

RAPPORT UIT-R BO.2007-1

**CONSIDÉRATIONS RELATIVES À L'INTRODUCTION DES SYSTÈMES
DE TÉLÉVISION À HAUTE DÉFINITION DU SERVICE
DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE***

(1995-1998)

1 Introduction

La Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92), ayant attribué à titre primaire les bandes 21,4-22,0 GHz (Régions 1 et 3) et 17,3-17,8 GHz (Région 2) au service de radiodiffusion par satellite (SRS) à compter du 1^{er} avril 2007, a adopté, dans sa Résolution 525, une série de procédures intérimaires pour permettre l'introduction des systèmes de télévision à haute définition (TVHD) (du SRS) dans les Régions 1 et 3 à compter du 1^{er} avril 1992.

Outre qu'elle stipule que la bande de fréquences attribuée servira à la TVHD dans le SRS, la Résolution 525 (CAMR-92) précise qu'en attendant qu'une future conférence décide des procédures définitives, l'utilisation de la bande attribuée sera régie par la Résolution 33 (Rév.CMR-97) de la Conférence administrative mondiale des radiocommunications (Genève, 1979) (CAMR-79) et l'Article S27/34 du Règlement des radiocommunications (RR), et, qu'après le 1^{er} avril 2007, l'introduction de systèmes de TVHD dans cette bande devra être réglemantée d'une manière souple et équitable jusqu'à ce qu'une future CMR compétente adopte des dispositions définitives à cet effet en application de la Résolution 507.

Les procédures intérimaires reprennent les dispositions de la Résolution 33 (Rév.CMR-97) qui s'appliquent au SRS dans des bandes pour lesquelles il n'existe pas de plans en vigueur et dont les besoins de coordination avec les assignations effectuées par d'autres pays se limitent aux systèmes qui dépassent certaines valeurs de seuil.

Le présent Rapport énumère quelques-unes des caractéristiques à prendre en considération dans la mise au point de systèmes du SRS (TVHD) dans le cadre de ces procédures. Bien que les procédures intérimaires de la Résolution 525 (CAMR-92) ne s'appliquent qu'à l'introduction des systèmes du SRS (TVHD) dans la bande 21,4-22,0 GHz dans les Régions 1 et 3, les éléments présentés aux § 5, 6 et 7 et dans les annexes du présent Rapport peuvent aussi être utiles pour la planification des systèmes dans la bande 17,3-17,8 GHz dans la Région 2, ainsi que pour la mise en place éventuelle, dans la bande des 12 GHz, de systèmes du SRS (TVHD), notamment dans les pays tropicaux des Régions 1 et 3, comme le prévoit la Résolution 524 (CAMR-92).

2 Dispositions réglementaires

La Résolution 525 (CAMR-92) fixe une série de dispositions réglementaires intérimaires destinées à assurer un accès souple et équitable à l'orbite géostationnaire et au spectre concerné, en attendant qu'une conférence des radiocommunications compétente ait décidé d'une procédure définitive. Cette résolution établit une distinction entre systèmes «opérationnels» et systèmes «expérimentaux», ainsi qu'entre systèmes mis en œuvre avant le 1^{er} avril 2007 et systèmes mis en œuvre après cette date. Les procédures applicables sont indiquées dans le Tableau 1.

3 Situation des services existants

La bande 21,4-22,0 GHz est, de plus, attribuée aux services fixe et mobile à titre primaire. Le § 1 de l'annexe à la Résolution 525 (CAMR-92) indique que:

«Il doit être entendu qu'avant le 1^{er} avril 2007 tous les services fonctionnant actuellement dans la bande 21,4-22,0 GHz dans les Régions 1 et 3 conformément au Tableau d'attribution des bandes de fréquences seront autorisés à continuer de fonctionner. Après cette date, ils pourront continuer à fonctionner, mais ils ne devront ni causer de brouillages préjudiciables aux systèmes du SRS (TVHD), ni demander de protection contre les brouillages causés par ces systèmes.»

Ces dispositions peuvent rendre nécessaire le transfert de services fixes de la bande 21,4-22,0 GHz dans d'autres bandes voisines. Le Groupe de travail mixte (GTM) 10-11S a chargé la Commission d'études 9 des radiocommunications d'examiner cette question.

* Le présent Rapport fournit des informations techniques relatives à l'application des procédures intérimaires énoncées dans la Résolution 525 (CAMR-92).

TABLEAU 1

Plan général des procédures applicables à la mise en œuvre des systèmes du SRS (TVHD)*

Période d'utilisation de la bande de TVHD	Conditions		Dispositions applicables au RR
Avant le 1 ^{er} avril 2007	Systèmes expérimentaux		Article S27/34: Stations expérimentales Rés. 33 (Rév.CMR-97), Sect. A: Procédure de coordination entre stations spatiales du service de radiodiffusion par satellite et stations de Terre Rés. 33 (Rév.CMR-97), Sect. B: Procédure de coordination entre stations spatiales du service de radiodiffusion par satellite et systèmes spatiaux relevant d'autres administrations Rés. 33 (Rév.CMR-97), Sect. C: Notification, examen et inscription dans le Fichier de référence
	Systèmes opérationnels	Puissance surfacique > a	Rés. 33 (Rév.CMR-97), Sect. A: Procédure de coordination entre stations spatiales du service de radiodiffusion par satellite et stations de Terre Rés. 33 (Rév.CMR-97), Sect. B: Procédure de coordination entre stations spatiales du service de radiodiffusion par satellite et systèmes spatiaux relevant d'autres administrations Rés. 33 (Rév.CMR-97), Sect. C: Notification, examen et inscription dans le Fichier de référence
		Puissance surfacique < a	Rés. 33 (Rév.CMR-97), Sect. B: Procédure de coordination entre stations spatiales du service de radiodiffusion par satellite et systèmes spatiaux relevant d'autres administrations Rés. 33 (Rév.CMR-97), Sect. C: Notification, examen et inscription dans le Fichier de référence
Après le 1 ^{er} avril 2007	Adoption de nouvelles procédures par une future CMR		Application de ces nouvelles procédures
	Pas d'adoption de nouvelles procédures		Rés. 33 (Rév.CMR-97), Sect. B: Procédure de coordination entre stations spatiales du service de radiodiffusion par satellite et systèmes spatiaux relevant d'autres administrations Rés. 33 (Rév.CMR-97), Sect. C: Notification, examen et inscription dans le Fichier de référence

* Source: Résolution 525 (CAMR-92).

a: limites définies au § 4 de ce Rapport.

4 Valeurs de seuil de déclenchement de la coordination

Les procédures de coordination seront déclenchées lorsque le niveau de la puissance surfacique produite à la surface de la Terre par les émissions d'une station spatiale sur le territoire de tout autre pays atteindra les valeurs suivantes:

- $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande quelconque large de 1 MHz pour les angles d'arrivée compris entre 0° et 5° au-dessus du plan horizontal; ou
- $-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande quelconque large de 1 MHz pour les angles d'arrivée compris entre 25° et 90° au-dessus du plan horizontal; ou
- des valeurs calculées par interpolation linéaire entre ces limites pour les angles d'arrivée compris entre 5° et 25° au-dessus du plan horizontal.

Le GTM 10-11S a réexaminé ces valeurs destinées à assurer la protection du service fixe et applicables seulement jusqu'au 1^{er} avril 2007, conformément à la Résolution 525 (CAMR-92). Après cette date, des niveaux supérieurs de puissance surfacique pourront être introduits, sous réserve d'un examen plus approfondi des prescriptions de disponibilité du service.

5 Spécifications de service

Le détail des spécifications de service des systèmes du SRS (TVHD) appellent un complément d'étude. Les paragraphes qui suivent énumèrent un ensemble de spécifications provisoires:

5.1 Objectifs généraux de ces systèmes

- a) Adoption d'une norme de télédiffusion par satellite pour la TVHD numérique (voir aussi le § 9).
- b) Applicabilité de la norme de transmission aux autres supports concernés avec une conversion la moins complexe possible.
- c) Réception du signal émis au moyen d'une petite antenne individuelle (45 à 90 cm). Ce signal doit aussi convenir aux stations têtes de réseau. La compatibilité avec le réseau numérique à intégration de services à large bande (RNIS-LB) est souhaitable.

5.2 Spécifications de service et de couverture

- a) La TVHD est conçue pour une réception par des stations fixes avec la meilleure qualité possible dans les limites que permet le format TVHD (qualité virtuelle de studio).
- b) La manière de déterminer le taux de disponibilité du service pendant le mois le plus défavorable (la disponibilité de service des systèmes numériques est normalement déterminée par le point de perte d'image) appelle un complément d'étude (voir aussi le § 6).
- c) Caractéristiques de dégradation subjectivement acceptables. Dans la plage des 21 GHz, l'obtention de telles caractéristiques peut faire appel à des techniques de compensation de l'affaiblissement telles que la modulation et le codage multicouches ou la commande adaptative de la p.i.r.e. du satellite, ce qui limite le repli sur une qualité TV à définition normale (TVDN) ou à faible définition (TVFD) aux cas d'évanouissements profonds.

Note importante – La perte du son ne doit pas intervenir avant la perte de l'image.

- d) Choix d'un mode de modulation techniquement adapté permettant d'obtenir (dans la mesure du possible) une grande efficacité d'utilisation spectrale, une faible puissance d'émission et de faibles rapports de protection, afin de maximiser la réutilisation des fréquences et de minimiser les contraintes de partage au sein du même service ou avec d'autres services.
- e) Choix entre une couverture nationale, multinationale ou régionale.
- f) Dispositions relatives à l'embrouillage en vue d'assurer la conformation spectrale de la distribution d'énergie.
- g) Dispositions relatives à l'accès conditionnel.

5.3 Spécifications de multiplexage

- a) Combinaison de tous les éléments de service relatifs à un service de programmes complet par une technique de multiplexage appropriée.

Ces éléments de service comprendront le son, l'image, les données et, à titre facultatif, le code de protection d'erreur en bande de base.

- b) Débit binaire brut constant à la sortie du multiplexeur.
- c) Configuration de multiplexage souple avec reconfiguration dynamique (ceci suppose la transmission fréquente d'une information de configuration de multiplexage).
- d) Multiplex et information de service (SI) communs aux divers systèmes de transmission.

5.4 Spécifications du récepteur

- a) Facilité d'utilisation pour l'utilisateur.
- b) Coût de récepteur acceptable dans le cas d'une production en série.
- c) Standardisation maximale des processus de traitement des signaux pour les différents supports de transmission (transmission par satellite, de Terre ou par câble).
- d) Possibilité de recevoir les signaux de qualité TVHD numérique transmis par satellite, par réseau câblé ou réseau hertzien de Terre (ainsi qu'éventuellement les signaux de télévision existants).

6 Disponibilité du service

La disponibilité des systèmes du SRS (TVHD) appelle d'urgence un complément d'étude. Certaines administrations proposent des taux de 99,6 à 99,7% pour le mois le plus défavorable. Il est à noter que comme le système de TVHD sera probablement numérique, sa dégradation sera rapide et non pas graduelle comme celle des systèmes analogiques. Un choix judicieux des méthodes de codage et de modulation peut améliorer la disponibilité du service. Les Annexes 1 et 3 présentent des solutions possibles à ce sujet.

Il a été procédé, en Italie, à des études relatives à des méthodes perfectionnées de protection contre les erreurs pour la mise en œuvre de satellites de TV/TVHD numérique. Ces méthodes utilisent un code «interne» convolutionnel en treillis associé au modem numérique, et un code de bloc «externe» associé au codec vidéo pour minimiser le taux d'erreur binaire (TEB). Dans les récepteurs fonctionnant à des débits binaires élevés, l'utilisation de circuits intégrés «d'algorithme Viterbi parallèle» peut se révéler nécessaire, et ceci peut entraîner une dégradation de gain de codage. L'Italie procède à des études (Doc. 10-11S/97 et GT 11/2) sur les techniques permettant d'éviter cette dégradation.

La commande adaptative de la p.i.r.e. sur les satellites comportant une antenne à faisceaux multiples constitue un autre moyen efficace d'améliorer la disponibilité du service, notamment dans les pays où les précipitations se caractérisent par une forte intensité. L'Annexe 2 explique le principe de cette méthode.

Il est à prévoir que les systèmes du SRS (TVHD) fonctionnant à 17 et 21 GHz devront faire face à un important affaiblissement dans la plupart des pays. Il convient d'examiner les critères de disponibilité du service dans la perspective des valeurs d'affaiblissement prévues et des méthodes envisagées pour compenser ces affaiblissements.

La question de la disponibilité du service et des nouvelles techniques de compensation de l'affaiblissement appelle un complément d'étude.

7 Scénarios sur l'utilisation future de la bande des 21 GHz

Comme indiqué dans l'introduction, l'attribution de la bande des 21 GHz au SRS ne date que de la CAMR-92.

Il est donc difficile en l'état actuel des choses de présenter les différents scénarios qui régiront l'utilisation future de cette bande, d'autant plus que l'attribution de celle-ci ne prendra pleinement effet qu'en avril 2007.

L'Europe et le Japon travaillent actuellement à divers projets de recherche (tel le projet HD-SAT en Europe) visant à résoudre les problèmes techniques que pose l'exploitation de la bande des 21 GHz en préparation de l'exploitation dans cette bande des services de TVHD de qualité studio (large bande) et de radiodiffusion numérique par satellite à intégration des services (RDNIS). Un des principaux objectifs du projet HD-SAT est de satisfaire aux spécifications de service énoncées dans le § 5. En juin 1995, dans le cadre du projet HD-SAT, une démonstration publique d'un programme de TVHD numérique de haute qualité diffusé en direct sur une liaison par satellite à 30/20 GHz a été faite; le codage et le décodage du son et de l'image étant effectués en temps réel selon la norme MPEG-2. Une dégradation progressive a pu être obtenue grâce à la mise en œuvre d'un système de modulation à deux couches acheminant respectivement la version TVHD et la version TVDN du même programme. Cette présentation de TVHD en direct portait également sur l'association de télédistribution par câble – diffusion par voie hertzienne de Terre. Cette démonstration convaincante a permis de constater qu'en principe, un service de radiodiffusion par satellite de TVHD numérique de qualité studio à 30/20 GHz était techniquement faisable (voir l'Annexe 3). En outre, un scénario de mission de satellite pour l'Europe a été étudié, concluant à la possibilité d'une couverture de l'Europe centrale avec une p.i.r.e. de l'ordre de 55 dBW (voir l'Annexe 5).

Le Japon projette de lancer en 1997 le satellite expérimental COMETS (Communication and Broadcasting Engineering Test Satellite) comportant une expérience dans la bande des 21 GHz destinée à mettre au point de nouveaux systèmes de radiodiffusion de type RDNIS. Les répéteurs à 21 GHz du satellite COMETS auront une largeur de bande maximale de 120 MHz. Ce satellite aura une puissance de sortie de 200 W et sera muni de 2 faisceaux (6 faisceaux pouvant couvrir l'ensemble du Japon). Dans ses objectifs de développement à long terme, le Japon prévoit également le développement de nouveaux services de diffusion à débit binaire élevé capables de transmettre des images de télévision à ultra-haute définition et des images en trois dimensions.

L'UIT-R a établi un Rapport exhaustif sur la télédiffusion TVHD par satellite dans cette bande (Rapport UIT-R BO.1075) et travaille à l'élaboration de principes de planification souples pour ce service. Le projet RACE HD-SAT qui incluait des études de la RAI sur les stratégies possibles de gestion du spectre étant achevé, on dispose maintenant des premiers résultats. Ces résultats sont présentés en détail dans l'Annexe 4. Les principaux paramètres seront la puissance surfacique maximale admissible et le niveau de brouillage maximal admissible exprimés en termes de réduction du bilan de liaison.

A la différence de la télévision numérique par satellite à programmes multiples («multivision») qui sera mise en œuvre prochainement en Europe, le concept de TVHD numérique est une perspective plus lointaine, qui ne nécessitera un accès anticipé à la bande des 21 GHz que s'il est prévu de diffuser une image virtuellement de qualité studio. Quoi qu'il en soit, la nouvelle bande pourra non seulement contribuer à assurer l'avenir de la télédiffusion par satellite, mais aussi celui de l'industrie de la télévision grand public.

Pour conclure, il est encore trop tôt semble-t-il pour arrêter définitivement les questions touchant à l'utilisation de cette bande et à sa réglementation. L'achèvement d'autres projets actuellement en cours, le projet COMETS notamment, aidera certainement à affiner les scénarios en ce qui concerne l'utilisation et la planification de la bande des 21 GHz.

8 Processus de normalisation

Il y a lieu de définir le service et les principaux paramètres connexes pour une efficacité d'utilisation maximale de la bande de fréquences nouvellement attribuée.

