

RECOMMANDATION UIT-R BO.1784

**Système numérique de radiodiffusion par satellite avec configuration souple
(télévision, son et données)**

(Question UIT-R 3/6)

(2007)

Domaine de compétence

La présente Recommandation porte sur un système numérique de radiodiffusion par satellite (SRS) présentant une configuration très souple et conçu pour prendre en charge des applications interactives, ce qui permet d'établir une large palette de compromis d'exploitation jusqu'au niveau minimal de rapport C/N ou jusqu'à la capacité de transmission maximale.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les Recommandations UIT-R BO.1408 et UIT-R BO.1516 spécifient des systèmes de télévision numérique multiprogramme par satellite, désignés comme étant les systèmes actuels;
- b) que des progrès récents enregistrés dans le domaine du codage de canal et de la modulation ont permis d'élaborer de nouvelles techniques avec des performances proches de la limite de Shannon;
- c) que ces nouvelles techniques numériques devraient offrir une meilleure efficacité d'utilisation du spectre et/ou un meilleur rendement de puissance que les systèmes actuels, tout en pouvant être configurées de façon souple afin de tenir compte des ressources spécifiques des satellites en termes de largeur de bande et de puissance;
- d) que le système recommandé utilise ces techniques et permet ainsi d'établir une large palette de compromis d'exploitation jusqu'au niveau minimal de rapport C/N ou jusqu'à la capacité de transmission maximale, un gain appréciable pouvant alors être obtenu par rapport au système DVB-S (Système A de la Recommandation UIT-R BO.1516) suivant le mode DVB-S2 choisi;
- e) que le système recommandé a été spécifié non seulement pour des applications de radiodiffusion mais aussi pour des applications interactives, des applications de contribution (liaisons de contribution pour la télévision, par exemple) et pour le reportage d'actualités par satellite en mode numérique (DSNG, *digital satellite news gathering*);
- f) qu'un système englobant tous ces domaines d'application, tout en maintenant le décodeur à puce unique à un niveau de complexité raisonnable, permettrait de réutiliser les spécifications des produits de masse pour des applications de contribution ou pour des applications correspondant à des micromarchés;
- g) que la nouvelle technique de codage et de modulation adaptatifs (ACM, *adaptive coding and modulation*) utilisée par le système recommandé devrait permettre d'utiliser plus efficacement le spectre pour des applications d'unidiffusion avec trajet de retour, grâce à l'optimisation des paramètres de transmission (à savoir de modulation et de codage) pour chaque utilisateur, suivant les conditions du trajet;

h) que le système recommandé prend en charge les flux d'entrée quel que soit leur format, notamment sous forme d'un seul ou de plusieurs flux de transport du Groupe d'experts pour les images animées (MPEG, *motion picture Experts Group*) (caractérisés par des paquets de 188 octets), de paquets IP ainsi que de paquets en mode de transfert asynchrone (ATM, *asynchronous transfer mode*) et de flux binaires continus;

j) que le système recommandé devrait pouvoir traiter les divers formats audiovisuels évolués actuellement disponibles ou en cours de définition,

considérant en outre

a) que les systèmes spécifiés dans des Recommandations de l'UIT favorisent la fourniture sur le marché de services fondés sur des systèmes normalisés, évitant ainsi la prolifération de systèmes propriétaires, ce qui est avantageux à la fois pour les utilisateurs finals et pour l'industrie en général;

b) que, malgré le succès des systèmes actuels, bon nombre d'organismes de radiodiffusion par satellite, d'opérateurs et de fabricants du monde entier accueillent avec satisfaction une nouvelle spécification permettant d'offrir un débit de données nettement plus élevé dans une largeur de bande de répéteur donnée que les systèmes actuels;

c) que la nécessité d'offrir des services de télévision à haute définition (TVHD) obligera les radiodiffuseurs à chercher des méthodes plus efficaces pour acheminer ces services dans les répéteurs existants;

d) que la souplesse intrinsèque du système recommandé devrait permettre de réduire l'influence de l'affaiblissement dû à l'atmosphère dans les bandes élevées attribuées au service de radiodiffusion par satellite (SRS) (comme les bandes à 17 GHz et à 21 GHz attribuées au SRS), qui sont destinées à être utilisées pour les services de TVHD;

e) que le système recommandé comporte des modes rétrocompatibles, permettant aux récepteurs existants du SRS de continuer à fonctionner,

recommande

1 que le système DVB-S2 spécifié dans la norme ETSI EN 302 307 V 1.1.2 (voir Pièce jointe 1): <http://www.itu.int/ITU-R/study-groups/docs/rsg6-etsi/index.html> soit considéré comme approprié pour la spécification d'un système de radiodiffusion par satellite avec configuration souple¹.

NOTE 1 – L'Annexe 1 décrit le système recommandé (Système E) tandis que l'Annexe 2 contient des tableaux permettant de comparer le système recommandé (Système E) avec les systèmes mentionnés dans la Recommandation UIT-R BO.1516 (Systèmes A, B, C, D).

Annexe 1

Principales caractéristiques du système DVB-S2 (appelé Système E)

La spécification du système DVB-S2 élaborée en 2003 par le projet de radiodiffusion vidéo numérique (DVB, *digital video broadcasting*) correspond à la deuxième génération de systèmes large bande à satellites. Elle est devenue la norme ETSI EN 302 307 en 2004.

¹ L'auxiliaire «shall» employé dans cette norme de l'ETSI devrait être considéré comme l'auxiliaire «should» dans la présente Recommandation UIT-R.

La norme EN 302 307 spécifie la structure de verrouillage de trame, le codage de canal et la modulation pour différents types d'applications par satellite:

- radiodiffusion télévisuelle à définition normale et radiodiffusion télévisuelle à haute définition (TVDN et TVHD);
- interactivité (y compris l'accès à l'Internet) pour les applications de radiodiffusion par satellite (pour récepteurs-décodeurs intégrés (IRD, *integrated receivers-decoder*) et ordinateurs personnels);
- applications de contribution (par exemple, contribution de télévision numérique), distribution et reportage d'actualités;
- distribution de contenus de données et jonction Internet.

Pour pouvoir englober tous les domaines d'application tout en maintenant le décodeur à puce unique à un niveau de complexité raisonnable, le système DVB-S2 est défini sous la forme d'un *ensemble de modules*, ce qui permet d'utiliser également les produits de masse pour des applications de contribution ou pour des applications correspondant à des micromarchés.

Le système DVB-S2 a été spécifié autour de trois concepts: excellente qualité de transmission, proche de la limite de Shannon, totale souplesse et complexité raisonnable du récepteur.

Pour obtenir le meilleur compromis possible entre performances et complexité et obtenir ainsi un gain de capacité appréciable par rapport au système DVB-S destiné aux applications de radiodiffusion traditionnelles, le système DVB-S2 tire parti des progrès récents enregistrés en matière de codage de canal et de modulation: on a adopté des codes avec contrôle de parité à faible densité (LDPC, *low density parity check*) associés aux modulations par déplacement de phase quadrivalente MDP-4, MDP-8, MDAP-16, modulation par déplacement d'amplitude et de phase, et MDAP-32, pour que le système fonctionne correctement sur le canal par satellite non linéaire.

La structure de verrouillage de trame permet de garantir la souplesse maximale pour un système polyvalent et de maintenir la synchronisation même dans les configurations les plus défavorables (faibles valeurs du rapport signal sur bruit, SNR).

Pour les applications point à point interactives comme l'unidiffusion IP avec trajet de retour, l'adoption de la fonctionnalité de codage et de modulation adaptatifs (ACM, *adaptive coding and modulation*) permet d'optimiser les paramètres de transmission pour chaque utilisateur trame par trame, en fonction des conditions du trajet, grâce à un contrôle en boucle fermée via le canal de retour (raccordant le récepteur à la station associée à la liaison montante du système DVB-S2 par le biais de liaisons de Terre ou par satellite, pour signaler les conditions de réception). Cette fonctionnalité permet au système DVB-S2 d'utiliser encore plus efficacement le spectre que le système DVB-S, ce qui permet d'optimiser la conception du segment spatial et donc de réduire nettement le coût des services IP par satellite.

