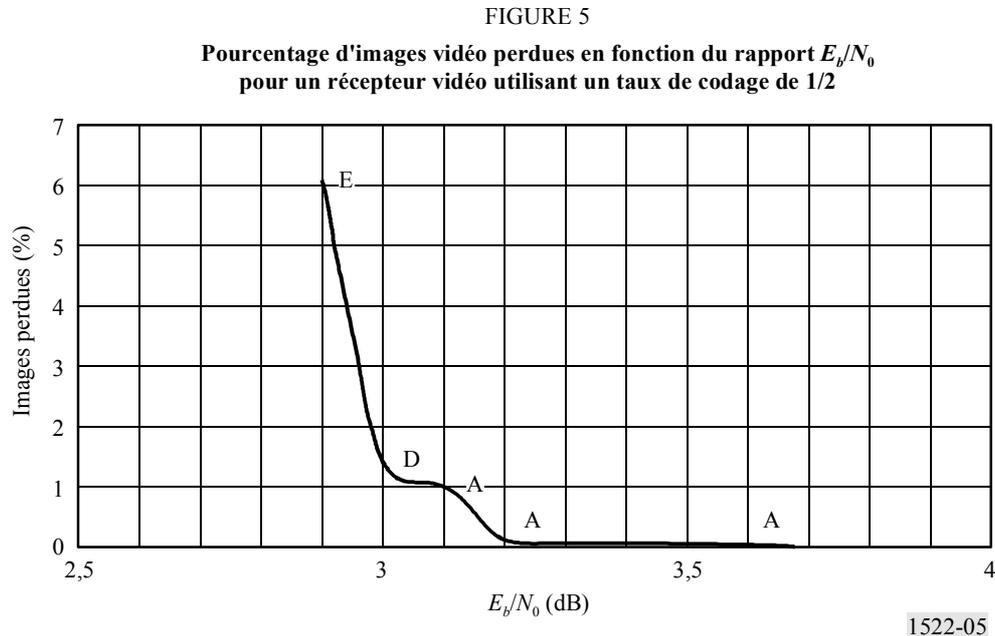
d_r : débit binaire = 3,68 Mbit/s.

Le récepteur utilisé pour le test présentait une interface externe lui permettant d'être commandé localement par un terminal. Il était également possible d'afficher des diagnostics sur ce terminal, tels que le nombre d'images sautées et répétées qui étaient imprimées toutes les 5 s ou encore des renseignements sur l'état de la synchronisation. Le test a également permis un affichage vidéo sur écran de télévision, avec indication subjective de la qualité de fonctionnement.

4.1 Résultats du test du système

4.1.1 Perte de synchronisation

Les Fig. 5 et 6 indiquent le nombre d'images perdues en fonction du rapport E_b/N_0 pour des taux de codage de 1/2 et 7/8 respectivement. Pour chaque point de mesure E_b/N_0 , les résultats fournis sont des moyennes calculées sur 2 min. Les fortes pentes de ces courbes traduisent la sensibilité des codages à convolution/RS concaténés. En dessous du point E_b/N_0 où le taux de perte d'images est supérieur à 6% environ, il y a perte de synchronisation du récepteur. Ces points correspondent à un TEB de 1×10^{-3} environ.