On sait que l'orbite géostationnaire est une ressource limitée. On sait également que le meilleur moyen de maximiser l'efficacité d'utilisation de la ressource orbite-spectre consiste à mettre en place des systèmes judicieusement conçus dont les principaux paramètres présentent un certain degré d'uniformité.

La détermination des objectifs de service par les organismes de diffusion, les principaux opérateurs du SRS et le secteur privé favorisera la mise en œuvre de systèmes de TVHD à large bande.

A cet effet, il y aura lieu de prendre en considération les différents éléments qui contribuent à caractériser les systèmes du SRS (TVHD), par exemple:

Objectifs de service:

- qualité de service,
- fiabilité de service.

Caractéristiques des systèmes:

- facteurs de propagation,
- codage source des signaux de TVHD à large bande,
- modulation et codage de voie,
- caractéristiques des systèmes de réception,
- technologie du satellite et de la station terrienne.

Gestion du spectre:

- procédures souples d'utilisation de cette bande (liaisons montante et descendante),
- largeur de bande totale requise pour chaque service,
- taux de protection,
- partage avec les services fixes et mobiles.

Les résultats des projets de recherche en cours en Europe et au Japon en vue d'ouvrir l'accès de la bande des 21 GHz à la TVHD à large bande et à la radiodiffusion RNIS multiservice par satellite serviront de base pour la détermination des paramètres techniques ci-dessus.

9 Applications spéciales

Certaines applications spéciales peuvent nécessiter des normes de transmission différentes de celles qui sont généralement utilisées. Le reportage d'actualités par satellite (RAS) dans le SFS peut être utilisé pour retransmettre des événements spéciaux. En outre, il peut être souhaitable à certaines occasions d'envoyer le signal directement au satellite du SRS plutôt que par l'intermédiaire d'un studio.

Un certain nombre de terminaux RAS fonctionnent, non pas à 140 Mbit/s, mais à des débits inférieurs, par exemple à 68 ou 34 Mbit/s ou moins. Les modalités de mise en œuvre de ces applications spéciales dans l'environnement TVHD-SRS appellent un complément d'étude. Le GT 4/RAS examine actuellement ces aspects.

10 Liaisons de connexion

L'attribution mondiale demandée à la CAMR-92 pour les liaisons de connexion n'a pas été obtenue. La bande 17,3-18,1 GHz est disponible pour les liaisons de connexion du SRS (TVHD). Cette bande est partagée avec d'autres services, y compris les liaisons de connexion des Plans de la CAMR pour la radiodiffusion par satellite (Genève, 1977) (CAMR SAT-77) et de la Conférence administrative régionale des radiocommunications pour la planification du service de radiodiffusion par satellite dans la Région 2 (Genève, 1983) (CARR SAT-83). Les conditions de partage imposent des contraintes qui restreignent la souplesse d'utilisation de cette bande pour les liaisons de connexion du SRS (TVHD). La bande 18,1-18,4 GHz peut être utilisée pour les liaisons de connexion bien qu'elle ne soit pas disponible dans certains pays. Dans les Régions 2 et 3, la bande 24,75-25,25 GHz est également disponible. La bande 27,5-30,0 GHz actuellement attribuée au SFS pourrait être utilisée dans le monde entier mais une exploitation en partage avec les systèmes du SFS s'imposerait alors.

BIBLIOGRAPHIE

Toutes les questions dont il est fait mention sont traitées dans le cadre des travaux de recherche (voir, par exemple, [Tsuzuku et autres, 1993; Dosch, 1994; Palicot et Veillard, 1993] ci-dessous).

COMINETTI, M. et autres [été 1992] EBU demonstrations of wideband digital HDTV satellite broadcasting technologies at WARC-92 (Démonstrations par l'UER de technologies de diffusion par satellite de signaux de TVHD numérique à large bande à la CAMR-92). *Rev. Tech. de l'UER*, **252**, Genève, Suisse.

DOSCH, Ch. [été 1994] Inter-operability of digital HDTV satellite broadcasting (21.4-22 GHz) with the existing and future media infrastructure (Interopérabilité de la diffusion de TVHD numérique par satellite avec l'infrastructure des supports existants et futurs). Status of the HD-SAT project. *Rev. Tech. de l'UER*, **260**, 51-63.

MERTENS, H. – Spectrum and planning aspects for digital HDTV satellite broadcasting (Diffusion par satellite de signaux de TVHD numérique: questions liées au spectre et à la planification). Voir [UER, 1992].

PALICOT, J. VEILLARD, J. [1993] Possible channel, coding and modulation system for the satellite broadcasting of a high-definition television signal (Système possible de modulation et de codage de voie pour la diffusion par satellite de signaux de TVHD). *Signal Processing: Image Communication* 5, 463-471.

TSUZUKU, A. FUKUCHI, H. et autres [6-9 septembre 1993] Advanced satellite broadcasting experiment using Japan's R&D satellite COMETS (Expérience de télédiffusion avancée par satellite au moyen du satellite japonais COMETS de recherche et de développement), Proc. 23rd European Microwave Conference (EUM'93), Madrid, Espagne, 110-112).

UER [février, 1992] Advanced techniques for satellite broadcasting of digital HDTV at frequencies around 20 GHz (Techniques avancées de diffusion par satellite de signaux de TVHD numérique à des fréquences d'environ 20 GHz). Ensemble de contributions traitant de la TVHD numérique à large bande. Publié par l'UER à l'occasion des démonstrations présentées sur les techniques de radiodiffusion de TVHD à large bande par satellite à la CAMR-92 de l'UIT (Malaga-Torremolinos, 1992), Genève, Suisse.

ANNEXE 1

Méthodes possibles de codage et de modulation pour améliorer la disponibilité du service de diffusion de TVHD numérique par satellite

1 Introduction

La CAMR-92 a attribué au SRS (TVHD) la bande de fréquences 21,4-22,0 GHz dans les Régions 1 et 3 et la bande 17,3-17,8 GHz dans la Région 2. En raison des niveaux élevés d'affaiblissement atmosphérique dans ces bandes de fréquences ainsi que dans la bande des 12 GHz du SRS en zone tropicale, les techniques numériques conventionnelles, qui présentent des caractéristiques de défaillance brutale, risquent de ne pas permettre d'assurer les taux de disponibilité requis si on s'interdit de dépasser les limites de puissance surfacique adoptées par temps clair.

La présente Annexe examine de nouvelles méthodes de codage/modulation destinées à améliorer la disponibilité des services de diffusion de TVHD numérique par satellite.

Les méthodes évoluées exposées dans la présente Annexe assurent une dégradation progressive du service de TVHD en présence d'évanouissements dus à de fortes pluies; ce comportement s'apparente étroitement à celui des systèmes

analogiques qui est bien accepté par les téléspectateurs. La plupart du temps, par exemple jusqu'à 99% du mois le plus défavorable, le service assure une qualité TVHD nominale, mais lorsque des pluies abondantes provoquent des évanouissements, le récepteur assure une qualité TVDN ou TVFD (voir la Note 1).

NOTE 1 – En Europe et aux Etats-Unis d'Amérique, les études menées sur le concept de dégradation progressive basé sur une modulation multicouche, s'étendent également à la transmission de signaux de TVHD par des émetteurs de Terre, en vue d'adapter le service à différentes conditions de réception (récepteurs fixes et portatifs, par exemple). Dans le cas de la TVHD du SRS, le concept de la modulation multicouche est surtout destiné à accroître la disponibilité du service en présence d'évanouissements importants dus aux précipitations plutôt qu'à permettre la réception facultative de signaux de télévision à faible résolution.

2 Exemples de modulation multicouche

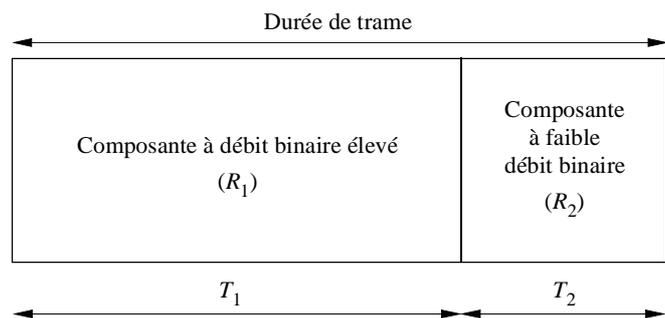
2.1 Exemple 1

Cet exemple est basé sur un multiplex temporel radioélectrique combinant divers types de modulation [Palicot et Veillard, 1993a].

L'approche conceptuelle de codage et de modulation s'articule autour d'une trame (voir la Fig. 1) en deux parties:

- Partie 1 (R_1): composante TVHD avec signal à débit binaire élevé de durée T_1 ;
- Partie 2 (R_2): composante TVDN classique avec signal à faible débit binaire de durée T_2 .

FIGURE 1
Multiplexage temporel des composantes à débit binaire élevé et faible



Rap 2007-01

Le signal R_2 à faible débit binaire est associé à un codage de voie et à une modulation qui sont plus robustes en présence de bruit que le codage de voie et la modulation associés au signal à débit binaire élevé.

En présence de niveaux élevés d'affaiblissement atmosphérique, le récepteur passe automatiquement de la composante TVHD à la composante TVDN. Le critère de commutation peut être lié à la puissance du signal reçu ou au TEB de la composante TVHD. Pour une puissance d'émission donnée du satellite, cette méthode permet d'accroître la continuité du service et par conséquent d'en réduire la durée d'interruption.

Côté émission (Fig. 2), le signal de TVHD est sous-échantillonné pour obtenir une image compatible 625 lignes qui est envoyée au codeur 2. La composante résiduelle (différence entre l'entrée TVHD et la sortie du codeur 2 décodée localement) est codée par le codeur 1. Ce schéma permet de réduire le débit binaire à l'émission ou d'augmenter la partie du débit binaire attribuée à la composante image dans le multiplex.

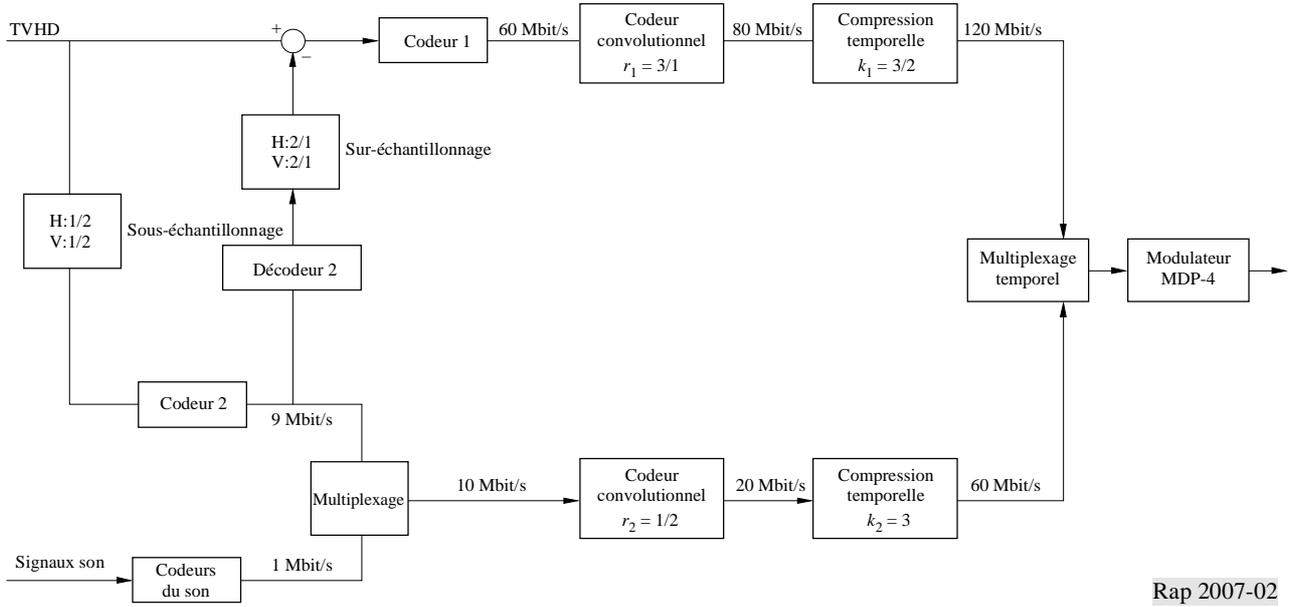
Côté réception (Fig. 3) un suréchantillonnage (H: 2/1, V: 2/1) est effectué à la sortie du décodeur 2, et l'information ainsi obtenue, combinée avec la sortie du décodeur 1, reconstitue l'image de TVHD en entier.

Afin de comparer entre elles la méthode exposée ci-dessus avec un système de référence (système utilisant un débit binaire unique), on suppose que le débit binaire après le codage TVHD est le même pour un codeur TVHD monocouche conventionnel que pour un codeur multicouche compatible.

La Fig. 4 représente la caractéristique de fonctionnement d'un système compatible comparée à celle du système de référence [Palicot et Veillard, 1993b]. L'hystérésis de commutation entre les deux qualités de service, représentée sur cette figure, est destinée à éviter de trop fréquentes commutations.

FIGURE 2

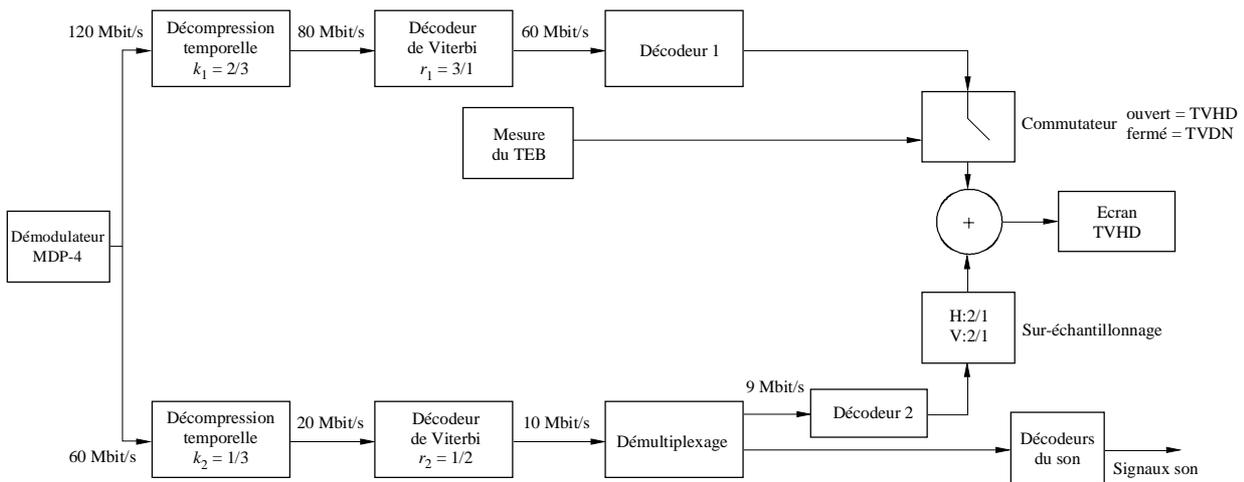
Exemple de schéma compatible de codage et de modulation



Rap 2007-02

FIGURE 3

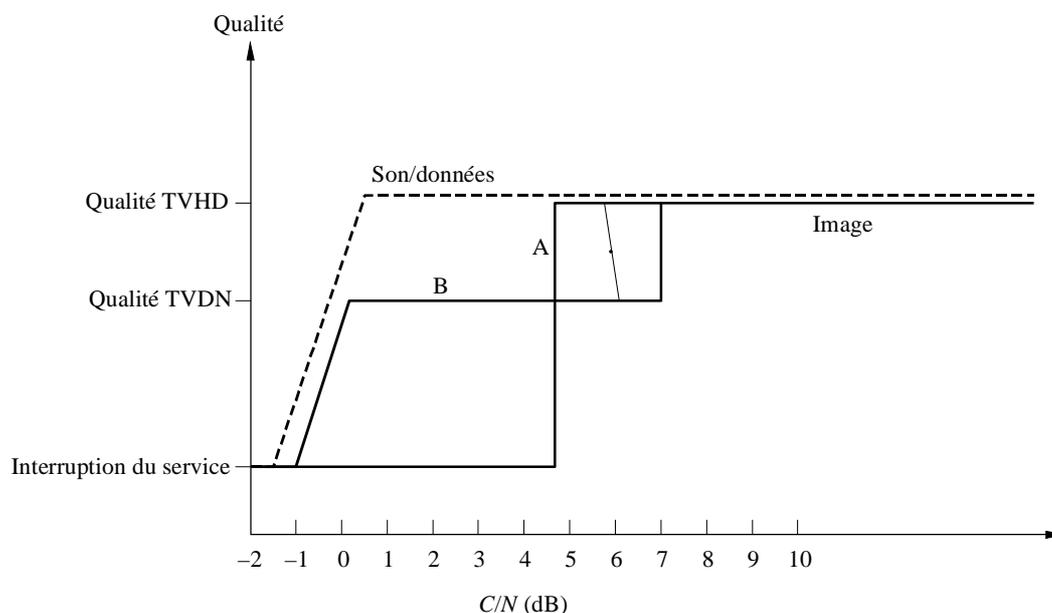
Exemple de schéma compatible de décodage et de démodulation



Rap 2007-03

FIGURE 4

Qualité d'image et du son en fonction du rapport C/N : comparaison des courbes de disponibilité du système à codage compatible de l'exemple et du système de référence



A: système de référence (monocouche)
B: exemple de système multicouche à codage compatible

Rap 2007-04

2.2 Exemple 2

Cet exemple représente une méthode de modulation à trois couches [Tsuzuku et autres, 1993]. En d'autres termes, ce système assure une dégradation progressive à trois degrés.

