

3

Bienvenue

4

Gestion du spectre

Dividende numérique : les exigences techniques pour sa mise en œuvre

Jan Doeven, Doeven Radiocommunication Consultancy

12

Radio numérique

L'évaluation de la DAB

*Frank Herrmann, Larissa Anna Erismann et Markus Prosch,
WorldDBM*

26

Protection du contenu

HDMI & HDCP – le point de vue des fabricants

Dietrich Westerkamp, Thomson, EICTA HDTV Issue Manager

30

HDCP – le point de vue des diffuseurs en clair

Jean-Pierre Evain, UER

35

Vidéo en continu

Codage MD – une nouvelle technologie pour la vidéo en continu sur internet

Andrea Vitali, STMicroelectronics

45

Qualité de service

Réseaux IP, internet et IPTV

Jeff Goldberg et Thomas Kernen, Cisco Systems

La sélection 2007

Bienvenue à la « Sélection 2007 » des meilleurs articles de la Revue Technique de l'UER.

Depuis 1998, la revue technique de l'UER est publiée en ligne quatre fois par an en anglais sur le site www.ebu.ch/en/technical/trev/trev_home.html. Le choix de ce mode de publication s'est révélé très concluant car il a permis d'élargir le lectorat. Il est très gratifiant d'apprendre que de nombreux lecteurs ont « découvert » la Revue Technique grâce à la version en ligne. Certains d'entre eux n'ont aucun rapport direct avec l'UER mais travaillent dans des domaines ou des sociétés proches de la radiodiffusion, comme les entreprises qui fournissent des logiciels ou du matériel aux organismes de radiodiffusion.

Notre service de publication électronique propose en ligne les archives de la Revue Technique de l'UER jusqu'à 1992. Ces archives réunissent de nombreux articles de grande qualité sur des sujets très divers. La navigation s'appuie sur une approche thématique. Une rubrique *sujets d'actualité*, récemment introduite, regroupe les articles qui traite des questions sur le devant de la scène, comme la TVHD ou la radiodiffusion sur les dispositifs de poche.

La version en ligne comprend en outre une liste des abréviations anglaises utilisées dans la revue technique au cours des 15 dernières années. Des nouveaux termes sont constamment ajoutés à la liste téléchargeable en cliquant sur le lien « Abbreviations » de la barre de navigation de la version anglaise.

Début 2000, l'UER a décidé de ne plus publier la version papier de la Revue Technique. Toutefois, il était clair que la

publication électronique ne pouvait pas remplacer totalement les exemplaires imprimés. Cet idéal sera atteint quand les ordinateurs seront en mesure de remplacer avantageusement les publications papier en termes de poids, de facilité de lecture, de qualité, de prix et surtout de durée de vie des batteries !

L'ére de la disparition totale des documents papier n'étant pas encore arrivée, l'UER publie chaque année une sélection d'articles en version imprimée. Alors que la version en ligne est disponible uniquement en anglais, cette sélection d'articles est publiée en anglais et en français.

Si vous appréciez la Revue Technique, n'hésitez pas à la consulter en ligne.

Et surtout n'oubliez pas de donner son URL à vos amis et à vos collègues !



Lieven Vermaele

Directeur du département technique de l'UER

Dividende numérique

Les exigences techniques pour sa mise en œuvre

Jan Doeven
Doeven Radiocommunication Consultancy

La CRR-06 s'est soldée par la signature d'un nouvel Accord et des plans de fréquences associés pour la radiodiffusion de la TV numérique et analogique pendant la période de transition (GE06). La prochaine étape consistera à mettre en œuvre le nouvel Accord.

Les organismes de radiodiffusion, les opérateurs de réseaux, les forums d'utilisateurs du spectre et d'autres ont fait connaître leur avis concernant l'utilisation des Bandes III, IV et V. L'un des termes revenant fréquemment dans le contexte de la mise en œuvre du nouvel Accord est celui de « dividende numérique ». Le présent article décrit les contraintes techniques à prendre en considération lors de l'utilisation du spectre libéré pour différentes applications relevant du dividende numérique.

1. Introduction

La CRR-06 s'est soldée par la signature d'un nouvel Accord et des plans de fréquences associés pour la radiodiffusion de la TV numérique et analogique pendant la période de transition (GE06) [1]. La prochaine étape consistera à mettre en œuvre le nouvel Accord. Les organismes de radiodiffusion, les opérateurs de réseaux, les forums d'utilisateurs du spectre et d'autres ont fait connaître leur avis concernant l'utilisation des Bandes III, IV et V. L'un des termes revenant fréquemment dans le contexte de la mise en œuvre du nouvel Accord est celui de « dividende numérique », terme qui peut prendre un grand nombre de connotations. Pour les pays de l'UE, c'est la définition sur laquelle se base le Groupe pour la politique en matière de spectre radioélectrique (GPSR) et la CE qui est la plus pertinente.

Selon le GPSR, le « dividende numérique » est le spectre disponible dès que les services de télévision analogique existants seront transmis exclusivement en numérique dans les bandes VHF (Bande III, 174-230 MHz) et UHF (Bandes IV et V, 470-862 MHz) [2]

Il convient de relever que les services actuels de télévision analogique utilisent aussi la Bande I (47-68 MHz) et que, au terme de la transition numérique, le spectre de la Bande I pourrait lui aussi être considéré comme un dividende numérique. En outre, la Bande III est aussi planifiée pour la T-DAB et nombre de services de T-DAB existants utilisent déjà la Bande III. De surcroît, les Bandes III, IV et V sont aussi mises à profit dans un certain nombre de pays pour des services autres que la radiodiffusion.

Les applications envisageables pour le dividende numérique sont en cours de discussion. Dans sa communication *Priorités de la politique de l'UE en matière de spectre radioélectrique pour le passage à la radiodiffusion numérique dans le cadre de la prochaine Conférence régionale des radiocommunications de l'UIT (CRR-06)*, la CE définit trois catégories d'applications possibles :

- 1) Les fréquences nécessaires à l'amélioration des services de radiodiffusion terrestre: il s'agit par exemple des services de qualité technique supérieure (notamment la TVHD), d'un accroissement du nombre des programmes et/ou de l'amélioration de l'expérience télévisuelle (par ex. angles de vue multi-caméras pour les sports, flux de données individualisés et autres options de quasi-interactivité);

- 2) Les fréquences radio nécessaires pour les services de radiodiffusion « convergents », qui devraient être principalement des « hybrides » de services de radiodiffusion traditionnels et de services de communications mobiles;
- 3) Les fréquences à attribuer à de nouvelles utilisations n'appartenant pas à la famille radiodiffusion. Certaines de ces utilisations potentielles des fréquences libérées sont des services et des applications qui ne sont pas encore commercialisés, d'autres le sont mais ils n'utilisent pas encore ces fréquences (par ex. extensions de services 3G, applications liées aux équipements radio à courte portée).

Des considérations concernant l'utilisation du dividende numérique figurent également dans [4].

2. La taille du dividende numérique

2.1. Les couches

L'un des termes fréquemment utilisés lors de l'examen des requêtes nationales d'entrée et des résultats de la CRR-06 est le nombre de « couches ». Le terme de « couche » n'est pas défini dans l'Accord GE06 et il ne l'a pas été non plus lors de la CRR-06. Pour la plupart des pays européens, une couche peut se définir comme un ensemble de canaux capable d'offrir une couverture nationale intégrale ou partielle. Le nombre de couches dépend, entre autres, de l'emplacement géographique, du niveau de brouillage toléré, des caractéristiques de transmission et de réception, ainsi que de la façon dont l'administration compose ses couches à partir des entrées du Plan disponibles.

Nombre de « couches » conseillé

Bande III		Bande IV/V
T-DAB	DVB-T	DVB-T
3	1	7-8

Les administrations ont présenté leurs besoins en T-DAB et DVB-T avant la CRR-06. Dans certaines régions, la satisfaction de ces besoins aurait exigé dix fois la capacité en fréquences disponible et, dans la majeure partie d'entre elles, deux ou trois fois cette dernière. Lors de la définition de leurs requêtes d'entrée, les Administrations ont tenu compte de leurs besoins à long terme en matière de radiodiffusion, de leurs droits d'utilisation d'autres services primaires fonctionnant dans les Bandes III, IV ou V (le cas échéant) et peut-être également dans certains pays de l'éventualité d'un recours futur à d'autres applications. Toutefois, le processus de planification de la CRR-06 permettait uniquement aux Administrations de présenter des requêtes d'entrée concernant la T-DAB ou la DVB-T. Les éventuelles autres applications ont dû être décrites sous la forme de requêtes de radiodiffusion. L'un des éléments retenus pour la définition des requêtes d'entrée était que toutes les Administrations puissent avoir un accès équitable aux bandes de fréquences. Les requêtes d'entrée pour la T-DAB et la DVB-T ne représentent donc pas toujours le minimum actuellement exigé par le marché. En outre, il convient de relever que ce n'est pas parce qu'une requête nationale semble irréaliste du point de vue de la planification des fréquences, voire du point de vue d'une Administration voisine, qu'elle ne constitue pas une réalité politique pour le pays concerné.

Pendant la CRR-06, de fortes pressions se sont exercées sur les Administrations pour qu'elles reviennent leurs besoins à la baisse en se conformant aux directives suivantes (*voir tableau ci-dessous*).

La plupart des pays européens ont réussi à se limiter au nombre de couches susmentionné.

La majeure partie des pays compte quatre services de TV analogique, dont

la transmission exige en général un seul multiplex DVB-T, associé à une couche DVB-T. Il peut cependant arriver que les pays disposant de cinq services de TV analogique ou plus et utilisant la DVB-T avec une modulation robuste, aient besoin de deux multiplex DVB-T et, par conséquent, de deux couches DVB-T pour radiodiffuser en format numérique leurs services de TV analogique existants.

Pour assurer le bon fonctionnement de la DVB-T, le nombre de multiplex doit être supérieur au nombre de chaînes contenant les programmes de TV analogique actuels (*voir chapitre 6.1*) mais, en appliquant la définition du GPSR, sur huit à neuf des couches DVB-T obtenues, ce sont en général six à huit couches DVB-T et trois couches T-DAB qui pourraient être considérées comme relevant du dividende numérique (*voir figure 1*).

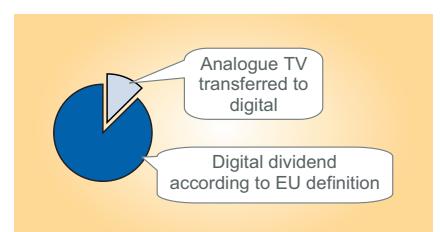


Figure 1 – Spectre des Bandes III, IV et V

2.2. Bandes de fréquences

La Bande I (47-68 MHz) n'a pas été planifiée pour la radiodiffusion numérique lors de la CRR-06, elle est réglementée par l'Accord de Stockholm révisé. Cette bande n'est pas comprise dans la définition que le GPSR donne du dividende numérique. Toutefois, après l'interruption de la TV analogique, il se peut qu'il soit envisagé de l'utiliser pour de nouvelles applications en tenant compte du fait qu'elle abrite déjà dans un certain nombre de pays des services autres que la radiodiffusion. La Bande I est moins intéressante que les Bandes III, IV ou V pour de nombreux services en raison de :

- sa longueur d'onde considérable, qui exige une antenne de grande taille ;

- sa sensibilité au brouillage ionosphérique provoqué par le caractère sporadique de la couche-E ;
- les niveaux élevés de bruit artificiel affectant ces fréquences [6].

De façon générale, la Bande I a suscité peu d'intérêt, mais fait tout de même l'objet d'expériences de DRM (Digital Radio Mondiale).

La Bande III (174-230 MHz) a été planifiée pour la T-DAB et la DVB-T. Plusieurs pays envisagent la mise en œuvre exclusive de la DVB-T dans la Bande IV/V et celle de la T-DAB ou d'applications multimédia passant par un système fondé sur la T-DAB exclusivement dans la Bande III. Aucun intérêt n'a pour l'instant été manifesté à l'égard de l'utilisation de cette bande pour de nouveaux services autres que la radiodiffusion.

Pour les applications relevant du dividende numérique, cette bande est considérée comme étant de 1ère et 2ème catégorie (*voir chapitre 1*).

Les Bandes IV/V (470-862 MHz) sont celles qui font l'objet des plus grandes spéculations concernant le dividende numérique, pour les trois catégories (*voir chapitre 1*). Outre la radiodiffusion, le lobby UMTS la considère comme une bande intéressante pour les systèmes de communications mobiles.

3. L'Accord GE06

Les entrées du Plan GE06 ne seront intégralement disponibles qu'une fois les services analogiques interrompus. L'Union européenne propose de mettre un terme aux services de TV analogique avant 2012 [7]. L'Accord ne prévoit aucun droit à la protection pour la TV analogique au-delà du 17 juin 2015 (et, dans certains pays d'Afrique et du Moyen-Orient, du 17 juin 2020 dans le cas des transmissions VHF).

L'Accord propose deux solutions pour garantir l'application souple des entrées du Plan (article 5):

- **Différentes caractéristiques d'une entrée du Plan** peuvent être appliquées, pour autant qu'elles satisfassent au « contrôle de conformité ». Le principal critère est que le brouillage de l'application ne dépasse pas celui de l'entrée du Plan. Il peut par exemple être fait appel à ce mécanisme pour transformer une entrée du Plan en un Réseau à fréquence unique (SFN) ou passer à un mode de réception différent (*voir chapitre 4*) ;

- **des applications alternatives** (c.-à-d. autres que la DVB-T ou la T-DAB) sont possibles **pour une entrée du Plan** dans le cas de la radiodiffusion et des services mobiles et fixes, sous réserve du respect de trois conditions :
 - attribution de la bande au service en question dans le Règlement des radiocommunications ;
 - densité spectrale ne dépassant pas celle de l'entrée du Plan associée ;
 - degré de protection requis n'excédant pas le degré prévu pour l'entrée du Plan associée.

Une description plus détaillée des solutions offertes pour garantir la souplesse est donnée dans [8].

De plus, l'Accord GE06 contient une procédure de modification du Plan (article 4) prévoyant que l'accord de tous les pays potentiellement affectés doive être sollicité pour modifier une entrée du Plan. La procédure prévue à l'article 4 doit également être appliquée dans les cas de lancement ou de modification de services autres que la radiodiffusion bénéficiant eux aussi du statut de services primaires.

Il est possible de distinguer deux utilisations différentes du dividende numérique, en

Caractéristiques de base les plus utilisées pour les différents modes de réception de la DVB-T dans les Bandes IV/V:

Mode réception	Fixe (antenne)	Portative
Capacité	$\leq 24 \text{ Mbit/s}$	$\leq 16 \text{ Mbit/s}$
Champs requis	$56 \text{ dB}\mu\text{V/m}$	$78 \text{ dB}\mu\text{V/m}$

fonction de l'impact sur l'Accord GE06 :

- **applications utilisant des entrées du Plan** n'exigeant aucune modification, ou une modification limitée du Plan GE06 ;
- **applications utilisant une sous-bande dédiée** entraînant une modification considérable du Plan GE06.

4. Applications utilisant des entrées du Plan GE06

L'Accord GE06 a harmonisé les paramètres de planification destinés à permettre l'utilisation de la bande 174-230 MHz par la T-DAB et la DVB-T, ainsi que de la bande 470-862 MHz par la DVB-T. La T-DAB a été planifiée pour la réception mobile et portative, tandis que la DVB-T l'était pour la réception portative et la réception avec une antenne de toiture.

4.1. Mode de réception

Chaque entrée du Plan spécifie un mode de réception particulier. Le mode le plus utilisé pour la DVB-T est constitué d'un ensemble de caractéristiques permettant la réception au moyen d'une antenne de toiture ou la réception portative en extérieur. Ce second terme couvre également la réception portative à l'intérieur ou la réception mobile à une qualité de couverture inférieure. La *figure 2* montre le mode de réception spécifié pour la DVB-T dans les pays européens.

Une transmission fondée sur une entrée du Plan spécifiée pour la réception au moyen



[source UER]

Reception mode

 Portable	 Rooftop or portable	 Rooftop
--	--	--

Figure 2 – Le mode de réception spécifié dans GE06

d'une antenne de toiture peut être utilisée pour la réception portative pour autant qu'une réduction de la zone de couverture soit acceptable. Si tel n'est pas le cas, il est possible de faire appel, pour améliorer la couverture, à un réseau SFN satisfaisant aux conditions du contrôle de conformité prévu à l'article 5 de l'Accord GE06. Il peut également se révéler nécessaire d'appliquer la procédure prévue par l'article 4 de l'Accord GE06, qui prévoit de solliciter un accord à l'échelon international pour toute modification d'une entrée du Plan prévoyant une puissance supérieure.

L'utilisation pour la réception au moyen d'une antenne de toiture d'une transmission fondée sur une entrée du Plan spécifiée pour la réception portative permet de dégager une zone de couverture supérieure et peut occasionner un chevauchement dans la couverture au moyen d'une antenne de toiture offerte par deux ou plusieurs émetteurs adjacents. Dans la pratique, il se peut que la couverture portative soit

limitée aux zones construites. Dans les zones rurales environnantes, le champ utile devrait suffire pour la réception au moyen d'une antenne de toiture, mais les niveaux de brouillage associés à l'entrée du Plan destinée à la réception portative pourraient se révéler trop élevés pour permettre une couverture complète de la zone par le biais d'une antenne de toiture. Il est probable que le nombre d'émetteurs utiles possibles soit supérieur à un, en raison du chevauchement des zones de couverture. Dans certains cas, au lieu de diriger l'antenne dans la direction de l'émetteur offrant le signal le plus puissant, un meilleur rapport signal/brouillage pourrait être obtenu en alignant l'antenne sur un autre émetteur. Dans certaines zones, il se peut qu'une antenne extrêmement directionnelle (et, par conséquent, beaucoup plus onéreuse) soit nécessaire. Il pourrait également être nécessaire d'optimiser les caractéristiques de l'émetteur, ou du SFN, en veillant au respect du contrôle de conformité prévu par l'article 5 de l'Accord GE06.

Les besoins en matière de champ pour la réception mobile dans la Bande IV/V vont de 85 à 107 dB_µV/m, suivant les conditions de modulation et de réception [9] et sont supérieurs à ceux de la réception portative. Une transmission fondée sur une entrée du Plan destinée à la réception portative peut être utilisée pour la réception mobile dans des conditions comparables à celles qui sont mentionnées ci-dessus dans le cas de l'utilisation pour la réception portative d'une entrée du Plan prévue pour la réception fixe.

4.2. Différentes topologies de réseaux

Si, dans une zone donnée, la topologie du réseau de l'un des multiplex est différente de celle des autres multiplex (par ex. en cas d'utilisation de réseaux denses pour certains multiplex), il est possible qu'apparaîsse du brouillage dans la voie adjacente pour les stations n'occupant pas le même site. Ce brouillage peut se manifester sur le premier, le deuxième, voire le troisième canal adjacent des deux côtés du canal utile.

Le brouillage du canal adjacent est un problème local. L'une des solutions possibles passe par l'installation d'émetteurs de remplissage sur le site de l'émetteur provoquant le brouillage. Reste néanmoins à déterminer qui devra financer ce type d'installation.

5. Applications utilisant une sous-bande dédiée

Pour les applications exigeant une liaison montante et des schémas de répartition des canaux différents, par ex. l'UMTS, des sous-bandes dédiées sont envisagées [2] [18]. Dans le cas de l'UMTS, il faudra que la CMR-07 ou la CMR-011 décident d'une attribution aux services mobiles dans le Règlement des radiocommunications et qu'une sous-bande du Plan GE06 dans laquelle les entrées seraient éliminées soit sélectionnée.

5.1. Replanification de la Bande IV/V

La procédure prévue à l'article 4 de GE06 prévoit l'accord de tous les pays potentiellement affectés pour toute nouvelle application autre que la radiodiffusion, ainsi que l'intégration de cette application dans la « Liste » de l'annexe 5 de l'Accord, destinée à la protéger des entrées des Plans GE06 et de toute autre modification de ces derniers. Pour être acceptée, la nouvelle application peut être soumise à des restrictions liées à la nécessité de protéger les entrées du Plan d'autres pays et d'accepter le brouillage des entrées du Plan d'autres pays.

En général, dans le Plan GE06, les fréquences utilisées sur un site donné ou dans une certaine zone sont éparpillées sur l'intégralité de la bande. Une sous-bande destinée aux services mobiles, tels que l'UMTS, pourrait donc affecter toutes les « couches » DVB-T (*pour la signification de « couches », voir le chapitre 2.1*), car elle créerait des « trous » dans les couches (des zones non couvertes en raison de l'existence de la sous-bande, qui rend les fréquences indisponibles).

La partie restante de la bande devra être replanifiée pour retrouver sur la base d'un nombre inférieur de couches la couverture DVB-T initialement prévue, en appliquant la procédure visée à l'article 4 de l'Accord GE06. Dans la pratique, une telle replanification signifie que le Plan GE06 devra être remodelé, ce qui signifie

qu'il faudra protéger les entrées du Plan d'autres pays et accepter le brouillage subi par d'autres pays en raison de ces entrées du Plan.

Il est fort probable que ce processus de replanification se révèle complexe et fastidieux et rien ne garantit qu'il soit possible de retrouver la couverture initiale. La DVB-T a d'ores et déjà été lancée dans 14 pays d'Europe (*voir figure 3*) et, d'ici la fin du processus, un nombre encore nettement supérieur d'émetteurs DVB-T aura été mis en fonction. Il sera nécessaire d'assurer la transition entre le Plan GE06 initial et le Plan replanifié.

5.2. Bandes de garde

Pour éviter le brouillage entre les transmissions montantes et les transmissions de radiodiffusion (descendantes) adjacentes, des bandes de garde sont indispensables. La largeur d'une bande de garde dépend d'un grand nombre de facteurs. Selon les études en cours à l'UIT-R et ailleurs, elle pourrait dépasser les 10 MHz. Il faut également une bande de garde entre les sous-bandes utilisées par la liaison montante et la liaison descendante. Le total des bandes de garde, et par conséquent du spectre inutilisé, pourrait représenter l'équivalent de plusieurs chaînes DVB-T.

6. Utilisation du spectre

Les Bandes III, IV et V sont les seules bandes permettant d'assurer une couverture DVB-T et DVB-H sur des zones étendues. Suite à l'« Avis » exprimé par le Groupe sur la politique en matière de spectre radioélectrique de l'UE concernant le lancement des services multimédias [10], la CEPT a reçu mandat de définir les paramètres techniques et réglementaires susceptibles de permettre l'ouverture de la bande 1452 à 1479,5 MHz pour son utilisation souple par une série de technologies multimédias mobiles. Toutefois, les caractéristiques de propagation et la largeur de cette bande (25,5 MHz) ne sont en général pas adaptées à la planification d'une couverture nationale dans chaque pays d'Europe, même en

retenant une largeur de bande DVB-T ou DVB-H de 5 MHz.

Les services UMTS peuvent être exploités dans différentes bandes. Une série de bandes d'extension éventuelles a été définie, dont les Bandes IV et V [11].

6.1. Utilisation des Bandes IV et V pour la radiodiffusion

Pour inciter les consommateurs à faire l'acquisition d'un récepteur numérique pour les services terrestres, il faut une offre de radiodiffusion intéressante, c.-à-d. une offre qui rassemble au moins 20 à 30 chaînes populaires. Le même nombre est également nécessaire pour garantir une meilleure concurrence avec la diffusion par le satellite et le câble. Les services à la demande, par exemple l'UMTS dans le cas de la réception sur petit écran, sont les mieux adaptés à la transmission des nombreux programmes suscitant un fort intérêt auprès d'un nombre réduit de personnes seulement. Un Guide électronique des services (GES) commun faciliterait le recours à une telle solution. Ces services à la demande pourraient inclure des programmes publics et commerciaux reçus à l'extérieur du territoire national, par exemple à l'intention des voyageurs et des touristes désireux de recevoir les programmes de leur pays d'origine.

Le nombre de couches offert par le Plan GE06 est énorme et fait considérablement augmenter l'utilisation du spectre par rapport au Plan ST61. En fait, cet usage dépasse la capacité théorique des bandes de fréquences, au moins pour les conditions techniques retenues lors de la CRR-06. Pour obtenir ces couches « supplémentaires », il a fallu accepter des niveaux de brouillage supérieurs, susceptibles de réduire la qualité des services et/ou les zones de couverture. Pour surmonter ces difficultés d'application du Plan et offrir des services fiables, des émetteurs et des fréquences supplémentaires se révéleront peut-être nécessaires.

Pour offrir une qualité vidéo et audio acceptable sur les écrans traditionnels, trois à



**Figure 3 – Carte de la DVB-T en Europe
(from *DigiTag*)**



6.2. Considérations concernant l'UMTS

L'UMTS constitue l'une des possibilités examinées par la CEPT pour l'utilisation du dividende numérique. Le Forum UMTS considère que 2×30 MHz jumelés associés à des canaux de 5 MHz offriraient une bande d'extension viable de la couverture minimum requise pour l'UMTS. Ce critère inclut une bande de garde entre les sous-bandes de la liaison montante et descendante et exigerait aussi des bandes de garde de 10 à 16 MHz avec les sous-bandes adjacentes utilisées pour la DVB-T.

6.3. Autres utilisations

quatre programmes peuvent être transmis dans un multiplex destiné à la réception portative (16 Mbit/s) et cinq à six dans un multiplex destiné à la réception au moyen d'une antenne fixe (24 Mbit/s). La capacité moyenne de transmission de données attribuée à chaque programme pourrait aller de 3 à 4 Mbit/s en fonction de la variante DVB-T utilisée et du multiplexage statistique [12].

Il convient de noter que les critères de qualité devront augmenter avec l'avènement des écrans plats. Ce type d'écran très populaire trônera, ou trône déjà aujourd'hui, dans un grand nombre de foyers. Les recherches menées par l'UER ont montré que les écrans plats sont plus sensibles aux artefacts et qu'ils exigent, pour obtenir une bonne qualité d'image, à peu près deux fois le débit binaire exigé par les écrans à tube cathodique [13] [14].

Le système de compression vidéo MPEG-4 permettra un débit binaire inférieur comparé au MPEG-2, sans perte de qualité. Le recours au MPEG-4 pourrait donc compenser la hausse du débit binaire exigée par les écrans plats. Un certain nombre de pays, qui n'ont pas encore lancé la DVB-T, envisagent ou ont d'ores et déjà décidé d'associer la DVB-T au MPEG-4. Toutefois, les pays ayant déjà lancé la DVB-T devront utiliser des couches supplémentaires pour la mise en fonction du MPEG-4, à l'exception de la France, qui a déjà mis en œuvre des multiplex utilisant le système MPEG-4 (pour la TV à péage).

Des transmissions pilotes de DVB-H sont actuellement en cours dans plusieurs pays et ont déjà démarré en Italie [15]. Lors de la planification des services DVB-H, il conviendra de trouver un équilibre entre, d'une part, la puissance rayonnée et le nombre d'émetteurs requis pour disposer de la couverture souhaitée et, de l'autre, le débit binaire disponible. Si les conditions de réception sont très difficiles [8], les opérateurs ont majoritairement tendance à opter pour une variante de système robuste entraînant par conséquent un débit binaire net limité. Dix à quinze programmes peuvent être transmis dans un multiplex de DVB-H.