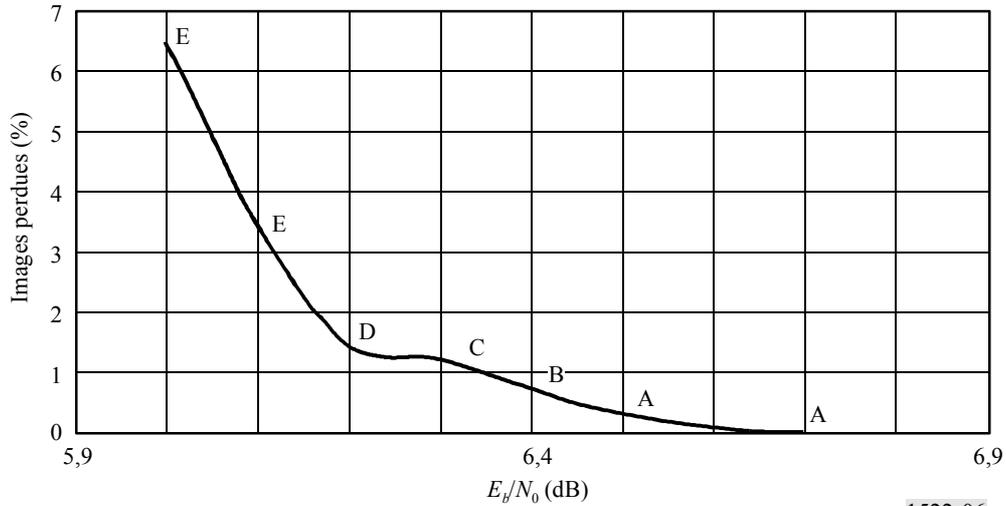


Un écran TV a permis d'évaluer de manière subjective la qualité de l'image. Cette évaluation subjective est exprimée en lettres dans les Fig. 5 et 6, dont la signification est la suivante:

- A: image nette
- B: sauts ou blocs erronés occasionnels sur l'image
- C: sauts ou blocs erronés fréquents sur l'image
- D: image encore visible
- E: image indiscernable.

FIGURE 6

Pourcentage d'images vidéo perdues en fonction du rapport E_b/N_0
pour un récepteur vidéo utilisant un taux de codage de 7/8



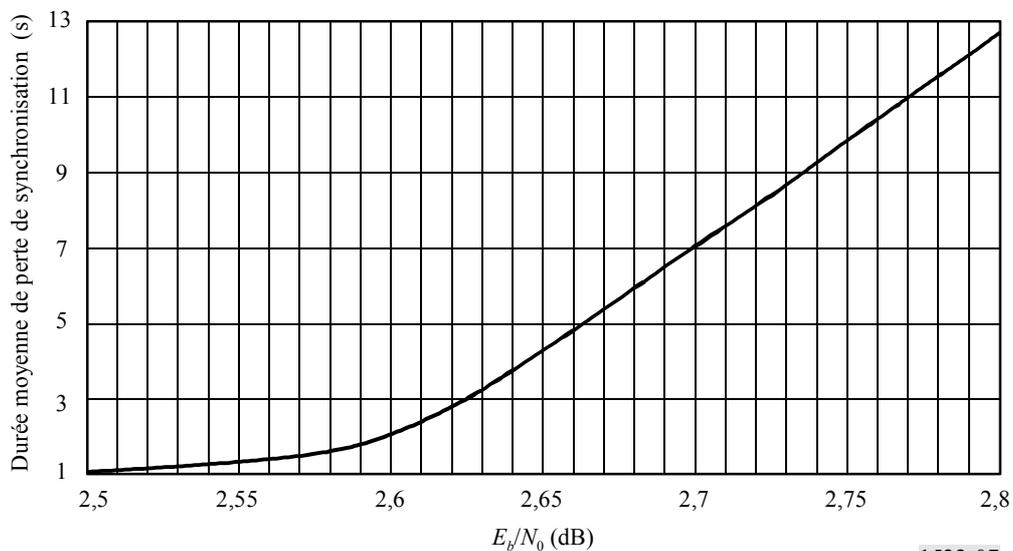
1522-06

4.1.2 Durée moyenne de perte de synchronisation

La durée moyenne de perte de synchronisation a été calculée pour un rapport E_b/N_0 inférieur à un taux de perte d'images de 6%. Les Fig. 7 et 8 donnent la durée moyenne de perte de synchronisation pour des taux de codage de 1/2 et 7/8 respectivement. Pour effectuer ces mesures, on a verrouillé le récepteur sur un rapport E_b/N_0 élevé, puis on a ramené ce rapport à la valeur utilisée pour le test et on a enregistré le temps écoulé pour la perte de synchronisation. Ces durées ont été mesurées en observant une horloge. Dix mesures ont été faites en moyenne pour chaque rapport E_b/N_0 .