Le système DVB-S2 présente une telle souplesse qu'il peut prendre en charge n'importe quelles caractéristiques de répéteur de satellite existantes, avec une grande variété d'efficacités d'utilisation du spectre et de valeurs requises correspondantes pour le rapport SNR. Il est en outre conçu pour traiter les divers formats audiovisuels évolués actuellement définis par des organismes internationaux. Le système DVB-S2 prend en charge les flux d'entrée quel que soit leur format, notamment sous forme d'un seul ou de plusieurs flux de transport MPEG (caractérisés par des paquets de 188 octets), de paquets IP ainsi que de paquets ATM et de flux binaires continus.

Des modes rétrocompatibles sont également disponibles, permettant aux dispositifs IRD existants de continuer à fonctionner.

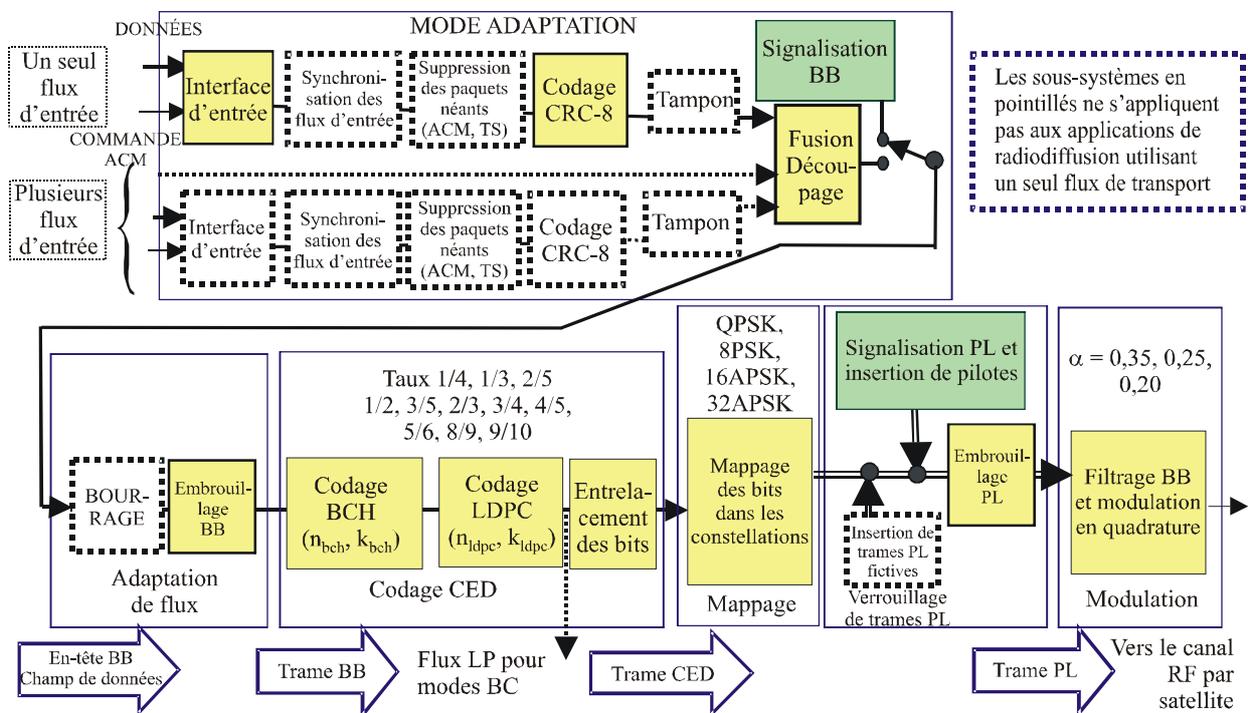
Structure du système DVB-S2

Le système DVB-S2 est composé d'une séquence de blocs fonctionnels tels que décrits sur la Fig. 1. La production du signal est fondée sur deux niveaux de structure de verrouillage de trame:

- trame BB au niveau de la bande de base (BB, *baseband*), acheminant divers bits de signalisation, pour configurer le récepteur de façon souple conformément au scénario d'application;
- trame PL au niveau de la couche physique (PL, *physical layer*), acheminant quelques bits de signalisation très protégés, pour assurer une synchronisation et une signalisation robustes dans la couche physique.

FIGURE 1

Diagramme des blocs fonctionnels du système DVB-S2



1784-01

Suivant l'application, les séquences d'entrée DVB-S2 peuvent correspondre à un seul ou à plusieurs flux de transport (TS, *transport stream*) MPEG, à un seul ou à plusieurs flux génériques (GS, *generic stream*), en paquets ou continus. Le bloc *adaptation de mode* assure l'interface pour les flux d'entrée², la synchronisation des flux d'entrée³ (facultatif), la suppression des paquets néant⁴

² Les séquences d'entrée peuvent correspondre à un seul ou à plusieurs flux de transport TS, à un seul ou à plusieurs flux génériques (en paquets ou continus).

³ Le traitement des données dans le système DVB-S2 peut entraîner un retard de transmission variable. Ce bloc permet de garantir un débit binaire constant et un temps de transmission de bout en bout constant pour le flux d'entrée en paquets considéré.

⁴ Pour réduire le débit de données et augmenter la protection contre les erreurs dans le modulateur. Le processus permet de réinsérer les paquets néant dans le récepteur à l'endroit exact où ils se trouvaient au départ.

(uniquement pour le mécanisme ACM et le format d'entrée de flux de transport), le codage CRC-8 pour la détection des erreurs au niveau des paquets dans le récepteur (uniquement pour les flux d'entrée en paquets), la fusion des flux d'entrée (uniquement pour les modes comportant plusieurs flux d'entrée) et le découpage en champs de données. Un en-tête en bande de base (en-tête BB) est ensuite ajouté avant le champ de données, pour communiquer au récepteur le format de flux d'entrée et le type d'adaptation de mode: un seul ou plusieurs flux d'entrée, flux générique ou de transport, codage et modulation constants (CCM, *constant coding & modulation*) ou ACM, et beaucoup d'autres détails de configuration. Grâce à la protection de correction d'erreur directe (CED) couvrant l'en-tête et la charge utile des données, et à la grande longueur de la trame CED, l'en-tête en bande de base peut en fait contenir de nombreux bits de signalisation sans réduction de l'efficacité de transmission ni de la robustesse face au bruit. Il est à noter que les paquets de transport de multiplex MPEG peuvent être mis en correspondance de façon asynchrone avec des trames en bande de base.

L'*adaptation de flux* est ensuite appliquée, afin d'assurer un bourrage si les données d'utilisateur à transmettre ne sont pas suffisantes pour remplir complètement une trame BB et afin d'assurer l'embrouillage en bande de base.