D'ici 2010, le nombre de récepteurs aptes à recevoir la TV numérique devrait dépasser les 50 millions [16], ce qui signifie que la demande de programmes en TVHD sera aussi extrêmement élevée. A l'heure actuelle, les programmes de TVHD sont diffusés par satellite, mais un grand nombre de radiodiffuseurs européens prévoit de transmettre la TVHD sur les réseaux terrestres. Les études entreprises par l'UER [17] révèlent qu'il est possible de transmettre deux programmes de TVHD dans un multiplex DVB-T destiné à la réception au moyen d'une antenne de toiture (24 Mbit/s). La TVHD n'est pas compatible avec la réception de la TV à définition standard et doit donc être transmise en parallèle des multiplex de DVB-T.

Les assignations à d'autres services bénéficiant du statut de services primaires dans le Règlement des radiocommunications ont été prises en compte lors de la CRR-06 lorsque les Administrations concernées en faisaient la demande. Ces services, parmi lesquels figurent la radionavigation et les services fixes ou mobiles destinés aux applications militaires, sont énumérés sur la « Liste » que contient l'Annexe 5 de l'Accord GE06. Ces services devront être pris en considération, le cas échéant, dans le cadre de tout processus de replanification.

Le Règlement des radiocommunications octroie en outre à certains services le statut de services secondaires dans la Bande IV/V. Ces services ne sont pas pris en compte lors de la planification des services primaires. Cependant, ces services pourraient revêtir une grande importance dans le contexte national, notamment le service de radioastronomie dans le canal 38 et les services auxiliaires à la radiodiffusion et à la réalisation de programmes (SAB/SAP).

Les services SAB/SAP sont de plus en plus importants, car une augmentation du nombre des programmes radiodiffusés entraîne un besoin accru de structures de production de programmes radiodiffusés. Ce principe s'applique en dépit des restrictions d'utilisation des services SAB/SAP en train d'apparaître dans la Bande IV/V, densément

planifiée pour la DVB-T, ce qui laisse moins d'espace disponible pour les transmissions de SAB/SAP.

7. Les choix en matière de dividende numérique

Sous l'angle technique, deux solutions se présentent pour les applications relevant du dividende numérique.

- **Les applications utilisant les entrées du Plan** mais n'exigeant aucune modification ou une modification limitée de l'Accord GE06, par exemple la DVB-T, la TVHD ou la DVB-H.

- Il faut s'attendre à certaines restrictions en raison des limites de puissance et des niveaux de brouillage des entrées du Plan GE-06 correspondantes.
- Dans la majeure partie des cas, les services peuvent être mis en œuvre en vertu de l'article 5 de l'Accord GE-06 et aucun accord international n'est requis.
- Dans certains cas, il est possible que des modifications du plan soient nécessaires et exigent l'application de l'article 4 de l'Accord GE-06, qui prévoit l'accord de tous les pays potentiellement affectés.

- Des problèmes de canaux adjacents ne sont pas à exclure en cas de recours dans la Bande IV/V à différentes topologies de réseaux au sein de la même zone. Ces problèmes devront être résolus à l'échelle nationale.

- **Les applications utilisant une sous-bande dédiée** et entraînant une modification considérable du Plan GE06.

- Dans le cas des transmissions montantes, il faudrait prévoir une attribution pour les services mobiles dans le Règlement des radiocommunications. En outre, des bandes de garde sont indispensables.
- Pour les nouvelles applications, c'est l'article 4 de l'Accord GE06 qui doit être appliqué. Il faut s'attendre à des restrictions destinées à protéger les entrées du Plan GE-06 d'autres pays. Il faudra accepter le brouillage suscité par les entrées du Plan d'autres pays.
- Certaines contraintes techniques pourraient se manifester en cas de coexistence de différentes topologies de réseaux et de différents systèmes dans la même bande. Des études de faisabilité doivent être entreprises.

- La partie restante de la bande devra être replanifiée pour la DVB-T, ce qui exigera l'application de l'article 4 de l'Accord GE06.
- Il faut prévoir une transition du Plan GE06 initial au plan revu et corrigé.
- La replanification et la transition à un plan revu et corrigé constitueront un processus complexe et fastidieux exigeant plusieurs années de coordination internationale intense.

Plusieurs pays d'Europe ont octroyé une licence à cinq ou six multiplex de DVB-T ou de DVB-H ou ont prévu de le faire bientôt, ce qui signifie qu'une part considérable du dividende numérique de ces pays sera absorbée par les catégories 1 et 2 (*voir chapitre 1*).

Une fois cinq ou six licences octroyées à des multiplex de DVB-T ou de DVB-H, il reste en général une ou deux couches. Elles pourraient en principe être envisagées pour les trois catégories relevant du dividende numérique. Seule l'application de la troisième catégorie (nouvelle utilisation telle que les services 3G), exigera de prévoir une sous-bande dédiée allant par conséquent de pair avec une replanification. Cette situation soulève les questions suivantes :

- Pourquoi la CMR-07 ou la CMR-11 choisiraient-elles les Bandes IV/V comme



Jan Doeven, ingénieur électricien (1971), exerce en tant que conseiller indépendant depuis sa retraite en août 2007. Il a travaillé pour Nozema et KPN Broadcast Services. À sa retraite il était conseiller pour la stratégie technique. Tout au long de sa carrière, il a occupé des postes influents dans le domaine de la gestion des fréquences et de la mise en œuvre des nouvelles technologies dans la radiodiffusion.

Durant 30 ans, il a participé aux activités de l'UER dans tous les domaines de la radiodiffusion. Il a d'ailleurs présidé de 1997 à 2007 le comité de gestion de l'UER « Systèmes de radiodiffusion » (BMC).

Depuis le début des années quatre-vingt-dix, il se consacre, tant au niveau national qu'international, aux questions de planification et de mise en œuvre des réseaux de radiodiffusion numérique. Il a présidé les groupes européens préparatoires aux CRR-04 et 06 (groupe de projet FM24 et groupe de travail CRR-06 de la CEPT) et, durant la Conférence 2006, il a assuré la coordination générale de la CEPT et la vice-présidence de la CRR.

bande d'extension des services 3G alors que tant d'autres bandes sont envisageables et que les Bandes III, IV et V sont les seules à autoriser une couverture DVB-T et DVB-H sur des zones étendues ?

- Pourquoi les Administrations auraient-elles le souhait de participer, sans aucune garantie de résultats, à une autre période de replanification intensive de la radiodiffusion numérique suite à l'expérience des deux sessions de la CRR et des six années de préparatifs qu'elle a requises ?
- Pourquoi les radiodiffuseurs et les opérateurs de réseaux seraient-ils prêts à supporter les difficultés et les coûts d'une nouvelle période de transition sans les avantages de la transmission de services supplémentaires ?

L'avenir seul est en mesure de nous le dire !

Bibliographie

- [1] **Actes finals de la CRR-06 et Plans et listes de fréquences associés**
UIT, Genève, 16 juin 2006
- [2] Draft RSPG Opinion on EU spectrum policy implications of the digital dividend
- [3] Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social européen et au Comité des Régions : **Priorités de la politique de l'UE en matière de spectre radioélectrique pour le passage à la radiodiffusion numérique, dans le cadre de la prochaine Conférence régionale des radiocommunications de l'UIT (RRC-06)**
COM(2005) 461, Bruxelles 29.9.2005
- [4] **Digital dividend**
Editorial de Philip Laven, EBU Technical Review - n°308 (octobre 2006)
- [5] **Actes finals de la Conférence régionale des radiocommunications chargée de réviser l'Accord de Stockholm de 1961 (CRR-06-Rév. ST61)**
Genève, 16 juin 2006
- [6] Doc. Tech. 3313 de l'UER : **Band I Issues**
UER, août 2005
- [7] Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social européen et au Comité des Régions **concernant l'accélération de la transition de la radiodiffusion analogique à la radiodiffusion numérique**
COM(2005) 204 final, Bruxelles, 24.05.2005
- [8] Terry O'Leary, Elena Puigrefagut et Walid Sami : **La 2^e session de la CRR et les aspects principaux pour les radiodiffuseurs**
Revue technique de l'UER, sélection 2006
- [9] Doc. tech. 3317 de l'UER: **Planning parameters for hand-held reception, considering the use of DVB-H and T-DMB in Bands III, IV, V and 1.5 GHz**
UER, novembre 2006
- [10] Radio Spectrum Policy Group Opinion on **the introduction of multimedia services in particular in the frequency bands allocated to the broadcasting services**
UE, 25 octobre 2006
- [11] Draft CPM report, Chapter 1, Document UIT-R CPM07-2/1-E; 4 octobre 2006
- [12] Doc I37-2006 de l'UER : **Guidelines for the RRC-06**
UER, Genève
- [13] Doc I35-2002 de l'UER : **The potential impact of flat panel displays on broadcast delivery of television**
UER, Genève
- [14] Doc I39-2004 de l'UER : **Maximizing the quality of conventional quality broadcasting in the flat panel environment**
UER, Genève
- [15] Services DVB-H;
<http://www.dvb-h.org/services.htm>
- [16] **High Definition Television: Global Uptake and Assessment To 2010**
Screen Digest, mars 2006
- [17] Doc Tech 3312 de l'UER : **Digital Terrestrial HDTV Broadcasting in Europe; The data rate capacity needed (and available) for HDTV**
UER, février 2006
- [18] Coverage Extension Bands
Rapport n°38 du Forum UMTS

©UER Publié en anglais en janvier 2007

L'évolution de la DAB

Frank Herrmann

Président, Comité technique de WorldDMB

Larissa Anna Erismann

Présidente, Comité marketing de WorldDMB

Markus Prosch

Président, groupe d'action systèmes audio du CT de WorldDMB

La DAB, qui touche déjà 500 millions de personnes dans 40 pays, est le mode hertzien mobile et à bande étroite (1,7 MHz) des technologies de diffusion basées sur le COFDM.

Bien que les normes DAB n'aient jamais cessé de s'étoffer depuis sa naissance au début des années 90, le Forum WorldDAB / WorldDMB a posé plusieurs jalons, en particulier au cours des trois dernières années. Les exemples les plus connus sont certainement la DMB et la DAB+. Cet article va notamment traiter de ces deux applications.

1. Introduction

1.1. Flexibilité et fiabilité : les clés du succès d'Eureka-147

À l'ère du numérique, les normes techniques sur la radiodiffusion doivent équilibrer les avantages offerts par la *stabilité* et *l'innovation*. La stabilité donne confiance aux radiodiffuseurs, aux fabricants et aux consommateurs. Cependant, améliorer une norme afin de profiter de l'innovation technologique peut offrir de nouveaux avantages et conserver la compétitivité d'une norme sur un marché en pleine évolution.

L'organisation internationale chargée des normes Eureka-147, WorldDMB (l'ancien Forum WorldDAB) a suivi attentivement les progrès réalisés en matière de diffusion sonore et multimédia au cours des dix dernières années en se tenant au fait des systèmes de codage et de transport les plus avancés. Même si WorldDMB reste un ardent défenseur de la stabilité, l'innovation visant à accroître l'efficacité et la diversité est un sujet important sur le marché actuel extrêmement concurrentiel, grâce à quoi la famille de normes Eureka-147 n'a pas eu de mal à se maintenir en tête des développements toujours plus rapides du monde numérique.

Plusieurs problèmes rencontrés au fil des ans ont été résolus en ajoutant de

nouvelles caractéristiques à ces normes, caractéristiques qui chaque fois ont accru leur flexibilité tout en conservant leur solidité et leur fiabilité.

Lorsque le premier système DAB (*Digital Audio Broadcasting* – radiodiffusion audio numérique) a vu le jour à la fin des années 80, il reposait sur le codage de la couche II audio du MPEG, alors à la pointe et qui reste une technologie de codage très répandue en radio numérique. Depuis, la couche III, mieux connue sous le nom de MP3, a conquis le marché des lecteurs numériques et des flux. Bien que prédominant, le MP3 a déjà été dépassé, en termes d'efficacité et de rendement, par le MPEG-4 AAC (*Advanced Audio Coding* – codage audio avancé). Cette

évolution a nécessité la mise au point d'un autre système DAB de codage audio pour améliorer l'efficacité à des débits inférieurs, et a donné naissance à la DAB⁺.

L'ajout de fonctions vidéos et multimédias à la DAB, qui lui a permis de devenir une plate-forme de télévision mobile numérique, appelée DMB (Digital Multimedia Broadcasting – diffusion multimédia numérique), ainsi qu'une plate-forme de radio numérique, a constitué une autre innovation importante.

Pour la DMB comme pour la DAB⁺, la base technique reste la DAB. En d'autres termes, la couche physique est toujours la même ... on lui a simplement ajouté de nouvelles applications, de nouveaux protocoles de transport et une deuxième couche de codage de contrôle des erreurs (Fig. 1).

Le Comité technique du WorldDMB continuera de se pencher sur les nouveaux problèmes, s'assurant que la DAB reste



Figure 2 – L'ère de distribution d'Eureka-147

une norme très intéressante, souple et commercialisable pour la diffusion audio, mobile et multimédia.

L'un des points forts des normes DAB d'Eureka-147 réside dans le fait que non seulement différentes applications, mais aussi différents protocoles de transport et codes de convolution pour chaque sous-canal, peuvent coexister dans le même multiplex.

1.2. Testée, essayée et déployée dans le monde entier

C'est grâce à cette flexibilité et à cette robustesse que les normes Eureka-147 ont pu s'imposer dans plus de 40 pays (Fig. 2). La radio numérique DAB, par exemple, a été testée, essayée et déployée dans la plupart des pays européens, notamment sur de grands marchés comme le Royaume-Uni, l'Allemagne, l'Espagne, l'Italie, la France, le Danemark, la Norvège et la Suisse. Elle s'est étendue également à de nombreux pays asiatiques, africains et américains et est parvenue jusqu'en Australie et en Nouvelle-Zélande.

La télévision mobile basée DMB, pour sa part, a été introduite en Corée en novembre 2005 et est depuis devenue le plus grand marché de télévision mobile du monde. Fin mars 2007, 18 mois seulement après son lancement, le marché coréen des récepteurs DMB dépassait les quatre millions d'appareils (Fig. 3, voir page 14).

En Allemagne (DMB) et au Royaume-Uni (DAB-IP), on est aux premiers stades du déploiement de la TV mobile. De nombreux essais de DMB ont eu lieu dans d'autres pays, par exemple en France, en Chine, en Norvège, au Danemark, en Inde, en Allemagne et au Royaume-Uni.

De même, le codec audio supplémentaire utilisé pour la DAB+, même s'il vient seulement d'être publié sous forme de norme, a déjà suscité beaucoup d'intérêt, en particulier sur les marchés où le déploiement de la radio numérique va commencer. Les deux pays les plus intéressés par la DAB+

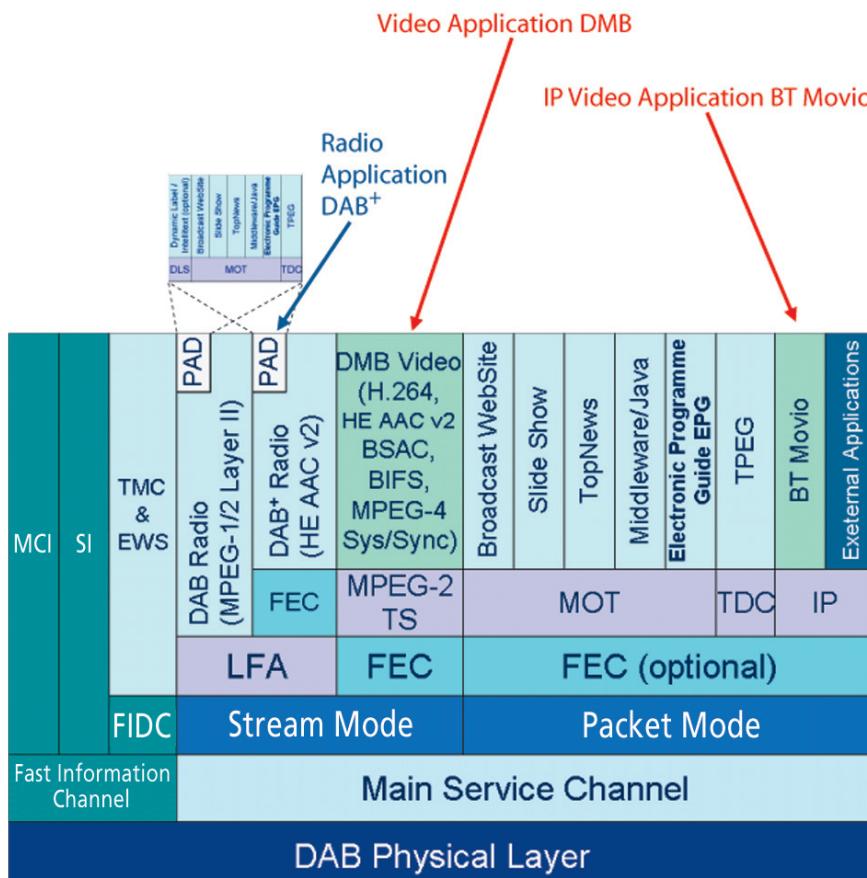


Figure 1 – Structure du protocole du système DAB

sont l'Australie, où la commercialisation devrait commencer en 2008/2009 dans les 11 plus grandes villes, et Malte, où DigiB, un exploitant de réseau, a récemment acheté des licences de radio numérique basée sur la DAB+. Bien d'autres pays, dont la Suisse, l'Italie, le Luxembourg, la Belgique, la France, l'Inde et l'Afrique du Sud, planifient des essais.

1.3. Marché des récepteurs DAB/DMB : une croissance régulière

Il n'est donc pas surprenant que le marché des récepteurs DAB/DMB ait enregistré une croissance rapide ces cinq dernières années. Outre les quatre millions de récepteurs vendus en Corée depuis le lancement commercial de la T-DMB en novembre 2005 (*Fig. 3*), on compte aussi plus de cinq millions de radios DAB dans des foyers européens, essentiellement au Royaume-Uni (*Fig. 4*).

Les récepteurs DAB/DMB sont disponibles à tous les prix et les derniers chiffres

(*Fig. 5*) montrent que le choix des différents modèles est très largement étalé. Plus de 250 fabricants proposent près de 900 modèles différents et cette croissance n'est pas près de prendre fin avec une offre presque deux fois plus vaste aujourd'hui que l'année dernière.

par le codage de canal convolutionnel et par l'entrelacement temporel introduits dans la couche physique du système de diffusion, basé sur la technique OFDM.

2.2. DAB+

En 2005, après des années de discussions et d'études sans cesse recommandées, l'heure était venue d'exploiter la fantastique marge procurée par une décennie de progrès en matière de compression audio. Ce sont surtout les marchés qui s'apprêtaient à déployer la DAB qui exerçaient des pressions en ce sens. Ils n'étaient naturellement pas prêts à ignorer ces développements. De plus, les marchés existants visaient aussi l'expansion en améliorant l'efficacité. Le fait que certains fournisseurs envisageaient d'appliquer la DMB uniquement pour des émissions de radio, ou avaient déjà commencé à le faire, venait intensifier ces pressions grandissantes.

Avec ses codecs audio à la pointe de la technologie (HE-AAC v 2 et MPEG-4 ER BSAC), la DMB semblait très séduisante pour la radio classique, mais on pouvait assurer des

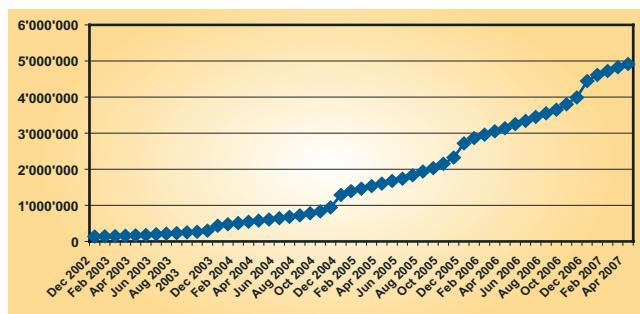


Figure 3 – Niveau des ventes des récepteurs DMB en Corée

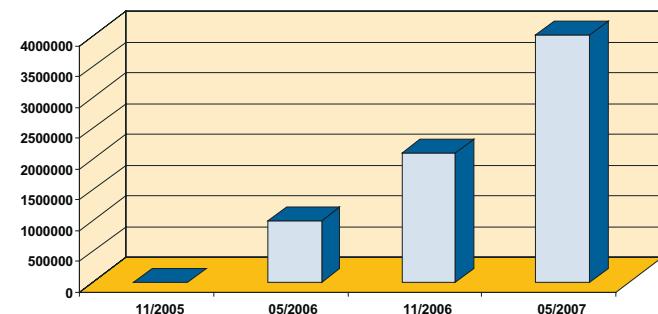


Figure 4 – Ventes cumulées des récepteurs DAB au Royaume-Uni

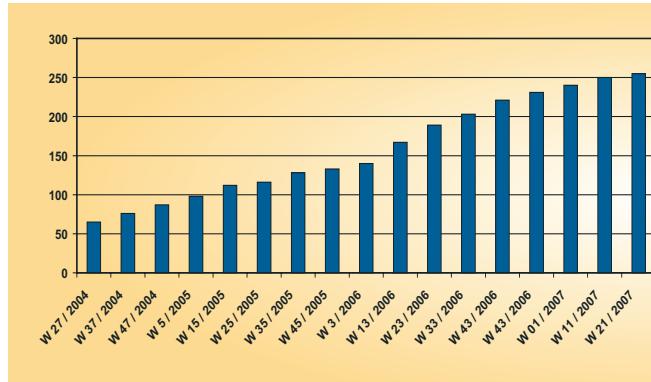


Figure 5a – Fabricants de récepteurs DAB/DMB
(Source: www.dab-digitalradio.ch, Mai 2007)

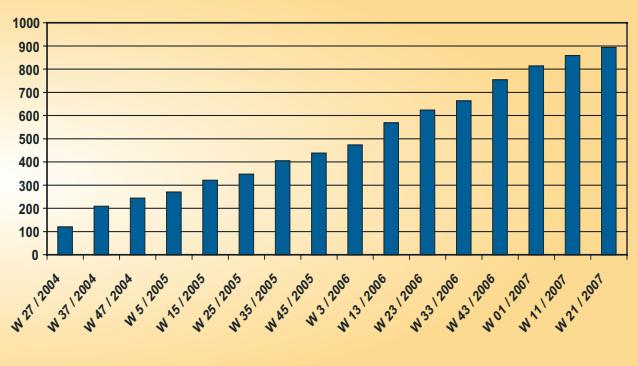


Figure 5b – Nombre de modèles de récepteurs DAB/DMB
(Source: www.dab-digitalradio.ch, Mai 2007)

services de radio de manière beaucoup plus efficace et intelligente.

C'est ainsi que le Forum WorldDAB a décidé en juin 2005 de commencer la mise au point d'un autre système de radio DAB. Son Comité technique s'est donc doté d'un groupe de travail baptisé *New Audio System* (nouveau système audio). Les fruits d'un an et demi de travail enthousiaste ont été publiés par l'ETSI en février 2007 sous la forme de la norme « *Transport of Advanced Audio Coding (AAC) audio* » et ont été présentés publiquement au même moment sous le nom de DAB⁺.

L'efficacité largement accrue de ce système, sur laquelle nous reviendrons plus en détail, présente des avantages pour les gouvernements et les organismes de réglementation (efficacité spectrale encore plus grande), les radiodiffuseurs (réduction des coûts par station de radio) et les consommateurs (plus grand choix de stations). La DAB⁺ est conçue pour offrir les mêmes fonctions que les services radiophoniques actuels de la couche II audio du MPEG.

Dans certains pays où la radio numérique DAB a déjà été lancée, les radiodiffuseurs se sont engagés à continuer d'utiliser la couche II audio du MPEG. Cependant, dans les pays qui prévoient de lancer la radio numérique, il est difficile de résister aux arguments en faveur de la DAB⁺.

Il est utile de noter que ce n'est pas la première fois que le codec HE-AAC v2 a été inclus dans la famille de normes d'Eureka-147. En effet, la norme DMB prévoit déjà ce système audio dans le cadre des services vidéo. La DMB (conçue pour la télévision mobile) manque pourtant naturellement de certaines des fonctions requises pour les services uniquement radiophoniques.

Le codage audio HE-AAC v2 est également employé dans d'autres technologies de diffusion comme la DVB-H (diffusion vidéo numérique vers des appareils portables), DRM (Digital Radio Mondiale, c'est-à-dire en ondes longues, moyennes et courtes en numérique) ou le MediaFLO de Qualcomm, qui peuvent acheminer plusieurs services de radio dans la capacité numérique nécessaire pour une seule station de radio utilisant la couche II audio du MPEG.

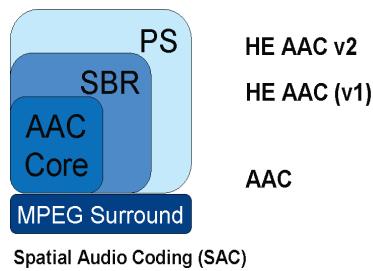


Figure 6 – Structure modulaire de la famille AAC

2.2.1. Aperçu technique de la DAB⁺

L'appel à soumission correspondant a montré que le groupe de demandeurs ne s'intéressait qu'à une seule famille de codecs audio : AAC. Le système AAC étant construit de manière hiérarchique (voir la Fig. 6 et l'encadré ci-contre), il était naturel d'adopter sa version la plus récente : HE-AAC v2, qui notamment permet d'appliquer seulement le

HE-AAC v2

La DAB+ utilise le profil High Efficiency AAC v2 (HE-AAC v2) du MPEG-4. Ce codec audio est le système de compression audio le plus efficace au monde et combine trois technologies :

- Le codec audio de base **AAC** - Advanced Audio Coding (codage audio avancé).
- Un outil d'extension de la bande passante, **SBR** - Spectral Band Replication (reconstruction de bande spectrale), qui renforce l'efficacité en utilisant la majeure partie du débit binaire disponible pour les fréquences inférieures (bande basse) du signal audio. Le décodeur génère les fréquences supérieures (bande haute) en analysant les informations de la bande basse et les informations collatérales fournies par le codeur. Ces informations collatérales nécessitent bien moins de débit binaire que celui qui serait requis pour coder la bande haute avec le codec audio de base.
- **Parametric Stereo** (PS) (stéréo paramétrique): on code une information mono collatérale et sous mélangée au lieu d'un signal stéréo classique. Le décodeur reconstruit le signal stéréo à partir du signal mono à l'aide de l'information collatérale.

Le système HE-AAC v2 est un « super ensemble » du codec AAC de base. Cette structure permet d'utiliser : (i) le système AAC normal pour les débits élevés, (ii) les systèmes AAC et SBR (HE-AAC) pour les débits moyens ou (iii) les systèmes AAC, SBR et PS (HE-AAC v2) pour les faibles débits. Le système HE-AAC v2 offre donc le plus haut degré de flexibilité au radiodiffuseur. Il est décrit en détail sur le site Web de l'UER¹. Vous trouverez une présentation du système MPEG-4 sur le site Web du MPEG Industry Forum².