FIGURE 7

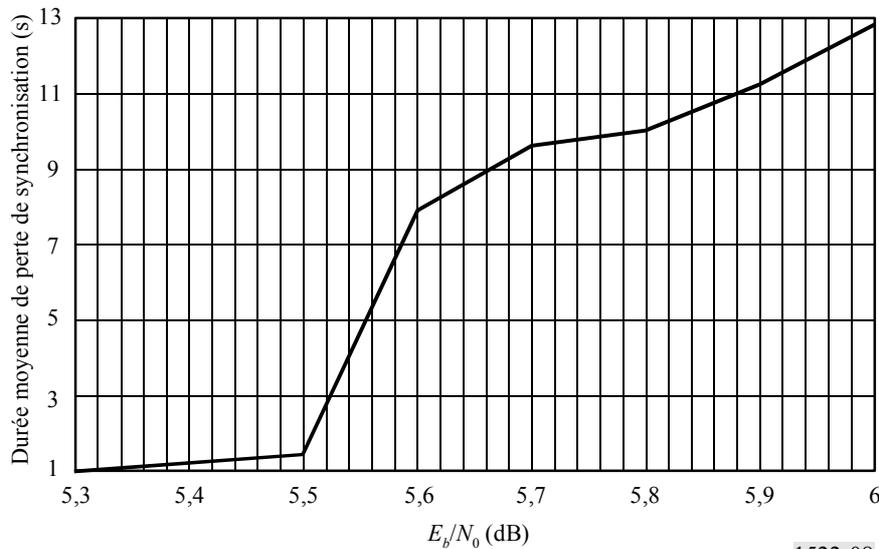
Durée moyenne de perte de synchronisation en fonction du rapport E_b/N_0
pour un récepteur vidéo utilisant un taux de codage de 1/2



1522-07

FIGURE 8

Durée moyenne de perte de synchronisation en fonction du rapport E_b/N_0 pour un récepteur vidéo utilisant un taux de codage de 7/8



1522-08

Au-dessous d'une certaine valeur du rapport E_b/N_0 , il apparaît qu'il y a toujours perte de synchronisation du récepteur en une seconde environ. Etant donné que le brouillage causé par le système non OSG se produit par pics de courte durée (de l'ordre de quelques secondes), ce rapport E_b/N_0 est critique. Le rapport E_b/N_0 est de 2,5 dB pour les systèmes codés à un taux de 1/2 et de 5,3 dB pour les systèmes codés à un taux de 7/8. Pour un TEB de 1×10^{-10} , cela correspond à une marge de 2,2 dB pour ces deux taux de codage.

4.1.3 Récupération

Il existe deux gammes de recherche pour le verrouillage de la porteuse du récepteur testé. L'acquisition initiale utilise un mode de recherche large, qui fonctionne sur une gamme de $\pm 1,5$ MHz. Pour la récupération normale on utilise un mode de recherche fin, sur une gamme de ± 140 kHz, autour de la dernière fréquence de verrouillage. Le récepteur reste en mode fin pendant 5 min environ et passe en mode large s'il n'y a toujours pas acquisition de la porteuse.

Etant donné que les brouillages non OSG ne produisent en principe que des pics de courte durée, on peut supposer que la récupération de la porteuse s'effectue en mode de recherche fin. Des mesures indiquent que dans ce cas, la durée de la récupération est d'environ 4 s. La recherche de la porteuse ne devrait prendre qu'une partie de ce temps, car elle débute à la fréquence à laquelle il y a eu perte de synchronisation. La plus grande partie du temps de récupération pour le récepteur correspond à la réinitialisation de la programmation interne.

Un modèle perfectionné du récepteur vidéo numérique testé devrait fonctionner avec une qualité légèrement meilleure. Toutefois, ce récepteur présente, de par sa conception, un retard supplémentaire de 4 s avant d'engager le processus de récupération.

4.1.4 Rétablissement suite à des pics de brouillage

Ce test est analogue à celui de la durée moyenne de perte de synchronisation (§ 4.1.2) et permet de mieux caractériser les effets d'une salve d'erreurs. Les pics de brouillage ont été simulés en faisant fonctionner le récepteur sans bruit, puis en introduisant une salve de bruit de courte durée dans le canal. La salve de bruit a été arbitrairement réglée à une valeur $E_b/N_0 = 2,5$ dB pour le canal avec un taux de codage de 1/2 et à une valeur $E_b/N_0 = 5,3$ dB pour un taux de 7/8 pendant une durée contrôlée de $\pm 0,25$ s. Les résultats de ce test sont présentés dans le Tableau 4.