En ce qui concerne le codage à la source, l'information de TVHD est divisée en trois trains de données numériques selon le principe indiqué dans l'exemple 1. Ces trains de données sont, par exemple, une composante de qualité vidéocassette, une composante différentielle entre la qualité TVDN et la qualité vidéocassette, et une composante différentielle entre la qualité TVHD et la qualité TVDN. Ces trois trains de données sont transmis selon la méthode de modulation hiérarchique suivante.

Le principe de cette modulation hiérarchique régit la distance euclidienne entre symboles. La constellation MDP-8 (modulation par déplacement de phase octovalente) normale est représentée à la Fig. 5a). Toutefois, on peut en modifier l'immunité au bruit en modifiant les distances entre symboles. Un exemple de la constellation MDP-8 hiérarchique est représenté à la Fig. 5b). Un symbole MDP-8 véhicule trois bits, l'immunité au bruit de chacun de ces bits étant différente en raison des différences de distance euclidienne entre symboles.

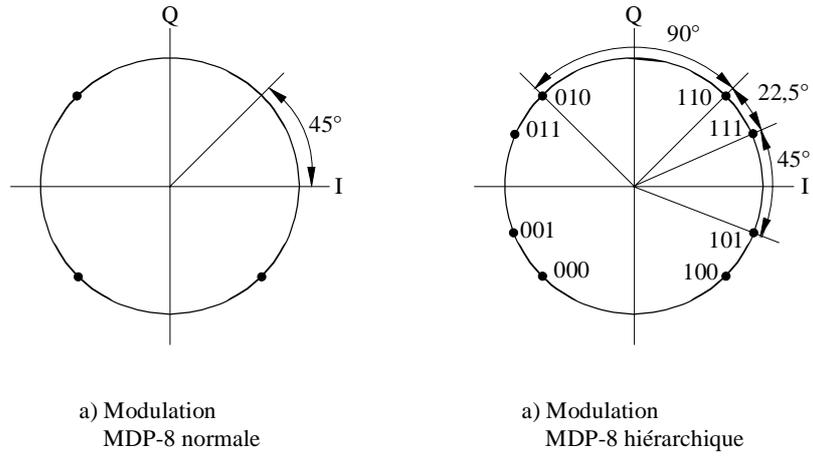
Les caractéristiques de TEB de la modulation hiérarchique représentée à la Fig. 5b) ont été calculées de manière théorique. Les résultats obtenus sont présentés à la Fig. 6. Le TEB du premier bit est identique à celui de la modulation MDP-4 (MDP quadrivalente), celui du deuxième bit est presque identique à celui de la modulation MDP-8 normale, et celui du troisième bit est proche de celui de la modulation MDP-16 (MDP à seize phases). La Fig. 7 montre l'efficacité d'utilisation spectrale en fonction du rapport C/N pour une valeur requise du TEB de 1×10^{-4} (avant correction d'erreur). Lorsque le rapport C/N est supérieur à 22,6 dB, l'utilisation de cette modulation permet de transférer 1,5 fois la quantité de données transférées par la modulation MDP-4.

2.3 Exemple 3

Un autre exemple de méthode de modulation à trois couches est donné aux § 3 et 4 de l'Annexe 3.

FIGURE 5

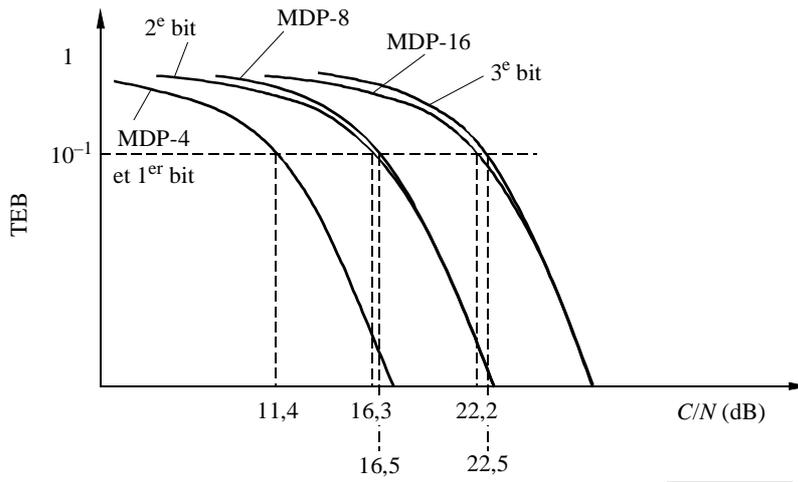
Principe de dégradation progressive par modulation MDP-8 hiérarchique



Rap 2007-05

FIGURE 6

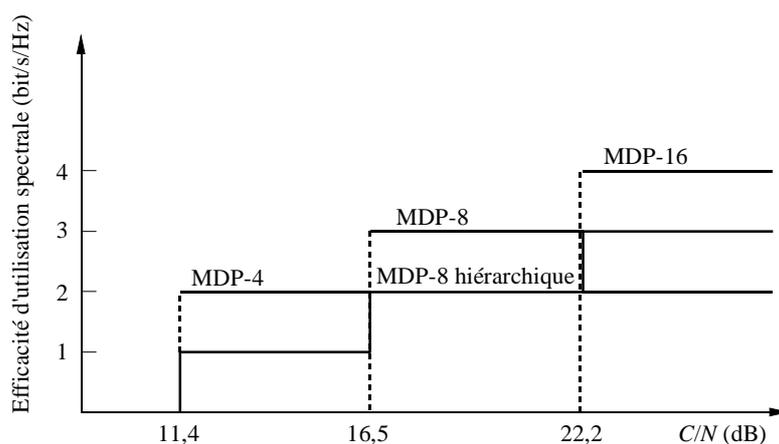
Caractéristiques de taux d'erreur binaire de la modulation MDP-8 hiérarchique



Rap 2007-06

FIGURE 7

Efficacité d'utilisation spectrale par la modulation MDP-8 hiérarchique



Rap 2007-07

3 Caractéristiques d'évanouissement dû à des pluies abondantes

Les systèmes numériques se caractérisant par la survenue abrupte des défaillances et les profils d'évanouissement dû aux pluies abondantes affectent donc directement leur disponibilité de service.

La Fig. 8 donne des exemples d'évanouissements C/N à 22 GHz dus à des précipitations abondantes. Ces courbes ont été extrapolées à partir de la courbe d'affaiblissement en fonction de l'intensité de pluie mesurée à 12 GHz à Tokyo au moyen du satellite de diffusion japonais BS-3 et selon la méthode décrite par l'UIT-R (Rapport 721 de l'ex-CCIR). Les caractéristiques d'évanouissements rapides et profonds dans la bande des 21 GHz sont bien visibles sur ces figures.

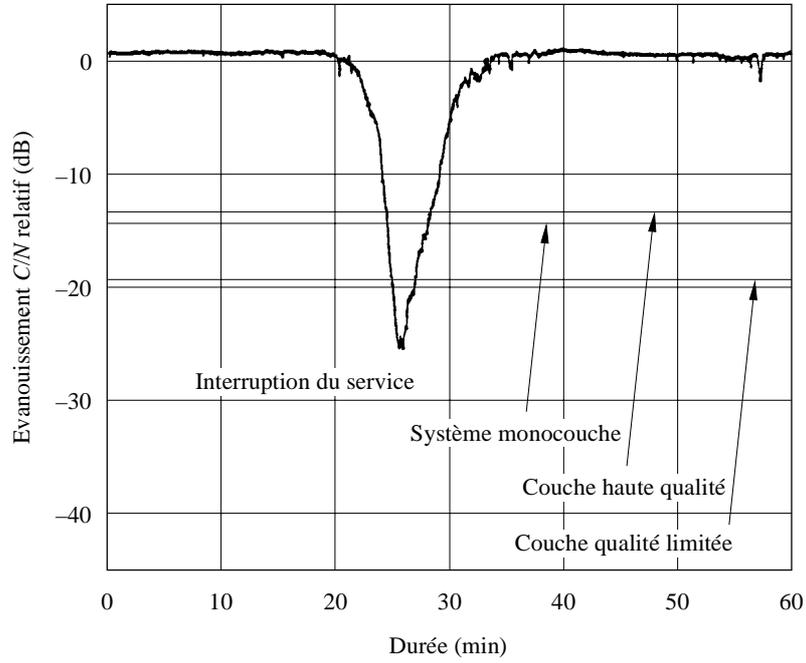
Les seuils d'interruption de service indiqués sur les figures sont calculés d'après les données décrites dans l'exemple 1 au § 2.1. Les paramètres de transmission retenus sont les suivants: p.i.r.e. de satellite de 70 dBW, antenne de réception de 45 cm de diamètre et facteur de bruit de 2,0 dB. Le Tableau 2 récapitule les durées d'interruption du service estimées d'après cette figure.

TABLEAU 2

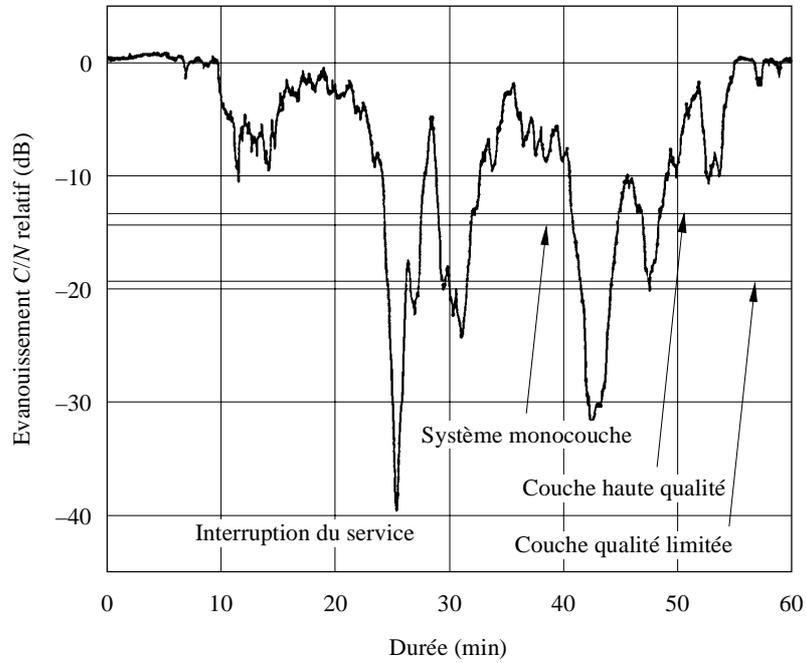
Durée d'interruption du service imputable à la transmission multicouche et monocouche d'après les exemples a) et b) de la Fig. 8

Episode	Schéma	Durée d'interruption du service (min)	Durée d'interruption par rapport au système monocouche (%)
a) Episode orageux	Monocouche	3,6	–
	Multicouche (couche haute qualité)	4,0	111
	Multicouche (couche qualité limitée)	2,0	56
b) Episode cyclonique	Monocouche	11,4	–
	Multicouche (couche haute qualité)	12,5	110
	Multicouche (couche qualité limitée)	7,1	62

FIGURE 8
Exemples d'évanouissement C/N dû à la pluie à 22 GHz



a) Episode orageux



b) Episode cyclonique

Pour les téléspectateurs de programmes de TVHD par exemple, une interruption de service, ne serait-ce que relativement brève, peut être extrêmement gênante au beau milieu d'une scène captivante. Par conséquent, bien qu'il importe d'évaluer la continuité du service en fonction de l'affaiblissement dû à la pluie en temps relatif cumulé, il importe bien plus pour l'évaluation de la disponibilité du service d'étudier le détail des courbes d'affaiblissement dû à la pluie. La télédiffusion numérique devrait être à cet égard d'une excellente qualité, bien supérieure à la télédiffusion en modulation de fréquence actuelle.

Il est à noter que l'efficacité de la modulation multicouche dépend beaucoup de la marge disponible dans le budget de liaison pour le service de haute qualité (HQ). Si on accepte un niveau de qualité de service inférieur pendant les périodes de fortes précipitations, la modulation multicouche peut améliorer sensiblement la disponibilité du service si la marge disponible dans le budget de liaison HQ est relativement faible (de 3 à 4 dB, par exemple), c'est-à-dire pour une puissance d'émission limitée du satellite et de petites antennes de réception domestiques. Si cette marge est relativement importante, disons de 10 à 15 dB, en raison d'une p.i.r.e. élevée pour le satellite ou de l'utilisation de grandes antennes de réception domestiques, l'amélioration de la continuité du service par la seconde couche (et le cas échéant par la troisième) sera relativement faible, car l'affaiblissement dû à la pluie augmente de manière exponentielle sur de courtes durées.

4 Résumé

Les méthodes décrites donnent des exemples sur la manière d'accroître la continuité du service par le recours à un concept alliant modulation multicouche, codage d'image multicouche et codage de voie multicouche. Des variantes de cette méthode principale sont actuellement à l'étude. On peut toutefois d'ores et déjà conclure que cette technique permettrait de porter la continuité du service à 99,9% voire plus du mois le plus défavorable, dans les zones à climat tempéré sans qu'il soit nécessaire d'accroître la puissance d'émission du satellite, la qualité de service en présence d'évanouissements profonds passant de la haute définition à une qualité TV à définition normale ou faible. Dans les pays sujets à de violents orages (tropicaux), d'autres mesures telles que la méthode de commande adaptative de la p.i.r.e. du satellite (voir l'Annexe 2) peuvent s'avérer nécessaires pour atteindre le même niveau de continuité de service. Il convient de préserver la haute qualité sonore nominale du service même en présence d'évanouissements profonds, la perte du son ne devant intervenir qu'après celle de l'image.

Les principes exposés dans la présente Annexe appellent un complément d'étude, notamment sur les points suivants:

- étude de l'effet de compensation assuré par la méthode de modulation multicouche en partant de courbes de précipitations réelles;
- fixation des paramètres pour une bonne disponibilité de service et calcul des valeurs seuils du rapport C/N pour chaque couche;
- effet de précipitations cycloniques abondantes et de grosses pluies continues;
- complexité du démodulateur et diminution de l'efficacité d'utilisation spectrale due à la transmission multicouche;
- mise au point d'un démodulateur stable dans un environnement à faible rapport C/N , spécialement pour la synchronisation.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- PALICOT, J. et VEILLARD, J. [1993a] Possible channel coding and modulation system for the satellite broadcasting of a high-definition signal (Système possible de codage et de modulation pour la télédiffusion par satellite de signaux à haute définition). *Image Comm. Journal*, numéro spécial ayant pour titre «Advances in High-Definition Television», septembre.
- PALICOT, J. et VEILLARD, J. [1993b] Possible coding and modulation approaches to improve service availability for digital satellite broadcasting at 22 GHz (Méthodes possibles de codage et de modulation pour améliorer la disponibilité de service en télédiffusion numérique par satellite à 22 GHz), *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, août.
- TSUZUKU, A., FUKUCHI, H., OHKAWA, M., OHUCHI et MORIKAWA, H. [1993] Advanced satellite broadcasting experiment using Japan's R&D satellite COMETS (Expérience de télédiffusion avancée par satellite au moyen du satellite japonais COMETS de recherche et de développement), Proc. of the 23rd European Microwave Conference (EUMC'93), Madrid, Espagne, 6-9 septembre, 110 à 112.

Méthode de commande adaptative de la p.i.r.e. des satellites pour la télédiffusion par satellite dans la bande des 21 GHz

1 Introduction

A 21 GHz, il semble difficile de mettre en œuvre des services de radiodiffusion directe par satellite avec des répéteurs conventionnels utilisant un seul tube à ondes progressives (TOP) par canal pour la totalité de la zone de service. Pour se prémunir contre l'affaiblissement dû à la pluie assez important dans cette bande, on serait obligé de prévoir dans le budget de liaison une marge de puissance trop importante.