Le système HE-AAC v2 offre la même qualité sonore perçue pour environ un tiers du débit binaire de sous-canal requis par la couche II audio du MPEG. On utilise aussi le même codage audio en DRM et DMB, par exemple pour le son de la télévision. Les appareils, qui incluent également la DMB ou DRM, peuvent tirer profit du fait que le codage audio de cette gamme de technologies est essentiellement le même.

¹ MPEG-4 HE-AAC v2 – Un codage audio pour l'univers actuel des médias numériques UER – Revue technique , Sélection 2006, http://www.ebu.ch/en/technical/trev_trev_305-moser.pdf

² An MPEGIF White Paper: Understanding MPEG-4: Technologies, Advantages, and Markets <http://www.m4if.org/public/documents/vault/MPEG4WhitePaperV2a.zip>

codec de base pour la radio haute fidélité aux débits binaires plus élevés. Les fournisseurs peuvent choisir d'utiliser seulement la base, la base plus SBR (*Spectral Band Replication* - reconstruction de bande spectrale) ... ou la base plus SBR plus PS. Bien sûr, les récepteurs doivent pouvoir accepter toutes les configurations. C'est pourquoi il est obligatoire d'avoir le système HE-AAC v2. Compte tenu du fait que l'on continuera de coder le son avec la couche II du MPEG pendant de nombreuses années, un nouveau récepteur DAB doit accepter les deux algorithmes de codage, la couche II du MPEG 1 et 2 et le HE-AAC v2.

La DAB a été conçue à l'origine autour des structures de la couche II du MPEG-1, ce que l'on retrouve tout particulièrement dans le fait que les trames logiques de la DAB sont de la même longueur temporelle (24 ms) que les trames sonores de la couche II du MPEG-1. Le passage à la couche II du MPEG-2, avec la moitié de la vitesse d'échantillonnage, était simple : une trame audio pour deux trames logiques. Et la DAB⁺ utilise le dénominateur commun de toutes les longueurs autorisées des unités d'accès AAC (20, 30, 40 ou 60 ms) avec une supertrame de 120 ms qui équivaut à cinq trames logiques (*Fig. 7*). Il convient de noter ici que cette longueur plutôt restreinte, et donc le passage rapide d'un service à l'autre, a été réalisée grâce à l'adoption de la variante AAC qui compte 960 échantillons par unité d'accès (comme celle utilisée pour DRM).

Du fait de la grande efficacité des nouveaux algorithmes de codage, on ressent davantage l'impact des bits perdus. Autrement dit, il faut renforcer la protection. À cette fin, on a recouru à la concaténation du codage convolutionnel interne (Viterbi) (un élément de la configuration initiale de la DAB) avec un code de blocs externe du codage de Reed-Solomon (R-S), qui est déjà mise en place pour la DMB (plus précisément pour le mode flux et paquets renforcé de la DAB).

La structure appliquée (*Fig. 8*) se compose de supertrames couvrant un nombre fixe d'unités d'accès AAC. Chaque unité d'accès achemine sa partie de PAD (*Programme-Associated Data* - données associées au programme) de la même manière que pour les trames audio de la couche II du MPEG. La

protection supplémentaire contre les erreurs nécessaire est obtenue par entrelacement virtuel et un codage Reed-Solomon (120, 110, t=5) dérivé du même code parent que les systèmes R-S en mode flux et paquets

renforcés. Les dix octets de parité pour 110 octets de données (équivalant à un surdébit de 8,3 %), permettent de corriger jusqu'à cinq octets erronés dans ces 120 octets (Fig. 9).

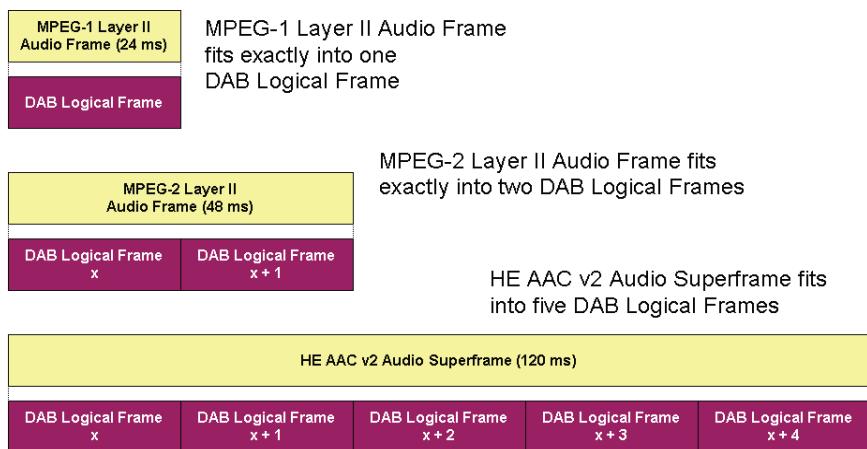


Figure 7 – Alignement des trames logiques DAB pour la Couche II et la DAB+

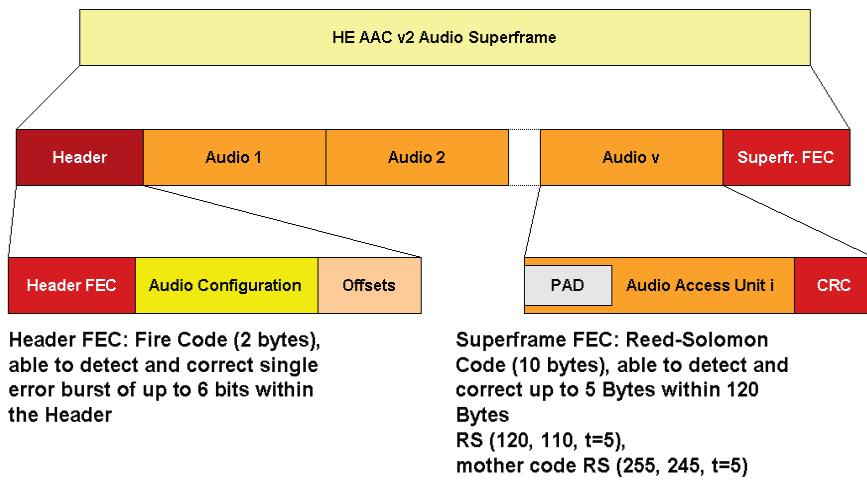
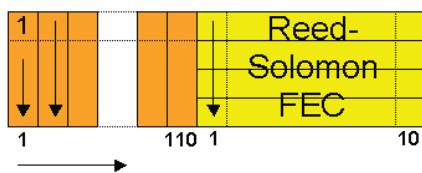


Figure 8 – Structure de supertrame utilisée pour le transport de l'audio HE AAC v2 dans la DAB

120 columns * 4 rows



- Fill in audio, PAD and management data columnwise from top to bottom and from left to right
 - Calculate RS parity bytes over 110 audio/PAD/management bytes (row-wise)
 - Transmit data from left to right, top to bottom for all 120 columns

Pour les essais, on a appliqué de nouveaux algorithmes à la fois dans les émetteurs et dans les récepteurs. Le passage à une production de masse ne sera donc pas difficile pour les fabricants qui ont déjà investi du temps et des ressources dans le processus de normalisation.

Caractéristiques de la DAB⁺

Toutes les fonctions disponibles pour les services de la couche II audio du MPEG le sont également pour la DAB⁺ :

- continuité du service (par exemple pour la MF ou les autres ensembles DAB) ;
- informations routières ;
- PAD pour le multimédia (étiquettes dynamiques comme titre, informations sur l'artiste ou grands titres des actualités, images fixes comme cartes météo et autre contenu multimédia) ;
- langue du service et informations sur le type de programme (musique classique, rock, sport) ;
- etc..

Les informations multimédias acheminées dans les PAD d'un service radiophonique HE-AAC v2 sont aussi bien protégées contre les pertes de données que le son lui-même, les deux bénéficiant du codage en cascade du contrôle des erreurs. On va également ajouter ici une couche FEC rétrocompatible et optionnelle afin de s'assurer que les données PAD d'un service radiophonique utilisant la couche II audio du MPEG profitent aussi des progrès.

Un temps de « zappage » court était un autre critère important pour la DAB⁺. On a ainsi minimisé le temps nécessaire pour passer d'une station de radio à une autre dans le même ensemble DAB, ainsi que le temps requis pour se brancher sur une station d'un autre ensemble DAB.

Actuellement, toutes les stations de radio DAB sont en mono ou en stéréo. Cependant, la DAB⁺ permet également de diffuser du son panoramique en rétrocompatibilité. En utilisant le MPEG Surround, il est

possible de diffuser un signal stéréo avec les informations panoramiques (par exemple, 5 kbit/s). Les récepteurs normaux ignoreront ces informations et ne décoderont que le signal stéréo. Par contre, les récepteurs MPEG Surround les évalueront et reproduiront le son panoramique. Le radiodiffuseur peut ainsi, moyennant un débit binaire supplémentaire relativement faible, améliorer le rendu audio sur les récepteurs panoramiques tout en continuant à offrir une grande qualité sonore sur tous les autres.

2.2.2. Rendement de la DAB⁺

Pendant le processus de normalisation, le Centre de recherche sur les communications (Canada) a procédé à des simulations. Avec les modèles de canaux de référence types pour les environnements DAB, on a déterminé un gain de 1,7 à 6,7 dB pour le nouveau système par rapport au système de couche II actuel.

Les essais sur le terrain pratiqués au Royaume-Uni et en Australie ont confirmé les résultats de ces simulations. Ils ont montré que la zone de couverture des services radiophoniques utilisant le système HE-AAC v2 est légèrement plus étendue que celle des services utilisant la couche II audio du MPEG.

Les stations de radio utilisant le système HE-AAC v2 ont donné un rendement supérieur de 2 à 3 dB au seuil d'audibilité, ce qui signifie que dans certaines régions proches de la limite de couverture, où les services utilisant la couche II audio du MPEG affichent déjà des artefacts audibles, les services utilisant le système HE-AAC v2 n'en affichent pas.

Typical Urban (Cost 207)		Rural Area (Cost 207)		
System / Speed		4.2 km/h	84 km/h	251 km/h
Layer II, 192 kbit/s	15.7	12.2	16.7	
HE AAC v2, 40 kbit/s	12.5	9.0	10.0	
HE AAC v2, 96 kbit/s	14.0	9.5	10.2	
Layer II, 192 kbit/s	19.2	13.2	15.7	
HE AAC v2, 40 kbit/s	17.0	10.0	10.9	
HE AAC v2, 96 kbit/s	17.0	10.0	11.0	

Figure 10 – Rapport C/N au seuil d'audibilité

(Source: Communications Research Centre Canada)

La réaction aux erreurs de la couche II audio du MPEG n'est pas la même que celle du système HE-AAC v2. En effet, avec la couche II audio du MPEG, plus le signal DAB devient faible, plus on entend d'artéfacts.

Le système HE-AAC v2 ne produit pas d'artéfacts audibles mais, quand le signal devient trop faible, perd davantage de trames sonores, ce qui provoque de brèves périodes de silence. Les auditeurs qui ont participé aux essais ont préféré cette réaction aux erreurs. Par rapport aux services utilisant la couche II audio du MPEG, les services utilisant le HE-AAC v2 disparaîtront plus tard (ils peuvent fonctionner avec un signal DAB d'une qualité légèrement inférieure), mais la marge entre la réception sans erreur et la perte de réception est moins grande.

2.2.3. Scénarios de mise en œuvre

Grâce à la structure flexible du système DAB, les services radiophoniques codés avec la couche II du MPEG peuvent cohabiter avec ceux codés avec le HE-AAC v2.

La Fig. 11 donne des exemples de mises en œuvre en multiplex, avec de gauche à droite :

- 1) Configuration classique avec, par exemple, neuf services codés avec la couche II du MPEG.
- 2) Constellation progressive. Elle ne permet pas d'utiliser les anciens récepteurs qui ne comprennent pas le nouvel algorithme de codage et peut abriter au moins 28 services DAB⁺.
- 3) Scénario de migration lente de la couche II au système AAC. Il est représenté avec encore cinq services en couche II, mais déjà 11 services codés en AAC.
- 4) Une autre manière de tirer profit de l'économie de capacité d'ensemble. Avec trois services en couche II et huit AAC, il reste suffisamment de capacité pour deux services de TV mobile utilisant la DMB.

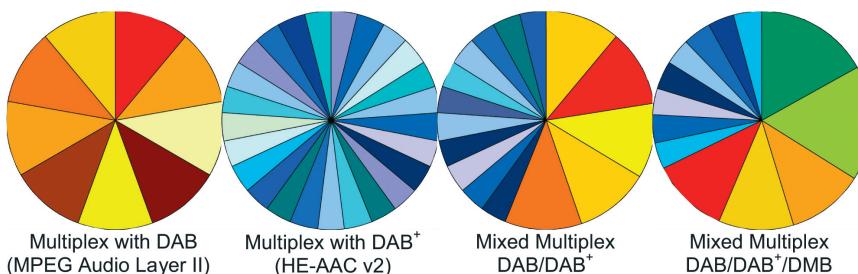


Figure 11 – Exemples de mises en oeuvre du système DAB

3. TV mobile : DMB et BT Movio

Début 2007, il existait deux solutions pour diffuser des applications vidéo en DAB : la DMB et la « tunnelling » IP DAB. Un exemple de cette dernière, développée au Royaume-Uni sous le nom de BT Movio¹, est assuré sous forme de service de gros par l'opérateur de télécommunications titulaire. BT Movio utilise un algorithme de codage source (qui n'est pas spécifié par une norme ouverte) au-dessus du protocole IP. En fait, c'est une application entièrement privée.

3.1. Diffusion multimédia numérique (DMB)

Pour coder les services vidéo, audio et de contenu, la DMB utilise respectivement les systèmes H.264/MPEG-4 AVC, HE-AAC v2 ou BSAC (*Bit Sliced Arithmetic Coding*) et BIFS (*Binary Format for Scene description* - format numérique de description de scène). Tous ces flux élémentaires codés sont multiplexés dans des paquets du flux de transport (TS) du MPEG-2.

Pour accroître la solidité nécessaire (surtout pour la réception mobile), on applique au flux de transport du MPEG-2 un système de codage de bloc supplémentaire (codage R-S) et un entrelacement convolutionnel, en respectant les structures DVB. Les paquets TS à entrelacement d'octets et à protection contre les erreurs sont transmis par le mode de flux Eureka-147.

La T-DMB a été approuvée officiellement en tant que norme européenne de l'ETSI en juillet 2005.

L'extraction, le décodage du contrôle des erreurs, l'enlèvement des flux élémentaires et la synchronisation (temporelle et spatiale), ainsi que le décodage source et la reproduction côté terminal sont illustrés sur la Fig. 12.

Dans l'ensemble, cette chaîne représente une combinaison classique d'éléments MPEG-4 transportés par un flux MPEG-2. Le système BIFS, en tant que l'un de ces éléments MPEG, constitue un outil puissant de fourniture de données et d'interactivité.

3.2 BT Movio

Contrairement à la DMB, BT Movio n'est pas entièrement normalisé par WorldDMB / ETSI, mais utilise un outil conçu exactement à cette fin, la « unnelling » IP DAB. Partant de ce système de transport pour datagrammes IP sur DAB, le fournisseur a appliqué des protocoles et des algorithmes de codage source mis au point par Microsoft. Il convient de noter qu'entre temps, toutes ces spécifications (ASF et VC-1) sont entrées dans le domaine public, à l'exception de WMA.

Comme avec la plupart des formats de données en DAB, la tunnelling IP est basée sur le mode paquets amélioré (voir les Fig. 1 et 20). L'encapsulation des datagrammes IP dans les groupes de données (DG) du canal MSC (Main Service Channel) DAB, fragmentés ou non, est illustrée à la Fig. 13.

En cas de non-fragmentation, la taille d'un champ de données du groupe de

données MSC, transportant toujours exactement un datagramme IP, se situe entre 576 et 8 191 octets. Elle est donnée par la taille minimale d'un datagramme IP conformément au RFC 791 et la taille maximale d'un groupe de données MSC selon la norme EN 300 401 de l'ETSI.

En cas de fragmentation, les groupes de données MSC peuvent être encore plus petits. La mise en correspondance des groupes de données en paquets se fait comme d'habitude, en utilisant autant que possible de grandes tailles de paquets et en limitant le remplissage (deux mesures qui visent à réduire le surdébit).

Il est absolument crucial d'utiliser la deuxième couche de codage du contrôle des erreurs, surtout pour les services en continu tels que BT Movio.

En plus de l'IP, BT Movio utilise l'UDP (User Datagram Protocol - protocole de datagramme utilisateur) et l'ASF (Advanced Streaming Format). Les documents sources sont codés avec des codecs audio et vidéo Windows Media (le codec vidéo équivaut au système VC-1). Les services de BT Movio sont protégés par des droits numériques gérés selon une spécification DRM de Microsoft. Ils sont renforcés à l'aide du guide de programme électronique DAB.

L'appareil BT Movio commercialisé au Royaume-Uni est le HTC/Qtek Lobster (Fig. 14). Il est bien sûr également équipé pour la réception et la reproduction des services radiophoniques DAB.

4. Autres applications

4.1. Intellitext

Intellitext est le dernier-né de la famille de normes Eureka-147. Il étend la fameuse étiquette dynamique (Dynamic Label – DL) de manière rétrocompatible et structurée et prévoit la fourniture d'éléments de texte permettant de hiérarchiser les détails. Intellitext est acheminé uniquement dans les PAD.

1. E. Lloyd, R. Maclean et A. Sterling : *Télé mobile – Le projet pilote Movio de BT*
UER – Revue technique, Sélection 2006

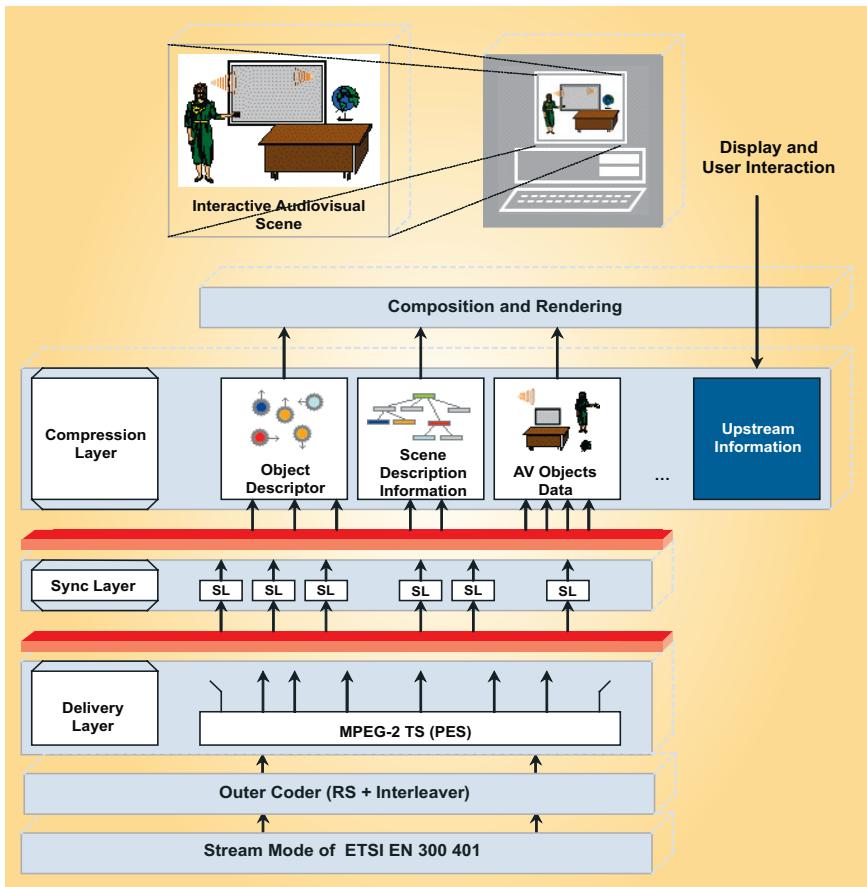


Figure 12 – Le traitement de l'application DMB dans un récepteur DAB

Les données sont compilées dans une simple base de données de type télétexte/vidéotexte que l'utilisateur de n'importe quel poste DAB disposant de cette application peut consulter à la demande.

Les messages Intellitext sont une forme particulière de messages d'étiquette dynamique, formatés de manière à ce que les récepteurs qui ne prennent pas Intellitext en charge continuent à fonctionner normalement.

Dans la mesure où tous les messages DL transmis ne seront pas des messages Intellitext, les récepteurs Intellitext doivent déterminer si les segments DL qu'ils reçoivent sont des messages Intellitext ou non afin de les traiter correctement. Les messages Intellitext sont analysés et mis en mémoire. Les messages stockés sont mis à jour et supprimés afin de conserver correctement les données.

Le système Intellitext permet aux radiodiffuseurs de contrôler la durée de vie et le formatage de base des informations diffusées tout en laissant à l'utilisateur le choix de l'affichage des informations.

Il leur permet également d'imposer la structure et la conception des menus, y compris leur appellation. Les informations apportées par chaque fournisseur de services sont stockées de telle sorte que les autres fournisseurs de services ne peuvent pas les modifier.

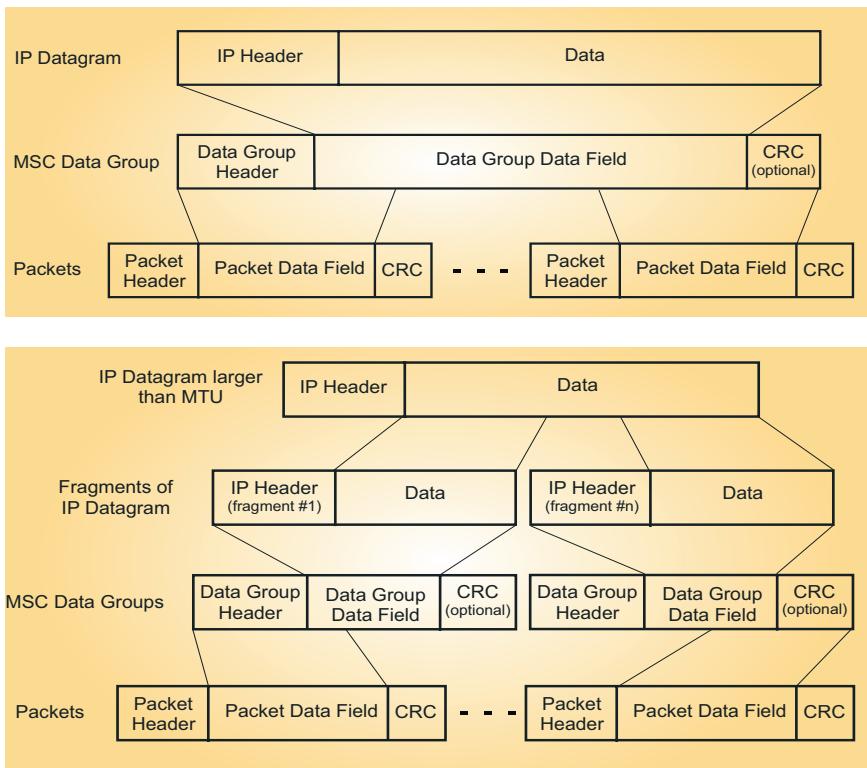


Figure 13 – Tunnelling IP de la DAB



Figure 14 – Le récepteur HTC/Qtek Lobster utilisé avec le service BT Movio

La navigation se fait généralement via une simple interface haut/bas/sélection, l'affichage lui-même étant adapté aux ressources disponibles pour un récepteur donné.

Les messages Intellitext se composent d'une catégorie, d'une sous-catégorie et de quelques données. Dans une catégorie, les sous-catégories peuvent être ordonnées à l'aide d'un index numérique, comme les éléments de données le sont dans une sous-catégorie. On trouve un exemple d'écran utilisateur à la Fig. 15.

Une fois encore, le Royaume-Uni est le premier marché à présenter cette nouvelle technologie : il sera possible de mettre à jour un certain nombre de récepteurs actuels (Fig. 16) afin de reproduire cette application textuelle intéressante et pourtant simple à utiliser.

4.2. EPG

Qui pourrait imaginer la télévision aujourd'hui sans un guide de programme électronique (EPG -Electronic Programme Guide) ? Pour la radio, cette fonction est encore plus importante. Le guide de programme électronique DAB, qui est aussi adapté à Digital Radio Mondiale, existe en deux variantes, binaire et XML (eXtensible Markup Language). Il donne un aperçu des programmes diffusés actuellement et pour une période donnée, par exemple dans les 24 heures suivantes. Il peut également s'appliquer aux services de TV mobile. Le guide peut couvrir le service sur lequel le poste est réglé, plusieurs services (ou tous) de l'ensemble sur lequel le récepteur est réglé, et même inclure les services diffusés sur d'autres ensembles.

Maintenant que nous disposons de cet outil, la prochaine étape, c'est-à-dire la sélection ou l'enregistrement d'un service préprogrammé (aujourd'hui sur les cartes SD) est l'évolution logique vers un récepteur à la pointe du progrès.

Les EPG sont transportés à l'aide du protocole Multimedia Object Transfer (MOT) et peuvent être compressés pour des raisons d'efficacité de la diffusion (voir la Fig. 1).

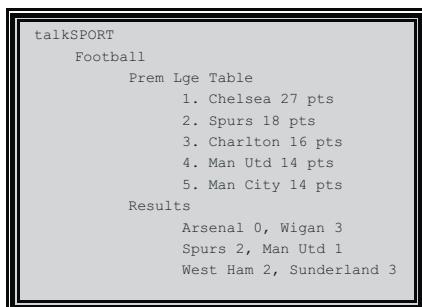


Figure 15 – Exemple d'affichage d'un message Intellitext



Figure 16 – PURE digital – “One”, un récepteur avec Intellitext

La Fig. 17 illustre les hiérarchies des différents types d'informations qui peuvent être fournis : informations sur le service, sur la grille de programmes et sur le groupe.

Pour leur part, les fournisseurs utilisent déjà largement les EPG et en étendent la couverture en permanence.

Quels sont les avantages pour les fournisseurs ?

- Les EPG renforcent l'expérience de l'auditeur et sont un outil de commercialisation pour les stations de radio numériques ;
- ils offrent d'autres opportunités de dépenses et de recettes pour les médias ;
- le contenu des EPG peut être généré sans nécessiter d'équipe de production dédiée.