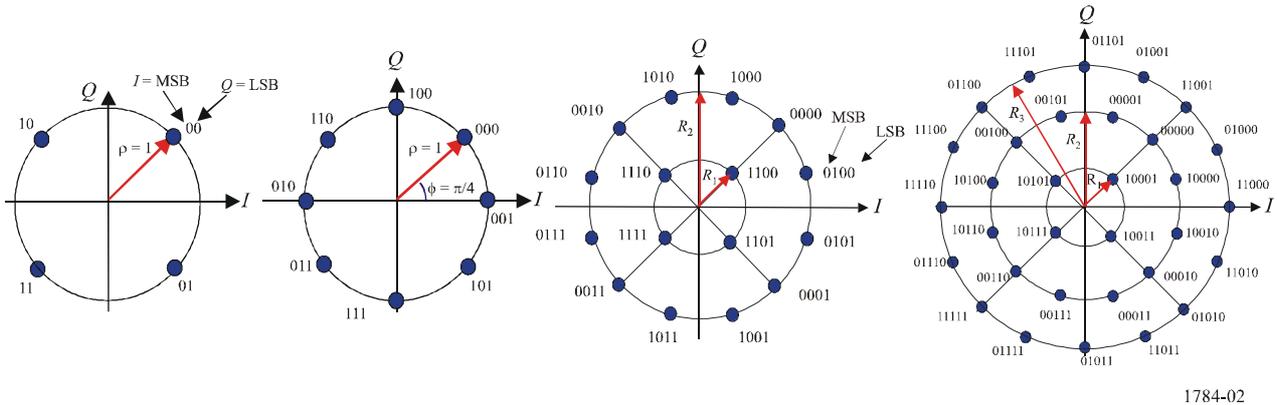
Le *codage avec correction d'erreur directe* assure la concaténation du code externe BCH (Bose-Chaudhuri-Hochquenghem) et des codes internes avec contrôle de parité à faible densité (LDPC, *low density parity check*) (taux 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10). Suivant le domaine d'application, les blocs issus du codage CED (trames CED) peuvent avoir une longueur de 64 800 ou de 16 200 bits. Lorsqu'on utilise la technique de codage et de modulation variables (VCM, *variable coding and modulation*) ou la technique de codage et de modulation adaptatifs ACM, la correction CED et le mode de modulation sont constants dans une trame donnée mais peuvent varier d'une trame à l'autre; en outre, le signal transmis peut contenir un mélange de blocs issus d'un codage normal et de blocs issus d'un codage abrégé. Pour les modes rétrocompatibles, le flux binaire à la sortie du codeur CED fait l'objet d'un autre traitement avec le signal DVB-S conformément à une procédure spécifiée. On applique ensuite un entrelacement aux bits issus du codage CED pour les modulations MDP-8, MDAP-16 et MDAP-32 pour séparer les bits mappés sur le même signal de transmission.

Le *mappage* peut être choisi parmi les constellations MDP-4, MDP-8, MDAP-16 et MDAP-32 (voir la Fig. 2), suivant le domaine d'application. Les modes MDP-4 et MDP-8 sont généralement proposés pour les applications de radiodiffusion, car il s'agit de modulations à enveloppe pratiquement constante, qui peuvent être utilisées dans les répéteurs de satellite non linéaires fonctionnant près de la saturation. Les modes MDAP-16 et MDAP-32, destinés essentiellement aux applications de contribution, peuvent aussi être utilisés pour la radiodiffusion, mais dans ce cas, il faut que la valeur du rapport C/N disponible soit élevée et il faut adopter des méthodes évoluées de prédistorsion dans la station associée à la liaison montante afin de minimaliser l'effet de la non-linéarité du répéteur. Le rendement de puissance est moins grand pour ces modes que pour les autres modes, mais l'efficacité d'utilisation du spectre est beaucoup plus grande. Les constellations MDAP-16 et MDAP-32 ont été optimisées pour un répéteur non linéaire grâce au placement des points sur des cercles. Néanmoins, leurs performances pour un canal linéaire sont respectivement comparables à celles des constellations MAQ-16 et MAQ-32.

Le choix de la constellation de modulation et des taux de codage conduit à des efficacités d'utilisation du spectre comprises entre 0,5 et 4,5 bits par symbole, qui peuvent être choisies en fonction des capacités et des limites du répéteur de satellite utilisé.

FIGURE 2

Les quatre constellations possibles pour le système DVB-S2
avant l'embrouillage dans la couche physique

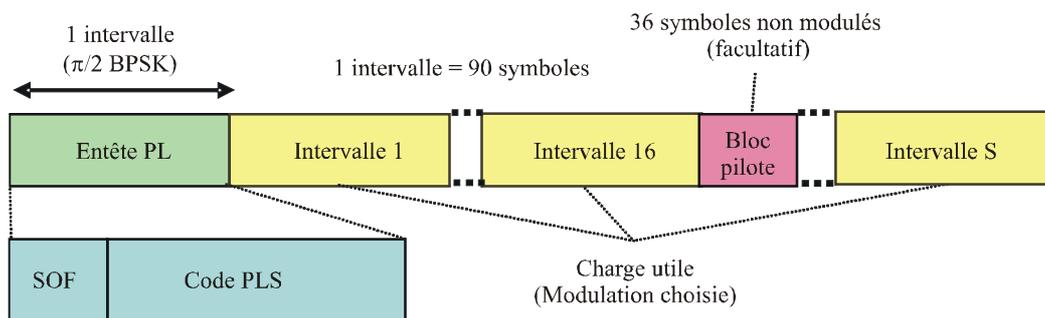


1784-02

Le verrouillage de trame dans la couche physique a été conçu pour assurer une synchronisation et une signalisation robustes au niveau de la couche physique. Ainsi, un récepteur peut se synchroniser (récupération de porteuse et de phase, synchronisation de trame) et détecter les paramètres de modulation et de codage avant la démodulation et le décodage CED. Le signal de couche physique DVB-S2 est composé d'une séquence normale de trames (voir la Fig. 3): dans une trame donnée, le mécanisme de modulation et de codage est homogène, mais il peut varier (dans la configuration avec codage et modulation adaptatifs) d'une trame à la suivante. Chaque trame est constituée d'une charge utile de 64 800 bits dans la configuration de la «trame normale» et de 16 200 bits dans celle de la «trame abrégée», correspondant à un bloc de code CED. Un en-tête de 90 symboles de modulation binaires précédant la charge utile contient les informations de synchronisation et de signalisation, permettant à un récepteur de se synchroniser (récupération de porteuse et de phase, synchronisation de trame) et de détecter les paramètres de modulation et de codage avant la démodulation et le décodage CED.

FIGURE 3

Structure de la trame PL



1784-03

Les 26 premiers symboles binaires (la séquence 18D2E82_{HEX}) de l'en-tête PL marquent le début de la trame PL (SOF, *start of frame*), les 64 autres symboles étant utilisés pour signaler la configuration du système. Comme l'en-tête PL est la première entité que le récepteur décode, elle ne peut pas être protégée par le mécanisme CED (à savoir BCH & LDPC). En revanche, elle doit être parfaitement décodable dans les conditions de liaison les plus défavorables (rapport SNR d'environ -2,5 dB). Par conséquent, afin de minimaliser l'incidence sur l'efficacité globale d'utilisation du spectre, les informations de signalisation à ce niveau ont été réduites à 7 bits, dont 5 sont utilisés

pour indiquer la configuration de modulation et de codage (champ MODCOD), 1 est utilisé pour la longueur de trame (64 800 ou 16 200 bits) et 1 pour la présence/absence de pilotes pour faciliter la synchronisation du récepteur (comme expliqué ci-après). Ces bits sont ensuite fortement protégés par un code en blocs Reed-Muller du premier ordre avec entrelacement (64, 7, $t = 32$), adapté à un décodage par corrélation à décision progressive.

Indépendamment du mécanisme de modulation de la charge utile de la trame PL (bloc de code CED), les 90 symboles binaires formant l'en-tête PL sont soumis à la modulation MDP-2 $\pi/2$; cette variante de la constellation MDP-2 classique introduit une rotation de $\pi/4$ pour les symboles pairs et de $-\pi/4$ pour les symboles impairs, ce qui permet de réduire les fluctuations de l'enveloppe de signal radioélectrique.

La charge utile de la trame PL est composée d'un nombre différent de symboles modulés, suivant la longueur CED (64 800 ou 16 200 bits) et la constellation de modulation, mais (à l'exclusion des pilotes facultatifs) la longueur de la charge utile est toujours un multiple d'un intervalle de 90 symboles (voir la Fig. 3), présentant ainsi une périodicité qui peut être exploitée par le synchroniseur de trame présent dans le récepteur: une fois que l'en-tête PL considéré a été décodé, le décodeur connaît exactement la longueur de la trame PL et donc la position du début de trame, SOF suivant.