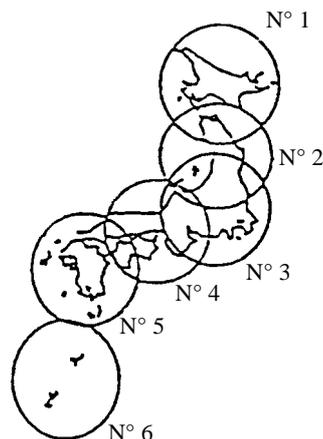
La subdivision de la zone de service selon une série de faisceaux ponctuels permet d'utiliser des TOP de moindre puissance. De plus, ce concept permet de commander individuellement la puissance d'émission de chaque faisceau et donc de compenser les foyers locaux d'affaiblissement atmosphérique.

La présente Annexe décrit les aspects techniques d'une méthode de commande adaptative de la p.i.r.e. des satellites pour le service de télédiffusion par satellite dans la bande des 21 GHz.

2 Principe de la méthode

La zone de service est couverte par un faisceau modelé constitué par exemple de six faisceaux élémentaires comme le représente la Fig. 9. La puissance d'émission de chaque faisceau du satellite peut être modifiée dans les limites de la puissance totale disponible. La marge de puissance du satellite est ainsi considérée comme une ressource commune aux différents faisceaux. Cette ressource est répartie adaptativement entre les différents faisceaux en fonction de l'intensité des précipitations qu'ils interceptent.

FIGURE 9
Empreinte de 6 faisceaux
(exemple du Japon)



Rap 2007-09

3 Exemple

Les Tableaux 3 et 4 indiquent respectivement le paramétrage et le budget de liaison d'un système donné en exemple. Par temps clair, le système dessert uniformément la totalité de la zone de service et compense les affaiblissements dus aux météores gazeux jusqu'à 3 dB. Lorsqu'il pleut dans une zone donnée, la p.i.r.e. du faisceau correspondant est augmentée progressivement jusqu'à sa valeur maximale. Dans l'exemple donné, il est possible de compenser jusqu'à un total de 10 dB l'affaiblissement atmosphérique (3 dB par la marge prévue d'absorption gazeuse et 7 dB par la variation de la puissance d'émission du satellite, voir le Tableau 4).

TABLEAU 3

Paramètres supposés du système de télédiffusion directe par satellite à 21 GHz

Fréquence	21,4 ~22 GHz
Antenne de réception domestique	45 cm de diamètre
Facteur de bruit du convertisseur domestique	1,5 dB
Taux de disponibilité du service	99% du mois le plus défavorable
Rapport C/N total requis ⁽¹⁾	10 dB
Débit binaire utile	78,336 Mbit/s ⁽²⁾
Modulation	MDP-4 à code convolutionnel 3/4
Débit binaire total ⁽³⁾	104,448 Mbit/s
Largeur de bande à la fréquence de Nyquist	52,224 MHz
Nombre de canaux par satellite ⁽⁴⁾	3
TEB requis	1×10^{-8}

(1) $E_b/N_0 = 5,2$ dB, dégradation du démodulateur = 2 dB, brouillage = 1 dB.

(2) Image: 70 Mbit/s, son: 2 Mbit/s, données: 1,421 Mbit/s, code de correction d'erreur directe (CED): 4,915 Mbit/s (CED: RS(255,239)).

(3) Multiple entier du débit binaire de base de 2,048 Mbit/s.

(4) Limite imposée par la puissance électrique disponible et de la capacité de dissipation thermique à bord.

TABLEAU 4

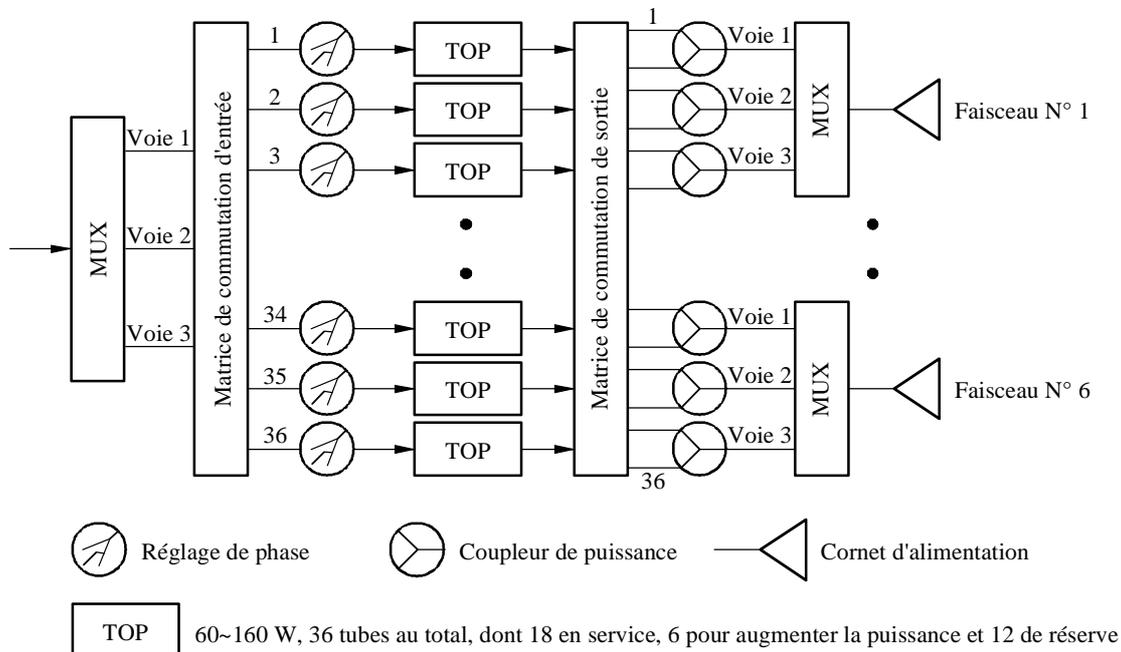
Exemple de budget de liaison à Tokyo

Paramètres du satellite	Temps clair	Temps pluvieux
Fréquence porteuse (GHz)	22,0	
Puissance de l'émetteur (W)	60	320
Gain de l'antenne d'émission (dBi)	47	
Affaiblissement de ligne d'alimentation (dB)	-4	
p.i.r.e. (dBW)	60,78	68,05
Facteurs de propagation		
Affaiblissement en espace libre (dB)	-210,87	
Affaiblissement par météores gazeux (dB)	-3,14	
Affaiblissement dû à la pluie (dB)	0	-6,73
Système de réception		
Diamètre d'antenne (cm)	45	
Rendement d'antenne (%)	70	
Affaiblissement de dépointage (dB)	-1,0	
Température de bruit d'antenne (K)	144,12	233,21
Facteur de bruit du convertisseur (dB)	1,5	
Température ambiante (°C)	24,9	
Température de bruit équivalente (K)	122,89	
Largeur de bande de bruit (Nyquist) (MHz)	52,224	
C/N sur liaison descendante (dB)	11,69	10,98
C/N sur liaison d'alimentation (dB)	30	
Affaiblissement C/N total (dB)	11,63	10,93

Le schéma fonctionnel nominal de ce système de répéteur à p.i.r.e. variable est représenté à la Fig. 10.

FIGURE 10

Schéma fonctionnel du système de répétition à p.i.r.e variable



Rap 2007-10

L'accroissement de la p.i.r.e. est obtenu par un accroissement de la puissance de sortie des amplificateurs à TOP (ATOP) et le couplage en parallèle de deux ATOP. Comme le montre la Fig. 10, pour un faisceau ponctuel donné un groupe d'ATOP est directement relié à un cornet d'alimentation par l'intermédiaire du multiplexeur, sans réseau conformateur de faisceau. Cela permet de limiter l'affaiblissement et de ne pas concentrer toute la puissance en un point.

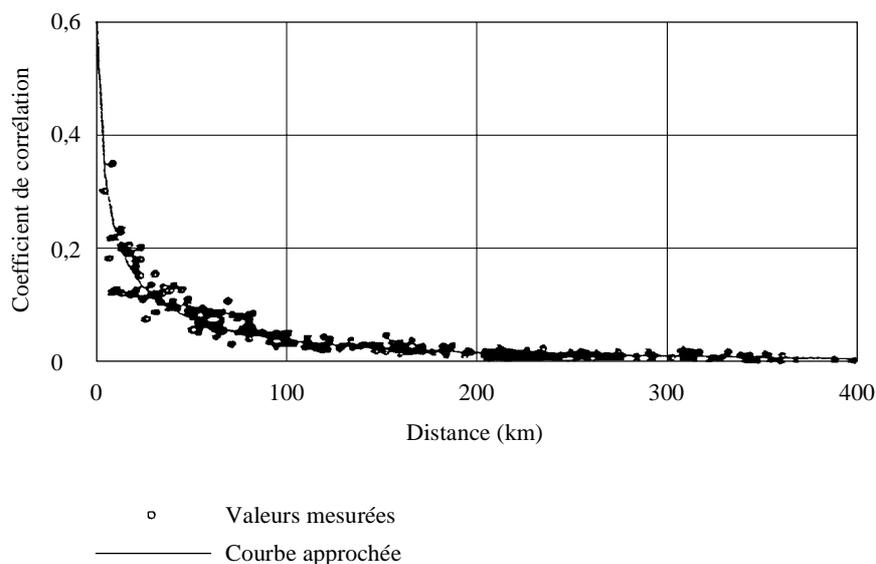
Avant d'introduire une méthode de commande adaptative de la p.i.r.e., il convient d'examiner les caractéristiques de distribution spatiale des précipitations. D'après les observations faites sur le terrain, les zones de fortes précipitations sont généralement plus petites que l'empreinte du faisceau de télédiffusion. Mais les zones de pluie peuvent être largement disséminées, non seulement à l'intérieur d'un même faisceau, mais sur plusieurs faisceaux.

La Fig. 11 donne un exemple de coefficients de corrélation spatiale des précipitations en Angleterre [Fukuchi, 1988]. Elle révèle qu'il n'existe pratiquement pas de corrélation avec les précipitations des zones éloignées du site de mesure. Par conséquent, la méthode de commande de la p.i.r.e. n'est efficace que dans le voisinage du site de mesure. Pour que la compensation de l'affaiblissement dû à de fortes pluies dans la bande soit plus efficace, les observatoires doivent être situés dans les zones densément peuplées. En d'autres termes, l'utilisation de données provenant d'emplacements de mesure à forte densité de population s'impose pour rendre vraiment efficace la méthode de commande adaptative de la p.i.r.e.

4 Résumé

La présente Annexe décrit un système de répéteur à p.i.r.e. à variation adaptative pour un service de télédiffusion par satellite à couverture nationale dans la bande des 21 GHz. Cette méthode est susceptible de garantir des images de haute qualité avec une continuité de service élevée grâce à l'accroissement de la puissance rayonnée vers les zones soumises à un affaiblissement dû à de fortes précipitations.

FIGURE 11
Corrélation en fonction de la distance entre les précipitations de deux sites
Durée d'intégration (5 min)



Rap 2007-11

Le recours à de multiples ATOP d'une puissance relativement limitée et à une antenne à faisceaux ponctuels permet de réaliser un système de répétition fiable tout à fait réalisable, en ce qui concerne les sources dans les limites de puissance électrique disponible et de capacité de dissipation thermique [Shogen et autres, 1992 et 1993] qu'on peut trouver sur un satellite actuel.

Les sujets suivants appellent un complément d'étude:

- antennes à faisceaux multiples;
- TOP allégés à puissance variable;
- techniques de combinaison de puissance radioélectrique;
- combinaison avec la technique de dégradation progressive;
- prise en compte de la disponibilité spatiale en plus de la disponibilité de durée du service;
- efficacité de la méthode de commande de la p.i.r.e. sous de fortes précipitations locales (orages par exemple);
- distribution optimale des sites de mesure et stratégie détaillée de commande de la p.i.r.e.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

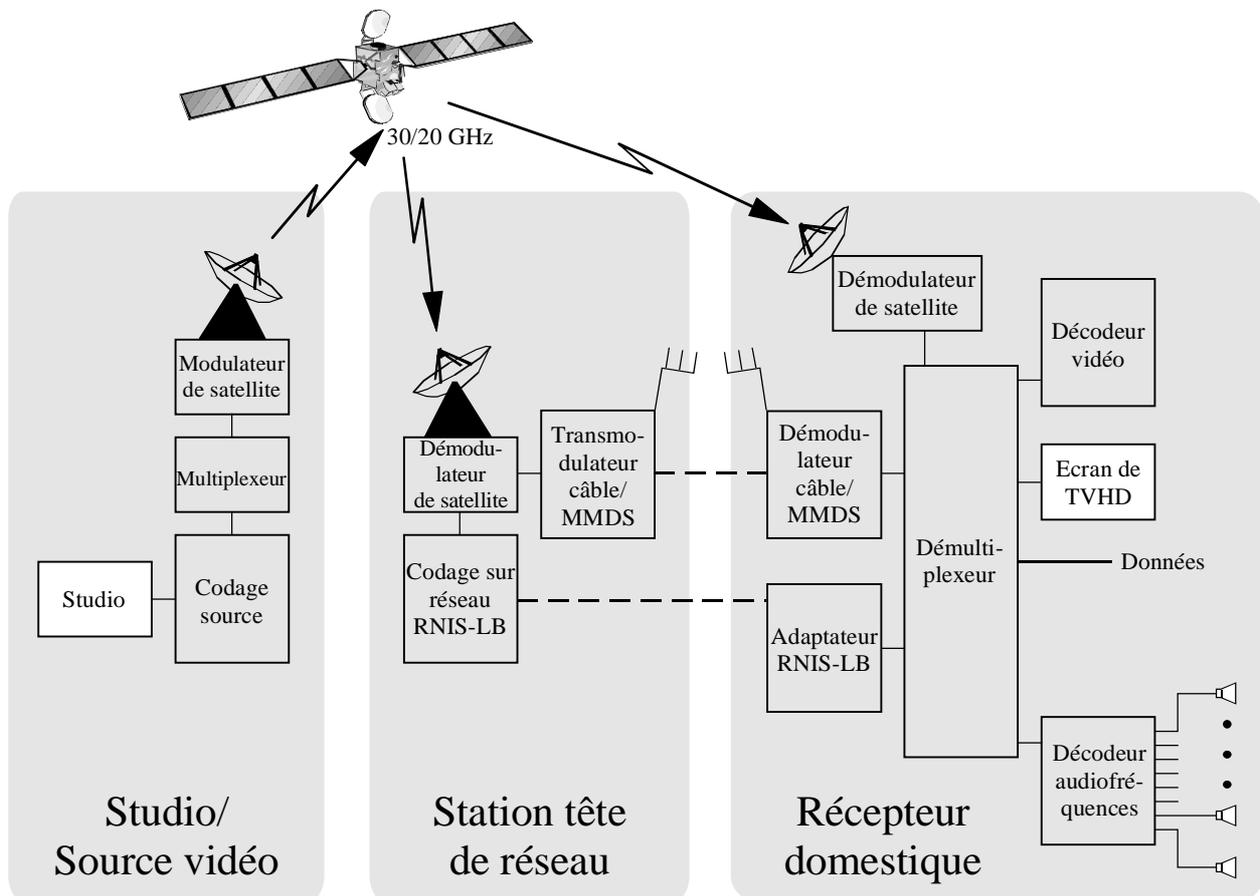
- FUKUCHI, H. [1988] Spatial correlation properties of rainfall rate in UK (Corrélation spatiale des précipitations au Royaume-Uni), *IEE Proc.* Vol. 135, Pt. H, 83-88.
- SHOGEN, K., NISHIDA, H., MORISHITA, Y. [1992] A study on variable e.i.r.p. system for 21 GHz global broadcasting satellite (Etude d'un système à p.i.r.e. variable pour la télédiffusion mondiale par satellite à 21 GHz). Proc. of 18th ISTS, 1587-1594.
- SHOGEN, K., NISHIDA, H., MORISHITA, Y. [1993] A variable e.i.r.p. system for 21 GHz band broadcasting satellite (Système à p.i.r.e. variable pour la télédiffusion par satellite à 21 GHz). Proc. 1993 MWE, 285-289.