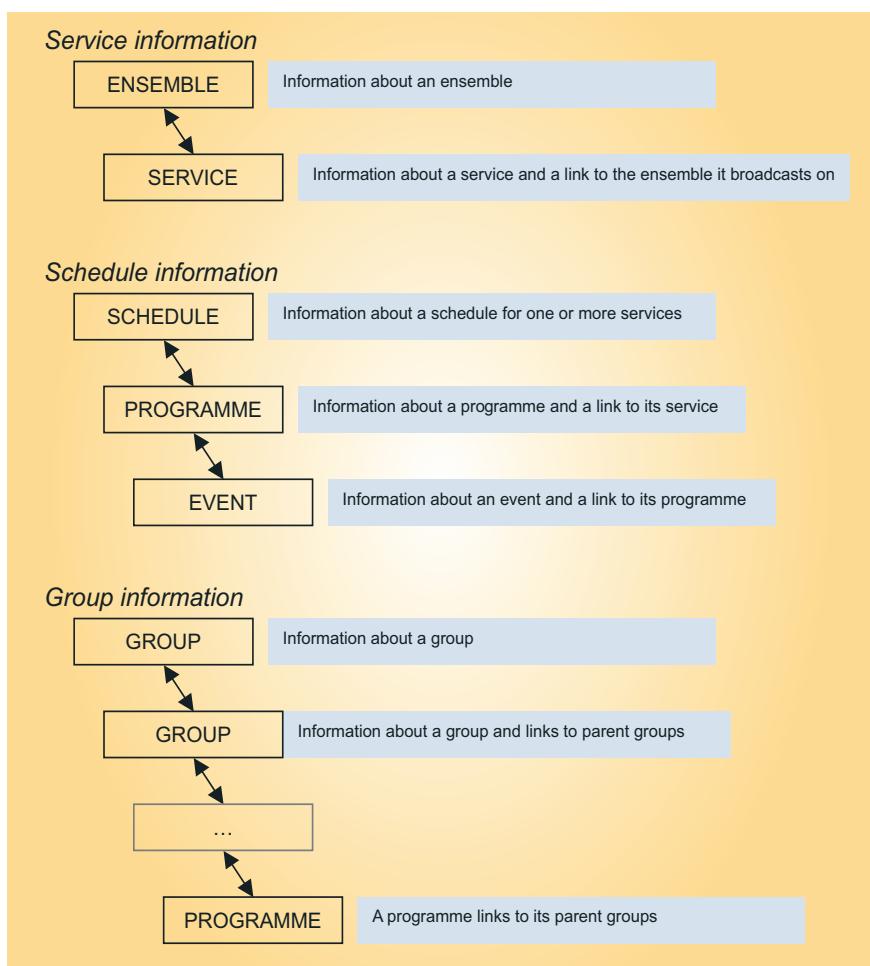


Figure 17 – Hiérarchies et entités EPG



Figure 18 – Récepteurs DAB avec EPG

La Fig. 18 représente plusieurs récepteurs grand public dotés de l'application EPG, par exemple sous forme d'affichage des grilles de programmes pour les sept prochains jours. Il est également possible de programmer l'enregistrement – voir l'interface utilisateur en haut de la figure.

5. Deuxième couche de codage du contrôle des erreurs

Les algorithmes de codage source les plus récents et les plus efficaces sont naturellement plus sensibles aux erreurs de transmission. Les algorithmes initiaux étaient nettement plus robustes et tolérants aux erreurs. Le codage vidéo H.264 nécessite un TEB (taux d'erreurs binaires) moyen aussi faible que 10^{-8} à l'entrée du décodeur (Fig. 19). Par contraste, la DAB a été conçue à l'origine pour un TEB de 10^{-4} à l'entrée du codeur de la couche II du MPEG.

Après un projet complet composé de simulations et d'essais pratiques, on est finalement parvenu à régler cette question en ajoutant une deuxième couche de codage du contrôle des erreurs, ce qui donne un codage en cascade composé d'un codage convolutionnel de Viterbi en codage interne et de codes de bloc R-S en codage externe, comme pour la DVB. On a ainsi réalisé une amélioration vraiment notable avec un surdébit de 7,8 %.

5.1. Mode flux renforcé (ESM)

Ce mode de transport, qui est un développement des « MSC Stream Data » de la norme DAB centrale, ETSI EN 300 401, est en fait un mode paquets supplémentaire composé d'une structure de paquets d'une longueur de 188 octets auxquels sont attachés 16 octets de parité R-S.

On applique en outre un entrelaceur de Forney à ces paquets FEC (Forward Error Correction - correction sans voie de retour) de 204 octets. Cette structure est utilisée pour la DMB avec le flux de transport du MPEG-2 (voir la spécification ETSI TS 102 427).

À l'origine, cette structure a été mise en place avec toutes les variantes du système DVB.

5.2. Mode paquets renforcé (EPM)

Comme pour le mode flux renforcé que nous venons de voir, le mode paquets actuel (*MSC Packet Data* dans la norme ETSI EN 300 401) a été développé et amélioré à l'aide d'une autre couche de codage du contrôle des erreurs. Dans le cas de l'EPM, on applique un entrelacement temporel virtuel.

Deux figures peuvent illustrer la structure ainsi améliorée : la Fig. 23 présente la trame FEC qui est remplie verticalement, paquet par paquet. Une fois remplis d'un nombre entier de paquets, les octets de parité R-S sont calculés horizontalement sur les 188 octets de la même rangée. Le même système R-S que celui utilisé pour le mode flux

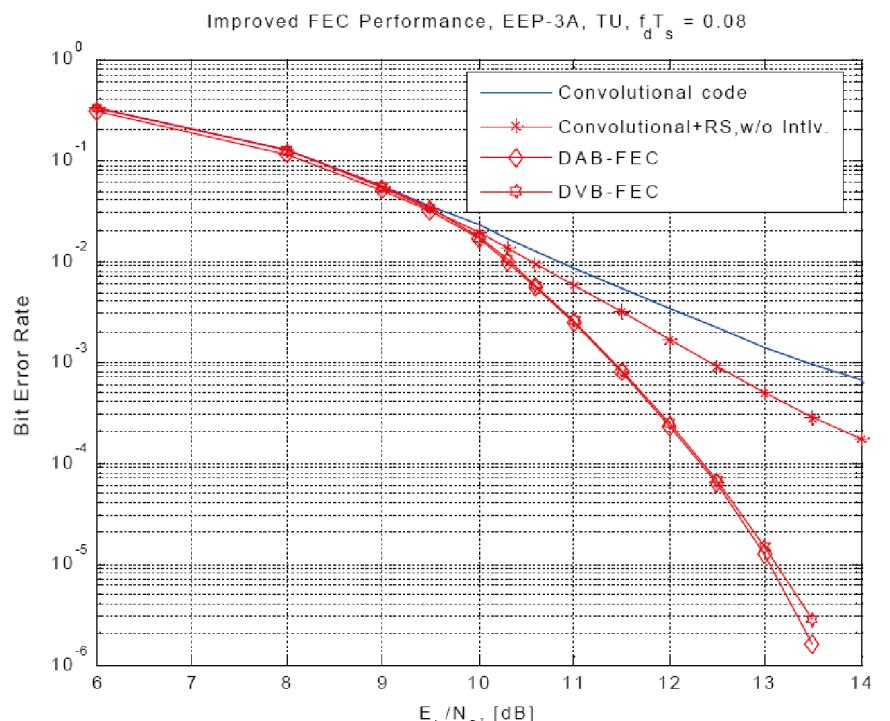


Figure 19 – Sensibilité aux erreurs de la DAB avec cascade de codage de contrôle des erreurs

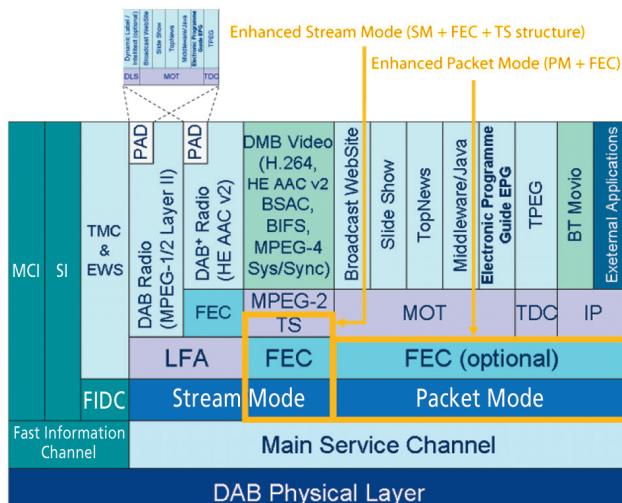


Figure 20 – Position du flux amélioré et des modes paquets dans la structure du protocole DAB

renforcé a donné un rendement comparable et a donc été réutilisé.

Toutes les colonnes de données d'application sont lues verticalement au fur et à mesure qu'elles sont remplies et sont alors transmises, suivies des octets de parité R-S, qui sont eux aussi lus verticalement.

La Fig. 24 illustre la configuration simple de l'équipement côté émetteur.

Les anciens récepteurs ignorent les paquets FEC, différents en deux points des paquets de données ordinaires :

- les paquets FEC acheminent une adresse de paquet qui ne correspond pas à un composant du service ;

- ils ont une structure différente, notamment la position du CRC.

On peut utiliser le mode paquets renforcé pour toutes les données d'application définies pour le mode paquets car il s'agit d'une extension entièrement rétrocompatible qui devra donc être appliquée aux transmissions normales sans exception.

signalisation des paramètres du service et des métadonnées. Dans le cas particulier du transport des applications à bande étroite avec la DMB, les chiffres donnés vont notamment de « quelques pour cent » à la moitié d'un flux. Pour que cette discussion s'appuie sur une base scientifique fiable, nous allons étudier en détail une application en continu.

Prenons un créneau horaire d'un sous-canal DAB à bande étroite utilisé pour la DMB, composé d'un seul flux. Nous dirons qu'il a une longueur de sept secondes pour que ce soit un dénominateur commun des entités que nous allons examiner.

Le débit binaire de notre sous-canal (on peut tirer d'autres exemples de cet exercice en ajoutant quelques lignes de code source)

6. MPEG-2/MPEG-4 et surdébit FEC

Pour pouvoir acheminer des programmes de radiodiffusion, il faut ajouter au contenu principal un surdébit précis : par exemple, une signalisation de synchronisation, un codage du contrôle des erreurs et une

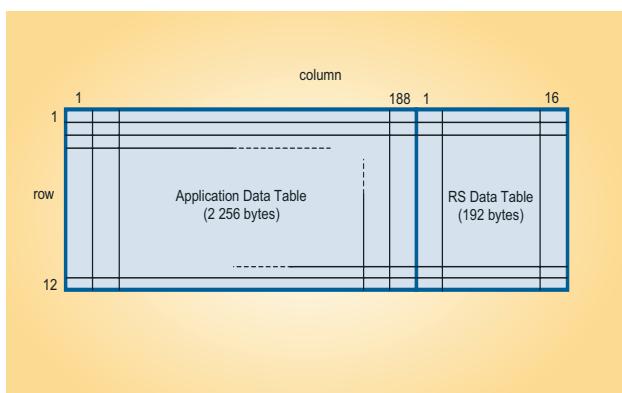


Figure 23 – Structure de la trame FEC

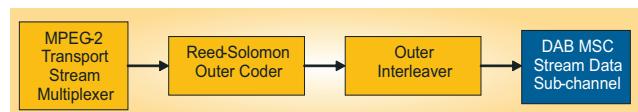


Figure 21 – Adaptation du flux de transport à l'infrastructure DAB existante

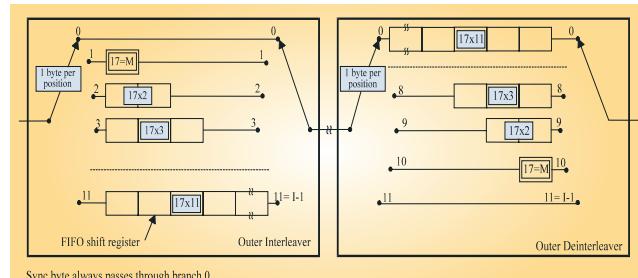


Figure 22 – Entrelacement Forney pour la transmission des flux de transport sur DAB

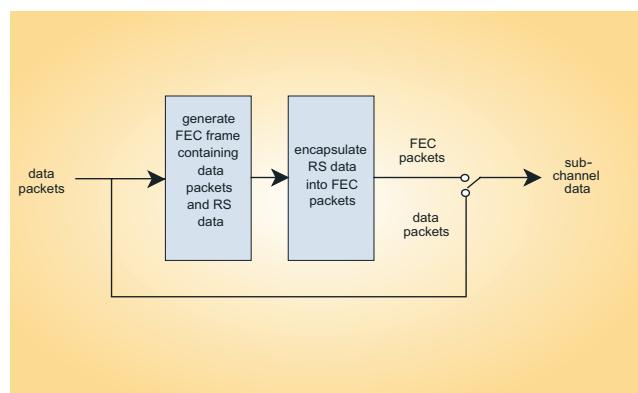


Figure 24 – Adaptation du mode paquet amélioré à l'infrastructure DAB

est de 40 kbit/s. Un flux de transport (TS - *Transport Stream*) MPEG-2 remplit complètement le sous-canal, c'est-à-dire qu'en sept secondes, on peut transporter 171,57 paquets du flux de transport MPEG-2 (chacun accompagné de ses 16 octets de parité R-S).

En commençant par la signalisation SI/PSI (de service et de service de programme) requise dans ce cas, nous devons transporter les deux tables PAT (table d'association de programme) et PMT (table de correspondance de programme) toutes les 500 ms. En sept secondes, on en trouve 28 et il reste 143,57 paquets pour d'autres usages, en supposant que chaque table peut tenir dans un seul paquet TS. Le descripteur d'objet initial (IOD) du MPEG-4 est inclus dans la table PMT.

Pour obtenir la description complète de l'objet transporté (le flux de données d'application), l'entité OD (descripteur d'objet) de la couche système du MPEG-4 prend le PIN (numéro d'identification de paquet) et les paquets TS correspondants qui sont répétés toutes les 500 ms. 14 paquets sont ainsi attribués au descripteur d'objet et il reste donc 129,57 paquets TS. Ces paquets offrent chacun 184 octets de charge utile, ce qui donne 23 840,63 octets disponibles pour la charge utile à transmettre.

Pour contrôler précisément l'horloge du récepteur à 27 MHz, la référence PCR (*Programme Clock Reference* – référence d'horloge de programme) est requise toutes les 100 ms. Elle est fournie dans le « champ d'adaptation » inclus dans chaque paquet TS et situé juste après l'en-tête de 4 octets. La référence PCR achemine le même PIN que le flux qu'elle accompagne et peut être transportée dans les paquets TS qui acheminent la charge utile. Elle voyage dans le champ d'adaptation et occupe huit octets par occurrence. En tout, la PCR utilise 560 octets en sept secondes. Il reste donc 23 280,63 octets.

Les unités d'accès (AU) MPEG-4 transportent le contenu MPEG-4 codé. Chaque unité est incorporée dans un paquet de la couche synchronisation (SL), qui se trouve lui-même dans un paquet PES (flux

élémentaire en paquets). Il est possible d'insérer les paquets PES dans les paquets TS de manière fragmentée.

En supposant le cas extrême d'une longueur de 60 ms pour chaque unité AU MPEG-4, il faut en transporter 116,67 en sept secondes, ce qui équivaut au nombre de paquets SL et PES utilisés pour le transport. Le surdébit des paquets PES est de cinq octets par paquet et celui des paquets SL d'un octet. Le surdébit total pour sept secondes est donc de 700 octets.

Étant donné que la référence d'horloge d'objet (OCR), qui sert à synchroniser les objets MPEG-4, et l'horodateur de composition (CTS), qui sont chacun long de 33 octets, sont répétés toutes les 700 ms, chaque onzième paquet PES/SL transporte en plus 66 bits (neuf octets) de ce surdébit, qui s'élève à 795,46 octets en sept secondes.

Si l'on soustrait ces 795,46 octets des 23 280,62 obtenus précédemment, il reste 22 485,17 octets disponibles pour transporter les unités d'accès nues. Cette valeur peut être convertie en un débit binaire de 25,70 kbit/s restant pour les unités d'accès, équivalent à 64,24 % du débit binaire du sous-canal (40 kbit/s). Le surdébit de l'exemple étudié est ainsi de 35,76 %.

En appliquant ce calcul et les hypothèses correspondantes aux débits binaires de plusieurs autres sous-canaux, nous obtenons (voir le tableau à droite):

Pour résumer, on reconnaît que la combinaison des couches système MPEG-2 et MPEG-4 donne un surdébit important pour les applications qui ont besoin d'un faible débit binaire de sous-canal.

Le surdébit est moins important pour les débits de données plus élevés.

7. Perspectives

La DAB a été modernisée de manière à assurer son avenir dans le futur proche. L'utilisation d'une deuxième couche de contrôle des erreurs, similaire à la technologie déjà très répandue en DVB, a permis d'appliquer de nouveaux algorithmes de codage. Les structures existantes peuvent facilement cohabiter avec les nouvelles que nous vous avons présentées dans cet article.

Outre les éléments décrits précédemment, une nouvelle approche intergicielle DAB et des applications vocales verront bientôt le jour. La protection du contenu des PAD

Débit binaire du sous-canal [kbit/s]	Surdébit [%]
32	42.24
40	35.76
48	31.43
56	28.34
64	26.02
72	24.22
...	...
...	...
192	15.21

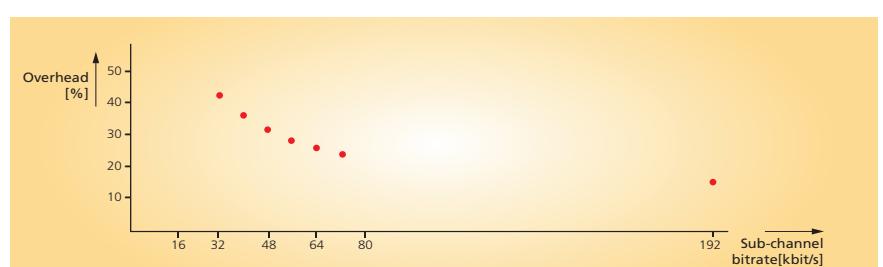


Figure 25 – Couche système MPEG-2/MPEG-4 et surdébit FEC



Frank Herrmann est ingénieur diplômé de l'université technologique de Brunswick (Allemagne). Il est actuellement chef de projet du DVB-T2 et du DAB/DMB chez Panasonic à Francfort et patron de l'équipe Radiodiffusion numérique. Il a récemment accepté de former une équipe chargée de la conception de la couche système au sein du groupe DVB-T2.

Après avoir représenté Clarion dans le projet Eureka-147 DAB, la radio numérique est devenue naturellement le cœur de son activité professionnelle. Chez Panasonic, il a d'abord dirigé le projet pilote DAB *Hessen*. Il a ensuite présidé le groupe Industrie au sein du projet TPEG, projet financé par l'UE, activité qui lui a permis de jeter les bases de services commerciaux aujourd'hui disponibles dans le cadre du projet mobile.info.

Il fait partie des « anciens » du WorldDMB. En tant que président de son CT, rôle qu'il exerce depuis 2004, il a mis l'accent sur un remaniement profond de ce système de radiodiffusion et a intensifié les contacts avec d'autres forums, en particulier avec le projet DVB.

Larissa Anna Erismann travaille chez Swiss Satellite Radio, une branche du radiodiffuseur suisse de service public (SRG SSR idée suisse) qui produit trois programmes musicaux, Radio Swiss Classic, Radio Swiss Jazz et Radio Swiss Pop. Ces trois programmes constituent la majeure partie de l'offre DAB en Suisse. En 2004, elle est chargée des questions B2B et B2C du marketing DAB pour les trois programmes puis du lancement de www.dab-digitalradio.ch, la seule plateforme web qui offre une information exhaustive sur le DAB en Suisse pour les usagers et le monde des affaires, ceci en quatre langues.

Non seulement Larissa Anna Erismann est un expert écouté en matière de DAB en Suisse mais elle améliore constamment ses connaissances sur la DAB des autres pays. Après avoir participé à de nombreux projets et présidé un groupe chargé de la promotion de la DAB en Allemagne elle a été appelée, en juillet 2006, à présider le comité Marketing du WorldDAB



Markus Prosch est ingénieur en informatique diplômé de l'université d'Erlangen (1994). Recruté au Fraunhofer Institute en 1995 pour le développement de circuits intégrés IIS, il s'est totalement investi dans la spécification des normes DAB. Il y est responsable du développement du Multimedia DataServer (MMDS) conçu pour permettre l'insertion de toutes sortes de services de données dans le signal DAB.

Depuis 2001, Markus Prosch est aussi impliqué dans la spécification de la norme Digital Radio Mondiale (DRM) et s'occupe du développement du DRM ContentServer (DRM-CS), la solution du Fraunhofer Institute pour la radiodiffusion DRM. Il représente actuellement Fraunhofer IIS au sein du WorldDMB et a présidé en 2006 son groupe d'actions sur le codage audio.

des services radiophoniques de la couche II du MPEG-1 et du MPEG-2 sera plus complète. Une fois encore, on appliquera le système R-S bien établi (même code parent).

Pour ce qui est des applications textuelles, l'équivalent DAB du RDS RadioText +, les étiquettes dynamiques + (Dynamic Label +), seront adoptées prochainement.

Du point de vue de l'industrie, les différents systèmes de radiodiffusion numérique seront mieux alignés à l'avenir. Les activités de convergence ne vont pas tarder à débuter et constitueront un sujet d'intérêt pour les prochaines années en radiodiffusion numérique.

En faisant du protocole IP la couche universelle et commune de pratiquement tous les systèmes

de communication, toutes les parties peuvent utiliser les applications existantes et il est de moins en moins nécessaire de développer des éléments de couche supplémentaire propres au support.

Il est temps maintenant de penser à apporter des modifications rétrocompatibles à la couche physique de la DAB pour accroître l'efficacité spectrale de cette dernière. La

concurrence entre les systèmes de diffusion mettra l'accent sur cet aspect dans les dix prochaines années. Certes, une telle étape n'est pas gratuite, elle nécessitera des rapports C/N plus élevés. Ce qui signifie, tout d'abord, qu'il faut assurer la conformité avec les paramètres de planification de la conférence de Genève 2006 à chaque étape. De plus, la réglementation européenne n'autorisera pas de grandes intensités de champ. Il faut donc déterminer la limite et s'en rapprocher – les investissements nécessaires ne tarderont certainement pas à se montrer rentables.

La DAB va exploiter ses atouts : la flexibilité et la fiabilité.

Normes connexes

- ETSI EN 300 401 V1.4.1 (2006-06): **Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers.**
- ETSI EN 301 234 V2.1.1 (2006-06): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Multimedia Object Transfer (MOT) Protocol.**
- ETSI ES 201 735 V1.1.1 (2000-09): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Internet Protocol (IP) datagram tunnelling.**
- ETSI TS 101 498-1 V2.1.1 (2006-01): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Broadcast website; Part 1: User application specification.**
- ETSI TS 101 498-2 V1.1.1 (2000-09): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Broadcast website; Part 2: Basic profile specification.**
- ETSI TS 101 498-3 V2.1.1 (2005-10): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Broadcast**

- website; Part 3: TopNews basic profile specification.**
- ETSI TS 101 499 V2.1.1 (2006-01): **Digital Audio Broadcasting (DAB); MOT Slide Show; User Application Specification.**
- ETSI TS 101 756: V1.3.1 (2006-02): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Registered Tables.**
- ETSI TS 101 759 V1.2.1 (2005-01): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Data Broadcasting – Transparent Data Channel (TDC).**
- ETSI TS 101 993 V1.1.1 (2002-03): **Digital Audio Broadcasting (DAB); A Virtual Machine for DAB: DAB Java Specification.**
- ETSI TS 102 368 V1.1.1 (2005-01): **Digital Audio Broadcasting (DAB); DAB-TMC (Traffic Message Channel).**
- ETSI TS 102 371 V1.2.1 (2006-02): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Digital Radio Mondiale (DRM); Transportation and Binary Encoding Specification for Electronic Programme Guide (EPG)**
- ETSI TS 102 427 V1.1.1 (2005-07): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Data Broadcasting – MPEG-2 TS Streaming.**
- ETSI TS 102 428 V1.1.1 (2005-06): **Digital Audio Broadcasting (DAB); DMB video service; User Application Specification.**
- ETSI TS 102 563 V1.1.1 (2007-02): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Transport of AAC audio.**
- ETSI TS 102 818 V1.3.1 (2006-02): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Digital Radio Mondiale (DRM); XML Specification for DAB Electronic Programme Guide (EPG).**
- ETSI TS 102 iii V1.1.1 (2007-ii): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Intellitext.**
- ETSI TR 101 496-1 V1.1.1 (2000-11): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Guidelines and rules for implementation and operation; Part 1: System outline.**
- ETSI TR 101 496-2 V1.1.2 (2001-05): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Guidelines and rules for implementation and operation; Part 2: System features.**
- ETSI TR 101 496-3 V1.1.2 (2001-05): **Digital Audio Broadcasting (DAB); Guidelines and rules for implementation and operation; Part 3: Broadcast network.**

Annexe A : Déclaration WorldDMB en matière de DAB/DAB+/DMB

La déclaration de WorldDMB concernant l'interprétation et la prise en charge des normes DAB/DAB+ et DMB établit une différence claire entre la mise en œuvre des services vidéo et audio :

Le Forum WorldDMB recommande :

- *d'utiliser la DAB (ETSI EN 300 401) ou la DAB+ (ETSI TS 102 563) pour les services de radio ;*
- *d'utiliser la DMB (ETSI TS 102 428) pour les services qui contiennent une composante vidéo.*

Remarque de Frank Herrmann : Pour les services vidéo basés sur la DAB, il est possible d'utiliser le système DAB-IP au lieu de la DMB.

©UER Publié en anglais en juillet 2007

HDMI & HDCP

– le point de vue des fabricants

Dietrich Westerkamp
Thomson, EICTA HDTV Issue Manager

Les signaux TVHD offrent de grandes opportunités aux radiodiffuseurs, mais ils présentent également un désavantage : ils impliquent un fort risque de piratage. Afin de protéger le contenu contre toute utilisation illicite, il est possible d'utiliser des dispositifs de protection du contenu.

Pour l'interface numérique HDMI entre un décodeur externe TVHD et un écran « HD ready », c'est la technologie HDCP qui a été choisie. Il s'agit d'un outil qui peut être utilisé à la discréption du radiodiffuseur qui dispose de la possibilité de le mettre en fonction grâce à un signal d'activation. En cas de piratage, cette technologie propose un mécanisme par lequel une liste d'appareils « révoqués » est transmise de manière sécurisée au récepteur, qui la mémorise.

La disponibilité d'un mécanisme de protection du contenu – l'une des conditions d'obtention du logo « HD ready » de l'EICTA – ne signifie pas que l'écran doit toujours recevoir des signaux protégés. Les signaux qui sont transmis en clair peuvent toujours être reçus.

La qualité élevée de la TVHD numérique offre aux radiodiffuseurs de grandes opportunités, mais elle les expose en même temps à des risques qui ne doivent pas être négligés : les pirates pourraient utiliser ces signaux de haute qualité afin de les copier et se lancer dans des activités illicites, en ignorant la question du droit d'auteur.

L'un des points faibles est l'interface numérique en bande de base entre le décodeur externe (qui reçoit les signaux) et l'écran TVHD. A ce niveau, les interfaces DVI ([Digital Visual Interface - Interface de visualisation numérique](#)) ou HDMI

([High-Definition Multimedia Interface - Interface multimédia HD](#)) sont utilisées indifféremment. Afin de protéger les signaux numériques de haute qualité passant par ces interfaces, une technologie appelée protection du contenu numérique en HD (HDCP - [High-bandwidth Digital Content Protection](#)) est utilisée. L'Association européenne des industries de l'information, des télécommunications et de l'électronique grand public (EICTA,) a inclus la protection HDCP dans ses critères minimum pour l'attribution du logo [HD ready](#). L'objectif de ces lignes est d'expliquer le fonctionnement de la HDCP et sa mise en oeuvre. Il présente également

les points de vue des radiodiffuseurs européens sur la question de la gestion des mécanismes de protection contre la copie.