TABLEAU 4

Qualité de fonctionnement du récepteur suite à une salve de bruit

Taux	Niveau de transition du rapport E_b/N_0 (dB)	Durée du brouillage (s)	Perte de synchronisation	Images perdues (%)
7/8	5,3	1	Non	8,5
7/8	5,3	2	Oui	–
1/2	2,5	0,5	Non	4,0
1/2	2,5	1	Non	12
1/2	2,5	2	Oui	–

Ce test montre qu'il faut un pic d'une durée approximative de 2 s pour qu'il y ait perte de synchronisation du récepteur, alors que d'après le § 4.1.2, la durée moyenne de perte de la perte de synchronisation n'est que d'une seconde, pour la même valeur du rapport E_b/N_0 . Il semble donc nécessaire d'utiliser une faible valeur du rapport E_b/N_0 pendant plus d'une seconde pour empêcher le rétablissement du canal.

5 Conclusions

Les mesures de la qualité de fonctionnement effectuées sur ce récepteur montrent l'existence d'une marge de perte de synchronisation de 2,2 dB par rapport à un TEB de 1×10^{-10} . Un pic de brouillage d'une durée approximative de 2 s environ est nécessaire pour entraîner une perte de synchronisation et le récepteur se remet en phase 4 s après l'arrêt du brouillage. En supposant qu'un canal satellite ait été mis en place avec des marges qui le protégeront, durant sa disponibilité, à une valeur de seuil du TEB de 1×10^{-10} , il y aurait perte de synchronisation du récepteur dans le circuit, analogue au récepteur testé, si cette marge était dépassée de 2,2 dB pendant une période de 1 à 2 s. En supposant que les niveaux de fonctionnement soient rétablis après une perte de synchronisation, les fonctions du récepteur seraient rétablies en 4 à 8 s.

ANNEXE 3

Effets du brouillage sur la disponibilité du service**1 Introduction et objectifs**

La disponibilité du service pour une liaison d'un réseau OSG subit les effets combinés des conditions atmosphériques, de l'équipement et des brouillages, auxquels s'ajoute le temps de rétablissement suite à une perte de synchronisation. La présente analyse montre que lorsque ce temps est un facteur à prendre en considération, la disponibilité du service (définie plus loin) d'un réseau OSG est inversement proportionnelle au nombre de conditions de propagation, d'équipements et d'occurrences de brouillage à l'origine de cette perte de synchronisation, même si la durée totale composite d'indisponibilité de la liaison reste constante. Autrement dit, de nombreuses occurrences de brouillages de courte durée ont des effets plus négatifs que des occurrences moins nombreuses, mais de longue durée.

2 Définitions

La Recommandation UIT-R S.579 définit la disponibilité d'un CFR et d'un CNFR dans le SFS. Conformément aux points d) et e) du *considérant* de la Recommandation UIT-R S.579, la disponibilité est déterminée par les effets combinés de la disponibilité de l'équipement et de celle due à la propagation. En outre, le point 4 du *recommande* dispose que l'indisponibilité doit aussi prendre en compte le temps de rétablissement des équipements. La Recommandation UIT-R S.579 définit la disponibilité et l'indisponibilité d'un circuit par l'expression:

$$\text{Disponibilité} = (100 - \text{Indisponibilité}) \quad \% \quad (2)$$

où:

$$\text{Indisponibilité} = (\text{temps d'indisponibilité/période requise}) \times 100 \quad \% \quad (3)$$

la période requise étant définie comme celle pendant laquelle l'utilisateur veut que le circuit ou le conduit numérique soit en état d'exécuter une fonction donnée et le temps d'indisponibilité comme la durée cumulée des interruptions de ce circuit ou conduit numérique au cours de la période requise.

La présente analyse tient compte des effets du temps de rétablissement de la synchronisation en fonction de la durée de tel ou tel événement, en supposant que la durée totale de tous ces événements soit constante sur un an. L'analyse et les exemples numériques sont tous présentés sur une base annuelle. Il ressort de cette analyse que de nombreux événements de courte durée à l'origine d'une indisponibilité influenceront généralement davantage sur la qualité de fonctionnement, sur une longue période, que des événements moins nombreux mais de longue durée pendant cette même longue période. Une étude complémentaire est nécessaire pour déterminer les durées à retenir pour l'évaluation.