Schémas spectralement efficaces de codage et de modulation pour les applications de TVHD en large bande en distribution par câble et par satellite

1 Introduction

HD-SAT [1] est un projet de recherche quadriennal (1992-1995) conjointement financé par les partenaires du Consortium et par la Commission européenne (DG XIII) dans le cadre du programme RACE II. HD-SAT a pour but d'étudier, de développer et de démontrer la faisabilité d'une chaîne de télédiffusion complète, utilisant la retransmission par satellite à 30/20 GHz, pour fournir au téléspectateur à domicile une TVHD virtuellement de qualité studio, avec son multilingue/multivoie. Le «système» HD-SAT englobe la liaison montante du studio au satellite, la réception directe du satellite à domicile, ainsi que la distribution secondaire par des réseaux de Terre, comme les réseaux câblés, les systèmes de distribution hertziens multipoints (MMDS, *multipoint microwave distribution system*) et les réseaux de communication intégrés à large bande en cours de développement. La Fig. 12 ci-dessous illustre l'architecture générale du système HD-SAT.

FIGURE 12
Architecture générale du système HD-SAT



Rap 2007-12

Le texte suivant, qui propose un «schéma spectralement efficace de codage et de modulation pour les applications de TVHD en large bande en distribution par câble et par satellite», s'articule autour des principaux éléments suivants :

- résumé des caractéristiques de base du service HD-SAT;
- introduction à la dégradation progressive dans la bande Ka (30/20 GHz) en vue d'assurer la continuité du service;
- exemple d'un système à trois couches;
- introduction aux aspects d'interfonctionnement intervenant dans le projet, et plus particulièrement au «concept de récepteur commun» et à «l'interopérabilité avec les réseaux en câbles».

2 Caractéristiques du service

Des études portant sur les besoins des utilisateurs, et notamment une étude exhaustive qui a été transmise aux exploitants européens de réseaux par satellite, de réseaux de diffusion de Terre et de réseaux câblés, ont permis de cerner les spécifications et caractéristiques de service dans le projet HD-SAT.

Ces caractéristiques sont résumées ci-dessous:

- taux de disponibilité du service de 99,6% (mois le plus défavorable);
- meilleure qualité possible dans le format de TVHD (qualité virtuelle de studio);
- couverture européenne;
- petite antenne en réception domestique (60 à 90 cm);
- qualité de service entière pour l'utilisateur final branché sur un réseau en câble ou sur un réseau MMDS.

3 Continuité de service – dégradation progressive dans la bande Ka

La transmission par satellite dans la bande des 20 GHz impose de contrebalancer efficacement les conditions défavorables de propagation qui y règnent, et qui se caractérisent par une dépolarisation atmosphérique et de profonds évanouissements dus à la pluie. La continuité de service est un problème clé qui appelle la mise en place de nouvelles solutions faisant intervenir une modulation de voies multicouche, afin de conférer une progressivité aux dégradations dues aux mauvaises conditions atmosphériques.

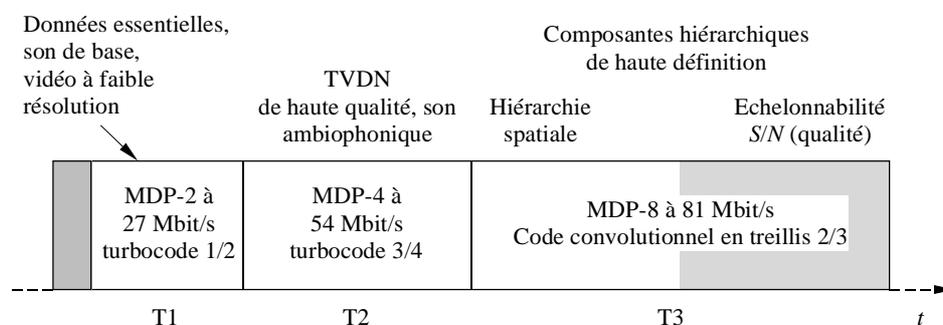
Contrairement aux systèmes analogiques dans lesquels les dégradations s'étendent progressivement, il est possible de passer en télévision numérique d'une réception virtuellement sans erreur à la perte complète de fonctionnement du décodeur d'images pour une dégradation du C/N de moins de 1 dB (l'effet mur de brique). En offrant la possibilité de recevoir des images de qualité moindre lorsque les conditions de transmission se détériorent, la technique de la dégradation numérique progressive peut contribuer à l'accroissement de la disponibilité du service.

L'objectif d'un schéma réussi de modulation pour les émissions de satellite est, tout en utilisant un minimum de la puissance disponible à bord et en n'exigeant qu'une antenne de réception domestique de faibles dimensions, de parvenir à assurer une continuité de service de 99,6% en Europe durant le mois le plus défavorable.

Le modem de satellite à dégradation progressive du système HD-SAT a été conçu selon le concept de multiplexage dans le temps de différentes techniques de modulation, qui nécessitent chacune un seuil différent de C/N pour que la démodulation des signaux soit possible. De cette façon, et à mesure que les conditions de propagation se détériorent, les couches de modulation nécessitant les plus fortes valeurs du C/N se perdent, mais les couches les plus robustes continuent à fonctionner. La synchronisation du modem est rendue plus simple si on attribue à chaque couche la même rapidité de modulation (27 MBd/s).

La Fig. 13 représente la «trame» de modulation d'une réalisation à trois couches.

FIGURE 13
Exemple de codage hiérarchique d'un canal



T1: turbocode 1/2

T2: turbocode 3/4 ou «code convolutionnel et algorithme de Reed-Solomon»

Si on choisit par exemple le rapport $T1:T2:T3 = 1:3:6$, les débits binaires correspondants seront de 2,7 Mbit/s pour T1, 16,2 Mbit/s pour T2 et 48,6 Mbit/s pour T3, ce qui donne un débit binaire total de 67,5 Mbit/s.

La modulation MDP-8 en combinaison avec un codage convolutionnel en treillis a été adoptée pour la couche supérieure de modulation du système HD-SAT, spectralement la plus efficace, mais aussi la moins robuste. Les schémas retenus pour les couches inférieures comprennent, pour la couche intermédiaire de service, la modulation MDP-4 avec turbocodage ou un schéma classique de code convolutionnel avec un algorithme de Reed-Solomon concaténé, et, en mode repli de la couche inférieure de service, une modulation MDP-2.

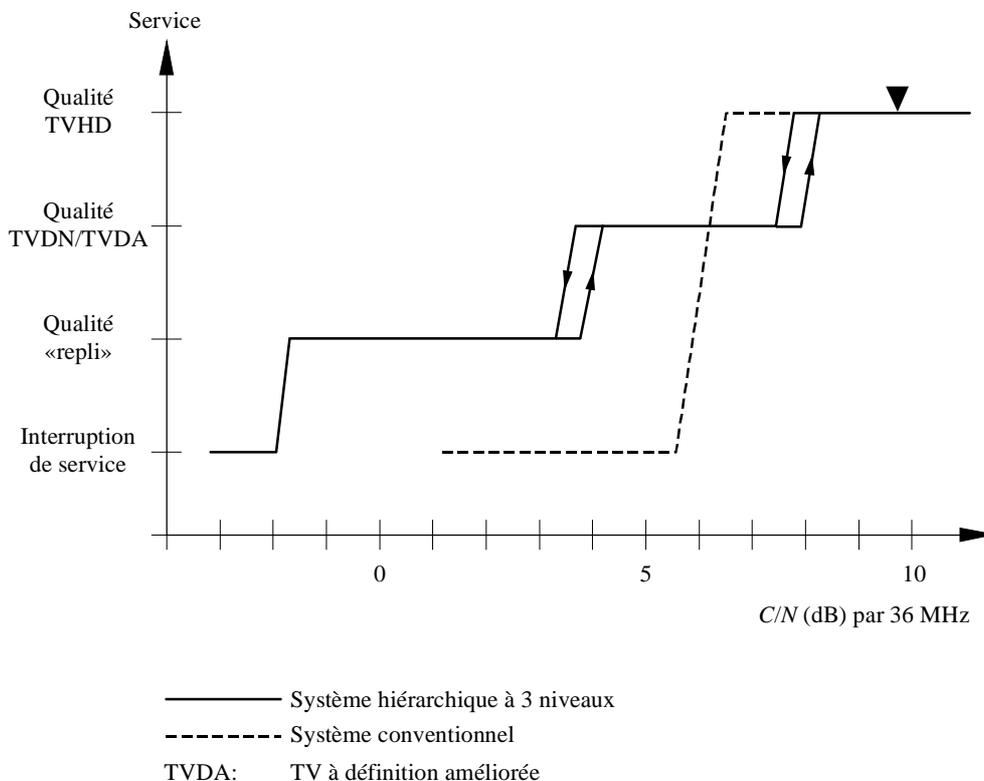
Le turbocodage utilise des processus itératifs avec un schéma de concaténation de codes physiquement efficace. Le turbocodage appliqué à la modulation MDP-4 dans le système HD-SAT a donné un gain de codage significatif, un degré élevé d'indépendance par rapport à la décroissance du signal, en même temps qu'une bonne efficacité de transmission (en éliminant la nécessité d'un code de correction d'erreur directe (CED)) sur un canal non linéaire de satellite. Dans ces conditions, le rendement du canal approche la limite de Shannon.

Un schéma de modulation offrant une marge d'affaiblissement de 12 dB environ entre le point de fonctionnement nominal par temps clair en mode TVHD et la perte complète de service a été proposé comme solution viable. De ces 12 dB, 9 dB sont assurés par le processus de dégradation progressive en lui-même, les 3 dB restants correspondant à la marge du point de fonctionnement d'une antenne de réception domestique « nominale ».

La Fig. 14, qui représente le taux de disponibilité du service HD-SAT en fonction du C/N , illustre le processus de dégradation progressive et son efficacité.

FIGURE 14

Fonctionnement du codage multivoies hiérarchique en fonction du C/N



4 Codage des images (MPEG-2) et attribution des couches de modulation

Le système HD-SAT utilise le codage MPEG-2 (profil élevé à niveau élevé) avec le multiplexage, ce qui, entre autres fonctionnalités, offre les deux caractéristiques essentielles suivantes:

- hiérarchie spatiale et échelonnabilité SNR;
- compatibilité vers le bas.

La définition du codec et le fonctionnement du modem à dégradation progressive du satellite sont intimement liés. L'affectation des composantes appropriées du codec à la couche de modulation définira les services HD-SAT en mode de dégradation progressive.

Le système à trois couches ci-dessous a été choisi en premier lieu pour la multiplicité des niveaux de disponibilité qu'il offre lorsque les conditions de propagation sont moyennement à fortement dégradées, et aussi pour la capacité de ce système à interfonctionner avec les autres systèmes et moyens de communication.

TABLEAU 5

Fonctionnement des couches

Première couche	Données essentielles, son et image à faible définition	par exemple 1,5 Mbit/s
Deuxième couche	Son et image de TVDN de bonne qualité et données complémentaires	par exemple 10 Mbit/s
Troisième couche	Première sous-couche: données complémentaires à hiérarchie spatiale pour obtenir la qualité TVHD	par exemple 15 Mbit/s
	Deuxième sous-couche: informations complémentaires échelonnables SNR pour obtenir une TVHD virtuellement de la qualité studio	par exemple 20 Mbit/s

5 Aspects de l'interfonctionnement

5.1 Concept du récepteur commun

L'interfonctionnement entre les formats de la télévision et des autres moyens de communication pourrait être réalisé économiquement par le concept du récepteur commun (voir la Fig. 15), qui permet aux utilisateurs de recevoir les programmes et les services véhiculés par divers moyens de communication grâce à un démultiplexeur, un décodeur source et un écran commun à tous ces moyens. Pour recevoir un de ces supports de communication, le récepteur commun utilise l'adaptateur/décodeur de canal approprié, qui envoie le flux de données de transport au format MPEG-2 commun à l'entrée du démultiplexeur.

5.2 Interopérabilité avec les réseaux câblés

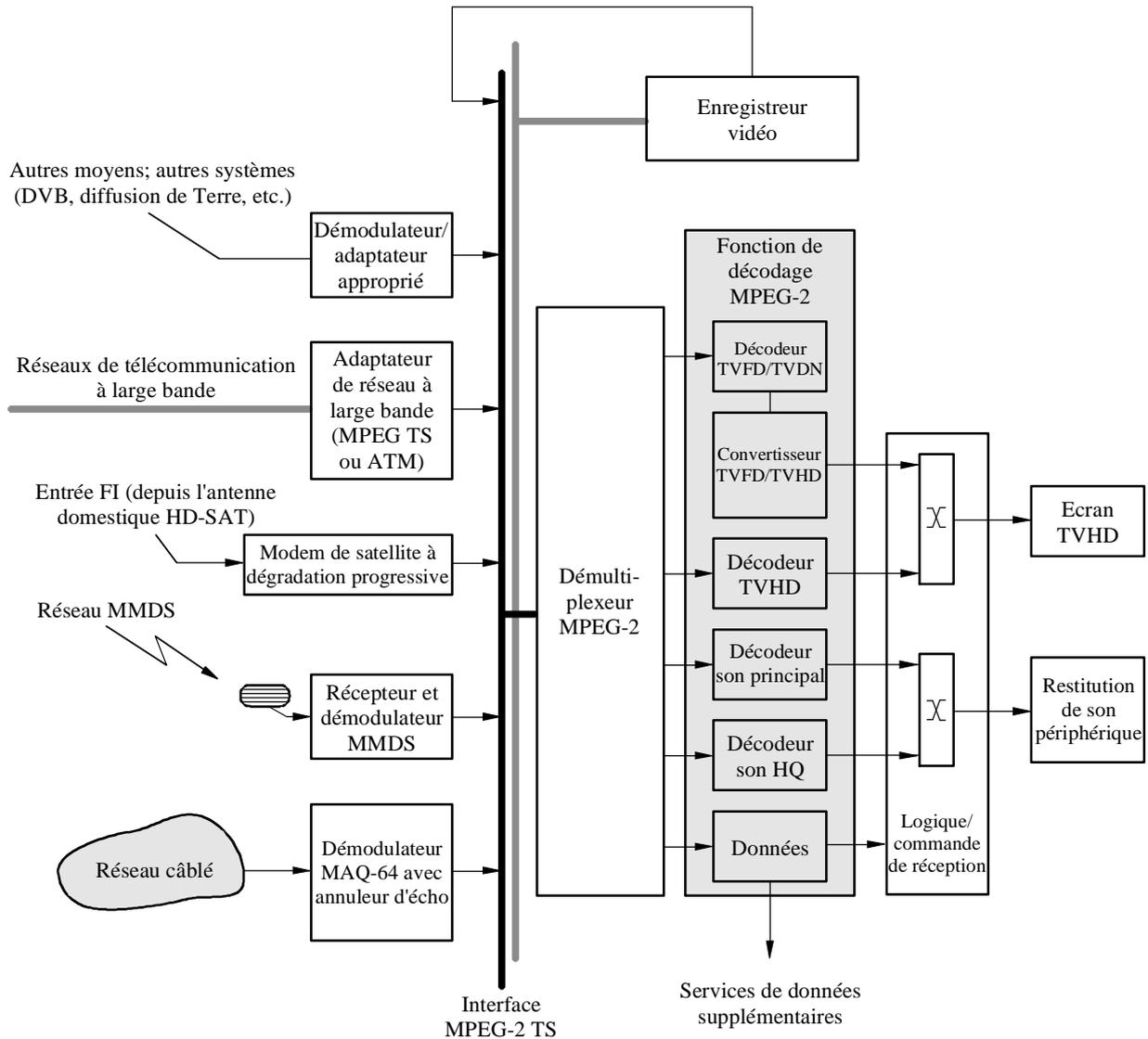
Les canaux des réseaux de télévision câblés et les canaux des transpondeurs de satellite ont des caractéristiques très différentes. Ainsi, dans un canal en câble, la dégradation progressive n'est pas utile et n'y a pas sa place.

Au niveau de la station tête de réseau, il est nécessaire de procéder à une adaptation du flux de données de transport MPEG-2 du système HD-SAT pour optimiser l'utilisation de la largeur de bande offerte par le câble. Le flux de transport MPEG-2 de base du système HD-SAT contient nécessairement certaines composantes supplémentaires pour assurer la fonction de repli de la continuité de service, composantes qui ne sont pas utilisées par le support s'il n'est pas prévu de dégradation progressive.

A cette fin, un transmultiplexeur MPEG-2 est installé entre le démodulateur du satellite et le modulateur du câble. Ce transmultiplexeur est en fait un «commutateur» MPEG-2 qui va admettre un (ou plusieurs) flux de transport MPEG-2 à son entrée, et remettre un (ou plusieurs) flux de transport MPEG-2 à sa sortie. Le transmultiplexeur est programmable et permet de réarranger les composantes et les programmes, ce qui, dans cette application, signifie le filtrage des composantes inutiles.