Actuellement, la mise en oeuvre des mécanismes de protection du contenu contre la copie revient essentiellement au propriétaire du contenu. Le radiodiffuseur ou l'opérateur de TV à péage est obligé par ses contrats de licence à assurer une protection du contenu adéquate, en activant les mécanismes appropriés. Bien évidemment, les appareils de réception, d'enregistrement et d'affichage doivent être équipés en conséquence.

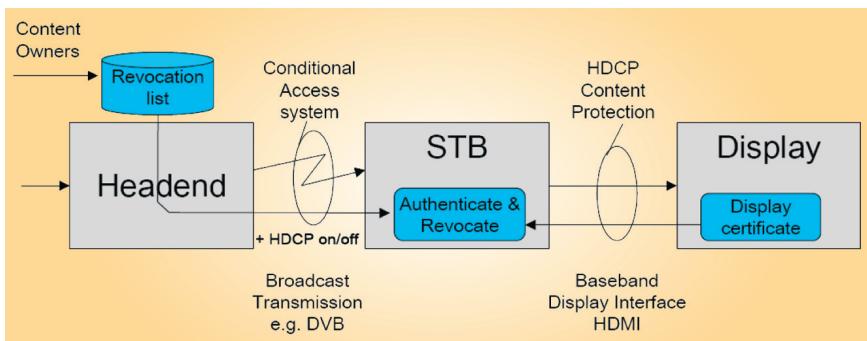


Figure 1 – Principe d'un système de transmission numérique avec contrôle d'accès et protection HDCP contre la copie sur la connexion écran

Protection HDCP

La Fig. 1 illustre un système de transmission numérique pour des signaux TVHD. Le signal TVHD va de l'émetteur du signal au décodeur externe (STB). Bien souvent, un système d'accès conditionnel est utilisé pour permettre la protection du contenu ainsi que la gestion des abonnements. Une fois que le décodeur externe a reçu et décodé les signaux, ces derniers doivent être envoyés à un écran adapté. En ce qui concerne les signaux TVHD, la connexion numérique entre le décodeur externe et l'écran se fera par HDMI ou DVI (Figures 2 et 3), la connexion HDMI étant la plus récente.

Si le propriétaire du contenu exige que le radiodiffuseur protège le contenu contre le piratage, il est nécessaire de mettre en place un système qui empêche de détourner les signaux entre le décodeur et l'écran, afin de produire des copies illégales.

Le système HDCP a été développé dans ce but. Le contenu entre le décodeur externe et l'écran est codé afin que les pirates ne puissent pas l'utiliser.

Une fois que l'écran est branché à une source (le décodeur externe) une procédure d'authentification/négociation initiale est lancée entre ces deux appareils. Pendant cette procédure d'authentification, des clés sont échangées et validées, et le mécanisme de codage est activé.

Une authentification est également nécessaire si l'on souhaite prendre des mesures dans les cas où un appareil a été utilisé pour réaliser des copies pirates. Dans de tels cas, les propriétaires du contenu peuvent signaler, par le biais de ce que l'on appelle des listes de révocation, que tel ou tel appareil fait désormais partie d'une « liste noire » et qu'il ne sera plus autorisé à transporter les signaux en utilisant le mécanisme de codage HDCP. Avec cette méthode, les propriétaires de contenu peuvent rendre inopérants les

appareils servant à des fins illicites et donc entraver l'action des pirates.

La responsabilité de créer ces [listes de révocation](#) revient aux propriétaires du contenu. Les radiodiffuseurs et les fabricants d'appareils sont obligés de transmettre ces listes et de réagir en conséquence, conformément aux contrats de licence qu'ils ont signés pour utiliser la protection HDCP. Afin d'empêcher que ces listes ne soient modifiées avant qu'elles arrivent au récepteur, elles sont transmises avec une signature numérique.

La protection HDCP peut être activée selon les besoins

La protection du contenu sur la connexion vers l'affichage ne sera pas forcément nécessaire pour tous les programmes diffusés par une chaîne de TV donnée. Il se peut même que certaines chaînes de TV ne demandent aucune protection du contenu. Le système HDCP peut alors être désactivé et le contenu sera transmis en clair, sous forme de signal en bande de base à haut débit.

Actuellement, ce mécanisme d'activation est mis en oeuvre dans le cadre de différents systèmes d'accès conditionnel. Les informations sont transmises au décodeur externe par le biais du canal qui transporte le programme sous forme protégée, que l'interface d'écran (DVI/HDMI) exige ou non un système de protection contre la copie.

Il existe plusieurs techniques pour contrôler l'état d'activation de la protection HDCP. Il est évident que le contrôle de cet état est un sujet sensible dont les données ne seront pas partagées avec tous les utilisateurs potentiels des décodeurs externes... parmi lesquels pourrait se trouver un pirate !

La manière de contrôler cet état est définie par l'opérateur qui fournit le décodeur externe. Sa mise en oeuvre fait le plus souvent partie de la mise en oeuvre du système d'accès conditionnel. Compte tenu des conditions fixées par les propriétaires



Figure 2 – Interface multimédia haute définition (HDMI) : le connecteur, la prise et le logo (avec l'autorisation de HDMI.org)



Figure 3 – Interface visuelle numérique (DVI) : le connecteur, la prise et le logo (avec l'autorisation de DDWG.org)

de contenu, les mécanismes de gestion des copies vont au-delà de la simple activation/désactivation de la protection HDCP sur l'interface numérique. Presque tous les décodeurs externes ont aussi des sorties analogiques, y compris des prises SCART pour brancher les appareils à définition normale.

Si la protection HDCP est activée sur l'interface numérique (afin de protéger un signal TVHD de grande qualité), il existe plusieurs possibilités pour les interfaces analogiques :

- elles peuvent être protégées contre la copie par un système analogique, mais actuellement, ces systèmes existent uniquement pour la définition normale ;
- l'interface pour la composante HD peut être désactivée, en laissant l'interface pour la définition normale (SCART) livrer un signal TV en définition normale protégé contre la copie ;
- l'ensemble des interfaces analogiques pourrait distribuer un signal, mais uniquement en définition normale – ce signal peut même parfois être enregistré ;
- toutes les interfaces analogiques pourraient être désactivées.

Il est très important de relever que le comportement des interfaces analogiques est défini par l'entité qui fournit le décodeur externe et qu'il n'a rien à voir avec le mécanisme HDCP décrit ci-dessus. La protection HDCP ne traite pas les signaux analogiques.

Le contenu diffusé en clair et la protection du contenu

Presque tous les décodeurs externes TVHD du marché européen sont fournis par des opérateurs de TV à péage. À la fin de 2006, il y avait environ 500'000 décodeurs externes dans les foyers, et avec l'augmentation du nombre de services de TVHD mis à disposition dans différents pays européens, ce nombre devrait rapidement atteindre

le million. La manière dont ces décodeurs externes devraient gérer le contenu diffusé en clair a fait l'objet d'intenses discussions. Tous les décodeurs DVB externes fournis pour la télévision à péage sont également en mesure de recevoir du contenu en clair. Dans le cas de la TVHD, le signal décodé est envoyé à l'écran, préféablement par la connexion HDMI, afin de protéger au mieux la grande qualité des images. Mais les radiodiffuseurs qui émettent en clair n'ont actuellement aucune influence sur la manière dont la protection HDCP est utilisée (ou non) sur cette connexion. Ces droits sont définis par l'entité qui a fourni le décodeur externe : l'opérateur de télévision à péage. Cela étant, il n'existe aucune obligation pour les radiodiffuseurs diffusant en clair de s'occuper de la transmission des listes de révocation.

De fait, les décodeurs existants en Allemagne, au Royaume-Uni et en France gèrent l'activation de la connexion HDCP de différentes manières : certains décodeurs laissent constamment activée alors que d'autres l'activent uniquement pour des programmes particuliers, tels que les films diffusés pour la première fois. Dans les deux cas, les signaux en clair seront affichés sur l'écran HD-ready connecté et le téléspectateur ne saura même pas si la protection contre la copie est activée ou pas.

Bien évidemment, il existe une exception. Si l'appareil a été utilisé une fois pour des activités de piratage et qu'il se retrouve sur la liste de révocation, il ne recevra plus aucune image lorsque la protection HDCP est activée.

Les logos HD ready et HD TV et la protection contre la copie

Lorsque les écrans capables d'afficher des images en HD sont arrivés sur le marché, on a commencé à discuter des particularités techniques qu'il faudrait incorporer dans ces appareils afin qu'ils soient capables de résister à l'épreuve du temps. L'une des questions qui ont été posées portait sur la nécessité de mettre

en oeuvre un système de protection contre la copie.

La Commission européenne et l'EICTA ont défini les logos « HD ready » et « HD TV » (Fig. 4). « HD ready » définit des exigences minimum pour les écrans, et « HD TV » en fait autant pour l'équipement de réception TVHD. De plus amples détails sont disponibles sur le site Internet de l'EICTA.



Figure 4 – Les logos de l'EICTA : HD ready pour les écrans et TV HD pour les récepteurs

Les exigences minimum pour le logo HD ready incluent la présence d'interfaces analogiques et numériques. Les interfaces numériques (DVI ou HDMI) doivent nécessairement être dotées de la protection HDCP. Elle a été rendue obligatoire afin de s'assurer que les consommateurs voient toujours les images en TVHD, même si le radiodiffuseur ou le fournisseur de contenu décident d'utiliser un système de protection contre la copie sur la sortie de l'appareil récepteur.

Après un long débat, l'EICTA a décidé de ne pas rendre obligatoire la protection HDCP pour l'ensemble des équipements de réception. Cette décision a été prise pour tenir compte du fait que, dans l'avenir, on pourrait être amené à utiliser des récepteurs pour la télévision en clair sans système d'accès conditionnel, qui ne sont simplement pas en mesure, d'un point de vue technique, de mettre en oeuvre la protection HDCP (et donc de réservé un canal de transmission sécurisé pour les informations d'activation et les listes de révocation).

Lorsque les premiers appareils HD ready sont arrivés sur le marché, la presse spécialisée a affirmé que le logo HD ready se résumait à une initiative des fabricants destinée à rendre obligatoire la protection contre la copie dans tous les cas. Ce n'est absolument pas le cas. En effet, toutes les interfaces acceptent les



Dietrich Westerkamp est diplômé de l'université de Hanovre. Il y a poursuivi pendant plusieurs années des recherches dans le domaine de la compression des données d'image. Il est actuellement directeur de la coordination des normes chez Thomson, société où il travaille depuis 1985. Durant ces 20 dernières années, il s'est investi dans de nombreux projets visant à améliorer les systèmes TV, du HD-MAC et du PALplus au MPEG et au DVB en passant par le DVC (la norme des caméscopes). Il a représenté pendant plusieurs années l'industrie au sein du comité directeur du consortium DVB et préside actuellement aux destinées du groupe chargé des questions TVHD de l'EICTA qui a développé les logos des produits HD Ready et HDTV.

signaux qui sont proposés sans protection contre la copie. Toutefois, ce logo assure au consommateur qu'il verra toujours une image... à moins que son écran n'ait été utilisé dans le cadre d'une action de piratage et qu'il ait été inclus dans une liste de révocation.

La gestion des listes de révocation

Dans la version actuelle du système, la liste de révocation est stockée dans le décodeur externe. L'appareil récepteur reçoit les informations par le canal de radiodiffusion tel qu'il est défini par la société chargée des licences, DCP LLC. Lorsqu'une nouvelle version de la liste de révocation est publiée, les informations stockées dans les récepteurs sont mises à jour.

Conclusions

L'interface HDMI est le meilleur choix pour distribuer du contenu TVHD d'un appareil de réception à un écran moderne. Elle permet de conserver la qualité de l'image au niveau le plus élevé possible, en évitant toute succession inutile de conversions analogique/numérique et numérique/analogique. La grande qualité du signal de l'interface en fait une cible idéale pour des pirates qui souhaiteraient réaliser des copies illicites

à partir de ce signal. La protection HDCP permet d'empêcher de tels agissements.

L'EICTA a décidé que la protection ferait partie des exigences minimum pour les écrans HD ready afin de s'assurer que les consommateurs pourront toujours voir une image TVHD de grande qualité. Il convient de souligner que l'interface HDMI de l'écran accepte également des signaux non protégés contre la copie. Une fois branché, le décodeur externe utilise la protection HDCP en permanence, le contenu transmis en clair sera toujours affiché, même s'il est transmis par la liaison protégée contre la copie, l'opérateur de télévision à péage qui a financé le décodeur externe en ayant décidé ainsi.

Au niveau de la normalisation européenne, le débat se poursuit sur la possibilité de définir un système d'activation sécurisé qui permettrait à chaque radiodiffuseur de décider s'il souhaite ou non activer la protection HDCP. Les décodeurs externes TVHD sur le marché sont tous dotés de la protection HDCP, mais ils utilisent différents concepts pour son mode d'activation. Indépendamment de cela, tous ces décodeurs sont capables de gérer des signaux transmis en clair et de les distribuer aux écrans qui sont connectés. En tout cas, les consommateurs peuvent profiter des images en TVHD... à moins qu'ils n'aient utilisé leurs écrans à des fins de piratage, ce qui les aurait fait figurer dans la liste de révocation. Tout ce qu'ils verront alors serait un écran noir.

Bibliographie

- [1] DVI DDWG, "DVI Visual Interface", rev. 1.0, April 2, 1999 as further qualified in EIA/CEA-861 rev. B, "A DTV Profile for Uncompressed High Speed Digital Interfaces" May 2002
<http://www.ddwg.org>
- [2] HDMI HDMI Licensing, LLC, "High-Definition Multimedia Interface", rev. 1.3, November 10, 2006
<http://www.hdmi.org>
- [3] HDCP Intel, "High-Bandwidth Digital Content Protection System", rev. 1.2, June 13, 2006
<http://www.digital-cp.com>
- [4] EICTA
<http://www.eicta.org>

Note du rédacteur

le présent article résume le point de vue de l'EICTA (Association européenne des industries de l'information, des télécommunications et de l'électronique grand public) sur la protection de contenus HD au moyen de la technologie HDCP. Les opinions de plusieurs radiodiffuseurs européens sont exposées dans un autre article de ce numéro de la Revue technique.

©UER Publié en anglais en octobre 2007

HDCP

– Le point de vue des diffuseurs en clair

Jean-Pierre Evain
Union Européenne de Radio-Télévision

Les premiers services en haute définition (HD) ont été lancés sur des plateformes de TV à péage à l'aide de dispositifs de protection des contenus, comme HDCP, conformément aux obligations contractuelles des studios de production. Les plateformes en clair mettront elles aussi en œuvre HDCP.

Le présent article vise à donner un certain nombre d'informations techniques sur le système HDCP, utilisé pour protéger la liaison HDMI reliant un décodeur externe à un écran (cette liaison HDMI étant l'équivalent pour la TVHD de la connexion SCART utilisée pour la télévision à définition normale). Il entend également expliquer ce qu'est HDCP et ce qu'elle n'est pas, tout en exposant les points de vue de plusieurs radiodiffuseurs européens, concernant les méthodes susceptibles d'être mises en œuvre pour la protection des contenus.

Protection HDCP et HDMI : une norme de facto

La connexion **HDMI** – qui a désormais supplanté la **DVI** pour les appareils électroniques grand public – est une interface large bande entre un dispositif TVHD (un décodeur externe, par exemple) et un répéteur/récepteur TVHD (tel qu'un écran). Ces interfaces sont souvent appelées « display links », DVI étant le plus souvent disponible sur des ordinateurs personnels.

HDMI sert à transmettre des données vidéo numériques en haute définition à un débit pouvant atteindre 2,23Gbits¹, pour une résolution de 720p ou 1080i, ainsi que jusqu'à huit canaux de données audio numériques, échantillonnés à 192 kHz avec 24 octets par échantillon.

Bien qu'elle pose un certain nombre de problèmes techniques, HDMI présente un intérêt évident pour les pirates qui tentent d'accéder à des sources de contenus de qualité afin de produire des copies illicites. C'est alors qu'intervient la protection **HDCP**, qui protège les contenus en cryptant le signal transporté sur la liaison HDMI (ou la DVI) vers l'écran.

La protection HDCP est une technologie propriétaire de la société Intel, décrite

dans une spécification susceptible d'être utilisée sous licence de la société « Digital Content Protection LCC », filiale d'Intel. La spécification de cette technologie et les conditions générales d'octroi de licences sont disponibles à l'adresse suivante : www.digital-cp.com.

Ainsi que l'indique la Fig. 1, on peut utiliser jusqu'à 128 dispositifs simultanément, à condition que chaque appareil soit, primo, compatible avec HDCP et, secundo, reconnu (authentifié) comme étant une réalisation sûre et valable. Dans le contexte de la radiodiffusion, la fonction *Upstream Content Control* est constituée par les informations de signalisation distribuées par l'intermédiaire du flux de radiodiffusion (comme la signalisation DVB en clair pour

1. *Dans la version HDMI actuelle, la limite maximale pour le débit est de 4,95 Gbits/seconde, mais cette limite devrait passer à 10,26 Gbits/seconde dans une prochaine version de l'interface.*

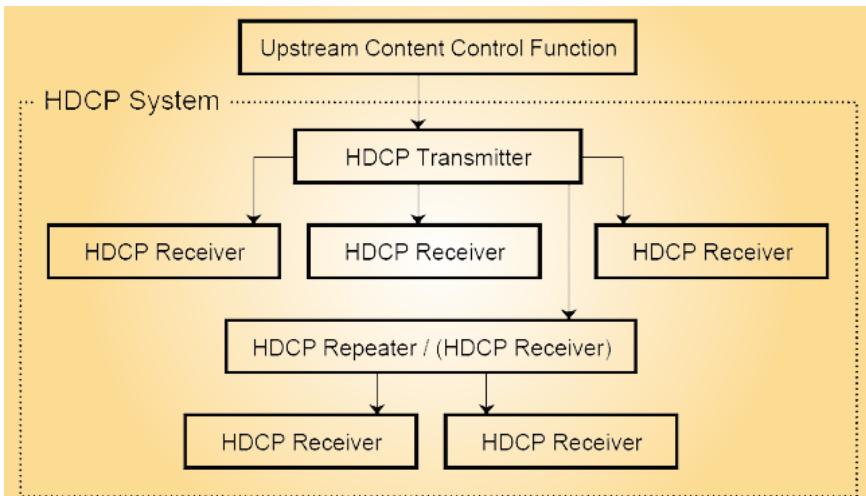


Figure 1 – Élaboration de la trame FEC

la protection des contenus et la gestion des copies, ou CPCM).

La protection HDCP s'appuie sur le processus linéaire AKE (authentification et échange de clés), que connaissent bien les cryptologues. Le processus AKE repose lui-même sur un échange de clés secrètes, propres à un appareil donné. Le processus d'authentification évalue la validité de ces clés, notamment par une procédure de gestion de la révocation. Si le processus AKE s'avère concluant, le contenu est crypté par l'émetteur et distribué au récepteur, qui le déchiffre conformément aux règles de sécurité établies dans le cadre du processus d'authentification. Le contenu peut ensuite être affiché. Si le processus AKE échoue, il y a fort à parier que l'on se trouvera face à un écran noir. D'autres options sont envisageables : on peut par exemple réduire la résolution du contenu, bien que cette solution ne semble pas très utilisée aujourd'hui.

HDCP est une norme de facto ; en effet, de nombreux fabricants utilisent cette technologie cédée sous licence par la société Digital Content Protection LLC. Or, ils sont soumis par contrat à un certain nombre d'obligations et de règles en matière de mise en œuvre. Le consortium DVB a pour sa part adopté la connexion HDMI, avec HDCP en tant que mécanisme de protection associé. De surcroît, l'EICTA rend obligatoire l'utilisation de la protection HDCP pour avoir le droit d'utiliser le logo HD Ready.

copie de ce contenu et désactivera la fonction « enregistrement ». En revanche, le contenu peut être crypté sur la liaison raccordant les deux dispositifs, afin d'empêcher toute fraude à des fins de copie illicite. Cela étant, bien que le contenu soit protégé sur cette liaison, il doit rester possible d'en faire une copie, notamment si aucune restriction ne s'applique. La protection des contenus n'est donc pas la même chose que la gestion des copies.

Les restrictions en matière d'utilisation liées à l'activation de la protection HDCP peuvent être résumées de la manière suivante : « tout accès non authentifié au contenu par le biais de cette interface est interdit ». Cela étant, selon un axiome de la protection des contenus, HDCP devrait être activée dès qu'un contenu est soumis à des restrictions en matière d'utilisation.

Protection des contenus HDCP

Pourquoi ?

On utilise HDCP principalement pour empêcher quiconque d'accéder aux contenus en clair dans les interfaces numériques large bande de haute qualité, par exemple pour produire des copies illicites.

Quoi ?

HDCP est un outil de sécurité destiné à protéger les contenus. Il ne s'agit pas d'un mécanisme de gestion des copies utilisé pour appliquer des restrictions en matière d'utilisation, même si un tel mécanisme peut nécessiter l'utilisation d'outils de sécurité comme la technologie HDCP pour « protéger » les contenus. Le fait d'activer la protection HDCP signifie simplement que les contenus ne pourront être utilisés que par des dispositifs conformes et authentifiés. Cette activation ne devra pas faire l'objet d'une interprétation des restrictions en matière d'utilisations dérivées (par exemple « copie interdite » ou « ne pas redistribuer sur Internet »). Il est essentiel de comprendre, sans aucune ambiguïté, la nature précise et le rôle spécifique de HDCP.

Exemple : imaginons une interface (différente de HDCP) reliant un décodeur externe à un enregistreur vidéo personnel. Si une partie du contenu est protégée par « copie interdite », un enregistreur conforme n'autorisera pas la

Par qui ?

La décision de mettre en œuvre ou non la protection des contenus et la gestion des copies revient au détenteur des droits du contenu. Cette décision devient ensuite une obligation contractuelle lorsque le contenu est cédé sous licence à des fournisseurs de services, comme des radiodiffuseurs en clair ou à péage. Les radiodiffuseurs sont souvent eux-mêmes les détenteurs des droits des contenus qu'ils produisent et pour lesquels ils ne décident pas systématiquement d'appliquer la protection des contenus et la gestion des copies. Il convient en effet de connaître les conséquences potentielles du choix d'activer HDCP en ce qui concerne l'accès, par les utilisateurs, à du contenu « protégé ». Les conditions dans lesquelles HDCP peut être utilisée, et la manière dont elle peut l'être, varient en fonction des circonstances et des besoins.

Bien que cet article accorde une attention privilégiée à la radiodiffusion free to air, il est intéressant de remarquer que certains opérateurs de télévision à péage souhaiteraient avoir la flexibilité nécessaire pour *activer* la protection HDCP au cas par cas, selon les contenus, alors qu'elle serait *désactivée* par défaut ! A contrario, sur les décodeurs externes propriétaires de certains opérateurs de télévision à péage, la HDCP est activée par défaut.

En ce qui concerne la télé en clair, différents points de vue ont été exprimés. Ils correspondent à diverses situations réglementaires et commerciales, qui peuvent être résumées de la manière suivante :

Scénario 1

Radiodiffusion CTA (clear-to-air) ou FTA (free-to-air) : dans ces deux cas, l'accès est accordé mais limité à un emplacement géographique donné et le contenu FTA est distribué sous forme cryptée. Les contenus FTA protégés en vue de leur distribution peuvent le rester après acquisition grâce à l'activation HDCP, par la signalisation dans le système d'accès conditionnel (comme pour la télévision à péage), ou par défaut dans le récepteur. On doit également pouvoir désactiver la protection HDCP (et n'importe quel mécanisme comparable) pour une partie du contenu. Le contenu pourrait rester en clair après sa distribution géographique, sauf instruction contraire par le biais d'informations de signalisation DVB en clair.

Scénario 2

Concernant le contenu CTA distribué en clair, certains Membres de l'UER souhaitent que la protection HDCP soit désactivée par défaut sur les appareils dotés de fonctions CTA. Si un décodeur externe donne accès à du contenu CTA et à du contenu de la télévision à péage, indépendamment l'un de l'autre, il devrait être possible d'activer ou de désactiver HDCP en fonction du statut par défaut défini à l'origine, sauf instruction contraire par le biais d'informations de signalisation DVB en clair. La désactivation devrait être de préférence le statut par défaut des décodeurs CTA vendu sur le marché.

Scénario 3

Certains radiodiffuseurs CTA préféreraient que la protection HDCP soit activée par défaut, tout en bénéficiant de la souplesse nécessaire pour pouvoir la désactiver pour certains contenus par le biais d'informations de signalisation DVB en clair.

Scénario 4

Si un contenu FTA/CTA est distribué à des décodeurs externes pour la télévision à péage dans le cadre d'un service de télévision à péage, le statut par défaut de HDCP sera défini par l'opérateur concerné, qui aura également la possibilité et les moyens de l'activer ou de la désactiver.

Ces différents scénarios illustrent la nécessité de pouvoir basculer la protection HDCP (et autres mécanismes comparables) d'un statut initial (« désactivé » ou « activé » par défaut) à un autre, en fonction des contenus.

Quand ?

Il semble logique d'activer la protection des contenus HDCP lorsque s'appliquent des restrictions en matière d'utilisation – accès limité, copie, redistribution et utilisation - car un accès non authentifié au contenu en clair permettrait de contourner ces restrictions.

Les systèmes d'accès conditionnel peuvent servir de fonction *Upstream Content Control*, qui active ou désactive la protection des contenus HDCP. Dans certains cas, le simple fait que le contenu soit distribué sous forme cryptée suffit pour exiger l'activation de la HDCP. Dans d'autres configurations, le même canal transporte également des messages de restriction en matière d'utilisation, ce qui permet une plus grande flexibilité : la protection peut par exemple être activée en fonction des contenus dans des décodeurs externes avec la fonction HDCP désactivée par défaut, ou être désactivée pour des contenus en clair, après leur acquisition.

Le consortium DVB estime que le contenu CTA doit être considéré comme étant « protégé » aussi longtemps que la signalisation DVB FTA est distribuée parallèlement à ce contenu, dans le flux de radiodiffusion. Le système DVB est doté d'une signalisation FTA spécifique, destinée à autoriser ou au contraire à empêcher :

- 1) la redistribution des contenus sur Internet (`control_remote_access_over_the_internet`) ;

2) le cryptage des contenus (`do_not_scramble`) ;

3) l'utilisation de listes de révocation (`do_not_apply_revocation`).

Si l'indicateur “`do_not_scramble`” est enclenché, HDCP doit être désactivé. Bien qu'elle soit destinée à l'origine à gérer le cryptage de la protection des contenus et la gestion des copies selon la norme DVB (DVB CPCM), cette signalisation devrait également être appliquée à HDCP et à des mécanismes comparables, indépendamment de la mise en œuvre de la DVB CPCM.