3 Disponibilité et exigences de l'utilisateur

Dans la Recommandation UIT-R S.579, la disponibilité est liée aux exigences de l'utilisateur pour l'exécution d'une fonction. Ces fonctions, par exemple celles liées à la perte de synchronisation, exigeront un délai supplémentaire après le rétablissement du rapport *C/N* pour retrouver la capacité fonctionnelle voulue.

Pour ces liaisons, le rétablissement du rapport C/N approprié est suivi par la récupération de la fonctionnalité de la liaison et le rétablissement des fonctions d'utilisateur.

Pour les besoins de l'analyse, on a jugé utile de faire la distinction suivante entre la disponibilité de la liaison et la disponibilité du service fourni à l'utilisateur:

$$\text{Disponibilité de la liaison} = \text{pourcentage de la durée de la disponibilité du récepteur/démodulateur à la sortie} \quad (4a)$$

$$\text{Disponibilité du service fourni à l'utilisateur} = \text{pourcentage de la durée de la disponibilité de la synchronisation des bits et des fonctions d'utilisateur} \quad (4b)$$

Etant donné que la disponibilité du service fourni à l'utilisateur dépend de la disponibilité de la liaison, la durée de la première ne peut jamais être supérieure à celle de la seconde.

Il découle également de ce qui précède que l'«indisponibilité de la liaison» et «l'indisponibilité du service fourni à l'utilisateur» sont égales à 100 moins les valeurs données dans les équations (4a) et (4b) respectivement.

On trouvera ci-dessous la liste de certaines fonctions des équipements, autres que le récepteur/démodulateur et le synchroniseur de bits, qui sont sensibles à la perte de synchronisation et qui devront être rétablies. Le laps de temps nécessaire pour mettre en œuvre ces mesures entraînera une dégradation de la disponibilité du service fourni à l'utilisateur par rapport à la disponibilité de la liaison. Ces fonctions sont les suivantes:

- synchronisation des images;
- synchronisation de sécurité;
- synchronisation de l'entrelaceur;
- synchronisation du décodeur à correction d'erreurs;
- réinitialisation des protocoles de transmission;
- initialisation du terminal de l'utilisateur.

On n'a pas étudié pour le moment les autres fonctions de l'utilisateur dépendant normalement d'autres liaisons (telles que la renumérotation), mais pouvant être pénalisées par la perte de synchronisation.

4 Analyse

4.1 Durée et fréquence annuelle des événements

La disponibilité d'une liaison est généralement exprimée en pourcentage de la durée pendant laquelle certaines limites ne peuvent pas être dépassées.

En conséquence, si:

p : fraction du temps pendant lequel la limite est dépassée; et

$p = 1 - 0,01 \times \text{pourcentage de temps disponible}$; et si

N : nombre d'événements par an à l'origine d'une indisponibilité; et

D : durée moyenne de chaque événement (s);

alors:

$$N \times D = p \times 3,1536 \times 10^7 \text{ secondes indisponibles par an} \quad (5)$$

où:

$3,1536 \times 10^7$: nombre de secondes pendant 365 jours.

Par exemple, des disponibilités pendant 99%, 99,9% et 99,99% du temps sont souvent des exigences déclarées pour les liaisons de réseaux à satellite. Le choix de ces impératifs de qualité de fonctionnement est dicté par de nombreux facteurs tels que le coût, les bandes de fréquences utilisées, les limites techniques et les besoins propres au service. Dans les trois cas considérés:

$$p = 10^{-2}, 10^{-3} \text{ et } 10^{-4}; \text{ et}$$

la durée d'indisponibilité (s) par an peut être déterminée par l'équation (5) de la façon suivante:

$$\begin{aligned} N \times D &= 315\,360 \text{ s} && \text{indisponibles pour un réseau disponible pendant 99\% du temps;} \\ &= 31\,536 \text{ s} && \text{indisponibles pour un réseau disponible pendant 99,9\% du temps et} \\ &= 3\,153,6 \text{ s} && \text{indisponibles pour un réseau disponible pendant 99,99\% du temps.} \end{aligned}$$