Le verrouillage de trame PL assure également:

- l'insertion facultative de trames PL fictives, lorsque aucune donnée utile n'est prête à être envoyée sur le canal, et
- l'insertion de pilotes facultatifs pour faciliter la synchronisation du récepteur.

Les codes CED du système DVB-S2 sont en fait si puissants que la récupération de la porteuse peut vraiment poser problème pour les modulations d'ordre élevé réalisées avec de faibles valeurs du rapport SNR en présence de niveaux élevés de bruit de phase dans les convertisseurs et syntoniseurs de bloc à faible bruit (LNB, *low noise block*) de radiodiffusion par satellite: c'est en particulier le cas avec certains modes MDP-8, MDAP-16 et MDAP-32 à faible taux du système DVB-S2. Les pilotes sont des symboles non modulés, identifiés par $I = Q = 1/\sqrt{2}$, regroupés par blocs de 36 symboles et insérés tous les 16 intervalles de charge utile, entraînant une perte maximale de capacité d'environ 2,4% lorsqu'ils sont utilisés.

Enfin, un embrouillage en vue d'une dispersion de l'énergie est réalisé afin de respecter le Règlement des radiocommunications en matière d'occupation spectrale et de transmettre une sorte de «signature» de l'opérateur de service, en vue d'une identification rapide en cas d'erreurs dans les procédures associées à la liaison montante.

On applique ensuite *un filtrage en bande de base et une modulation en quadrature*, pour moduler le spectre du signal et produire le signal RF. Un filtrage en racine carrée de cosinus biaisé est utilisé côté émission, avec trois valeurs possibles pour le facteur de décroissance: 0,35, 0,25 et 0,20, suivant les restrictions en termes de largeur de bande.

Modes rétrocompatibles

Le grand nombre de récepteurs existants du SRS (Recommandation UIT-R BO.1516) déjà installés fait que bon nombre de radiodiffuseurs en place ont beaucoup de difficultés à envisager un changement radical de technologie en faveur du système DVB-S2, notamment lorsque les récepteurs sont subventionnés ou pour des services publics gratuits sur les ondes. Une rétrocompatibilité peut alors être requise pendant la période de migration, pour permettre aux récepteurs existants de continuer à fonctionner, tout en offrant une capacité et des services additionnels aux nouveaux récepteurs évolués. A la fin du processus de migration, lorsque tous les récepteurs installés seront passés à la technologie DVB-S2, le signal émis pourra être modifié pour

utiliser le mode non rétrocompatible, ce qui permettra d'exploiter toutes les possibilités offertes par le système DVB-S2.

Des modes rétrocompatibles facultatifs ont donc été définis dans le système DVB-S2, afin d'envoyer deux flux de transport sur un même canal par satellite. Le premier flux (forte priorité) (HP, *high priority*) est compatible avec les récepteurs DVB-S (conformément à la Recommandation UIT-R BO.1211) ainsi qu'avec les récepteurs DVB-S2, tandis que le second (faible priorité) (LP, *low priority*) est compatible uniquement avec les récepteurs DVB-S2.

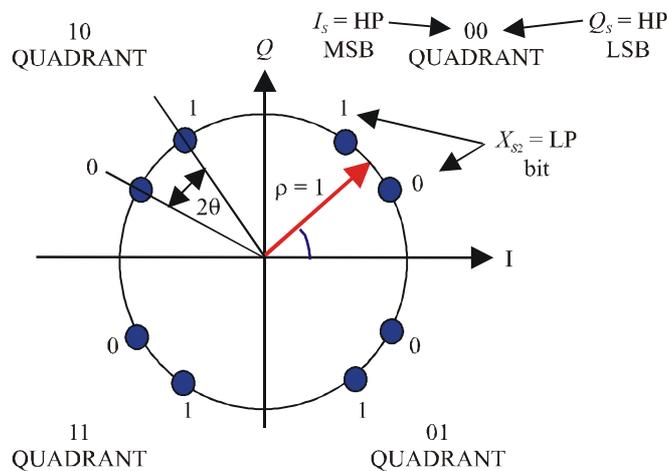
La rétrocompatibilité peut être mise en œuvre facultativement de deux façons différentes:

- modulation de couche, un signal DVB-S2 et un signal DVB-S étant combinés de façon asynchrone sur le canal radioélectrique (ce mode d'exploitation ne nécessite donc pas d'outil particulier dans la spécification DVB-S2);
- modulation hiérarchique, les deux flux de transport HP et LP étant combinés de façon synchrone au niveau des symboles de modulation sur une constellation MDP-8 non uniforme (voir la Fig. 4).

NOTE 1 – Des systèmes de radiodiffusion autres que de radiodiffusion vidéonumérique (à savoir les systèmes définis dans la Recommandation UIT-R BO.1516) fondés sur la MDP-4 peuvent également émettre un flux LP DVB-S2, en utilisant le mécanisme de modulation hiérarchique ou celui de modulation de couche susmentionnés.

FIGURE 4

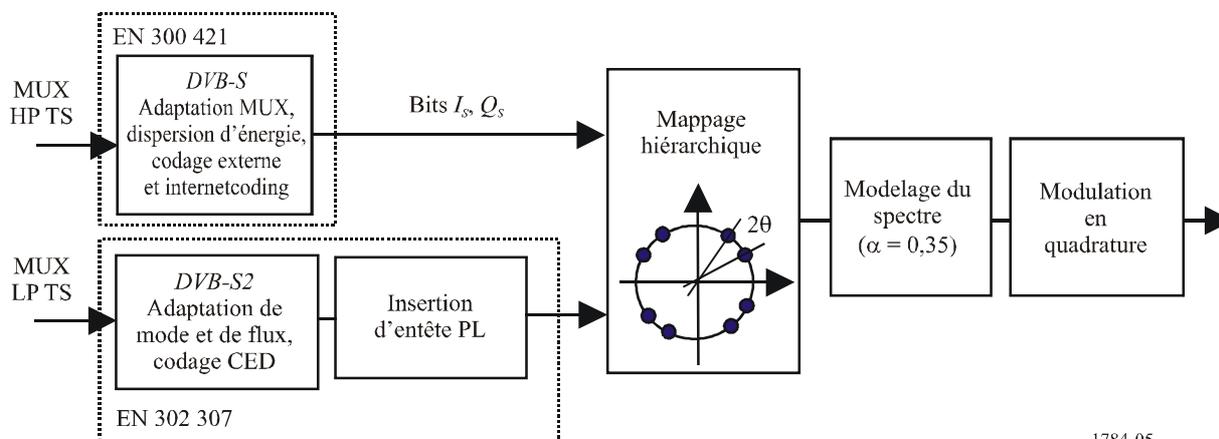
Constellation MDP-8 non uniforme



1784-04

FIGURE 5

Diagramme des blocs fonctionnels du système DVB-S2 avec rétrocompatibilité fondée sur la modulation hiérarchique



1784-05

Dans le cas de la modulation hiérarchique, conformément à la Fig. 5, le signal de type LP DVB-S2 est codé au moyen des codes BCH et LDPC, le taux de codage LDPC étant de 1/4, 1/3, 1/2 ou 3/5. Le mappage hiérarchique produit ensuite la constellation MDP-8 non uniforme: les deux bits HP DVB-S définissent un point de constellation MDP-4 (recevable par n'importe quel dispositif IRD DVB-S classique), tandis que le seul bit issu du codeur LDPC DVB-S2 définit une rotation additionnelle de $\pm\theta$ avant la transmission (produisant une faible dégradation de la qualité de fonctionnement du dispositif IRD DVB-S, suivant l'amplitude de θ).