Mais à quel moment cela s'avère-t-il vraiment important de gérer la protection des contenus sur une connexion d'affichage large bande ? La réponse à cette question se trouve principalement dans deux fonctions essentielles, liées à la mise en œuvre de HDCP, à savoir la conformité avec les systèmes hérités et la révocation.

Conformité avec HDCP

Dans un monde parfait, dans lequel tous les appareils seraient conformes à HDCP, aucun utilisateur ne devrait normalement subir les conséquences du passage de contenus par l'interface HDCP, sous forme cryptée ou non. Un certain nombre de personnes sont cependant équipées de téléviseurs sans HDCP ou d'appareils dotés de fonctions HDCP dépassées.

L'une des raisons pour lesquelles les opérateurs de télévision à péage désactivent la protection HDCP par défaut est peut-être qu'ils veillent à ce que les foyers dotés des premiers modèles aient accès au contenu et soient en mesure de surmonter d'éventuels problèmes d'interopérabilité.

Les radiodiffuseurs FTA devraient partager ces préoccupations.

L'évolution de la spécification HDCP pourrait ajouter une nouvelle contrainte de compatibilité avec les systèmes hérités et, en particulier, représenter un défi important en matière d'interopérabilité - eu égard à la gestion des listes de « révocation ».

Révocation : une situation difficile

Dans un monde entièrement conforme à la HDCP, le fait que la protection soit activée par défaut ne devrait pas poser problème, s'il n'y avait la question de la révocation. Celle-ci serait elle-même moins délicate si elle était gérée en fonction des contenus, ainsi que le recommande le consortium DVB. Malheureusement, HDCP (à l'instar d'autres mécanismes de protection comparables, comme DTCP) complique la situation.

Par révocation, on entend le processus consistant à identifier des appareils qui ont été « compromis » et qui pourraient être utilisés de manière abusive pour accéder à des contenus et générer des copies illicites. En effet, un appareil est « compromis » lorsque une clé privée a été copiée et reproduite dans des appareils pirates ou si la clé privée de ce dispositif a été rendue publique (après avoir été perdue ou volée, par exemple).

Les appareils « compromis » sont identifiés par leurs clés individuelles et rassemblés dans des listes de révocation qui sont généralement distribuées avec le contenu (dans le signal ou sur des supports amovibles) dans des messages SRM (System Renewability Message) signés/authentifiés. Ils peuvent aussi être intégrés dans de nouveaux appareils. Cette liste est consultée pendant la procédure d'authentification HDCP et même si le processus AKE s'avère concluant, un appareil ne sera pas en mesure d'accéder au contenu s'il figure sur liste noire.

Le *Content Participant Agreement* définit les conditions dans lesquelles les détenteurs

des droits du contenu qui ont signé l'accord peuvent demander la révocation des appareils. La responsabilité de rassembler ces listes de révocation revient aux détenteurs des droits. Les radiodiffuseurs sont obligés de transmettre ces listes et de prendre les mesures qui s'imposent conformément aux contrats de licence qu'ils ont signés pour utiliser HDCP.

Bien que la version 1.1 de la spécification HDCP ne concerne pas précisément la gestion des listes de révocation, la version 1.2 définit un mécanisme de révocation en fonction de l'appareil. Cela signifie que les listes de révocation doivent en permanence être mémorisées dans les appareils. Ces listes sont mises à jour chaque fois qu'un appareil reçoit une liste plus récente, soit avec le contenu, soit lorsqu'il est interconnecté à un autre appareil (un nouvel appareil avec une liste de révocation préchargée, par exemple), que ce soit directement ou par l'intermédiaire d'un réseau domestique. Selon cette spécification, la révocation se fait donc « par dispositif » et non pas « par contenu ».

Les messages SRM sont signés à l'aide d'une clé publique fournie par la société Digital Content Protection LLC. Ils n'exigent aucune protection particulière pour être transmis. La collaboration des radiodiffuseurs FTA/CTA devrait être sollicitée pour la distribution de ces listes lorsque l'activation de la protection HDCP s'avère nécessaire.

Un tampon de 5 Koctets limite le nombre de clés susceptible d'être mémorisé dans un appareil à une liste de révocation des vecteurs (les clés à 40 bits de 128 appareils), ce qui a pour effet de limiter la largeur

de bande nécessaire pour transporter les messages SRM et son coût pour les radiodiffuseurs. Une clé d'un dispositif peut désactiver des milliers d'appareils qui partagent une clé « compromise ».

La crypto-analyse a montré que l'on pouvait considérer que la protection HDCP était « cassée » si 40 clés étaient compromises. Une nouvelle version est en cours d'élaboration. Elle permettrait de gérer plus de 128 dispositifs, tel que cela est prévu dans la spécification HDCP. Cela étant, l'utilisation de cette nouvelle version pourrait soulever un certain nombre de questions, eu égard à la compatibilité et aux systèmes hérités.

La révocation d'appareils est-elle dangereuse ?

Si l'on demande à un récepteur permettant d'accéder à des services FTA et à des services de la télévision à péage d'inscrire sur une « liste noire » un certain nombre d'appareils (un écran, par exemple) dans le cadre de la réception de contenus de télévision à péage, une révocation « par dispositif » pourrait se traduire par un écran noir non seulement pour les services à péage, mais également pour les services FTA. Dans ce contexte, cette menace ne plaide pas en faveur d'une activation « par défaut » de la protection HDCP. Le consortium DVB a cependant trouvé une solution, qui consiste à définir l'indicateur de signalisation « do_not_apply_revocation », qui permet de désactiver la révocation en fonction des contenus FTA/CTA associés. Pour être concluante, cette solution exige d'être mise en œuvre par le biais de HDCP.



Jean-Pierre Evain travaille au département Technique de l'UER depuis 1992 après six ans passés dans les laboratoires de France-Telecom (CCETT) et de Deutsche Telekom. À l'UER, son secteur porte sur les nouveaux systèmes et services, gérant notamment toutes les questions relatives aux métadonnées. Il représente l'UER dans les groupes DVB chargés des métadonnées, de la protection des copies et de la gestion des droits numériques ainsi qu'au sein du consortium IPTC (métadonnées news).

Résumé

A l'instar des opérateurs de télévision à péage, les radiodiffuseurs européens FTA/CTA estiment que la protection HDCP peut être utilisée de différentes manières, mais souhaiteraient bénéficier de la souplesse nécessaire pour l'activer ou la désactiver en fonction du contenu. Le consortium DVB partage ce point de vue et préconise une « gestion des copies et une protection des contenus » plus générique.

HDCP porte uniquement sur la protection des contenus et n'est donc pas un mécanisme de gestion des copies. Les restrictions en matière d'utilisation ne peuvent pas être dérivées ou interprétées en fonction de l'activation HDCP, mais celle-ci devrait en principe être activée lorsque de telles restrictions s'appliquent aux contenus.

HDCP est une norme de facto, qui est mise en œuvre différemment dans le cadre de diverses applications propriétaires pour la télévision à péage. Pour répondre aux besoins des radiodiffuseurs FTA, à long terme et sur un marché ouvert, il pourrait s'avérer nécessaire de s'adapter aux applications actuellement mises en place pour la télévision à péage.

Dans un monde entièrement conforme à la protection HDCP, le fait que la protection

des contenus soit activée par défaut ne devrait pas poser problème, s'il n'y avait la question de la révocation. Celle-ci serait elle-même moins délicate si elle était gérée en fonction du contenu. Malheureusement, HDCP (à l'instar d'autres mécanismes de protection comparables, comme DTCP) a opté pour une révocation « en fonction de l'appareil ». Dans ces conditions, les décodeurs externes utilisés pour la télévision à péage qui sont révoqués pour protéger du contenu « premium » de la télévision à péage ne distribueront plus du contenu FTA, sauf s'ils utilisent un indicateur d'activation DVB pour les services FTA. Cela ne doit cependant pas empêcher les radiodiffuseurs FTA de participer au processus de prise de décisions concernant la révocation, afin de contrebalancer les conséquences de ces initiatives sur le marché. La collaboration des radiodiffuseurs FTA pourrait être requise pour la distribution de messages de révocation, si l'activation HDCP s'avère nécessaire.

Le DVB a défini un « modèle de signalisation FTA », qui offre une solution à plusieurs problèmes évoqués dans cet article, en particulier, celui qui concerne l'activation HDCP et la révocation « par contenu ». Il serait vraiment souhaitable que les futures réalisations HDCP tiennent compte de cette signalisation, si ce n'est déjà le cas.

L'un des sujets de préoccupation majeurs des radiodiffuseurs FTA susceptibles d'utiliser

HDCP est le manque de stabilité de la spécification. En effet, celle-ci est déjà passée de la version 1.1 aux versions 1.2 puis 1.3. Un certain nombre de questions cruciales se posent par ailleurs eu égard aux systèmes hérités et à l'interopérabilité. HDCP perdra de son intérêt si la spécification et les règles de conformité sont modifiées sans consultation ouverte.

Bibliographies

1. **Système de protection du contenu numérique en haute définition**
Révision 1.1, 9 juin 2003
2. **Système de protection du contenu numérique en haute définition**
Révision 1.2, 13 juin 2006
3. **Système de protection du contenu numérique en haute définition**
Révision 1.3, 21 décembre 2006
4. **Conditions for High Definition Labelling of Display Devices**
19 janvier 2005
(www.eicta.org)

©UER Publié en anglais en octobre 2007

Codage MD

– une nouvelle technologie pour la vidéo en continu sur internet

Andrea Vitali
STMicroelectronics

Internet, ce réseau de réseaux de communications hétérogènes, est en pleine expansion. Son nombre d'utilisateurs croît rapidement et les services gourmands en largeur de bande, comme la vidéo en continu, deviennent de jour en jour plus populaires. L'hétérogénéité et l'encombrement causent cependant trois problèmes majeurs : un débit imprévisible, des pertes et des retards. Le défi se pose donc en ces termes : (i) assurer la qualité, même à des débits binaires faibles ; (ii) garantir la fiabilité, indépendamment des pertes ; (iii) offrir l'interactivité (faible temps d'attente perçu) ... et ce, à de nombreux utilisateurs.

Dans cet article, nous allons nous pencher sur plusieurs technologies bien connues de vidéo en continu sur Internet. Nous décrirons ensuite le **codage par description multiple**, et montrerons comment STMicroelectronics l'a mis en œuvre et testé.

Réseaux à commutation de paquets [1][2]

Hétérogénéité va de pair avec erreurs et encombrement : la capacité des liens câblés et du réseau central augmente tandis que, parallèlement, de plus en plus d'appareils sans fil à faible largeur de bande mais sujets aux erreurs se connectent.

Le débit peut devenir imprévisible. Si la vitesse de transmission ne correspond pas à la capacité de liaison minimale (celle qui crée les goulets d'étranglement), il faut omettre certains paquets. Le système de distribution peut établir l'ordre de priorité : les paquets les plus importants reçoivent un traitement préférentiel, les moins importants sont omis en premier. Cependant, les réseaux omettent

généralement les paquets de manière aléatoire. La probabilité de perte de paquets n'est pas constante, mais peut au contraire varier énormément, allant de très bonne (aucune perte) à très mauvaise (coupures de la transmission).

C'est ce qui rend la conception du système de distribution très compliquée. Deux options sont généralement disponibles :

- concevoir le système en fonction du pire scénario ;
- le rendre adaptable.

Si le système est conçu en fonction du pire scénario, il sera inefficace chaque fois que le canal sera meilleur que le pire scénario, c'est-à-dire la plupart du temps. À l'inverse,

s'il est adaptable, il s'adaptera probablement trop tard.

Technologies de distribution de contenu indépendantes des données

ARQ : Demande de répétition automatique

L'une des techniques les plus efficaces pour améliorer la fiabilité est la retransmission des paquets perdus : c'est la demande de répétition automatique ou ARQ (Automatic Repeat reQuest). C'est sur cette technique

que repose la distribution de contenu basée sur le protocole TCP.

Si les pertes sont sporadiques, cette technique est très efficace car les paquets ne sont réellement envoyés qu'une fois. Si, en revanche, les pertes sont fréquentes, les retransmissions peuvent aggraver encore l'encombrement et le taux de perte, ce qui crée un cercle vicieux (que la distribution de contenu basée sur le protocole TCP permet d'éviter).

La retransmission est très utile dans les communications de point à point dans lesquelles on dispose d'une voie de retour. Cependant, dans le cas de la diffusion de point à multipoint, le diffuseur ne peut pas gérer toutes les demandes de retransmission individuelles.

Le retard ajouté par la retransmission est d'au moins un temps de propagation aller-retour. Mais chaque retransmission peut également être perdue, ce qui fait que le retard peut être important. Il s'agit d'un point critique pour la vidéo en continu : le retard d'un paquet retransmis peut être beaucoup plus long que le temps entre les arrivées et, de ce fait, le flux risque de subir des interruptions. Ce retard s'accumule dans le tampon du récepteur, qui doit être suffisant pour compenser la variation des temps entre les arrivées (gigue).

FEC : Correction d'erreurs sans voie de retour / Récupération après effacement

Le codage de canal est une autre technique très efficace. Il s'agit de la transmission de paquets redondants, qui permet de récupérer les paquets erronés ou perdus côté récepteur. C'est ce qu'on appelle la FEC : correction d'erreurs sans voie de retour / récupération après effacement.

Si on connaît le taux de perte, on peut ajouter la redondance juste suffisante pour le compenser. Malheureusement, dans la réalité, non seulement on ne connaît pas le taux de perte, mais il varie beaucoup en fonction du temps. Ce facteur, combiné au fait que

le rendement de cette technique est du type « tout ou rien », la rend très difficile à utiliser : en effet, les erreurs sont ou plus nombreuses ou inférieures aux prévisions.

Si les pertes sont trop nombreuses, la capacité de récupération sera dépassée. La redondance ajoutée ne sera pas suffisante et les pertes ne seront pas récupérées. La qualité après décodage sera très mauvaise (effet « tout ou rien »). C'est pourquoi, pour ne pas courir de risque, les diffuseurs envisagent généralement le pire scénario et choisissent d'accroître la redondance au détriment de la vidéo, qui est alors davantage compressée ; la qualité finale après décodage est alors moins bonne.

S'il y a moins d'erreurs que prévu, ce qui est probable lorsque le système est conçu pour le pire scénario, les pertes seront récupérées. La qualité après décodage sera garantie et ne sera pas affectée par les pertes mais on gaspille cependant de la capacité : on pourrait recourir à moins de redondance, ce qui permettrait d'avoir une vidéo moins compressée et de meilleure qualité. En principe, l'adaptation pourrait servir à équilibrer dynamiquement la redondance ajoutée et la compression vidéo, mais c'est rarement le cas car c'est un processus difficile. La qualité après décodage est inférieure à celle qu'on pourrait obtenir.

Cette opération peut être extrêmement complexe : le codage et le décodage des paquets redondants nécessitent de la mémoire et de la puissance de calcul. Les systèmes FEC efficaces doivent traiter de grands nombres de paquets vidéo. Par conséquent, le retard ajouté n'est pas nécessairement important, mais il peut être sensible.

Technologies de distribution de contenu dépendantes des données

Codage source solide

Plus le codeur vidéo est efficace, plus le paquet individuel vidéo est important. Lorsque la compression est très efficace, la perte d'un seul paquet peut avoir un

effet catastrophique. Il faut alors utiliser un puissant mécanisme de récupération, comme des codes FEC complexes, pour en réduire la probabilité. Inversement, lorsque la compression n'est pas très efficace, la perte d'un paquet a peu d'importance. Dans ce cas, des techniques de masquage permettent de réduire, voire de masquer totalement l'effet de la perte. On peut utiliser alors un mécanisme de récupération léger.

Il faut donc ajuster *soigneusement* l'efficacité de la compression en tenant compte de l'effet des pertes et de l'efficacité des techniques de masquage et du mécanisme de récupération. On peut alors diviser de manière optimale la largeur de bande disponible entre les données vidéo et les données redondantes.

En d'autres termes, il est toujours utile d'optimiser conjointement les paramètres du codeur à la source et du codeur de canal (une technique appelée « codage de canal source commun »). Dans le cas des communications multimédias, il s'agit d'exploiter la résistance aux erreurs qui peut être incorporée dans les flux de données multimédias compressés, au lieu d'utiliser des codes FEC ou des protocoles de communication complexes.

Les codeurs vidéo utilisent différentes techniques pour compresser efficacement la vidéo : la prédiction (aussi appelée « estimation et compensation du mouvement »), la transformation, la quantification et le codage entropique. La prédiction est l'une des techniques les plus importantes en termes d'efficacité de la compression : l'image en cours est prédictée à partir de l'image transmise précédemment. De ce fait, les paquets vidéo dépendent des paquets précédents. S'ils n'ont pas été reçus, le paquet en cours est inutile. C'est la « propagation de perte ». On peut échanger de l'efficacité de compression par de la robustesse en réduisant le taux de prédiction (c'est-à-dire en augmentant le codage intra) : on limitera ainsi les dépendances, ce qui permettra d'arrêter la propagation de perte.

Le retard de transmission peut également constituer une alternative à la robustesse. On peut réorganiser les paquets vidéo dans des tampons spécifiques (« entrelacement ») de telle sorte que les paquets vidéo consécutifs

ne représentent pas des données vidéo adjacentes. Cela permet de délocaliser l'effet des pertes et de faciliter le masquage. Une longue salve de paquets perdus affectera des parties de la vidéo très éloignées l'une de l'autre et il sera alors possible de masquer efficacement les parties perdues à partir des données vidéo adjacentes.

Le masquage est généralement appliqué à l'aveugle dans le récepteur. L'émetteur peut toutefois coder des algorithmes d'optimisation (données de masquage) qui en renforcent l'efficacité. Ce processus absorbe évidemment une partie de la largeur de bande disponible.

Toutes ces techniques sont très efficaces, mais il est particulièrement difficile de choisir un ensemble optimal de paramètres, surtout dans une configuration comptant de nombreux récepteurs dont les canaux sont conditionnés différemment.

Codage par description multiple [3][4]

On peut considérer le codage par description multiple (MDC) comme une autre manière de renforcer la résistance aux erreurs sans recourir à des systèmes de codage de canal complexes. L'objectif du MDC est de créer plusieurs descriptions indépendantes pouvant contribuer à une ou plusieurs caractéristiques de la résolution spatiale ou temporelle, du rapport signal/bruit ou du contenu fréquentiel. Ces descriptions peuvent avoir la même importance (systèmes MDC équilibrés) ou des importances différentes (systèmes MDC déséquilibrés).

Plus on reçoit de descriptions, plus grande est la qualité de la vidéo décodée. Il n'existe pas de seuil en dessous duquel la qualité tombe (effet « tout ou rien »). C'est ce qu'on appelle le « mode dégradé ».

La robustesse vient de l'improbabilité que la même partie de la même image soit endommagée dans toutes les descriptions. L'efficacité du codage est réduite en fonction de la quantité de redondance restante entre les descriptions ; il est cependant vraiment possible de limiter le codage de canal du fait de la résistance améliorée aux erreurs. Des

expériences ont montré que la description multiple est très robuste : la qualité livrée est acceptable même lorsque les taux de pertes sont élevés.

Les descriptions peuvent être abandonnées partout où cela peut s'avérer nécessaire : dans l'émetteur si la largeur de bande est inférieure aux prévisions ; dans le récepteur s'il n'est pas nécessaire, ou pas possible, d'utiliser toutes les descriptions reçues. On parle de « déployabilité » (ou extensibilité). Notons cependant qu'il s'agit d'un avantage secondaire du codage par description multiple, qui ne vise pas à procurer l'extensibilité, mais la robustesse.

Les descriptions de la même partie d'une image doivent être décalées dans le temps autant que possible lorsque les flux sont multiplexés. De cette manière, une salve de pertes à un instant donné n'entraîne pas la perte de la même partie des données dans toutes les descriptions en même temps. En cas d'entrelacement, on peut utiliser le même critère, c'est-à-dire espacer autant que possible les descriptions de la même partie d'une image pour éviter qu'une salve de pertes ne provoque la perte de la même partie des données dans toutes les descriptions simultanément. Il faut tenir compte du retard ajouté du fait du décalage temporel, ou profondeur d'entrelacement.

Codage en couches

Le codage en couches (LC) est analogue au codage par description multiple (MDC). La principale différence réside dans la dépendance. Le codage LC vise à créer des couches dépendantes : il comporte une couche de base et plusieurs couches d'amélioration que l'on peut utiliser l'une après l'autre pour affiner la qualité de la couche de base après décodage.

On peut abandonner les couches aux endroits nécessaires, mais pas au hasard : il faut abandonner d'abord la dernière couche d'amélioration, mais jamais la couche de base. En effet, si elle n'est pas reçue, les couches suivantes ne peuvent rien améliorer. Le codage en couches est conçu pour offrir ce type d'extensibilité.

Il faut se doter de mécanismes de réparation pour garantir la fourniture de la couche de base au minimum. De plus, du fait de leur importance inégale, ces mécanismes doivent apporter une protection différente aux diverses couches afin de mieux tirer parti du codage en couches. Tous les réseaux n'offrent cependant pas ce genre de service (priorisation).

Mécanismes de récupération et codage en couches ou par description multiple

Le codage en couches a besoin d'un codage de canal. Ce dernier peut aussi s'utiliser avec le codage par description multiple. Généralement, il est préférable d'adapter le niveau de protection d'une description ou couche donnée à son importance : il s'agit de la technique appelée « protection inégale contre les erreurs ».

La protection inégale contre les erreurs est encore meilleure dans le cas des descriptions d'égale importance (MDC équilibré). En fait, il peut être plus efficace de protéger une seule description que d'essayer de toutes les protéger. Dans ce cas, une description est alors fortement protégée. Si la voie devient vraiment mauvaise, il est probable que cette description survivra aux pertes et que le décodeur sera encore capable de garantir une qualité de base grâce à cette description.

Résumé des technologies étudiées et de leurs caractéristiques

Pour résumer, voici un aperçu des technologies que l'on peut utiliser pour la vidéo en continu sur les réseaux par paquets, afin de compenser les pertes dues aux erreurs et à l'encombrement :

Technologies de distribution de contenu indépendantes des données

- **Demande de répétition automatique (ARQ)** : ne convient qu'aux configurations de point à point, nécessite une voie de retour, retard additionnel aléatoire important.

- **Correction d'erreurs sans voie de retour** (FEC) : voie de retour inutile, rendement de type « tout ou rien », gaspillage de capacité si le système est conçu en fonction du pire scénario, complexité, retard additionnel conséquent.

Technologies de distribution de contenu dépendantes des données

- **Codage source solide** : difficile de choisir les paramètres optimaux.
- **Codage par description multiple** (MDC) : pas d'effet « tout ou rien » (mode dégradé), pas de priorisation nécessaire, possibilité d'extensibilité, très robuste même en cas de taux de pertes élevés.
- **Codage en couches** (LC) : nécessite des mécanismes de priorisation et de récupération, offre une extensibilité efficace.

Il convient de noter que les réseaux par paquets sont conçus pour acheminer tous les types de données : une technique indépendante des données est donc toujours nécessaire. La meilleure solution est la correction d'erreurs sans voie de retour / récupération après effacement (FEC).

Pour les données multimédias comme la vidéo (et l'audio), il existe plusieurs techniques intelligentes. Dans ce cas, la meilleure solution est le codage par description multiple (MDC).

Codage par description multiple compatible aux normes [6][8]

Les pertes dues aux erreurs et à l'encombrement provoquent des défauts visibles dans les images décodées : les techniques de masquage des pertes peuvent être utiles mais elles sont rarement efficaces, comme on le voit sur la Fig. 1, d'où la nécessité de disposer d'une technique efficace permettant de récupérer les pertes ou de faciliter le masquage.

La demande de répétition automatique (ARQ) ne convient que pour les communications



Figure 1 – La même image sans et avec traitement des erreurs

de point à point et n'est pas facile à adapter aux scénarios de diffusion ; en outre, elle nécessite une voie de retour qui n'est pas toujours disponible. La FEC n'est efficace que si elle est complexe (ce qui signifie plus de puissance, de retard, etc.) et est soumise à un seuil qui se traduit par un rendement de type « tout ou rien ».

Un codage source robuste est difficile à utiliser car il n'est pas facile de régler les paramètres. Le codage en couches n'est pas conçu pour offrir la robustesse et dépend des mécanismes de récupération que nous venons de décrire. À l'inverse, le codage par description multiple n'a pas besoin d'une voie de retour et ne fonctionne pas selon un mode « tout ou rien », mais selon un mode dégradé (davantage de descriptions, davantage de qualité). En outre il offre gratuitement l'extensibilité (envoyer autant de descriptions que possible, en recevoir autant que nécessaire).

La question qui se pose est la suivante : si le codage par description multiple répond bien aux exigences (solidité, efficacité), quel est le prix de sa mise en œuvre (efficience, largeur de bande, qualité, complexité, compatibilité avec les systèmes précédents) ?

Compatibilité avec les normes

Il n'est pas facile de concevoir et de mettre en œuvre un système de codage vidéo par description multiple. Il existe déjà de nombreuses normes sur le codage vidéo (MPEG-2, MPEG-4, H.263 et H.264). Il est difficile d'en imposer une autre encore plus complexe.

Bien d'autres techniques permettent de créer des descriptions multiples : quantification scalaire ou vectorielle des descriptions multiples, mise en corrélation des transformées et des filtres, trames ou bases redondantes, correction d'erreurs sans voie de retour associée au codage en couches, sous-échantillonnage polyphasé spatial ou temporel (PDM).

Pour trouver la meilleure solution, on peut se référer aux critères suivants :

- Compatibilité : la possibilité d'utiliser des codeurs standard pour chaque description et d'assurer la compatibilité avec les systèmes plus anciens ;
- Simplicité : ajout d'une mémoire et d'une puissance de calcul minimales ;
- Efficacité : pour une largeur de bande donnée et lorsqu'il n'y a pas de perte, la perte minimale de qualité après décodage par rapport à la meilleure qualité offerte par le codage standard.

Parmi ces techniques, le sous-échantillonnage polyphasé est particulièrement intéressant car il est très simple et facile à mettre en œuvre à l'aide des codeurs vidéo standard les plus récents.

La séquence à coder est subdivisée en plusieurs sous-séquences qui peuvent ensuite être codées séparément pendant le prétraitement (Fig. 2). Dans le décodeur, les sous-séquences décodées sont fusionnées pour recréer la séquence originale (Fig. 3). Ce système simple est également appelé codage par « description multiple par sous-

échantillonnage polyphasé indépendant des flux » (IF-PDMD).

Ce système est entièrement indépendant du codage vidéo sous-jacent.

La subdivision visant à créer les descriptions peut se faire dans le domaine temporel (par exemple, en séparant les trames paires et impaires) ou dans le domaine spatial (en séparant les lignes paires et impaires). Le codage de chaque description étant indépendant de celui des autres, on peut obtenir une qualité légèrement différente après décodage. Lorsqu'on recourt à la subdivision temporelle, on peut rencontrer un effet parfois ennuyeux : la différence entre les trames paires et impaires peut être perçue sous forme de « reflet ».