Des données expérimentales (voir l'Annexe 1) indiquent que des brouillages à un niveau suffisamment élevé d'une durée d'au moins 1 s pourraient entraîner une perte de synchronisation des fonctions de service courantes assurées sur des liaisons par satellite. A supposer que toutes les périodes d'indisponibilité soient causées par des occurrences de brouillage et que la durée de toutes ces occurrences soit d'une seconde, chaque liaison pourrait subir jusqu'à:

$$\begin{aligned} 315\,360 &&& \text{interruptions par an pour la liaison disponible pendant 99\% du temps;} \\ 31\,536 &&& \text{interruptions par an pour la liaison disponible pendant 99,9\% du temps; et} \\ 3\,153,6 &&& \text{interruptions par an pour la liaison disponible pendant 99,99\% du temps.} \end{aligned}$$

Pour chaque événement à l'origine d'une désynchronisation, il faut R secondes de rétablissement après les S secondes utilisées pour rétablir la marge du rapport C/N de la liaison appropriée. Pour ce circuit, l'indisponibilité du système augmenterait de $N(R + S)$ par an, N étant le nombre d'interruptions annuelles à l'origine d'une perte de synchronisation, jusqu'aux valeurs maximales indiquées plus haut.

En conséquence:

$$\text{Indisponibilité du service} = \text{Indisponibilité de la liaison} + N(R + S);$$

et

$$\text{Disponibilité du service \%} = (100 - (\text{Indisponibilité de la liaison} + N(R + S))) \quad \%$$

A l'aide de ces formules, on a effectué un calcul à titre d'exemple sur des liaisons conçues pour être disponibles pendant 99%, 99,9% et 99,99% du temps. Les Tableaux 5, 6 et 7 illustrent les effets calculés du temps de rétablissement de la synchronisation sur la disponibilité du service dans le cas de ces trois durées de disponibilité des liaisons. Dans chaque cas, on considère que:

Temps de rétablissement, $R = 10$ s; et

Temps de rétablissement, $S = 1$ s.

Les Fig. 9, 10 et 11 présentent une illustration graphique des résultats des calculs.

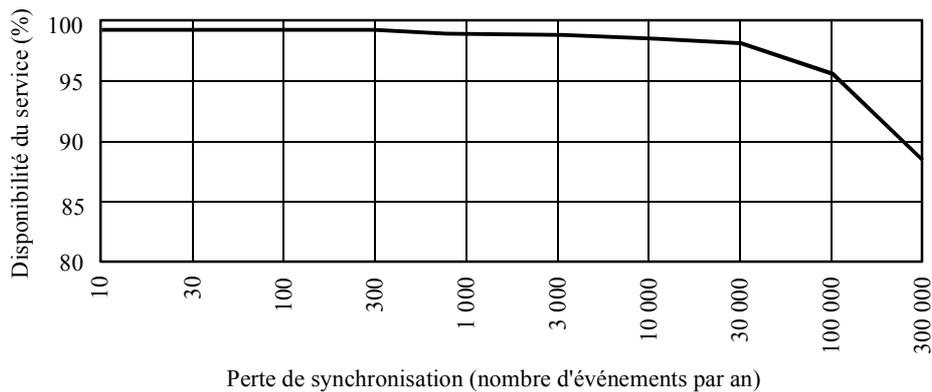
TABLEAU 5

Liaison disponible pendant 99% du temps

Nombre d'événements à l'origine d'une perte de synchronisation, N	Durée de l'événement, D (s)	Temps de rétablissement $N(R + S)$ (s)	Durée d'indisponibilité du service (s)	Disponibilité du service (%)
10	31 536	110	315 470	98,999
30	10 512	330	315 690	98,998
100	3 153,6	1 100	316 460	98,996
300	1 051,2	3 300	318 860	98,989
1 000	315,36	11 000	326 360	98,965
3 000	105,12	33 000	348 360	98,895
10 000	31,536	110 000	425 360	98,651
30 000	10,512	330 000	645 360	97,954
100 000	3,1536	1 100 000	1 415 360	95,512
300 000	1,0512	3 300 000	3 615 360	88,536

FIGURE 9

Effets du rétablissement de la synchronisation sur les liaisons disponibles pendant 99% du temps