Analytiquement, le signal à la sortie du modulateur hiérarchique peut être exprimé comme suit:

$$v_{HM} = \sum_k A e^{j\Phi_k} s(t-kT)$$

où la phase discrète Φ_k vaut $\left\{ \frac{\pi}{2}l + \frac{\pi}{4} + (-1)^{l+k+1}\theta \right\}$ pour $l = 3Q_S - 2I_S Q_S + I_S$ (quatre valeurs possibles 0, 1, 2, 3) et $k = X_{S2}$ (2 valeurs possibles 0, 1). Q_S , I_S et X_{S2} sont définis sur la Fig. 4.

Comme le signal résultant a une enveloppe quasi-constante, il peut être transmis dans un seul répéteur fonctionnant près de la saturation.

L'Appendice 1 à la présente Annexe donne, à titre d'information, quelques résultats de tests pratiques.

Appendice 1 à l'Annexe 1

Résultats de tests en laboratoire concernant des équipements DVB-S2

Afin de vérifier la qualité de fonctionnement du système DVB-S2, de nombreux tests en laboratoire ont été réalisés par le Centre de recherche et d'innovation technologique Rai-CRIT concernant des équipements DVB-S2 fournis par sept fabricants différents en juin 2006. Les tests ont porté sur la qualité de fonctionnement en présence de bruit blanc gaussien additif (AWGN, *additive white gaussian noise*), sur les canaux non linéaires et sur la dégradation due au bruit de phase. Les

résultats montrent clairement que la qualité de fonctionnement des équipements est conforme aux résultats de simulation présentés dans la norme DVB-S2.

Des configurations à une seule porteuse et à plusieurs porteuses ont été mises en œuvre et comparées aux configurations équivalentes pour le système DVB-S, montrant que le système DVB-S2 peut offrir des gains excellents à la fois en termes de capacité ou de qualité de fonctionnement et en termes de souplesse. En outre, des configurations VCM et ACM ont été mises en œuvre et la capacité des équipements a été vérifiée.

Enfin, il est à noter que la qualité d'interfonctionnement des équipements testés s'est avérée excellente.

1 Principaux résultats des tests

Test concernant le bruit AWGN

Des mesures ont été réalisées sur le canal AWGN respectivement pour les modulations MDP-4, MDP-8, MDAP-16 et MDAP-32 afin d'évaluer la qualité de fonctionnement du système pour la configuration de trame CED normale et la configuration de trame CED abrégée. Le débit de symboles était de 27,5 MBd, sauf pour la modulation MDAP-32 pour laquelle il était de 20 MBd⁵, et le taux de décroissance était de 35%. Les résultats de mesure moyens montrent que les affaiblissements liés à la mise en œuvre, calculés sous la forme $\Delta E_s/N_0@PER = 10^{-7}$ par rapport aux résultats de simulation indiqués dans le Tableau 13 de la norme EN 302 307, sont compris entre 0,2 et 0,6 dB pour la MDP-4, entre 0,2 et 0,9 dB pour la MDP-8, entre 0,3 et 1,3 dB pour la MDAP-16 et entre 1,3 et 1,7 dB pour la MDAP-32.

Test concernant le canal par satellite

Sur le canal par satellite non linéaire, les résultats des tests en laboratoire confirment les résultats de simulation indiqués dans le Tableau H.1 de la norme EN 302 307. Le point de fonctionnement optimal correspond à un recul de puissance à l'entrée de 0 dB (IBO, *input back-off*) pour la MDP-4 avec un taux de 1/2, ce qui correspond à un recul de puissance à la sortie de 0,3 dB (OBO, *output back-off*) et à une dégradation de qualité d'environ 0,5 dB par rapport au canal AWGN. Pour la MDP-8, le point de fonctionnement optimal correspond à un IBO de 1 dB, ce qui correspond à un OBO de 0,4 dB et à une dégradation de qualité d'environ 0,6 dB. Pour la MDAP-16, le point de fonctionnement optimal correspond à un IBO de 4 dB, ce qui correspond à un OBO de 1,6 dB et à une dégradation de qualité d'environ 3,0 dB. Pour la MDAP-32, le point de fonctionnement optimal correspond à un IBO de 7 dB, ce qui correspond à un OBO de 3,2 dB et à une dégradation de qualité d'environ 5,4 dB. Si des pilotes sont insérés dans le signal émis, la qualité est améliorée de l'ordre de 0,3 dB pour la MDP-8 et de 1,0 dB pour la MDAP-16.

Des tests additionnels ont été réalisés avec une précorrection du signal dans le modulateur destinée à réduire les effets non linéaires sur le signal démodulé et à permettre au système de fonctionner plus près du point de saturation, également pour les modulations d'ordre élevé, à savoir la MDAP-16 et la MDAP-32. Pour la MDAP-16 avec un taux de 3/4, l'utilisation d'une précorrection dans le modulateur permet au système de fonctionner de façon optimale à saturation, avec une diminution de l'OBO au niveau du satellite d'environ 1,3 dB et un affaiblissement de qualité par

⁵ Débit de symboles maximal disponible pour la configuration MDAP-32. Au-dessus de 20 MBd, la qualité de fonctionnement des équipements n'est pas garantie pour l'instant, car la vitesse d'horloge et/ou la densité de la matrice FPGA ne permettent pas d'effectuer le nombre requis d'itérations dans le décodeur LDPC. Les améliorations de la technologie FPGA devraient permettre, dans un avenir proche, d'assurer une très bonne qualité de fonctionnement pour des débits de symboles supérieurs.

rapport au canal AWGN d'environ 1,5 dB, ce qui permet d'obtenir un gain de qualité d'environ 1,5 dB par rapport au signal sans précorrection.

Des exemples comparatifs des systèmes DVB-S et DVB-S2 pour des applications de radiodiffusion ont été étudiés, dans les configurations suivantes:

TABLEAU 1

Scénarios comparatifs DVB-S/DVB-S2 pour des applications de radiodiffusion

Système	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Largeur de bande de canal BW (MHz)	36	36	36	36
Modulation et codage	MDP-4 2/3	MDP-4 3/4	MDP-4 7/8	MDP-8 2/3
Facteur de décroissance α	0,35	0,20	0,35	0,25
Débit de symboles (MBd) = $1,03 \cdot BW / (1 + \alpha)$	27,5	30,9	27,5	29,7
C/N (dans 27,5 MHz) (dB)	4,7	4,9	7,6	7,6
Débit binaire utile (Mbit/s)	33,8	46 (gain = 34%)	44,4	58,8 (gain = 32%)

Le canal par satellite inclut l'amplificateur (ATOP) et le filtre de multiplage de sortie (OMUX).

Les résultats donnés dans le Tableau 1 indiquent que, moyennant une augmentation marginale du rapport C/N requis (0 à 0,2 dB), le système DVB-S2 permet d'augmenter jusqu'à 30% et au-delà la capacité de transmission suivant le mode.

Test concernant le bruit de phase

Deux configurations différentes ont été envisagées pour les tests concernant le bruit de phase:

- Un scénario de contribution, le débit de symboles du signal émis étant de 5 MBd et l'amplificateur du satellite fonctionnant de façon linéaire.
- Un scénario de radiodiffusion par satellite, le débit de symboles du signal émis étant de 27,5 MBd et l'amplificateur du satellite fonctionnant avec la valeur optimale du recul.

Les résultats obtenus pour le scénario de contribution indiquent que la dégradation introduite par le bruit de phase LNB est de l'ordre de 0,3 dB pour la MDP-4 et la MDP-8, de 1,2 dB pour la MDAP-16 et la MDAP-32. En outre, les pilotes ne sont pas nécessaires pour la MDP-4, mais ils commencent à être utiles pour la MDP-8; les MDAP-16 et MDAP-32 ont besoin de pilotes pour donner de bons résultats.