FIGURE 15

Architecture du récepteur commun du système HD-SAT



ATM: mode de transfert asynchrone (*asynchronous transfer mode*)
 DVB: radiodiffusion vidéonumérique (*digital video broadcasting*)

Rap 2007-15

La station tête de réseau est configurée de telle manière que le fonctionnement en modes dégradés progressifs n'est pas utilisé. En adoptant une antenne de dimensions environ quatre fois plus grandes qu'une antenne de réception domestique, on obtient une continuité de service de TVHD égale ou supérieure à la continuité globale obtenue avec une antenne domestique munie d'un dispositif de dégradation progressive. Les dimensions de l'antenne de la station tête de réseau serait de l'ordre de 2,5 m. Il est à noter que si le système est équipé d'une telle antenne, l'accroissement de disponibilité qui pourrait être obtenu en installant un dispositif de dégradation progressive serait négligeable.

Afin de multiplier le plus possible les éléments communs avec le système proposé par DVB, le système HD-SAT est enrichi d'un système de modulation d'amplitude en quadrature à 64 états (MAQ-64) pour transmission câblée, qui offre une capacité de 45 Mbit/s sur un canal de 8 MHz.

6 Démonstration d'un système expérimental

Une démonstration publique d'une chaîne de télédiffusion HD-SAT complète a été faite aux Symposium international et Exposition technique de télévision de Montreux (9-14 juin 1995). Nous donnerons dans le présent paragraphe un aperçu de la configuration du système de démonstration, de son fonctionnement et des résultats obtenus. Cette démonstration a permis de donner un exemple de mise en œuvre fonctionnelle concrète et convainquante d'une chaîne de télédiffusion TVHD numérique fonctionnant à 30/20 GHz.

6.1 Présentation générale du système expérimental présenté

Selon sa définition générique, le système spécifié dans le cadre du projet HD-SAT est un système utilisant une modulation à trois couches dans le canal satellite, et un codage TV MPEG-2 à quatre couches, incluant un codage spatial et un codage hiérarchique en fonction du rapport S/N pour la TVHD et la télévision à faible définition (TVFD). Dans la spécification d'une mise en œuvre finale, on établira un compromis pour déterminer le sous-ensemble de cette fonctionnalité à mettre en œuvre pour un système opérationnel.

Le système expérimental de démonstration a été défini comme constituant un sous-ensemble de la mise en œuvre générique qui, abstraction faite des considérations d'ordre pratique relatives aux améliorations à apporter au matériel utilisé, peut en tout état de cause se révéler suffisante. Cependant, le système de démonstration ne saurait être considéré comme correspondant à la spécification finale d'un système opérationnel, pour ce qui est notamment des débits binaires utilisés, du nombre de couches de codage et de transmission, de la puissance et de la couverture du satellite, etc.

Il est à noter qu'était associé à la démonstration faite à Montreux un deuxième projet RACE sur la radiodiffusion télévisuelle numérique par voie hertzienne de Terre (DTTB, *digital terrestrial television broadcasting*). On a pu ainsi démontrer de manière concluante les possibilités d'interfonctionnement entre le système HD-SAT et d'autres systèmes ou supports de transmission. Cependant, nous nous bornerons, dans le présent article, à examiner la partie du système HD-SAT fonctionnant à 30/20 GHz.

On trouvera sur la Fig. 16 un schéma fonctionnel de la configuration de démonstration des chaînes de télédiffusion HD-SAT présentées à Montreux.

Les composantes (vidéo, son) des programmes de télévision sont codées selon la norme MPEG-2, puis multiplexées en un flux de transport MPEG unique. Ce flux de transport parvient aux utilisateurs finals par la chaîne de transmission, il est indépendant du support de transmission. La fonction d'interfonctionnement des réseaux à satellite et des réseaux de Terre est localisée dans la station tête de réseau.

A la sortie de la chaîne de transmission, le flux de transport reçu est démultiplexé et les composantes du programme sont décodées. L'utilisation de la spécification du flux de transport MPEG-2 est compatible avec le concept de «récepteur commun» selon lequel un même récepteur de télévision peut recevoir des programmes transmis sur différents supports de transmission.

6.2 Dégradation progressive: configuration de démonstration

6.2.1 Continuité du service dans les bandes 20/30 GHz du satellite

Une des principales difficultés à surmonter dans le cadre du projet HD-SAT est d'assurer une disponibilité (continuité) de service élevée dans la bande Ka de diffusion qui est bien connue pour ses caractéristiques d'affaiblissement dû à la pluie. Un schéma de modulation en couches pour le satellite permet la transmission d'un débit binaire élevé dans la couche la moins fiable (par ciel clair), et de réduire progressivement le débit de transmission de manière inversement proportionnelle à la fiabilité de chacune des couches successives. La qualité de service donnée à la réception est déterminée par la couche supérieure qui peut être démodulée avec succès. Ainsi, pendant les évanouissements dus à la pluie, la qualité de service ne chute pas brusquement, mais par paliers. Bien que des schémas de niveau plus élevé aient également été étudiés dans le cadre du projet HD-SAT, pour le système présenté à Montreux on a utilisé deux niveaux (voir la Fig. 17). Dans l'hypothèse d'un bilan de liaison présentant une marge de 3 dB par ciel clair, on dispose d'une dynamique d'environ 12 dB avant l'interruption totale du service.

FIGURE 16
Configuration de démonstration HD-SAT

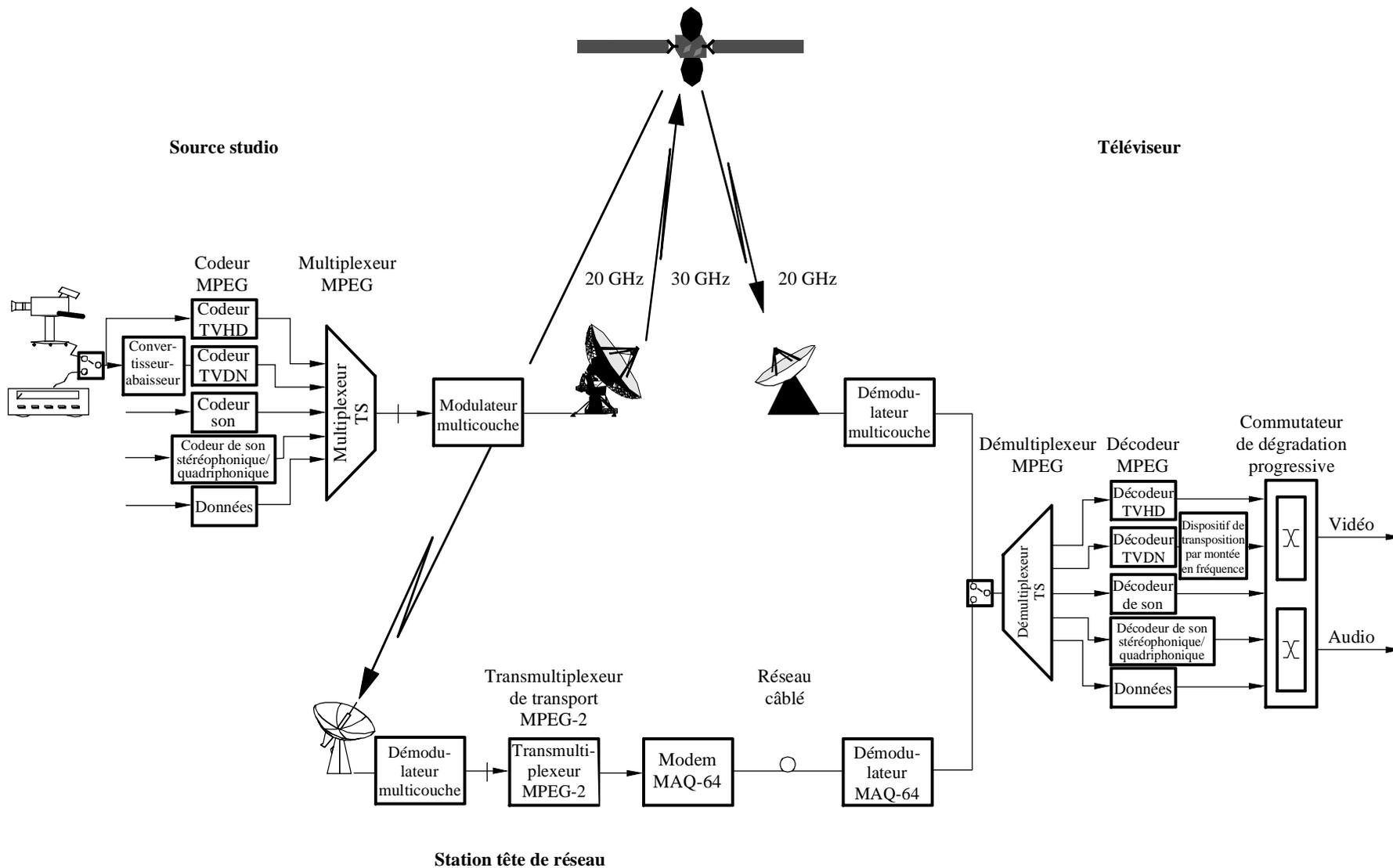
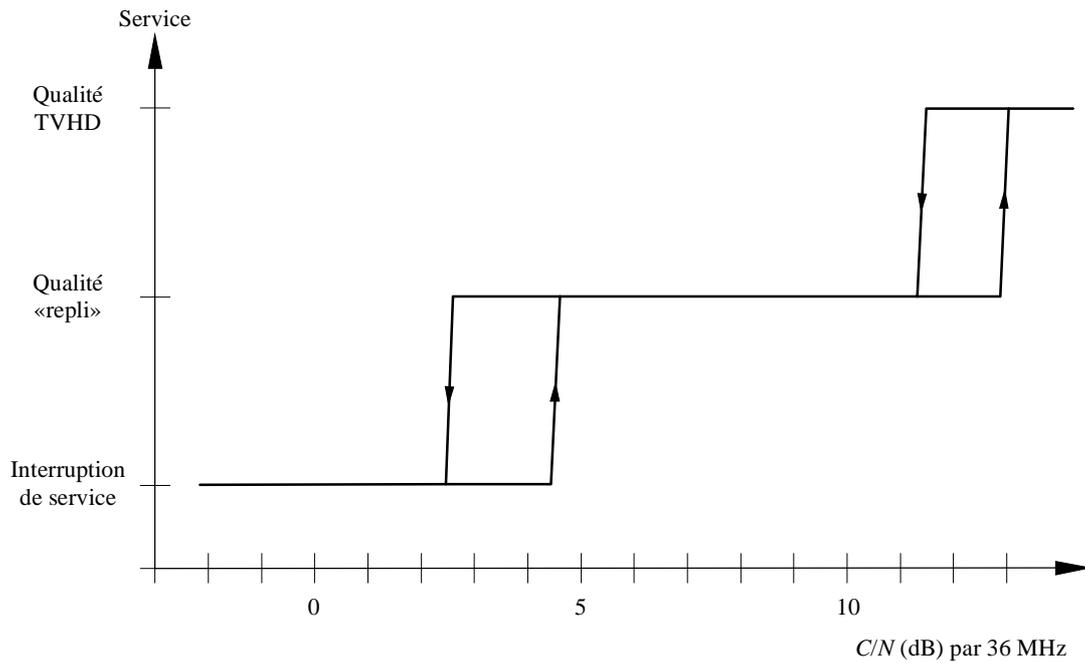


FIGURE 17
 Qualité de dégradation progressive à travers un canal satellite à 30/20 GHz
 (Configuration de démonstration de Montreux)

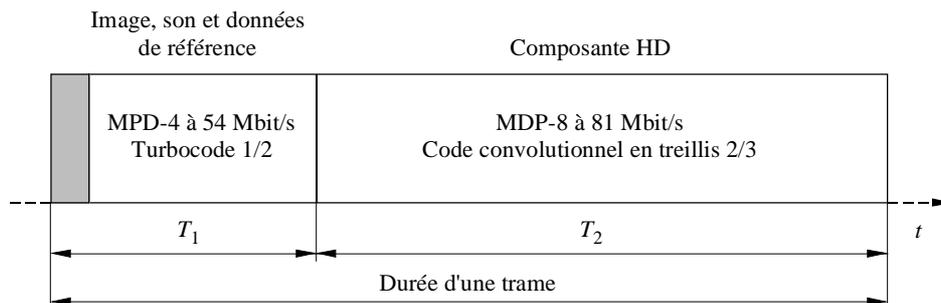


Rap 2007-17

Dans le présent schéma à deux couches, la modulation MDP-8 associée à un codage convolutionnel en treillis est utilisée pour la couche dont l'efficacité spectrale est la plus élevée (mais dont la fiabilité est la plus faible). La modulation MDP-4 avec codage turbo, qui a fait l'objet de nombreuses simulations qui en ont démontré l'efficacité, est utilisée dans la couche inférieure pour assurer un service de repli particulièrement fiable.

La Fig. 18 représente la trame de modulation utilisée pour le schéma à deux couches.

FIGURE 18
 Codage de canal structuré en couches à deux niveaux
 (Configuration de démonstration de Montreux)



Rap 2007-18

On trouvera ci-dessous un récapitulatif des caractéristiques du modem de satellite à dégradation progressive qui a servi pour la démonstration:

Transmission par satellite

- Bande Ka (DFS-1 KOPERNIKUS): liaison montante à 29,58 GHz, liaison descendante à 19,78 GHz.
- Modem à deux couches à dégradation progressive et à multiplexage temporel.
- 27 Msymbole/s (largeur de bande de 36 MHz).
- Modulation MDP-4 pendant T/6:
 - débit binaire instantané = 54 Mbit/s;
 - codage de canal = turbocode (Turbo3) avec débit 1/2;
 - débit binaire instantané utile avant codage: 27 Mbit/s.
- Modulation MDP-8 pendant 5T/6:
 - débit binaire instantané = 81 Mbit/s;
 - codage de canal = codage en treillis à débit 2/3 avec algorithme Reed-Solomon concaténé;
 - débit binaire instantané utile avant codage: 54 Mbit/s.

Codage MPEG-2

Dans le système de démonstration, le codec MPEG-2 avait pour fonctions d'assurer le codage-décodage des signaux suivants:

- signaux de TVDN: profil principal/niveau principal 4:2:0;
- signaux de TVHD: profil principal/niveau 4:2:0 (Supérieur-1440);
- signaux son stéréo MPEG-1, et
- signaux son ambiophonique MPEG-2, couche II, 5 voies.

Tous ces signaux sont multiplexés dans un *seul* flux de transport MPEG-2 prenant en charge des modes de transmission par satellite à dégradation progressive ainsi que l'interfonctionnement avec les réseaux câblés offrant une qualité non dégradée.

Le Tableau 6 indique les éléments composant le flux de transport utilisé pour la démonstration ainsi que leur répartition dans la couche de modulation de dégradation progressive du signal satellite.

TABLEAU 6

Couche de modulation	Contenu	Débits binaires (charge utile nette)
MDP-4 avec codage turbo	Image TVDN avec son stéréo	3,9 Mbit/s (vidéo) 192 kbit/s (son)
MDP-8 avec codage convolutionnel en treillis	Image TVHD avec son ambiophonique à 5 voies (MPEG-2, couche II)	39 Mbit/s (vidéo) 384 kbit/s (son)

6.3 Interfonctionnement avec la partie câble

La station tête de réseau HD-SAT reçoit le signal HD-SAT en provenance du satellite et assure le service TVHD de qualité non dégradée sur un canal de transmission par câble normalisé de 8 MHz.

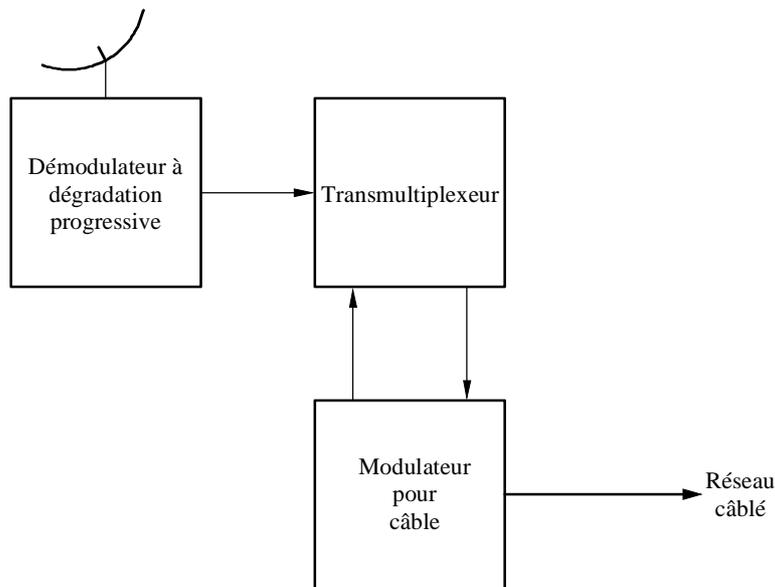
Les principales fonctionnalités de la station tête de réseau qui a fait l'objet de la démonstration HD-SAT à l'exposition de Montreux de 1995 étaient les suivantes:

- réception directe d'un flux de transport MPEG-2 en provenance du satellite et mise en œuvre de la fonction dégradation progressive;
- adaptation de ce flux de transport à un programme de TVHD pure, et
- remodulation du flux à faible débit binaire par modulation MAQ-64 de type DVB pour alimenter un canal à 8 MHz d'un réseau en câble local.