En revanche, lorsqu'on utilise la subdivision spatiale (*voir la Fig. 4*), on peut obtenir un

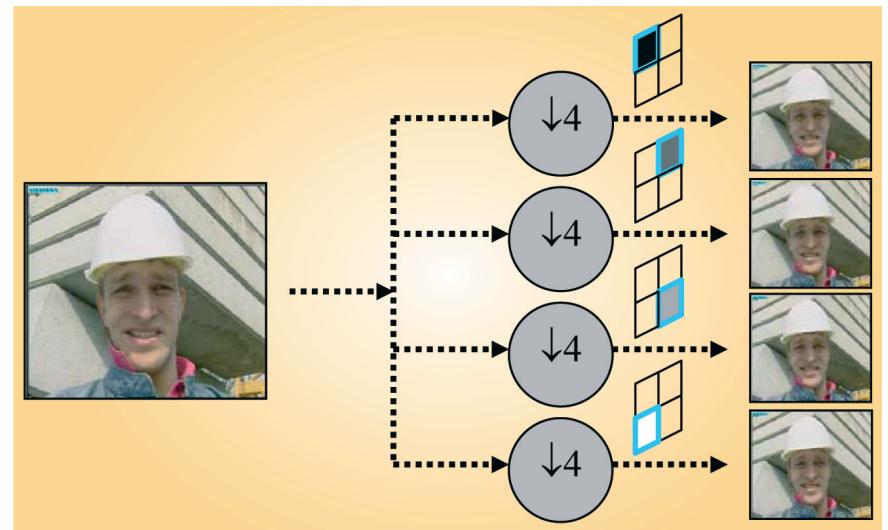


Figure 2 – Prétraitement : échantillonnage dans le domaine spatial, séparation des lignes et des colonnes paires et impaires, création des quatre descriptions

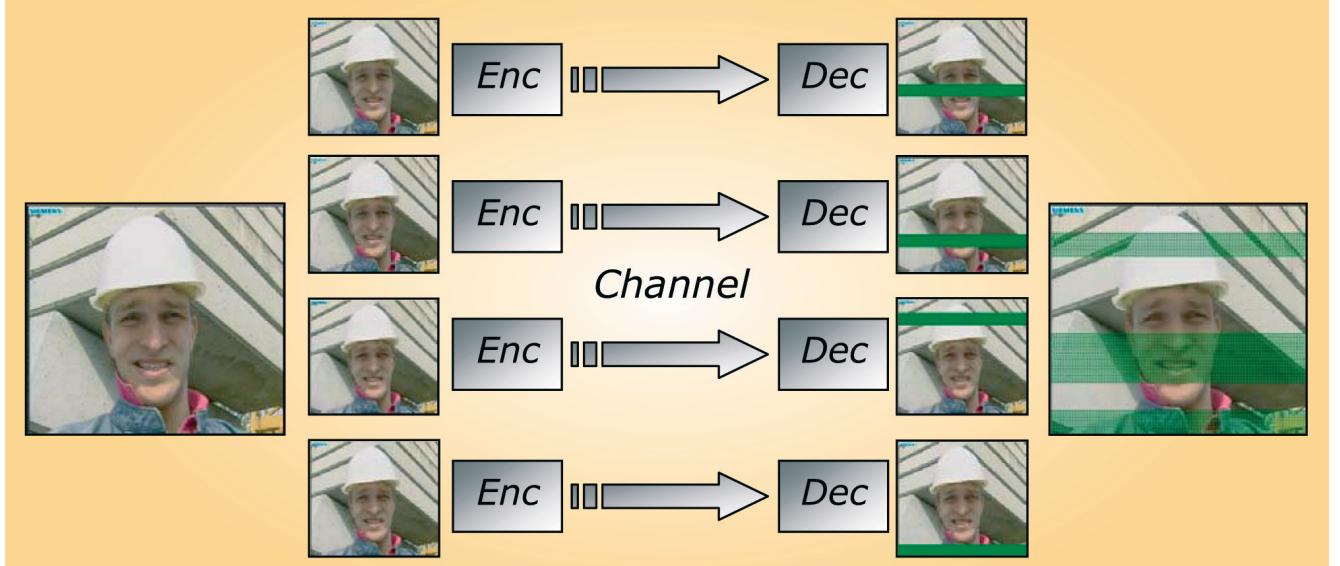


Figure 3 – Le traitement complet : prétraitement, codage, transmission, décodage, post-traitement

effet agréable, la juxtaposition, une technique connue et appliquée dans les graphismes pour masquer le bruit de codage.

La subdivision spatiale présente deux autres avantages :

- Il est possible de créer deux descriptions en séparant les lignes paires et impaires : l'image entrelacée est alors réduite en deux flux vidéo progressifs plus petits qui peuvent être plus faciles à coder.

- Il est possible de créer quatre descriptions en séparant les lignes paires et impaires, puis en séparant les colonnes paires et impaires : la vidéo haute définition (TVHD) est alors réduite en quatre flux vidéo de définition classique qui peuvent être codés à l'aide de codeurs existants.

Il est utile de noter que si l'on dissocie le codage par description multiple du codec sous-jacent, on l'empêche de réaliser tout son potentiel. Pour obtenir la meilleure qualité et coder les descriptions avec le moindre

effort, on peut utiliser un codage commun ou coordonné. De même, pour exploiter la redondance et maximiser la résistance aux erreurs, il est recommandé d'appliquer un décodage commun par description multiple.

Par exemple, les codeurs vidéo peuvent partager des décisions de codage onéreuses en termes de calcul (vecteurs de mouvement) au lieu de les calculer ; ils peuvent aussi coordonner les décisions de codage (règles de quantification) pour améliorer la qualité



Figure 4 – Gigue résultante de l'échantillonnage spatial pour la création des quatre descriptions. Comme les descriptions sont indépendantes, la qualité du décodage peut différer légèrement

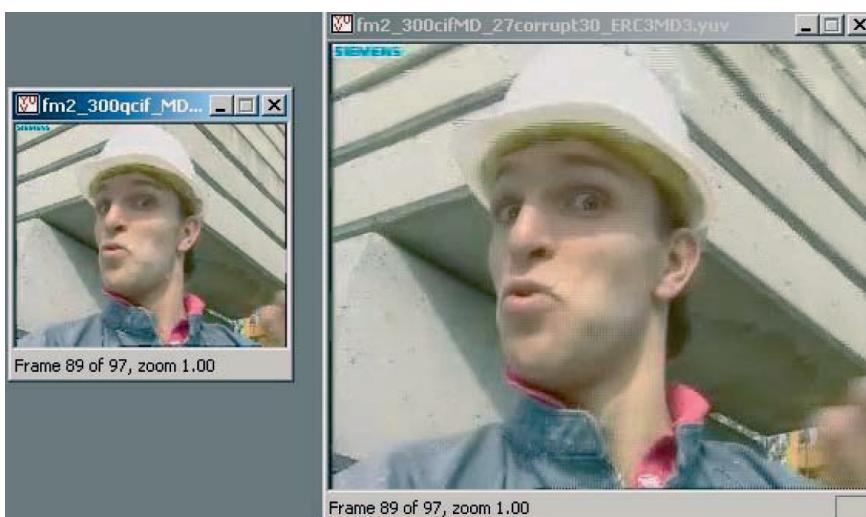


Figure 5 – Perte de 30% des paquets : (à gauche) le décodage standard, insensible aux MD, traite les descriptions comme un reliquat du même paquet ; (à droite) le décodage par MD

ou la robustesse (règles de prédiction multitrame à entrelacement, règles de rafraîchissement intra). Les décodeurs peuvent partager les données décodées afin de faciliter le masquage des erreurs ; ils peuvent partager également des variables internes critiques (mémoire d'image repère) pour stopper la propagation des erreurs due à la prédiction.

Il est bon de mentionner que si des descriptions équilibrées sont correctement compressées et mises en paquets, toutes les pertes peuvent être récupérées avant le décodage. Dans ce cas, les décodeurs sont

précédés d'un processeur spécial dans lequel on récupère les paquets perdus en copiant des paquets similaires provenant d'autres descriptions. On entend par « paquets similaires » les paquets qui acheminent la même partie de données vidéo.

Ce système est également compatible avec les systèmes qui ne reconnaissent pas les descriptions multiples (*voir la Fig. 5*).

En fait, chaque description peut être décodée par un décodeur standard, qui n'a pas besoin de prendre en charge les descriptions multiples (MD) pour le faire. Bien sûr, si on

a utilisé la MD spatiale, la trame décodée est plus petite ... alors que si on a choisi la MD temporelle, la séquence décodée a un taux de trame plus bas.

De plus, le codage MD peut même être avantageux. En effet, les descriptions multiplexées peuvent être marquées de façon à ce que les anciens décodeurs croient qu'il s'agit de plusieurs copies de la même séquence.

Par exemple lorsqu'on émet quatre descriptions, l'ancien décodeur pensera que c'est le même paquet vidéo qui est transmis quatre fois. En réalité, il s'agira de quatre paquets légèrement différents, mais cela n'a pas d'importance. On peut donner au décodeur l'ordre de ne décoder que la première copie et, si celle-ci n'est pas reçue correctement, d'en décoder une autre.

Pourquoi utiliser le codage par description multiple ?

Première raison : résistance accrue aux erreurs. Deuxième raison : déployabilité gratuite.

Robustesse

Le codage par description multiple est très robuste, même lorsque les taux de pertes sont élevés (*voir la Fig. 6*). Il est peu probable que la même partie d'une image donnée soit endommagée dans toutes les descriptions. C'est aussi simple que ça !

D'un point de vue plus sophistiqué, on note également que les descriptions sont entrelacées. En fait, lorsque l'on reconstruit l'image originale, on fusionne les descriptions en entrelaçant les pixels. Une partie manquante dans une description se traduira par des pixels manquants épars. Il sera facile d'estimer ces pixels à l'aide des pixels adjacents disponibles.

On suppose que les erreurs sont indépendantes parmi les descriptions. Ce n'est vrai que si les descriptions sont transmises sur des voies multiples et indépendantes. Si on n'utilise qu'une voie, il faut que les descriptions soient correctement multiplexées. Les salves d'erreurs

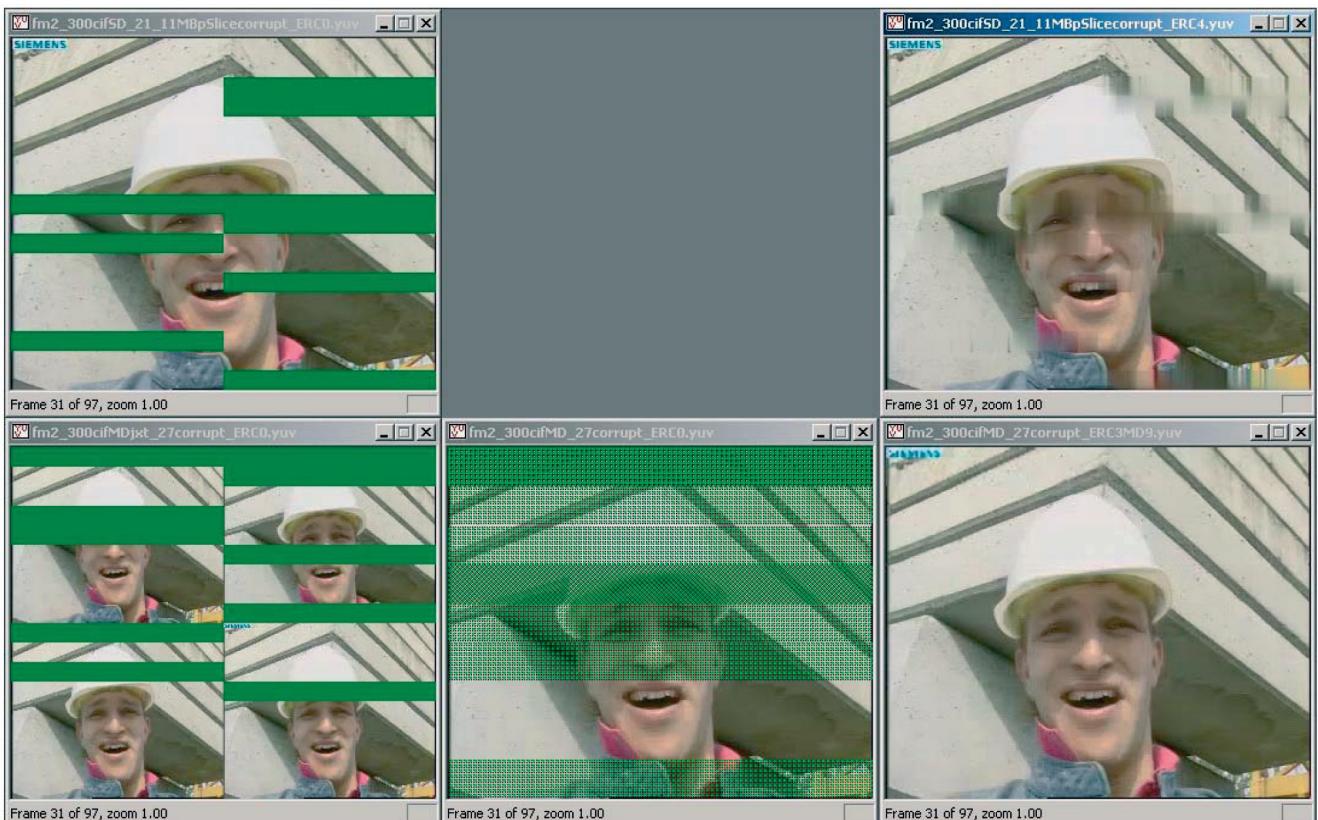


Figure 6 – Image avant et après traitement en cas de perte de 30% des paquets, même largeur de bande, même nombre et même taille moyenne des paquets : (en haut) codage standard ; (en bas) codage MD par échantillonnage spatial

seront alors cassées par le démultiplexeur et sembleront aléatoires, surtout si la longueur de la salve est inférieure à la période du multiplexeur.

Déployabilité

La déployabilité (extensibilité) est appréciée dans de nombreux cas de figure. Dans l'univers des terminaux mobiles, lorsque l'on applique un codage standard, il faut décoder et réduire tout le flux binaire afin de l'adapter au petit écran. On gaspille de la puissance et de la mémoire. Inversement, avec le codage par description multiple, un terminal peut décoder uniquement le nombre de descriptions qui correspond à sa puissance, à sa mémoire ou à son écran.

De même, quand la largeur de bande du canal varie, il sera facile d'adapter la transmission à la largeur de bande disponible. Il suffit d'abandonner des descriptions. Un flux binaire non extensible, pour sa part, nécessitera un transcodage onéreux (recodage de la vidéo pour l'adapter au débit réduit disponible).

On peut comparer ce type d'extensibilité à celle offerte par le codage en couches dans lequel on peut perdre la couche de base en recevant l'amélioration. Si l'amélioration reçue est inutile on aura gaspillé de la largeur de bande. Généralement, pour éviter que cela ne se produise, on accorde une plus grande priorité ou une meilleure protection à la couche de base qu'à la couche d'amélioration.

Avec le codage MD, il n'y a pas de couche « de base ». Chaque description peut être décodée et utilisée pour obtenir une séquence de qualité de base. Si on décide davantage de descriptions, on obtient une meilleure qualité. Il n'est pas nécessaire de prioriser ou de protéger un flux binaire.

Enfin, il faut aussi noter que pour les débits binaires très bas, le codage par

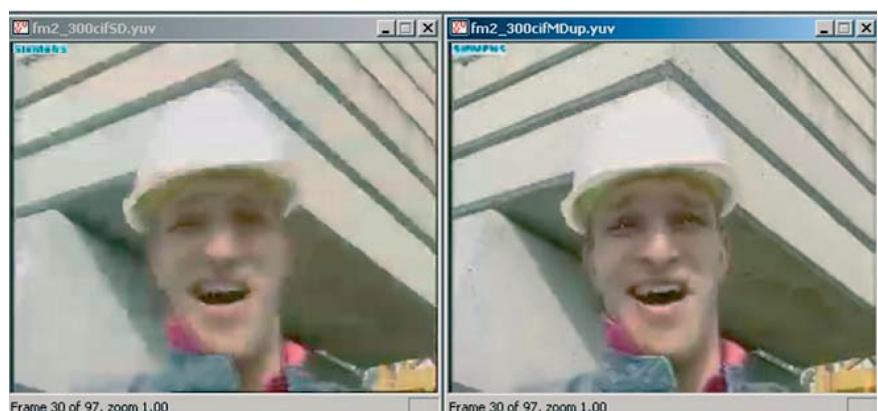


Figure 7 – Image de résolution 352x288 pixels à 155 kbit/sec, codage MPEG-4/10 : codage standard (à gauche) ; l'une des quatre descriptions (à droite)

description multiple donne une qualité supérieure à celle obtenue avec un codage standard. En effet, il est facile d'obtenir le débit faible visé en abandonnant toutes les descriptions sauf une. À l'inverse, le codage standard nécessite une quantification approximative. Les défauts introduits par une quantification grossière sont plus graves que ceux provoqués par l'abandon des descriptions (voir la Fig. 7).

Pourquoi ne pas utiliser le codage par description multiple ?

Pour un bilan binaire donné, il y a une perte de qualité par rapport au codage standard (description unique). Cette perte dépend de la résolution (plus la résolution est basse, plus la perte est grande) et du nombre de descriptions (plus les descriptions sont nombreuses, plus la perte est grande).

Les descriptions sont plus difficiles à coder. La prédiction est moins efficace. En cas de sous-échantillonnage spatial, on met moins de pixels en corrélation. Avec le sous-échantillonnage temporel, la compensation du mouvement n'est pas précise à cause de l'écart temporel plus grand entre les trames.

De plus, la syntaxe est reproduite dans chaque flux binaires. Si l'on prend quatre descriptions, il y a quatre flux binaires. Chacun contient des données pour une image dont la taille est égale au quart de celle de l'image originale. Pris ensemble, les quatre flux binaires contiennent des données pour la même quantité de données vidéo que le flux d'une seule description. Le bilan binaire est le même, mais la syntaxe est reproduite, ce qui laisse donc moins de place pour les données vidéo.

Soulignons cependant qu'il n'est pas juste de comparer la qualité après décodage du codage par description multiple avec celle du codage standard (description unique) – quand il n'y a pas de perte.

Le codage standard vise l'efficacité, le codage par description multiple, la

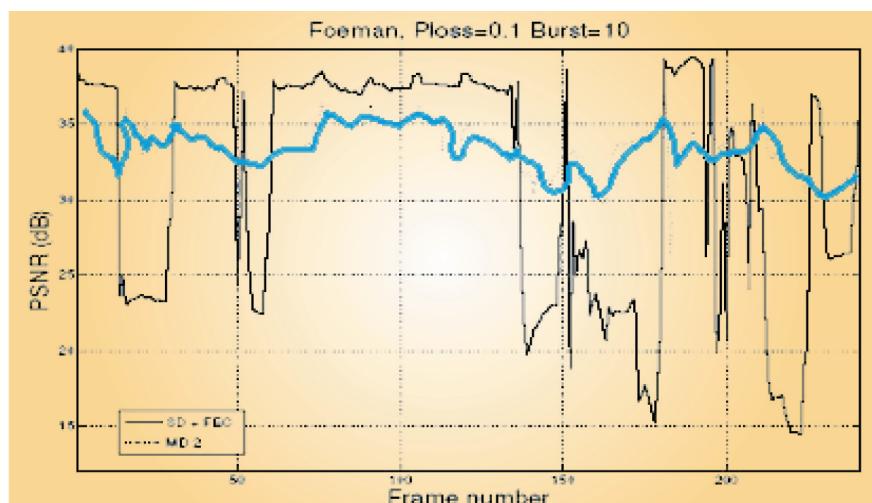


Figure 8 – La qualité au niveau de la trame : le tracé noir correspond à un codage standard avec un FEC Reed-Solomon (résultat par tout ou rien), la ligne bleue à deux MD (qualité moyenne légèrement inférieure mais faible variance)

robustesse. S'il n'y a pas de perte, cette résistance accrue aux erreurs est inutile. Il serait juste de comparer le codage standard résistant aux erreurs au codage par description multiple. Par exemple, on peut rendre le flux binaire standard plus résistant aux erreurs en réduisant la quantité de prédiction (accroissement du rafraîchissement intra).

Il faudrait augmenter le rafraîchissement intra jusqu'à ce que la qualité de la vidéo après décodage soit égale à celle de la description multiple décodée. On pourrait alors évaluer l'avantage que présente l'utilisation de la description multiple en augmentant le taux de perte de paquets et en regardant quel codage est le meilleur.

Des expériences ont montré [5] que la description multiple est encore supérieure au codage standard résistant aux erreurs, même avec un taux de perte de paquets très faible ($\sim 1\%$). Des simulations ont été réalisées au même débit binaire total et à la même qualité après décodage à l'aide de l'un des systèmes FEC les plus efficaces : les codes Reed-Solomon (R-S) (voir la Fig. 8).

D'un point de vue plus général, on pourrait réduire le codage de canal et utiliser une partie de son débit pour les flux binaires des descriptions multiples, ce qui améliorerait la qualité des descriptions multiples après décodage.

Applications prévues du codage par description multiple

- Approche « diviser pour mieux régner » en matière de distribution de TVHD : il est possible de diviser les séquences TVHD en descriptions SDTV ; aucune bande large personnalisée n'est nécessaire.
- Image dans l'image facile : avec la solution classique, il faut effectuer un deuxième décodage complet ainsi qu'une réduction ; avec le codage MDC/LC, il suffit de décoder une description ou la couche de base et l'afficher sur l'écran.
- Adaptation à une résolution/mémoire/puissance faible : les appareils mobiles décodent autant de descriptions/couches qu'ils peuvent en fonction de la taille de leur écran, de la mémoire disponible, de la vitesse du processeur et du niveau de la batterie.
- Services de type « paiement en fonction de la qualité » : l'utilisateur peut décider du niveau de qualité qu'il désire pour un service, allant du niveau « bas coût / faible résolution » (couche de base ou une seule description) au niveau « coût plus élevé / résolution supérieure » (en payant pour les couches d'amélioration / descriptions supplémentaires).

- Transfert intercellulaire facile dans les réseaux sans fil : il est possible de lire en continu différentes descriptions provenant de diverses stations de base exploitant des trajets multiples à la frontière d'une cellule.
- Adaptation aux variations de la largeur de bande : la station de base peut simplement abandonner des descriptions ou des couches ; il est facile de desservir davantage d'utilisateurs et aucun transcodage n'est nécessaire.
- Prise en charge multistandard (diffusion multi support sans diffusion multi support) : il est possible de coder les descriptions avec différents codeurs (MPEG-2, H.263, H.264) ; aucun gaspillage de capacité puisque les descriptions contiennent des informations différentes.
- Carrousel amélioré : au lieu de répéter toujours les mêmes données, différentes descriptions sont transmises l'une après l'autre ; le décodeur peut les stocker et les combiner pour obtenir une qualité supérieure.

Application aux réseaux P2P (pair à pair)

Dans les réseaux P2P, les utilisateurs s'aident mutuellement à télécharger les fichiers. Chaque fichier est découpé en morceaux. Plus un fichier est populaire, plus il y a d'utilisateurs qui peuvent aider

un utilisateur donné en transmettant les morceaux qui lui manquent.

La lecture en continu est bien différente. Le support ne peut pas facilement être découpé et de toute manière, les morceaux devraient être reçus d'un utilisateur donné dans le bon ordre pour pouvoir être lus.

De plus, la capacité de réception d'un utilisateur type est supérieure à sa capacité d'émission, ce qui fait qu'il n'est pas en mesure de transmettre toutes les données qu'il reçoit et d'aider les autres utilisateurs qui souhaitent recevoir le même flux.

L'une des solutions les plus efficaces en matière de lecture en continu a été mise en œuvre par Octoshape [7]. Voici ce système :

- Une vidéo qui nécessiterait 400 kbit/s est divisée en quatre flux de 100 kbit/s chacun.
- On calcule donc N flux redondants à 100 kbit/s à partir des quatre flux originaux ; l'utilisateur peut reconstruire la vidéo à l'aide de quatre flux quelconques parmi tous les flux disponibles (les quatre flux originaux et les N flux redondants), à l'aide d'une FEC Reed-Solomon (N,4).

En suivant ce schéma, un utilisateur peut utiliser pleinement sa capacité « montante » (émission), même si elle est inférieure à sa capacité « descendante » (réception). Chaque utilisateur calcule

et transmet autant de flux redondants que possible en fonction de sa capacité montante.

On peut mettre en œuvre un système très similaire en utilisant le codage par description multiple :

- Créer quatre descriptions en séparant les lignes paires et impaires et en prenant un pixel sur deux ; chaque sous-séquence est codée au $\frac{1}{4}$ du débit binaire qui aurait été attribué à une vidéo en pleine résolution.
- Créer des descriptions redondantes en poursuivant le traitement des données vidéo ; par exemple, en faisant la moyenne des quatre descriptions précédentes, et ainsi de suite. C'est ce qu'on appelle l'expansion d'image.

Un exemple simple permet d'expliquer l'expansion d'image : on peut générer deux descriptions en séparant les lignes paires et impaires comme à l'accoutumée ; on en obtient une troisième en faisant la moyenne des lignes paires et impaires. Il est évident que l'on a une reconstruction parfaite (sauf pour le bruit de quantification) si deux de ces trois descriptions sont reçues correctement. On peut dire que l'expansion d'image équivaut à un code de correction d'erreurs sans voie de retour avec un taux de 2/3 : on peut entièrement récupérer un seul effacement (excepté le bruit de quantification). Cependant, contrairement à la FEC, il n'y a pas de seuil : si l'on a plus d'un effacement, les descriptions reçues restent utiles. De plus, on peut facilement



Andrea L. Vitali est diplômé en électronique du *Politecnico* de Milan (1999). Recruté chez STMicroelectronics comme concepteur de décodeurs numériques multistandard pour la TV analogique, il rejoint en 2000 les laboratoires Technologie des systèmes pour travailler sur des prototypes matériels d'algorithme vidéo en temps réel. Il s'est aussi penché sur la méthode de compression par réseau Bayer des images fixes atypiques et le codage vidéo par descriptions multiples. Il a publié plusieurs papiers sur ces sujets et a déposé des brevets en Europe et aux USA dans les domaines du traitement vidéo numérique, de la compression des images fixes, de la modulation numérique et des capteurs pour le marché automobile.

Il travaille actuellement sur les codages de source résistants, les codages mixtes canal/source, la reproduction multimédia adaptative, les métadonnées pour les signaux multimédias et les interfaces graphiques. Il a donné en 2002 des conférences sur l'électronique numérique au *Politecnico* de Padoue et depuis 2004 y est en outre professeur hors cadre.

contrôler la redondance en quantifiant davantage la troisième description.

Conclusions

Nous vous avons présenté deux techniques de distribution du contenu indépendantes des données : la demande de répétition automatique (ARQ) et la correction d'erreurs sans voie de retour (FEC). Cette dernière est préférable dans la mesure où elle ne nécessite pas de voie de retour des récepteurs et convient donc à la diffusion. Le rendement de cette technique est cependant du type « tout ou rien » : lorsque la capacité de correction est dépassée, la qualité de la vidéo après décodage diminue.