Le scénario de radiodiffusion par satellite utilise un débit de symboles plus élevé mais est beaucoup moins sensible au bruit de phase. Les résultats indiquent que la dégradation introduite par le bruit de phase LNB est négligeable pour la MDP-4 même sans utiliser de pilotes, de l'ordre de 0,1 dB pour la MDP-8 et de 0,3 dB pour la MDAP-16 avec utilisation de pilotes.

Tests concernant les configurations VCM et ACM

Des tests ont été réalisés concernant la configuration VCM et ont montré que les récepteurs sont capables de s'adapter au changement de configuration de transmission. Une séquence de trames CED a été produite et stockée dans un générateur de forme d'onde arbitraire. Du bruit a ensuite été inséré pour donner différentes valeurs du rapport signal sur bruit. Pour un rapport signal sur bruit supérieur à la valeur minimale requise pour un mécanisme donné de modulation et de codage, le récepteur est capable de décoder la trame CED correspondante.

Enfin, la fonctionnalité ACM a été testée, afin d'étudier la capacité des récepteurs à évaluer le rapport signal sur bruit reçu et l'adaptativité correspondante du modulateur pour changer de

modulation et de codage. Les résultats montrent que, dans une connexion point à point, les équipements sont capables de suivre les variations du rapport signal sur bruit et de s'adapter en conséquence.

2 Conclusions

Les tests réalisés dans les laboratoires Rai-CRIT montrent que les équipements DVB-S2 présentent une qualité conforme à la qualité prédite par les simulations informatiques et qu'ils permettent de bien comprendre les caractéristiques des techniques sophistiquées de modulation, de codage de canal, de verrouillage de trame et de synchronisation utilisées par le système DVB-S2. Les équipements testés sont des équipements de première génération et, par conséquent, les algorithmes du récepteur seront certainement améliorés, permettant ainsi d'améliorer encore la qualité de fonctionnement, mais, en moyenne, les résultats indiquent que le système DVB-S2 est un excellent système, non seulement en théorie mais aussi en pratique.

En outre, des comparaisons avec la qualité de fonctionnement du système DVB-S dans certaines configurations d'exploitation indiquent que le système DVB-S2 offre un gain de capacité appréciable dans les configurations CCM à la fois dans le cas d'une seule porteuse par répéteur et dans le cas de plusieurs porteuses par répéteur.

Enfin, des tests ont été réalisés avec des modulateurs et des démodulateurs provenant de différents fabricants. Les résultats montrent que l'interfonctionnement des équipements est excellent.

Annexe 2

Comparaison du système DVB-S2 (Système E) avec les systèmes de télévision numérique multiprogramme par satellite mentionnés dans la Recommandation UIT-R BO.1516

Le Tableau 2 contient des informations sur les fonctions centrales (éléments communs) ainsi que sur d'autres fonctions essentielles des quatre systèmes mentionnés dans la Recommandation UIT-R BO.1516 (Systèmes A, B, C et D) et les compare avec les informations concernant le système DVB-S2, désigné comme étant le Système E.

L'Assemblée des radiocommunications dispose dans le § 6.1.2 de la Résolution UIT-R 1 que: «Les Recommandations comprenant des informations sur divers systèmes associés à une application radioélectrique donnée doivent être établies sur la base de critères pertinents pour cette application et doivent si possible comprendre une évaluation des systèmes recommandés, selon ces critères». Le Tableau 3 fournit cette évaluation. Des critères de qualité pertinents pour ces systèmes ont été sélectionnés, et l'on donne les valeurs de paramètres ou les capacités associées pour chacun de ces systèmes.

TABLEAU 2

Résumé des caractéristiques des systèmes numériques large bande à satellites

a) Fonction

	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Services fournis	TVDN et TVHD, son, données et applications de données interactives	TVDN et TVHD, son, données et applications de données interactives	TVDN et TVHD, son, données et applications de données interactives	TVDN et TVHD, son, données et applications de données interactives	TVDN et TVHD, son, données et applications de données interactives ⁽¹⁾
Format des signaux d'entrée	MPEG-TS	MPEG-TS modifié	MPEG-TS	MPEG-TS	MPEG-TS/flux générique (par exemple IP)
Capacité de plusieurs signaux d'entrée	Non	Non	Non	Oui, 8 au maximum	Oui, 255 au maximum
Résistance aux évanouissements dus à la pluie	Déterminée par la puissance d'émission et le taux du code interne	Déterminée par la puissance d'émission et le taux du code interne	Déterminée par la puissance d'émission et le taux du code interne	La transmission hiérarchique est disponible en plus de la puissance d'émission et du taux du code interne	Pour la radiodiffusion: déterminée par la puissance d'émission et le taux du code interne. Pour les services point à point et interactifs, le codage et la modulation adaptatifs sont disponibles en plus de la puissance d'émission et du taux du code interne
Réception mobile	Non disponible et à examiner ultérieurement	Non disponible et à examiner ultérieurement			
Attribution souple du débit binaire aux services	Disponible	Disponible	Disponible	Disponible	Disponible

TABLEAU 2 (suite)

a) Fonction (fin)

	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Conception d'une réception commune avec d'autres systèmes de réception	Les Systèmes A, B, C et D sont possibles	Les Systèmes A, B, C et D sont possibles	Les Systèmes A, B, C et D sont possibles	Les Systèmes A, B, C et D sont possibles	Des options de rétrocompatibilité avec les Systèmes A, B, C et D sont possibles
Points communs avec les autres supports (système de Terre, câble, etc.)	Base MPEG-TS	Base MPEG-ES (flux élémentaire,)	Base MPEG-TS	Base MPEG-TS	Base MPEG-TS
En service?	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Equipements de la station de radiodiffusion	Disponibles sur le marché				

b) Performances

	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Débit de données net (débit transmissible sans la parité)	Le débit de symboles (R_s) n'est pas fixé. Les débits de données nets suivants sont issus d'un exemple dans lequel R_s vaut 27,776 MBd: 1/2: 23,754 Mbit/s 2/3: 31,672 Mbit/s 3/4: 35,631 Mbit/s 5/6: 39,590 Mbit/s 7/8: 41,570 Mbit/s	1/2: 17,69 Mbit/s 2/3: 23,58 Mbit/s 6/7: 30,32 Mbit/s	19,5 MBd 29,3 MBd 5/11: 16,4 Mbit/s 24,5 Mbit/s 1/2: 18,0 Mbit/s 27,0 Mbit/s 3/5: 21,6 Mbit/s 32,4 Mbit/s 2/3: 24,0 Mbit/s 36,0 Mbit/s 3/4: 27,0 Mbit/s 40,5 Mbit/s 4/5: 28,8 Mbit/s 43,2 Mbit/s 5/6: 30,0 Mbit/s 45,0 Mbit/s 7/8: 31,5 Mbit/s 47,2 Mbit/s	Jusqu'à 52,2 Mbit/s (pour un débit de symboles de 28,86 MBd)	Le débit de symboles (R_s) n'est pas fixé. Les débits de données nets suivants sont issus d'un exemple dans lequel R_s vaut 27,776 MBd, on utilise la longueur de trame CED normale et on n'utilise pas de pilotes: MDP-4 1/2: 27,467 Mbit/s MDP-4 3/4: 41,316 Mbit/s MDP-8 2/3: 55,014 Mbit/s MDAP-16 3/4: 82,404 Mbit/s
Capacité d'extension vers le haut	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Capacité de TVHD	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Sélection possible d'accès conditionnel	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

TABLEAU 2 (suite)

c) Caractéristiques techniques (transmission)