Le téléviseur commun démodule et décode le signal de TVHD HD-SAT transmis sur le câble afin de présenter une image et un son de qualité non dégradée.

Ces fonctions sont représentées schématiquement sur la Fig. 19.

FIGURE 19
Vue schématique de l'interface de la station tête de réseau HD-SAT



Rap 2007-19

6.3.1 Réception par satellite dans la station tête de réseau

Le système de dégradation progressive mis en œuvre pour la HD-SAT permet au téléspectateur de recevoir directement, avec la continuité de service requise, les programmes avec une petite parabole individuelle. En revanche, une station tête de réseau, qui par définition dessert un certain nombre d'abonnés au câble, n'a pas nécessairement les mêmes impératifs en termes de dimension d'antenne. L'utilisation d'une antenne plus grande peut se traduire par une continuité de réception supérieure à celle qui est obtenue avec une petite antenne individuelle. Par ailleurs, compte tenu des statistiques prévues et mesurées relatives aux événements de propagation dans la bande des 20 GHz, l'amélioration de la disponibilité du service en incluant la réception dans les conditions de dégradation progressive, apportée par cette plus grande antenne serait négligeable.

C'est pourquoi on utilise une antenne de réception d'environ 2 m de diamètre dans la station tête de réseau pour la HD-SAT, antenne qui est supposée assurer une réception sans dégradation des programmes de TVHD tout en offrant la continuité de service requise.

6.3.2 Transmultiplexeur MPEG-2

Pour le canal sur le câble, dont la bande passante est limitée mais qui n'est pas sujette à des conditions de transmission variables, la mise en œuvre de la dégradation progressive n'est pas nécessaire. Ainsi, pour la configuration de démonstration, l'adaptation du flux de transport MPEG-2 consiste à supprimer du flux reçu en provenance du satellite les composantes TVDN qui ne sont pas nécessaires pour fournir le service TVHD.

Cela implique la détection et le filtrage des paquets MPEG-2 au moyen des identificateurs (ID) de paquets, la gestion de la base de temps MPEG-2 et l'adaptation du débit binaire de sortie.

La version du transmultiplexeur MPEG-2 utilisée pour la démonstration comportait les fonctions suivantes:

- filtrage des paquets: suppression des composantes TVDN et son stéréo;
- analyse des identificateurs de paquets (PID, *packet identifier*);
- adaptation du débit binaire de sortie;
- gestion de la gigue de la référence temporelle de programme (PCR, *programme clock reference*).

On considère que le transmultiplexage revêt une grande importance sur le plan de l'interfonctionnement dans le tout nouveau paysage télévisuel numérique.

6.3.3 Modulation pour le câble

En ce qui concerne le projet HD-SAT, l'un des buts recherchés consiste à s'aligner sur et à respecter, dans la mesure du possible, les normes existantes ou nouvelles de télévision numérique en Europe.

Le projet DVB, qui a vu le jour à l'initiative du groupe européen de lancement de la télévision numérique (ELG, *European launching group*), a permis d'établir un projet de norme pour tronçon de câble utilisant la modulation multiniveau MAQ-64 (valeur nominale) dans des canaux de 8 MHz.

Compte tenu de la définition de cette norme, pour le projet HD-SAT il a été décidé de modifier la norme applicable à la partie de câble pour l'aligner au plus près sur la norme DVB. En fait, tous les éléments de la norme sont respectés, grâce à une adaptation de la pente de décroissance qui est réduite de moitié par rapport à celle de la norme DVB.

Spécifications du modem de câble HD-SAT:

- Largeur de voie: 8 MHz
- Modulation: MAQ-64
- Pente de décroissance: 7,5% (plus brusque que selon la norme DVB)
- Rapidité de modulation: 7,5 MHz (plus rapide que selon la norme DVB)
- Entrelacement: convolutionnel
- Codage de voie: Reed-Solomon (204,188, $T = 8$)
- Imbrication: synchrone sur 8 paquets MPEG-2 ($x^{15} + x^{14} + 1$)

Il faut une plus forte pente de décroissance pour accroître la rapidité de modulation dans les limites des contraintes d'un canal à 8 MHz, ce qui permet d'acheminer la charge utile de 45 Mbit/s requise pour le flux de transport TVHD HD-SAT. Cette pente plus forte a permis d'obtenir dans la réalité une meilleure égalisation.

Bien que la version de démonstration du modem de câble HD-SAT ait permis d'obtenir une caractéristique de pente de décroissance supérieure à celle de la spécification DVB nominale, une autre solution pour l'avenir, fondée sur les résultats concluants actuels, consisterait à adopter un des niveaux supérieurs de modulation MAQ prévus dans la spécification DVB (c'est-à-dire MAQ-128) en vue de l'obtention d'un service HD-SAT non dégradé sur un tronçon de câble entièrement conforme à la spécification du tronçon de câble pour la DVB. La démonstration a également prouvé l'efficacité de la compensation d'écho dans le câble pour une égalisation de voie en «aveugle».

6.4 Interfonctionnement avec d'autres systèmes

Alors que le concept de service HD-SAT (TVHD de très haute qualité) et la bande de fréquences utilisée par le satellite sont tous les deux nouveaux, le concept de modularité et l'adoption des normes MPEG-2 et DVB ouvrent de vastes perspectives d'interfonctionnement avec d'autres supports et systèmes.

La démonstration conjointe de Montreux a permis de démontrer l'efficacité de cet interfonctionnement, notamment en ce qui concerne le téléviseur commun utilisé pour décoder les signaux de télévision et passer du mode TVDN au mode TVHD, de la stéréophonie au son ambiophonique 5 voies, signaux transmis par le satellite, par canal hertzien à ondes décimétriques et par le câble de Montreux.

6.5 Exécution de la démonstration

La chaîne de télédiffusion HD-SAT offrait les fonctionnalités suivantes:

- production d'un flux de transport codé MPEG-2 d'un signal TVHD avec composante TVDN associée à la dégradation progressive;
- transmission sur une liaison montante de satellite du flux de transport à 30 GHz vers le satellite KOPERNIKUS;

- réception individuelle de TVHD par satellite à 20 GHz, avec décodage et présentation de programmes de TVHD, mettant en œuvre la dégradation progressive (en qualité TVDN);
- réception par la station tête de réseau avec transmultiplexage MPEG-2 pour adaptation du flux de transport au support par câble (suppression des composantes de repli associées à la dégradation progressive);
- réception sur le câble des signaux de TVHD de qualité non dégradée utilisant les mêmes décodeur et téléviseur que ceux utilisés pour la réception directe chez le particulier.

Cette démonstration très complexe a nécessité toute une infrastructure et de nombreux équipements. En effet, l'installation comportait un espace entièrement aménagé pour la télédiffusion, avec régie et bloc studio. La salle de présentation de 20 places était équipée d'un projecteur TVHD avec son ambiophonique 5 voies, ainsi que de 4 écrans de contrôle de TVDN 16:9 et d'un écran de contrôle d'informations/de légendes. Une présentation a été donnée toutes les heures pendant les cinq jours qu'a duré l'exposition: la salle était pleine (souvent à craquer) à presque toutes les séances, ce qui a permis à quelque 800 personnes d'assister à la démonstration.

Celle-ci s'est déroulée entièrement en direct, y compris les reconfigurations entre les modes d'exploitation DTTB et HD-SAT des codeurs MPEG-2, des multiplexeurs et des chaînes de transmission, ce que l'assistance a grandement apprécié. En effet, grâce à la spontanéité créée par le fait qu'elle s'est déroulée en direct, la démonstration leur a paru très convaincante et les a vivement impressionnés. La large participation ainsi que le très vif intérêt manifesté témoignent du succès de cette démonstration et de sa haute qualité sur le plan technique.

6.6 Conséquences pour un système opérationnel

La ressource satellite utilisée pour la démonstration était le répéteur expérimental 30/20 GHz du satellite KOPERNIKUS DFS-1 de Deutsche Telekom. La charge utile de ce satellite n'ayant pas été spécialement conçue pour un système de télédiffusion TVHD numérique, et étant donné que Montreux est presque hors de portée de la zone de couverture de ce satellite, la partie satellitaire utilisée pour la démonstration ne pouvait pas être entièrement représentative d'une mise en œuvre commerciale de la HD-SAT. Afin d'établir un bilan de liaison représentatif d'un système opérationnel, on a choisi pour la réception TV uniquement une antenne de plus grande taille que celle qu'utiliserait un particulier pour la réception directe à domicile.

Il est toutefois possible de caractériser l'offre globale – secteur spatial et service – correspondant à la qualité de réception de la TVHD par satellite telle qu'elle ressort de la démonstration de Montreux. Un exemple représentatif reprenant les hypothèses de puissance et de couverture de satellite utilisées dans les études définissant le système HD-SAT est présenté sommairement dans l'Annexe 5.

6.7 Conclusions

Le projet HD-SAT a démontré la faisabilité de mise en œuvre d'un système de télédiffusion de TVHD numérique utilisant la bande de fréquences satellite 30/20 GHz récemment attribuée. Il utilise aussi bien des techniques avec adaptation des normes existantes ou à l'étude (c'est-à-dire MPEG-2, DVB), que des techniques novatrices (dégradation progressive dans le satellite, interfonctionnement satellite/câble, interopérabilité avec les services de radiodiffusion de Terre). On obtient ainsi un système qui, tout en assurant un nouveau service (TVHD numérique de haute qualité) dans une nouvelle bande de fréquences satellite, demeure compatible pour l'interfonctionnement avec d'autres systèmes.

A cette démonstration de Montreux, toutes les fonctions spécifiées dans l'architecture du système ont été présentées. L'association du système HD-SAT et de la radiodiffusion DTTB pour cette démonstration a ouvert la voie à la première démonstration de diffusion européenne de programmes TV et TVHD MPEG-2 numériques par satellite, par câble et par voie hertzienne de Terre.

Le tronçon de câble HD-SAT a permis de montrer comment un modem pour câble conforme à la norme DVB pouvait être utilisé pour obtenir des débits binaires suffisamment élevés dans un canal de 8 MHz et offrir un service de TVHD numérique de très haute qualité.

Les mises en œuvre avec codec/multiplex et transmultiplexeur MPEG-2 en temps réel de haute qualité, qui offrent des exemples des prototypes d'équipements mis au point conformément aux normes existantes, comptent parmi les premières mises en œuvre proprement dites des prototypes HD-SAT.

Le modem novateur à dégradation progressive a montré, dans une chaîne de diffusion complète, que la bande 30/20 GHz pouvait être utilisée par un satellite pour assurer la diffusion directe de programmes de TVHD numériques de haute qualité, moyennant le recours à de petites antennes de réception et une puissance d'émission du satellite raisonnable. Les études jusqu'à présent théoriques ont donc été complétées par un exemple pratique – ouvrant ainsi la voie à de nouvelles améliorations des systèmes opérationnels.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Le consortium HD-SAT regroupe 12 partenaires européens qui forment une équipe complète comprenant des diffuseurs, des instituts de recherche et des industriels: Alcatel espace – F (coordonateur), Alcatel Italia – I, Alenia Spazio – I, Cable Management International Services (CMIS) – IRL, Centre Commun d'Etudes de Télédiffusion et Télécommunications (CCETT) – F, Institut für Rundfunktechnik (IRT) – D, Northwest Labs. – IRL, Radio televisione Italiana (RAI) – I, Télédiffusion de France (TDF) – F, Thomson CSF – F, University of Salford – UK, British Broadcasting Corporation (BBC) – UK, et l'Union Européenne de Radio-Télévision (partenaire de parrainage).

Un parrainage de soutien supplémentaire au consortium HD-SAT est fourni par: Deutsche Telekom – D, Telespazio – I, Radiotelevision Eireann – IRL.

BIBLIOGRAPHIE

- COMBAREL, L. et LAVAN, E. [juin 1995] HD-SAT: HDTV Satellite/Cable Interworking Aspects (HD-SAT: Aspects relatifs à l'interfonctionnement par satellite/câble TVHD), 19ème Symposium international de télévision, Montreux, Suisse.
- COMBAREL, L. et OLIPHANT, A. [juin 1995] The First Complete demonstration of digital television broadcasting: The joint demonstration of RACE Projects HD-SAT and dTTb (La première démonstration complète de radiodiffusion télévisuelle numérique: La démonstration conjointe des projets RACE HD-SAT et DTTB), 19ème Symposium international de télévision, Montreux, Suisse.
- COMBAREL, L. et OLIPHANT, A. [été 1995] Digital broadcasting demonstrations by HD-SAT and dTTb at Montreux '95 (Démonstrations de radiodiffusion numérique par HD-SAT et DTTB à Montreux '95), *Rev. tech. de l'UER*.
- COMBAREL, L., LAVAN, E., DOSCH, C. et PALICOT, J. [juin 1995] HD-SAT modems for satellite broadcasting in the 20 GHz frequency band (Modems HD-SAT de radiodiffusion par satellite dans la bande de fréquences des 20 GHz), Conférence internationale d'électronique grand public (International Conference on Consumer Electronics – ICCE '95).
- DOSCH, C. [été 1993] Digital broadcasting of studio quality HDTV by satellite in the 21 GHz frequency range and by coaxial cable networks. *Rev. Tech. de l'UER*.
- DOSCH, C. [1995] Satellite broadcasting of high-quality digital HDTV in the 20 GHz frequency range and its inter-working with other media services. International Broadcasting Symposium (IBC '95), Tokyo, Japon, 13-15 novembre. Proc. IBC '95, Broadcasting and the multimedia age, 325-331.
- DOSCH, C. et LAVAN, E. [1998] Digital HDTV broadcasting by satellite and cable networks with commonality for terrestrial broadcasting. *European Trans. On Telecomm.*, 1.
- DOSCH, C., COMBAREL, L., LAVAN, E. et PALICOT, J. [novembre 1995] HD-SAT modems for the satellite broadcasting in the frequency band. *IEEE Trans. On Consumer Electron.*, Vol. 41, 991-999.
- LAVAN, E. et COMBAREL, L. [septembre 1994] HD-SAT (RACE 2075): HDTV Broadcasting over Ka-band satellite, cable and MMDS (HD-SAT (RACE 2075): Télédiffusion TVHD par satellite dans la bande Ka, par câble et par le système hyperfréquence de distribution multipoint), IBC '94, Amsterdam, Pays-Bas.

Texte de l'UIT

- Doc. 10-11S/TEMP/3-E – HD-SAT contribution to the 21 Nov – 2 Dec 1994 session of WP10-11S (Contribution HD-SAT à la réunion du GT 10-11S du 21 novembre au 2 décembre 1994).

ANNEXE 4

Utilisation possible de la bande 21,4-22 GHz du SRS pour la TVHD

1 Introduction

La RAI a procédé, dans le cadre du projet HD-SAT (de plus amples précisions sont données dans la référence [Commission européenne, 1995]) à une étude approfondie en vue d'élaborer une stratégie de gestion du spectre susceptible de s'appliquer à la diffusion de programmes de TVHD à large bande RF dans la bande 21,4-22 GHz.

D'après les conditions limites à définir afin d'assurer la rentabilité de l'exploitation commerciale du nouveau service, la présente Annexe traite de l'adoption de paramètres aussi indépendants que possible des technologies actuelles, passant successivement en revue les paramètres proposés, à savoir l'espacement orbital, la polarisation, la puissance surfacique et les objectifs de qualité.

2 Espacement orbital

Il est évident qu'une optimisation de la totalité de l'arc orbital nécessaire pour attribuer toutes les positions orbitales requises augmente considérablement la possibilité d'une utilisation efficace des ressources, ainsi que la possibilité de coexistence entre différents réseaux à satellite.

En particulier, il importe de réduire au minimum l'espacement angulaire entre deux satellites adjacents desservant la même zone sur les mêmes fréquence et polarisation.

Le récepteur individuel ne doit pas avoir de caractéristiques G/T trop strictes, en termes de dimensions d'antenne et de facteur de bruit de la tête de réception (LNA). Une antenne parabolique (ou une antenne réseau plan équivalente) d'un diamètre maximum de 90 cm est jugée suffisante pour des applications HD-SAT, constituant un point de départ acceptable pour les concepteurs: elle ne devrait pas être exposée à des brouillages préjudiciables en provenance de satellites situés sur des positions orbitales adjacentes et susceptibles de fonctionner dans la même zone de service sur la même fréquence et à la même polarisation.