1522-09

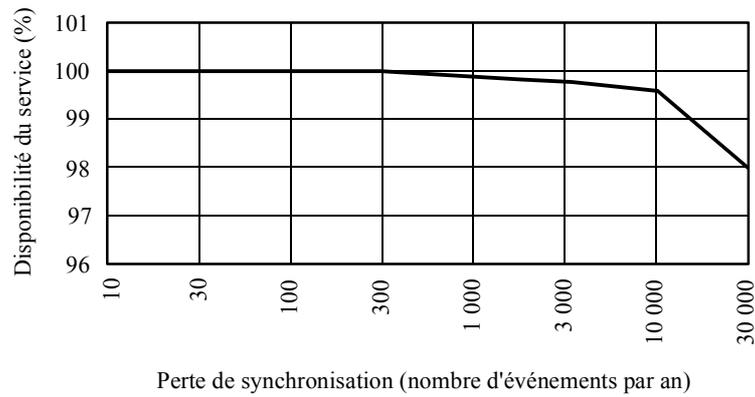
TABLEAU 6

Liaison disponible pendant 99,9% du temps

Nombre d'événements à l'origine d'une perte de synchronisation, N	Durée de l'événement, D (s)	Temps de rétablissement $N(R + S)$ (s)	Durée d'indisponibilité du service (s)	Disponibilité du service (%)
10	31 536	110	31 464	99,899
30	10 512	330	31 866	99,898
100	3 153,6	1 100	32 636	99,896
300	1 051,2	3 300	34 836	99,889
1 000	315,36	11 000	42 536	99,865
3 000	105,12	33 000	64 536	99,795
10 000	31,536	110 000	141 536	99,551
30 000	10,512	330 000	645 360	97,953

FIGURE 10

Effets du rétablissement de la synchronisation sur les liaisons disponibles pendant 99,9% du temps



1522-10

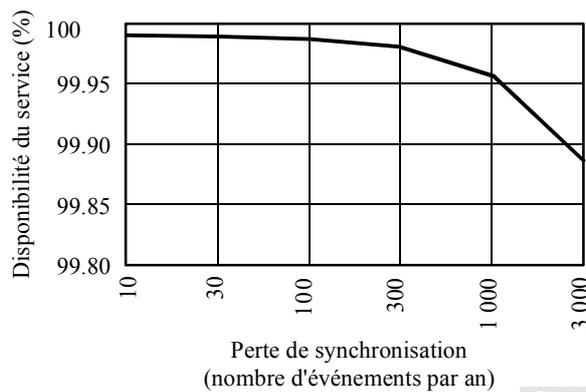
TABLEAU 7

Liaison disponible pendant 99,99% du temps

Nombre d'événements à l'origine d'une perte de synchronisation, N	Durée de l'événement, D (s)	Temps de rétablissement $N(R + S)$ (s)	Durée d'indisponibilité du service (s)	Disponibilité du service (%)
10	31 536	110	3 263,6	99,989
30	10 512	330	3 483,6	99,986
100	3 153,6	1 100	4 253,6	99,896
300	1 051,2	3 300	6 453,6	99,979
1 000	315,36	11 000	14 153,6	99,955
3 000	105,12	33 000	36 153,6	99,885

FIGURE 11

Effets du rétablissement de la synchronisation sur les liaisons disponibles pendant 99,99% du temps



1522-11

5 Discussion

Il ressort des Tableaux 5 à 7 et des Fig. 9 à 11 que le rétablissement, après une perte de synchronisation, influe sur la disponibilité des applications du service proportionnellement à la fréquence de cette perte, même si la disponibilité de la liaison est maintenue. Il est donc important de surveiller les événements à l'origine d'une perte de synchronisation et de les étudier de manière détaillée afin de les caractériser. Les études sur la dégradation effectuées jusqu'à présent traitaient généralement des anomalies de propagation et concernaient essentiellement la durée totale d'apparition des dégradations de la transmission et les résultats de ces études étaient présentés sous forme de distribution cumulative. Les autres études portaient en général sur des niveaux de brouillage de nature relativement stable. Il est important de noter que l'Article 22 du Règlement des radiocommunications impose des limites provisoires de puissance surfacique équivalente aux satellites sur orbite non OSG dans certaines bandes de fréquences dans le SFS. Lors de la caractérisation du brouillage généré par des sources non OSG, on devrait tenir compte de l'environnement de brouillage qui résultera de la nature répétitive des orbites de satellites non OSG. Le mécanisme orbital d'un seul satellite non OSG à basse altitude explique l'importance de telles considérations. On peut montrer qu'un seul satellite à basse altitude peut être placé sur une orbite qui passera près de 1 000 fois par an au-dessus du même point à la surface de la Terre. Sachant que de nombreux systèmes à satellites non OSG partageront le spectre avec des réseaux du SFS, il est donc préoccupant de constater que les effets de la nature répétitive de ces sources de brouillage ne sont pas encore entièrement connus, d'où la nécessité de les étudier de manière plus approfondie.