	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Mécanisme de modulation	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-8 CT/ MDP-4/ MDP-2	MDP-4/ MDP-8/ MDAP-16/ MDAP-32
Débit de symboles	Non spécifié	Fixé à 20 MBd	Variable: 19,5 et 29,3 MBd	Non spécifié (par exemple 28,86 MBd)	Non spécifié
Largeur de bande nécessaire (-3 dB)	Non spécifiée	24 MHz	19,5 et 29,3 MHz	Non spécifiée (par exemple 28,86 MHz)	Non spécifiée
Taux de décroissance	0,35 (cosinus biaisé)	0,2 (cosinus biaisé)	0,55 et 0,33 (filtre de Butterworth du 4 ^{ème} ordre)	0,35 (cosinus biaisé)	0,35; 0,25; 0,2 (cosinus biaisé)
Code externe	Reed Solomon (204, 188, $T = 8$)	Reed Solomon (146, 130, $T = 8$)	Reed Solomon (204, 188, $T = 8$)	Reed Solomon (204, 188, $T = 8$)	BCH (N, K, T) avec des paramètres différents suivant la configuration de codage interne et de longueur de trame
Générateur du code externe	Reed Solomon (255, 239, $T = 8$)	Reed Solomon (255, 239, $T = 8$)	Reed Solomon (255, 239, $T = 8$)	Reed Solomon (255, 239, $T = 8$)	BCH (N, K, T) avec des paramètres différents suivant la configuration de codage interne et de longueur de trame
Polynôme générateur du code externe	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \dots$ $(x + \alpha^{15})$ avec $\alpha = 02_h$	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \dots (x + \alpha^{15})$ avec $\alpha = 02_h$	$(x + \alpha^1)(x + \alpha^2) \dots$ $(x + \alpha^{16})$ avec $\alpha = 02_h$	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \dots (x + \alpha^{15})$ avec $\alpha = 02_h$	Différent suivant la configuration de codage interne et de longueur de trame
Polynôme générateur du champ	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	Différent suivant la configuration de codage interne et de longueur de trame
Randomisation pour la dispersion d'énergie	SBPA: $1 + x^{14} + x^{15}$	Aucune	SBPA: $1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$ tronqué pour une période de 4894 octets	SBPA: $1 + x^{14} + x^{15}$	SBPA: $1 + x^{14} + x^{15}$

TABLEAU 2 (suite)

c) Caractéristiques techniques (transmission) (suite)

	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Séquence de chargement dans le registre de séquences binaires pseudo-aléatoires (SBPA)	100101010000000	Sans objet	0001 _h	100101010000000	100101010000000
Point de randomisation	Avant le codeur RS	Sans objet	Après le codeur RS	Après le codeur RS	Avant le codeur BCH /après le mappage binaire et l'insertion facultative de pilotes
Entrelacement entre le code interne et le code externe	Convolutif, $I = 12, M = 17$ (Forney)	Convolutif, $N1 = 13, N2 = 146$ (Ramsey II)	Convolutif, $I = 12, M = 19$ (Forney)	Bloc (profondeur = 8)	⁽²⁾
Codage interne	Convolutif	Convolutif	Convolutif	Convolutif, treillis (MDP-8: MCT 2/3)	LDPC
Longueur de contrainte	$K = 7$	$K = 7$	$K = 7$	$K = 7$	Sans objet
Code de base	1/2	1/2	1/3	1/2	Sans objet
Polynôme générateur	171, 133 (octal)	171, 133 (octal)	117, 135, 161 (octal)	171, 133 (octal)	Sans objet
Longueur de bloc du code interne	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Trame CED normale = 64 800 bits Trame CED abrégée = 16 200 bits

TABLEAU 2 (suite)

c) Caractéristiques techniques (transmission) (fin)

	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Taux du codage interne	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	1/2, 2/3, 6/7	1/2, 2/3, 3/4, 3/5, 4/5, 5/6, 5/11, 7/8	1/2, 3/4, 2/3, 5/6, 7/8	MDP-4: 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 MDP-8: 3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9, 9/10 MDAP-16: 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 MDAP-32: 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10
Commande de transmission	Aucune	Aucune	Aucune	TMCC	Structure de verrouillage de trame en bande de base et dans la couche physique; pilotes facultatifs
Structure des trames	Aucune	Aucune	Aucune	48 intervalles/trame 8 trames/supertrame	Trame CED normale = 64 800 bits Trame CED abrégée = 16 200 bits
Taille des paquets (octets)	188	130	188	188	188 pour MPEG-TS Non spécifiée pour GS
Couche transport	MPEG-2	Non MPEG	MPEG-2	MPEG-2	Non spécifiée
Gamme de fréquences pour la liaison descendante depuis le satellite (GHz)	Conçu à l'origine pour la gamme de fréquences 11/12, ce qui n'exclut pas d'autres gammes de fréquences	Conçu à l'origine pour la gamme de fréquences 11/12, ce qui n'exclut pas d'autres gammes de fréquences	Conçu à l'origine pour les gammes de fréquences 11/12 et 4 GHz	Conçu à l'origine pour la gamme de fréquences 11/12, ce qui n'exclut pas d'autres gammes de fréquences	Conçu pour les gammes de fréquences 11/12 et 17/21, ce qui n'exclut pas d'autres gammes de fréquences

TABLEAU 2 (suite)

d) Caractéristiques techniques (codage de source)

		Système A	Système B	Système C	Système D	Système E	
Codage de la source vidéo	Syntaxe	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-4 AVC MPEG-2 générique	
	Niveaux	Au moins le niveau principal	Au moins le niveau principal	Au moins le niveau principal	Niveau principal et niveau élevé	Niveaux 3 et 4	
	Profils	Au moins le profil principal	Au moins le profil principal	Au moins le profil principal	Profil principal	Profil principal	
Rapports largeur/hauteur		4:3 16:9 (2.12:1 en option)	4:3 16:9	4:3 16:9	4:3 16:9	4:3 16:9 (2.12:1 en option)	
Formats d'image possibles		Non limités, recommandés: 720 × 576 704 × 576 544 × 576 480 × 576 352 × 576 352 × 288	720 × 480 704 × 480 544 × 480 480 × 480 352 × 480 352 × 240 720 × 1280 1280 × 1024 1920 × 1080	720(704) × 576 720(704) × 480 528 × 480 528 × 576 352 × 480 352 × 576 352 × 288 352 × 240	1920 × 1080 1440 × 1080 1280 × 720 720 × 480 544 × 480 480 × 480 352 × 240 ^{(1),*} 176 × 120 ^{(1),*} (* pour transmission hiérarchique)	Recommandés pour MPEG-2: 720 × 576 704 × 576 544 × 576 480 × 576 352 × 576 352 × 288 Recommandés pour MPEG-4 AVC: 720 × 480 640 × 480 544 × 480 480 × 480 352 × 480 352 × 240 1920 × 1080 1440 × 1080 1280 × 1080 960 × 1080 1280 × 720 960 × 720 640 × 720	
Débit de trames pour le moniteur (par s)		25	29,97	25 ou 29,97	29,97 ou 59,94	25 ou 50, 24, 30 ou 60	

TABLEAU 2 (*fin*)*d) Caractéristiques techniques (codage de source) (fin)*

	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Décodage de la source audio	Couches I et II MPEG-2	Couche II MPEG-1; ATSC A/53 (AC3)	ATSC A/53 ou couches I et II MPEG-2	MPEG-2 AAC	Audio rétrocompatible avec la couche I MPEG-1, la couche II MPEG-1 ou la couche II MPEG-2
Informations sur les services	ETS 300 468	Système B	ATSC A/56 SCTE DVS/011	ETS 300 468	Prises en charge
EPG	ETS 300 707	Système B	Sélection possible par l'utilisateur	Sélection possible par l'utilisateur	Pris en charge
Télétexte	Pris en charge	Non spécifié	Non spécifié	Sélection possible par l'utilisateur	Pris en charge
Sous-titrage	Pris en charge	Pris en charge	Pris en charge	Pris en charge	Pris en charge
Sous-titrage codé	Non spécifié	Oui	Oui	Pris en charge	Non spécifié

⁽¹⁾ Egalement applicable au reportage d'actualités, aux services interactifs et à d'autres applications par satellite.