En ce qui concerne le facteur de bruit du récepteur, il convient de noter que les méthodes permettant d'améliorer les valeurs existantes (d'environ 2,5 dB) n'ont pas d'effet sensible sur le bilan de liaison, qui dépend surtout des niveaux d'affaiblissement de propagation, qui sont jusqu'à dix fois supérieurs. Le facteur de bruit de la tête de réception (LNA) pourrait donc être négligé.

Il convient donc d'éviter d'imposer une technologie d'antenne ou des dimensions d'antenne particulières et d'utiliser un masque de performance bien défini, n'assurant la protection requise que si la surface équivalente de l'antenne est supérieure à une valeur de référence. Etant donné que le masque affecte surtout l'utilisation de l'orbite, l'espacement orbital constitue la première «variable décisionnelle» à utiliser.

3 Polarisation

La deuxième «variable décisionnelle» est le choix du système de polarisation de référence à utiliser sur les liaisons montante et descendante.

Les facteurs à prendre en considération dans le choix de la polarisation pour le SRS sont décrits dans le Rapport UIT-R BO.814. Dans la conclusion de ce Rapport, il est proposé d'adopter la polarisation circulaire afin principalement de surmonter les difficultés de réglage de l'antenne de réception individuelle et d'obtenir une bonne qualité de découplage par polarisations croisées (XPD) pour les antennes de satellite en cas d'utilisation de la polarisation rectiligne.

Les récepteurs individuels bon marché pour la réception directe dans la bande des 11 GHz du SFS avec polarisation rectiligne sont largement utilisés de nos jours.

L'effet de dépolarisation induit par l'atmosphère, dans de mauvaises conditions de propagation, augmente rapidement avec la fréquence.

Le choix du système de polarisation de référence à utiliser sur les liaisons montante et descendante influe considérablement sur la possibilité de réutilisation des fréquences (le même canal pouvant être utilisé pour transmettre deux signaux différents en direction de la même zone de service, en utilisant les plans de polarisation orthogonaux). En particulier, d'après le modèle de propagation pour les liaisons Terre-satellite, établi sur la base de données statistiques à long terme (telles que celles de la Recommandation UIT-R P.618), il apparaît possible, dans la bande des 22 GHz et pour une disponibilité de 99,9% du temps du mois le plus défavorable, de réduire l'effet de dépolarisation des ondes, la valeur XPD_p due à des conditions de propagation défavorables (pluie et cristaux de glace) passant d'environ 20 à 35 dB en cas de polarisation rectiligne. Il faut se souvenir que lorsque la valeur de XPD_p augmente, l'effet de dépolarisation correspondant diminue.

Il est recommandé d'adopter la polarisation rectiligne, du fait que l'utilisation de cette polarisation permet d'améliorer la valeur du découplage XPD, ce que confirme les résultats obtenus avec des récepteurs individuels économiques pour la réception DTH dans la bande des 11 GHz du SFS. En outre, étant donné que la liaison montante fonctionnera principalement dans la bande 27,5-30 GHz (hormis quelques cas où elle fonctionnera dans la bande 17,3-18,1 GHz), dans laquelle le découplage XPD de propagation constitue le facteur dominant, il est nécessaire d'adopter la polarisation rectiligne sur la liaison montante, afin aussi de minimiser l'effet de dépolarisation.

4 Puissance surfacique

La troisième «variable décisionnelle» est la puissance surfacique rayonnée par le système à satellites. On recourt généralement à la limitation de la puissance surfacique pour éliminer certains phénomènes brouilleurs, afin notamment:

- de protéger les réseaux à satellite fonctionnant dans la même bande mais dans des Régions différentes;
- de protéger les services coprimaires (par exemple les services fixes de Terre) fonctionnant dans la même bande de fréquences, dans la même Région ou dans d'autres Régions.

Dans le cas de la bande 21,4-22 GHz, il convient de faire un certain nombre d'observations:

La CAMR-92 a décidé qu'après le 1^{er} avril 2007, les services existants (fixe et mobile) dans les Régions 1 et 3 ne seront autorisés à être exploités dans cette bande de fréquences qu'à condition qu'ils ne causent pas de brouillage au SRS ni ne demandent à être protégés vis-à-vis de ce service. Les limites de puissance surfacique ne sont applicables que pendant les procédures provisoires relatives aux systèmes du SRS mis en service avant cette date, conformément à la Résolution 33 (Rév.CMR-97) du RR.

On pourrait aussi introduire des limites de puissance surfacique pour protéger les systèmes de Terre en Région 2, bien qu'aucun brouillage préjudiciable ne soit à craindre du fait que l'arc du SRS européen est limité sur toute sa longueur à l'angle de site le plus petit possible (20° environ) pour éviter un affaiblissement de propagation excessif.

L'efficacité maximale du point de vue de la souplesse ne peut être obtenue que par une mise en œuvre appropriée des systèmes à satellites dont les paramètres fondamentaux présentent un certain degré d'uniformité. En particulier, le réseau doit être équilibré du point de vue de la puissance. En d'autres termes, les systèmes à satellites doivent respecter un degré acceptable d'homogénéité de puissance surfacique, ce qui rend nécessaire l'établissement d'une limite inférieure et d'une limite supérieure.

5 Objectifs de qualité et rapports de protection

La quatrième «variable décisionnelle» est représentée par le niveau de brouillage maximal admissible, exprimé en termes de réduction du bilan de liaison.

En raison de la structure binaire de l'information transmise, la dégradation est exprimée par une baisse du rapport porteuse/bruit (C/N) du système et par conséquent par une réduction de la disponibilité de service.

En fait, dans un système numérique, le brouillage n'a pas d'effet visible sur la qualité de l'image présentée sur l'écran jusqu'à ce que le TEB atteigne le seuil de visibilité. La présence d'un brouillage entraîne alors une dégradation du TEB du système par rapport à la qualité du rapport C/N .

Afin que le brouillage puisse être traité comme équivalant à une réduction du rapport C/N (c'est-à-dire qu'il fasse office de bruit gaussien de même puissance dans la même largeur de bande de réception), son niveau ne doit pas dépasser certaines limites. En règle générale, un brouillage qui n'entraîne pas une réduction du rapport C/N de plus de 2 ou 3 dB est considéré comme pouvant être assimilé à un bruit.

Il est utile de mentionner que la dégradation produite par un brouillage donné dépend du schéma de modulation de la porteuse affectée.

La relation entre les rapports C/N et C/I n'est pas linéaire: dans des conditions de propagation défavorables, le rapport C/N est réduit par l'affaiblissement supplémentaire sur le trajet, alors que le rapport C/I reste pratiquement inchangé (les trajets utile et brouilleur subissent tous deux le même affaiblissement, du moins pour l'espacement angulaire offrant une discrimination limitée du diagramme de rayonnement de l'antenne).

Dans le cas particulier du projet HD-SAT, le réseau à satellite fonctionne dans un environnement qui est fortement affecté par les phénomènes de propagation. L'utilisation d'une «dégradation progressive» est donc envisagée, moyennant l'adoption de systèmes de transmission utilisant le concept de «modulation structurée en couches». Dans une telle approche, la transmission du signal vidéo se fait par multiplexage dans le temps de divers schémas de modulation, ce qui rendrait possible, d'après les études HD-SAT, un gain absolu d'environ 12 dB par rapport à la valeur C/N correspondant à des conditions de propagation par ciel clair, en cas de transition de la TVHD à la TVFD (de type MPEG-1) en passant par la TVDA et la TVDN.

Dans l'hypothèse où cette marge supplémentaire est entièrement utilisée pour compenser les conditions de propagation défavorables, le rapport C/I qui caractérise le système doit correspondre au schéma de modulation le plus sensible au niveau du multiplexage, c'est-à-dire à celui qui achemine le flux d'information le plus utile.

L'adoption comme «variable décisionnelle» de la réduction du rapport C/N dans les conditions atmosphériques les plus défavorables (exprimée en pourcentage), c'est-à-dire des critères de dégradation globale $C/(N+I)$, constituerait un objectif de qualité raisonnable. Ainsi, une dégradation du rapport C/N due au brouillage de l'ordre de 5% ou 10% semble constituer une valeur acceptable.

6 Conclusion

Pour engager les travaux d'élaboration de procédures applicables à l'utilisation de la bande 21,4-22 GHz du SRS, une étude approfondie a été entreprise en vue de déterminer la capacité potentielle de cette bande pour diverses modalités d'utilisation possible. Deux de ces modalités ont été étudiées en vue d'assurer une disponibilité maximale des ressources (diamètre d'antenne, largeur de bande, positions orbitales, polarisation, limites de puissance surfacique). La détermination préalable de paramètres techniques généraux a été limitée au strict minimum. Il convient d'attendre les résultats d'autres études techniques avant d'examiner les procédures de gestion de cette bande.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Commission européenne [mars 1995] HDTV-BSS frequency planning and planning strategies in the 21.4 GHz-22.0 GHz band (Planification des fréquences du SRS pour la TVHD et stratégies de planification dans la bande 21,4-22 GHz). Deliverable No. 54, RACE 2075 (HD-SAT), Bruxelles, Belgique.

ANNEXE 5

Scénario de mission pour un service de TVHD numérique européenne du SRS dans la bande des 20 GHz

Un exemple de scénario de mission qui permettrait la mise en œuvre de services de télédiffusion TVHD en Europe s'articule autour de l'utilisation de technologies existantes ou de technologies à moyen terme. L'objectif est de permettre la réception individuelle au moyen de stations d'utilisateurs finals munis d'antennes de petites dimensions (de 0,6 m dans la zone climatique H à 0,9 m dans la zone climatique L), tout en assurant une disponibilité de service de 99,6% du mois le plus défavorable. En supposant qu'on utilise le modem à dégradation progressive HD-SAT décrit dans l'Annexe 3 et au § 2.1 de l'Annexe 1, la p.i.r.e. minimale requise, après calcul de liaison, est de 55 dBW. On a supposé que les équipements de satellite pouvant être mis au point à court terme pourraient présenter les caractéristiques suivantes:

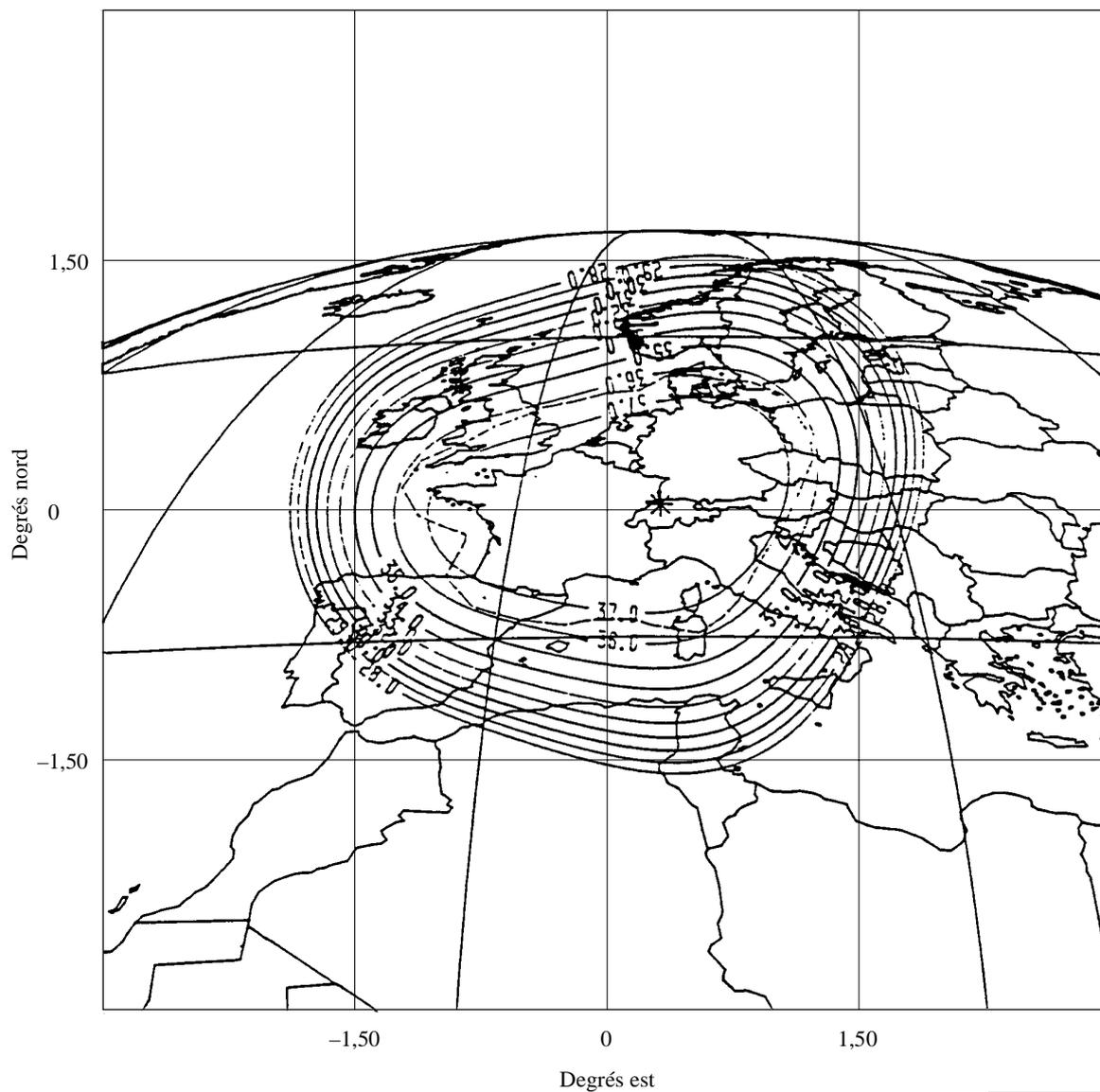
- puissance RF de 75 W pour un amplificateur ATOP en bande Ka – deux amplificateurs ATOP peuvent être utilisés dans une configuration en parallèle;
- puissance RF maximale disponible sur la plate-forme du satellite: 3 000 W.

Une analyse a été effectuée pour déterminer le compromis entre la couverture et le nombre de canaux offerts aux utilisateurs finals dans une zone donnée. Compte tenu de la p.i.r.e. requise, une couverture étendue à partir d'une seule position orbitale n'est possible qu'avec des faisceaux étroits multiples. Dans le cas présenté ici, toutefois, seule une sous-bande de la bande totale pourrait être utilisée dans un faisceau donné; au maximum un tiers du nombre total de programmes est disponible localement (sauf dans les zones de débordement).

Le nombre maximum total de canaux est déterminé par la largeur de bande de la bande de fréquences totale attribuée aux services SRS dans la Région 1, à savoir: 21,4-22 GHz. Pour des canaux d'une largeur de 36 MHz et un facteur de décroissance de 0,33 (soit un espacement de 42 MHz entre canaux), 28 programmes au maximum pourraient être diffusés à partir d'une seule position orbitale en utilisant les deux polarisations. Le choix de l'espacement de 42 MHz vise à limiter les pertes dans le multiplexeur de sortie du tronçon de sortie du satellite.

Pour que ce nouveau SRS de TVHD soit intéressant pour les utilisateurs potentiels, on a estimé qu'il fallait au moins 20 canaux par faisceau. C'est la raison pour laquelle un concept utilisant un seul faisceau, plutôt que des faisceaux étroits multiples, a été mis à l'étude. Un tracé de contour type basé sur une couverture supranationale (Europe centrale, dans l'exemple considéré ici) est représenté sur la Fig. 20. (Pour toute région donnée, il est naturellement possible d'étendre la couverture pour fournir des canaux supplémentaires à partir de positions orbitales différentes.)

FIGURE 20
Exemple de couverture supranationale par satellite en Europe centrale
(Les paramètres se rapportent au gain de l'antenne d'émission du satellite)



Dans l'hypothèse d'une architecture classique pour la charge utile du satellite, les caractéristiques nominales sont résumées dans le Tableau 7.

TABLEAU 7

Couverture	Supranationale (par exemple France et Allemagne)	
Nombre de canaux	20	
Puissance des ATOP	deux ATOP de 75 W en parallèle	
p.i.r.e. par canal	55 dBW	
Puissance de la plate-forme	3 000 W (RF)	
Diamètre de l'antenne de réception au sol (m)	0,6, zone climatique H	0,9, zone climatique L
Largeur de bande des canaux (et des programmes)	36 MHz	

Les organes fondamentaux nécessitant des améliorations technologiques sont les suivants:

- le multiplexeur de sortie à 10 canaux de 150 W (2×75 W) chacun
- les antennes de réception et d'émission du satellite.