6 Conclusions

Il faut tenir compte des exigences liées au temps de rétablissement du service dans les réseaux OSG lorsqu'on définit la fiabilité de ces derniers lors de la conception des liaisons. Une analyse a démontré que le temps de rétablissement, après une période d'indisponibilité due à un événement, influe sur la disponibilité du service d'un circuit OSG. Cette analyse montre également que pour une indisponibilité de la liaison constante, la disponibilité du service d'un circuit OSG diminue à mesure que la fréquence des événements à l'origine de la perte de synchronisation augmente. Il est certes reconnu que la répartition de la disponibilité sur une année est importante, mais les conséquences sur des périodes plus courtes pourraient faire l'objet d'un complément d'étude.

ANNEXE 4

Critères à prendre en compte pour définir le seuil de la perte de synchronisation

La perte de synchronisation d'une porteuse numérique est liée au niveau $C/(N+I)$, qui est fonction brouillage, de la qualité de fonctionnement du matériel des stations terriennes, de la marge des liaisons par satellite, des précipitations et, parfois, du brouillage dû au soleil.

Les valeurs du rapport $C/(N+I)$ indiquées dans le Tableau 8 proviennent de plusieurs tests effectués sur des porteuses numériques à différents débits binaires et codages d'erreurs, afin de

déterminer les valeurs du rapport $C/(N+I)$ qui entraîneront une perte de synchronisation du démodulateur/décodeur ainsi que la durée de rétablissement suite à une salve de bruit correspondant à un brouillage qui pourrait être causé par un système à satellites du SFS non OSG.

Les valeurs données dans le Tableau 8 proviennent d'un nombre limité de programmes de mesures (cinq).

TABLEAU 8
Résultats des mesures du seuil de la perte de synchronisation et durée de rétablissement

Modulation et codage	Débit binaire	$C/(N+I)$ (dB)	Temps de rétablissement (s)
MDP-4 (taux CED 1/2)	64 kbit/s	1,7-3,1	9-40
	2 Mbit/s	3,4-3,6	1,7-4,5
MDP-4 (taux CED 3/4)	64 kbit/s	3,4-4,2	8,6-19,8
	2 Mbit/s	3,1-4,2	1,9-6
	8 Mbit/s	3,9-5,6	4-9,3
	34 Mbit/s	4,1-4,5	1,8-2,3
MDP-8 (taux CED 2/3 + MCT)	2 Mbit/s	7,9	2,6-3,1
	8 Mbit/s	7,6-7,8	9,1
	34 Mbit/s	7,8-7,9	1,7-4

MCT: modulation à codage en treillis.

Il convient d'augmenter de 0,5 dB environ les valeurs du rapport $C/(N+I)$ ci-dessus afin de tenir compte des contributions de non-linéarité du satellite dans une liaison par satellite.

Compte tenu des séries de mesures du Tableau 8 concernant les valeurs de seuil de perte de synchronisation des systèmes fonctionnant à des débits binaires inférieurs à 34 Mbit/s, on peut admettre que les rapports $C/(N+I)$ indiqués dans le Tableau 9 sont représentatifs des valeurs de seuil de perte de synchronisation des porteuses indiquées:

TABLEAU 9

Modulation et codage	$C/(N+I)$ (dB)
MDP-4 taux 1/2	3,5
MDP-4 taux 3/4	5,3
MDP-4 taux 7/8	6,0
MDP-8	8,1
MAQ-16	11,0

Dans tous les autres cas, en particulier lorsque les objectifs de qualité de fonctionnement sont définis avec des valeurs inférieures à celles admises plus haut, on suppose que le seuil de perte de synchronisation est inférieur de 1 dB par rapport à l'objectif de qualité de fonctionnement dégradé.

Les résultats des tests ci-dessus ont fait apparaître de fortes variations des temps de rétablissement. Les valeurs maximales des temps de rétablissement proposées dans la présente Recommandation sont provisoires et des tests complémentaires doivent être effectués avant de pouvoir utiliser des valeurs types plus faibles.