⁽²⁾ Le Système E n'utilise pas d'entrelacement entre le code interne et le code externe, mais un entrelacement des bits est réalisé avant le mappage des symboles (sauf pour la MDP-4).

TABLEAU 3

Tableau de caractéristiques comparées

Modulation et codage		Système A		Système B		Système C		Système D		Système E	
Types de modulation possibles de façon individuelle et sur la même porteuse		MDP-4		MDP-4		MDP-4		MDP-8, MDP-4 et MDP-2		MDP-4, MDP-8, MDAP-16, MDAP-32	
Performances (définies par le rapport <i>C/N</i> requis dans des conditions quasiment sans erreur (QEF, <i>quasi-error-free</i>) (bit/s/Hz))		Efficacité d'utilisation spectrale ⁽¹⁾	<i>C/N</i> pour QEF ⁽¹⁾	Efficacité d'utilisation spectrale	<i>C/N</i> pour QEF ⁽²⁾	Efficacité d'utilisation spectrale ⁽³⁾	<i>C/N</i> pour QEF ⁽⁴⁾	Efficacité d'utilisation spectrale	<i>C/N</i> pour QEF ⁽⁵⁾	Efficacité d'utilisation spectrale ⁽⁷⁾	<i>C/N</i> pour QEF ⁽⁶⁾
Modes	Code interne										
MDP-2 Conv.	1/2	Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé		0,35	0,2	Inutilisé	
MDP-4	1/4	Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé		0,49	-2,3
	1/3	Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé		0,66	-1,2
	2/5	Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé		0,79	-0,3
	5/11	Inutilisé		Inutilisé		0,54/0,63	2,8/3,0	Inutilisé		Inutilisé	
	1/2	0,72	4,1	0,74	3,8	0,59/0,69	3,3/3,5	0,7	3,2	0,99	1,0
	3/5	Inutilisé		Inutilisé		0,71/0,83	4,5/4,7			1,19	2,2
	2/3	0,96	5,8	0,98	5	0,79/0,92	5,1/5,3	0,94	4,9	1,32	3,1
	3/4	1,08	6,8	Inutilisé		0,89/1,04	6,0/6,2	1,06	5,9	1,49	4,0
	4/5	Inutilisé		Inutilisé		0,95/1,11	6,6/6,8	Inutilisé		1,59	4,7
	5/6	1,2	7,8	Inutilisé		0,99/1,15	7,0/7,2	1,18	6,8	1,65	5,2
	6/7	Inutilisé		1,26	7,6	Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé	
	7/8	1,26	8,4	Inutilisé		1,04/1,21	7,7/7,9	1,24	7,4	Inutilisé	
8/9	Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé		1,77	6,2	
9/10	Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé		1,79	6,4	
MDP-8	Treillis	Inutilisé		Inutilisé		Inutilisé		1,4	8,4	Inutilisé	

TABLEAU 3 (suite)

Modulation et codage		Système A	Système B	Système C	Système D	Système E	
MDP-8	3/5	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	1,78	5,5
	2/3	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	1,98	6,6
	3/4	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	2,23	7,9
	5/6	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	2,48	9,3
	8/9	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	2,65	10,7
	9/10	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	2,68	11,0
MDAP-16	2/3	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	2,64	9,0
	3/4	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	2,97	10,2
	4/5	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	3,17	11,0
	5/6	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	3,30	11,6
	8/9	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	3,52	12,9
	9/10	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	3,57	13,1
MDAP-32	3/4	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	3,70	12,7
	4/5	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	3,95	13,6
	5/6	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	4,12	14,3
	8/9	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	4,40	15,7
	9/10	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	4,46	16,0
Capacité de commande de modulation hiérarchique?		Non	Non	Non	Oui	Oui, dans l'option du mode rétrocompatible	
Caractéristiques du débit de symboles		Continûment variable	Fixe, 20 MBd	Variable, 19,5 ou 29,3 MBd	Continûment variable	Continûment variable	

TABLEAU 3 (*fin*)

Transport et multiplexage	Système A	Système B	Système C	Système D	Système E
Longueur des paquets (octets)	188	130	188	188	188 pour TS, définissable par l'utilisateur jusqu'à 64K pour GS. Des flux de paquets de longueur variable, des flux sans paquet ou des longueurs de paquets supérieures à 64K sont possibles et sont traités comme des flux continus
Flux de transport possibles	MPEG-2	Système B	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2 et flux générique (GS)
Correspondance entre le flux de transport et les canaux par satellite	Un flux/canal	Un flux/canal	Un flux/canal	1 à 8 flux/canal	1 à 255 flux/canal
Prise en charge du multiplexage statistique des flux vidéo	Pas de limitation dans un flux de transport	Pas de limitation dans un flux de transport	Pas de limitation dans un flux de transport	Pas de limitation dans un flux de transport. Possible également parmi les flux de transport d'un canal par satellite	Pas de limitation dans un flux de transport. Pas de limitation pour les flux génériques

ATOP: amplificateur à tube à ondes progressives

- (1) Pour un TEB $< 10^{-10}$. Les valeurs de C/N pour le Système A correspondent à des simulations sur ordinateur effectuées avec une chaîne à satellite fictive comprenant multiplexage d'entrée, ATOP et multiplexage de sortie, avec une décroissance de modulation de 0,35. Les valeurs de C/N reposent sur l'hypothèse d'un décodage de Viterbi à décision progressive au niveau du récepteur. Un rapport largeur de bande sur débit de symboles de 1,28 a été adopté. Les valeurs de C/N tiennent compte d'une dégradation calculée de 0,2 dB due aux limitations de largeur de bande au niveau des filtres de multiplexage d'entrée et de sortie, d'une distorsion non linéaire de 0,8 dB au niveau de l'ATOP à saturation et d'une dégradation de 0,8 dB au niveau du modem. Les chiffres correspondent à un TEB de 2×10^{-4} avant codage RS (204, 188), ce qui donne un fonctionnement QEF en sortie de codeur RS. La dégradation due aux brouillages n'est pas prise en compte.
- (2) Pour un TEB de 1×10^{-12} .
- (3) Calculée selon la formule $2(R_c)(188/204)/1,55$ ou $2(R_c)(188/204)/1,33$ dans le cas du modelage, pour le Système C, du spectre transmis normal ou tronqué, respectivement, où R_c est le taux du code convolutif.
- (4) E_s/N_0 théorique pour la MDP-4 (2 bits par symbole), c'est-à-dire, le rapport C/N mesuré dans la largeur de bande de débit en bauds pour le modelage spectral normal ou tronqué, respectivement. La marge de mise en œuvre des équipements ou la marge de pertes du répéteur de satellite ne sont pas pris en compte.

Notes relatives au Tableau 3 (suite):

- ⁽⁵⁾ Ces valeurs ont été établies à partir de simulations informatiques et sont considérées comme des valeurs théoriques. Elles correspondent à un TEB de 2×10^{-4} avant codage RS (204, 188), avec une largeur de bande de débit en bauds (largeur de bande de Nyquist). La marge de mise en œuvre des équipements ou la marge de pertes du répéteur de satellite ne sont pas prises en compte.
- ⁽⁶⁾ Ces valeurs ont été établies à partir de simulations informatiques, avec 50 itérations de décodage à virgule fixe LDPC, avec une récupération parfaite de la porteuse et de la synchronisation, sans bruit de phase, sur un canal AWGN. La longueur de la trame CED est de 64 800 bits. Les valeurs correspondent à un $PER = 10^{-7}$, où PER est le rapport, après correction d'erreur directe au niveau du récepteur, entre les paquets utiles de flux de transport (188 octets) erronés et le nombre total de paquets reçus. La marge de mise en œuvre des équipements ou la marge de pertes du répéteur de satellite ne sont pas prises en compte.
- ⁽⁷⁾ Définie comme étant le débit binaire utile par unité de débit de symboles sans pilotes.

PIECE JOINTE 1

[EN 302 307 V1.1.2](#)