Nous avons également étudié trois techniques de distribution du contenu dépendantes des données : le codage source robuste, le codage par description multiple (MDC) et le codage en couches (LC). Ce dernier est aussi appelé codage vidéo extensible (SVC) car il offre une extensibilité efficace : les couches sont décodées successivement, en commençant par la couche de base. Les couches ont une importance différente et doivent être priorisées, fonction qui n'est pas disponible dans tous les réseaux. Le codage source robuste tire parti de la résistance qui peut être intégrée au flux binaire en ajustant les paramètres de codage ; toutefois, il est très difficile à optimiser. Le codage par description multiple offre l'extensibilité (transmettre ou décoder autant de descriptions que possible), ne nécessite pas de priorisation, est très robuste (il est peu probable que toutes les descriptions soient perdues) et n'a pas un comportement de type « tout ou rien » (les descriptions décodées contribuent toutes à la qualité de la vidéo après décodage).

Un système de codage par description multiple compatible avec les normes a été décrit : les descriptions sont créées par sous-échantillonnage spatial dans le cadre du prétraitement avant le codage, puis fusionnées après le décodage pendant le post-traitement. On a comparé le rendement du MDC à celui d'un codage standard

protégé par la FEC la plus récente : la qualité de crête de la vidéo après décodage est inférieure, mais est beaucoup plus stable (absence de l'effet « tout ou rien »). Plusieurs applications prévues ont été présentées, dont des applications dans les réseaux de pair à pair.

Bibliographie

- [1] F. Kozamernik : **Webcasting – the broadcasters' perspective**
EBU Technical Review n° 282, mars 2000
- [2] F. Kozamernik : **Média en continu sur Internet**
Revue technique de l'UER, Sélection 2002
- [3] V.K. Goyal : **Multiple Description Coding: Compression Meets the Network**
IEEE Signal Processing Magazine, septembre 2001
- [4] N. Franchi, M. Fumagalli, R. Lancini et S. Tubaro : **Multiple Description Video Coding for Scalable and Robust Transmission over IP**
PV conference 2003
- [5] R. Bernardini, M. Durigon, R. Rinaldo et A. Vitali : **Comparison between multiple description and single description video coding with forward error correction**
MSP 2005
- [6] A. Vitali, M. Fumagalli, draft-vitali-ietf-avt-mdc-lc-00.txt : **Standard-compatible Multiple-Description Coding (MDC) and Layered Coding (LC) of Audio / Video Streams**
www.ietf.org, juillet 2005
- [7] S. Alstrup et T. Rauhe : **Octoshape – Streaming Internet à grande échelle**
Revue technique de l'UER, Sélection 2005.
- [8] A. Vitali, A. Borneo, M. Fumagalli et R. Rinaldo : **Video over IP using standard-compatible Multiple Description Coding: an IETF proposal**
PV conference 2006.

©UER Publié en anglais en octobre 2007

Réseaux IP, internet et IPTV

Jeff Goldberg et Thomas Kernen
Cisco Systems

Comment un radiodiffuseur peut-il transmettre la TV sur des paquets IP au lieu de passer par des modes de radiodiffusion traditionnels ?

Cet article présente un système générique de distribution IP par un prestataire de service utilisant la norme IP du DVB; une comparaison entre distribution vidéo sur Internet et IP gérée par un prestataire; la façon dont un radiodiffuseur peut injecter des programmes TV sur Internet et les possibilités de contrôle de la qualité.

Services de TV sur réseaux IP gérés par un prestataire de service

L'architecture des réseaux IP permettant la transmission de services de TV radiodiffusés linéaires (qui constituent une sorte de réseau de distribution secondaire) ressemble à certains réseaux de diffusion traditionnels. Ses principaux éléments sont les suivants:

- super tête de réseau – le point d'acquisition et d'ingestion des signaux ;
- réseau de transport de base – la structure permettant de router des paquets IP d'un point à un autre ;
- bureau vidéo central – l'emplacement des serveurs vidéo ;
- bureau de desserte vidéo – le point d'agrégation des éléments composant le réseau d'accès, tels que les DSLAM ;

- réseau d'accès – réseau transportant les données jusqu'à l'utilisateur, en association avec la passerelle de l'utilisateur et son décodeur.
- L'intégralité du réseau est toutefois contrôlée, gérée et entretenue par un seul prestataire de service (PS), ce qui lui permet de vérifier que tous les critères requis pour offrir un

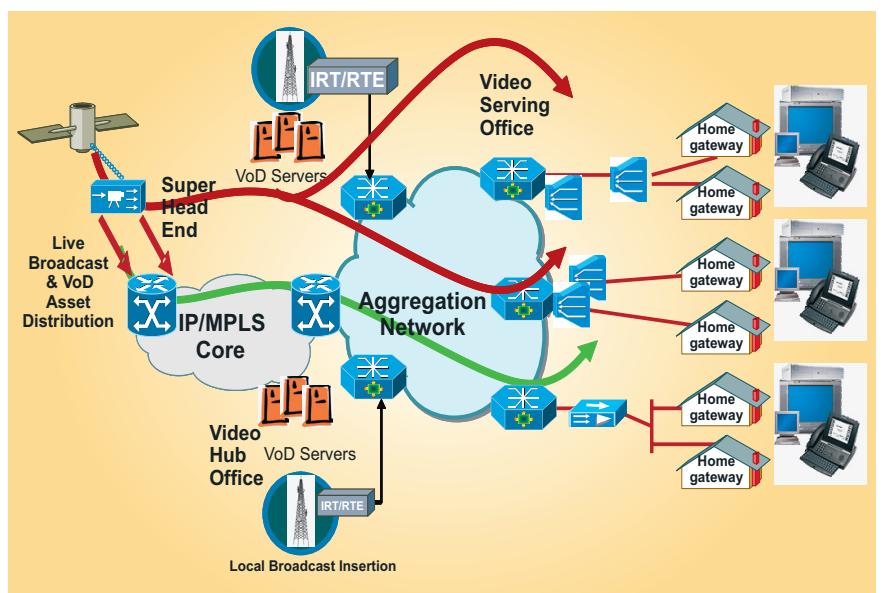


Figure 1 – Radiodiffusion télé sur un réseau IP géré par le prestataire de service

service fiable à l'utilisateur final sont bien remplis. Ces critères sont, par exemple, la qualité de service IP (QoS), la largeur de bande disponible, les liaisons de secours et la gestion du routage. C'est cette gestion et ce contrôle du service qui font la particularité de la transmission IP gérée par un prestataire de service de flux vidéo transportés sur le réseau internet public.

Le prestataire de service reçoit la source vidéo de différentes façons, dont certaines sont identiques à celles d'autres marchés, par exemple la DVB-S, ce qui entraîne un surdébit significatif, le transfert des IRD et des SDI DVB-S/S2/T/C du radiodiffuseur constituant une large part du setup d'acquisition. Il est donc préférable d'utiliser une procédure plus efficace, qui est en train de se généraliser, à savoir se procurer du contenu directement auprès d'un autre réseau géré utilisant IP jusqu'à la tête de réseau.

Une fois le contenu acquis, désembrouillé et recodé, il est transporté sous forme de flux de transport MPEG-2 encapsulés dans des paquets IP au lieu de l'ASI traditionnelle. Les différents groupes de multidiffusion servent de source aux services, qui sont ensuite acheminés sur l'infrastructure, tout en étant toutefois susceptibles de passer, dans certains cas exigeant un niveau de sécurité élevé, par des embrouilleurs en masse compatibles IP destinés à assurer la protection du contenu. Si la sécurité est importante, des routeurs situés à la périphérie de la super tête de réseau fourniront l'adresse IP et se chargeront de la transposition des groupes de multidiffusion dans le but de contribuer à isoler la tête de réseau du réseau de transport de base IP/MPLS.

Le réseau de base est au cœur du transport du flux jusqu'à sa destination, mais ce transport a été rendu possible par les récentes avancées enregistrées en matière d'interfaces à grande vitesse. Le Gigabit Ethernet, peu coûteux et facile à se procurer, le 10 Gigabit Ethernet, plus onéreux, et l'interface rapide 40 Gigabit permettent désormais au réseau de base de transporter à la fois des flux de contribution et de distribution vidéo. L'équipement optique moderne équipant ces interfaces offre un taux d'erreur sur les bits et une latence inférieures à ceux des modes traditionnels de transport tels que

le satellite. Ces avantages, associés à un système FEC de la couche d'application (par exemple le Code de pratique 4 Pro-MPEG du Forum Pro-MPEG et l'ingénierie du trafic (TE) IP/MPLS), permettent de prévoir des liaisons redondantes sur l'infrastructure de transport. Ces liaisons peuvent être conçues de façon à acheminer les données sans jamais retraverser le même nœud ou la même liaison entre deux extrémités et à offrir une tolérance de panne transparente entre les sources, pour autant que l'équipement vidéo le permette. En outre, la protection de réacheminement rapide (FRR) et la convergence rapide (FC) diminuent le temps de reconfiguration du réseau en cas de panne d'un nœud ou d'une liaison pour permettre un rétablissement rapide dans l'éventualité d'une défaillance.

Le flux de transport peut également utiliser les caractéristiques de n'importe quel réseau IP pour optimiser la liaison et l'usage de la bande. L'une de ces caractéristiques est la capacité d'un réseau IP à envoyer le même contenu à plusieurs nœuds dans des conditions optimales, par le biais de la multidiffusion IP, à l'instar d'un réseau de radiodiffusion. Cette caractéristique a un grand nombre d'applications et a fait ses preuves depuis longtemps dans le monde de la finance, dans lequel des signaux de données en temps réel extrêmement sensibles au temps de propagation passent par la multidiffusion IP. Elle permet également d'intégrer l'équipement de suivi et de supervision dans n'importe lequel des groupes de multidiffusion et d'offrir une analyse en ligne des flux, tant au niveau IP qu'au niveau du flux de transport. Ces dispositifs peuvent être répartis sur l'ensemble du réseau pour constituer des points de mesure multiples permettant une analyse approfondie de la performance du service.

Le Bureau vidéo central (VHO) peut servir de système de secours ou de point d'insertion régional de contenu, mais peut aussi être utilisé pour fournir des flux venant alimenter le réseau de transport. Cette mise à disposition est rendue possible grâce à un mécanisme de multidiffusion novateur baptisé IP Anycast, qui permet au décodeur de considérer des sources multiples comme une source unique en utilisant le réseau pour

déterminer le degré de priorité des sources et permettre la tolérance aux pannes des sources sans exiger de reconfiguration.

Distribution primaire et secondaire sur IP

La largeur de bande des services collectifs ou individuels assurant la distribution primaire entre un studio ou un centre de lecture et les noyaux de distribution secondaire est en général limitée par la disponibilité et le coût de la bande large qu'exigent des circuits tels que le DS-3 (45 Mbit/s) ou le STM-1 (155 Mbit/s), ce qui a entravé la diffusion de services exigeant des débits binaires supérieurs en direction de noyaux susceptibles de bénéficier de sources moins compressées.

La souplesse de l'IP et de l'Ethernet élimine ces barrières et permet de diffuser des services exigeant un niveau de compression inférieur et/ou assortis de services supplémentaires, ce qui signifie que la transmission sur une infrastructure IP est désormais possible :

- en direction de stations terrestres pour des services satellite (DVB-S/S2) ;
- en direction de têtes de réseaux IPTV (DVB-IPI) ou câble (DVB-C) ;
- en direction de stations émettrices de radiodiffusion terrestre (DVB-T) ou portative (DVB-H).

Nous allons maintenant nous pencher sur deux exemples: tout d'abord la distribution par le câble, et ensuite la distribution IP par le biais de la norme IPI du DVB.

Distribution par le câble

La distribution par le câble suit en général le même schéma que la distribution primaire et secondaire, la grande exception étant l'utilisation d'un câble coaxial sur le dernier kilomètre. Différents réseaux dans le monde entier ont déjà commencé à utiliser à grande échelle l'IP comme mode de transport pour la distribution secondaire dans le cadre de systèmes tels que le DVB-C. Les flux de transport multiples (MPTS) se présentent comme des groupes de multidiffusion à la périphérie du réseau d'agrégation, où les

QAM périphériques reçoivent les services IP et les modulent sur des porteuses RF pour les transmettre à des décodeurs pour le câble.

La modulation sur des porteuses RF peut intervenir de deux façons différentes: en transposant une voie de radiodiffusion numérique au décodeur ou en faisant appel à un modem pour câble intégré dans le décodeur afin de l'acheminer directement sur IP. Dans le second cas, étant donné qu'il s'agit d'un système IP authentique, la distribution pourrait passer par le DVB IPI précédemment décrit sans exiger aucune modification.

Aujourd'hui, presque aucun décodeur n'est équipé d'un modem interne pour câble, le flux IP se terminant donc dans le hub le plus proche du décodeur où, même s'ils en étaient équipés, l'infrastructure des données est souvent distincte de l'infrastructure vidéo. Cette séparation est en train d'évoluer, les modems de données pour le câble devenant plus abordables, tout comme l'infrastructure de données. Un stade intermédiaire est en train d'apparaître, dans lequel la majeure partie des voies de radiodiffusion restent identiques, certaines des voies les moins utilisées étant toutefois transmises par l'IP, sous le nom de « vidéo numérique commutée » (SDV). Le consommateur voit peu de différence entre une voie vidéo numérique commutée et une voie numérique par câble standard, car ce sont les serveurs et les QAM du noyau et/ou des têtes de réseaux régionales qui font tout le travail. Les serveurs SDV répondent aux demandes de modification de la voie émanant des décodeurs des abonnés, chargent les dispositifs QAM de se mettre en contact avec les groupes de multidiffusion IP requis pour accéder au contenu et transmettent des informations de syntonisation au décodeur pour satisfaire la demande. La voie de contrôle pour les demandes SDV émanant du décodeur passe par DOCSIS (DSG), ou par la liaison DAVIC/MDPQ. Dans certaines configurations, le cryptage de la SDV peut aussi avoir lieu dans un crypteur en masse situé dans le noyau, ce qui minimise le traitement de la clé de cryptage de la QAM périphérique et accélère donc le processus de changement de voie.

Distribution IP par l'intermédiaire du DVB IPI

Le Comité technique ad hoc (TM-IPI) du DVB, qui se consacre depuis 2000 à la distribution IP en direction du décodeur, a été chargé de fournir une norme pour l'interface IP connectée au décodeur. Par opposition à d'autres organismes de normalisation et méthodes de radiodiffusion traditionnelles, ce système part du décodeur pour aller vers l'extérieur.

Depuis le début du TM-IPI, un grand nombre de groupes du monde entier ont découvert l'IP et décidé de la normaliser (*voir figure 2*). Les organismes de normalisation actuels sont :

- la **DLNA** (*Digital Living Network Alliance*) pour le réseau domestique – voir aussi « *Le réseau domestique et la vidéo IP* » ;
- la **HGI** (*Home Gateway Initiative*) pour les normes entourant la passerelle résidentielle entre la connexion en large bande et le réseau domestique ;
- l'**ISMA** (*Internet Streaming Media Alliance*) pour la transmission de vidéo AVC sur IP ;
- le **forum DSL** pour les normes entourant le DSL et la gestion à distance des dispositifs domestiques, notamment

les décodeurs et les passerelles résidentielles ;

- **PUIT** qui, par l'intermédiaire du Groupe spécialisé sur l'IPTV, normalise l'architecture du réseau de distribution et du réseau d'accès ;
- **PETSI** qui, par le biais de l'initiative NGN, normalise le réseau IP acheminant l'IPTV ;
- **LATIS** qui, par le truchement du Forum ATIS sur l'interopérabilité de l'IPTV (ATIS-IIF), normalise l'architecture IPTV de bout en bout, y compris la contribution et la distribution.

Quoiqu'il en soit, la norme DVB-IPI exige le respect de certains critères concernant le système de bout en bout (*voir figure 3*), notamment :

- la transmission d'un flux de transport MPEG-2 sur RTP/UDP ou directement sur UDP. La méthode UDP directe a été inaugurée dans la version 1.3.1 du manuel. Les versions précédentes n'utilisaient que le RTP et l'utilisation de la AL-FEC exige le recours au RTP ;
- la découverte et la sélection du service en utilisant soit l'information de système DVB existante, soit une méthode tout-IP telle que le Guide du contenu large bande ;

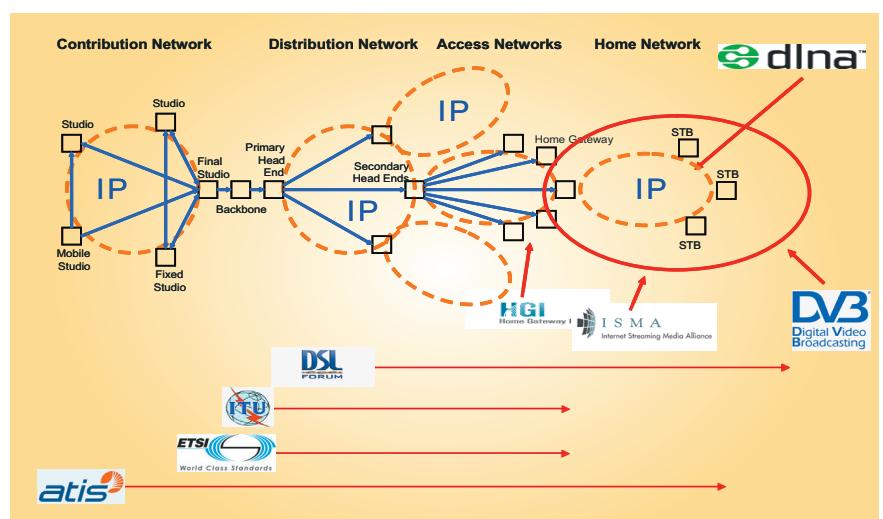


Figure 2 – Les activités IPTV de quelques organes de normalisation

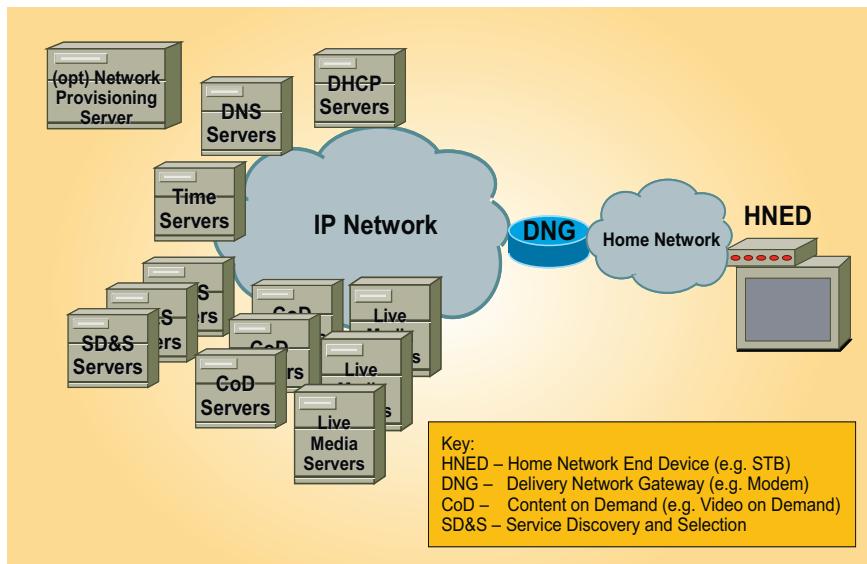


Figure 3 – Architecture DVB-IP, version 1-3

- la commande du contenu à la demande par le biais du protocole RTSP ;
- Le recours au DHCP pour communiquer certains paramètres, tels que le temps réseau, les serveurs DNS, etc. au décodeur.

Dans l'IPI, il est normal d'utiliser des flux de transport de programme unique (SPTS), le contenu étant normalement codé individuellement et non multiplexé sous forme de MPTS comme cela serait le cas pour d'autres réseaux de distribution. Ce système offre la souplesse supplémentaire d'envoyer à l'utilisateur final uniquement le canal spécifiquement requis, ce qui est important lorsque le réseau d'accès est un réseau DSL à 4 Mbit/s, l'usage de la largeur de bande en étant diminué.

IPTV et convergence TV internet

Les deux univers, décodeurs gérés et TV sur internet non gérée, sont en train de converger par le biais de sites tels que YouTube ou MySpace, qui présentent du contenu généré par l'utilisateur et des extraits de programmation TV existante. La TV sur Internet prouve ce qu'il est possible de faire grâce à un réseau non géré s'étalant sur un éventail de réseaux différents, dont le réseau domestique.

Nous parlerons ici de ce à quoi ressemblera le réseau domestique, comparerons l'IPTV à la TV sur Internet et montrerons comment un radiodiffuseur peut mettre du contenu sur Internet par le biais d'une interconnexion Internet.

Le réseau domestique et la vidéo IP

L'amélioration de la technologie des réseaux sans fils, l'augmentation de la taille des disques durs et le nombre croissant d'écrans plats dans les foyers européens rend le réseau domestique inévitable dans un avenir proche. Malheureusement, le réseau domestique reste encore davantage musqué d'avenir que réalité pour la transmission de la TV radiodiffusée de haute qualité, principalement en raison du retard pris par les normes et l'interopérabilité.

Le forum DVB vient tout juste de publier un modèle de référence du réseau domestique constituant la première partie de spécifications complètes devant être terminées pour 2008. Le réseau domestique est composé de plusieurs dispositifs (*voir figure 4*).

- Dispositif de passerelle large bande** (BGD) – passerelle résidentielle ou modem connecté au prestataire de service IP, en général par l'intermédiaire du câble ou du DSL.

- Dispositif de passerelle unidirectionnel** (UGD) – dispositif unidirectionnel convertissant la TV radiodiffusée en un flux passant sur le réseau domestique. Il peut s'agir par exemple d'un syntoniseur DVB-T convertissant le flux en IP et l'envoyant sans fil sur le réseau domestique.

- Dispositif final du réseau domestique** (HNED) – dispositif d'affichage, de commande et/ou de mise en mémoire des flux reçus par le BGD ou l'UGD.

- Nœud de réseau domestique** (HNN) – dispositif, par exemple un commutateur ou un point d'accès sans fil, reliant les différents éléments du réseau domestique.

Le modèle de référence du réseau domestique, disponible sous la forme d'un livre bleu distinct du DVB, s'inspire des travaux entrepris par la DLNA (*Digital Living Network Alliance*). La DLNA dispose déjà de dispositifs diffusant en continu de la vidéo sur le réseau domestique, mais à partir de sources situées sur le réseau. Le réseau domestique DVB est le premier à intégrer tant la programmation de la TV radiodiffusée que les images générées sur le réseau domestique.

Comparaison entre la vidéo sur internet et l'IPTV

Bien que les services vidéo IPTV et les services basés sur internet partagent le même protocole sous-jacent (IP), ne vous leurrez pas : la distribution et la gestion de ces services sont extrêmement différentes.

Dans un environnement IPTV, le prestataire de service commande intégralement les composantes utilisées pour acheminer le service au consommateur et est notamment en mesure de déterminer le degré de qualité et de fiabilité du réseau; le débit binaire et le codec utilisés par le codeur pour obtenir le meilleur résultat avec le nombre limité de décodeurs gérés individuellement; de simplifier et de mettre à l'essai la fiabilité et la qualité des composantes du réseau domestique et de prévenir le gaspillage

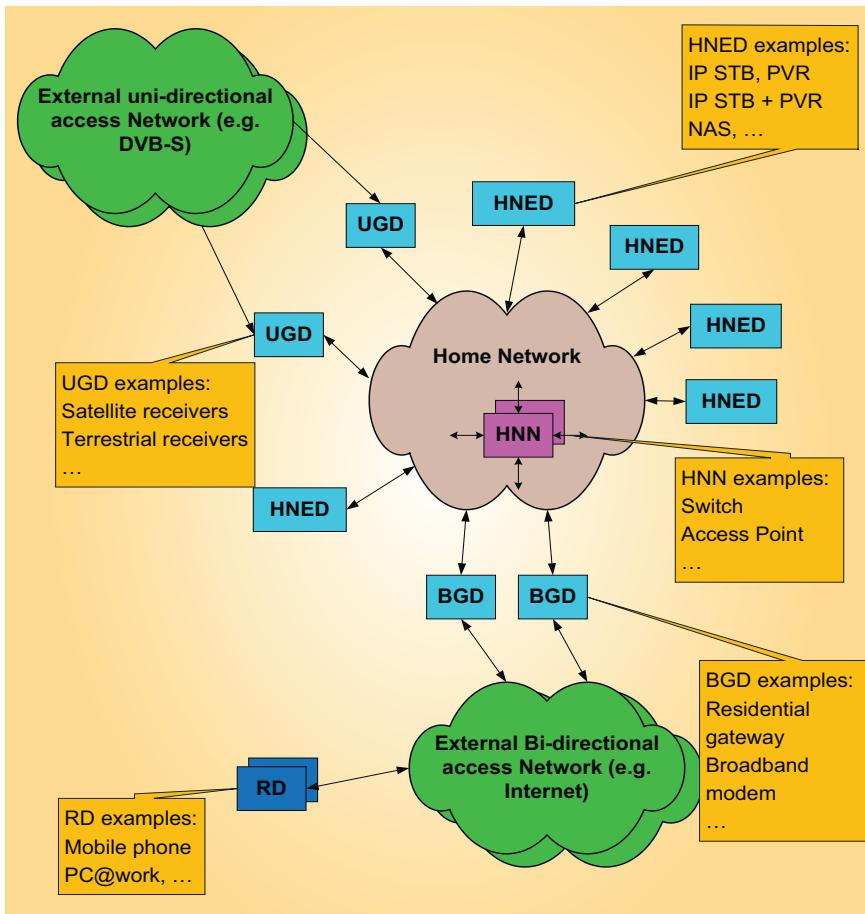


Figure 4 – Architecture du réseau résidentiel de référence DVB-IPI

inutile de largeur de bande, par exemple en autorisant la multidistribution IP de bout en bout.

Les services vidéo sur internet n'offrent pas la commande du modèle de transmission. Par exemple, le déploiement de la multidiffusion IP, encore très limité sur Internet, est principalement circonscrit à la recherche et aux réseaux académiques, ce qui signifie que les services de contenu diffusés en continu sur Internet utilisent soit des flux simples basés sur la monodiffusion entre une source donnée et sa destination, soit un modèle de pair à pair envoyant et recevant des données émanant simultanément de sources multiples.

L'une des autres grandes différences concerne la commande de la largeur de bande nécessaire pour acheminer le service. Un prestataire de service commande le débit binaire et administre la qualité de service requise pour acheminer le service,

ce qui lui permet de commander le stockage temporaire des données dans un décodeur pour garantir que ne se produise ni débordement, ni désamorçage des codeurs audio et vidéo, ce qui provoquerait de artefacts chez l'utilisateur final. La vidéo sur internet ne peut pas commander le débit binaire et doit donc compenser en prévoyant des stockages temporaires plus importants dans le récepteur ou en tentant de demander des données aux serveurs ou aux nœuds les moins congestionnés et les plus proches, dans le but de diminuer la latence et la perte de paquets. Dans le modèle pair à pair, l'absence de largeur de bande disponible venant des différents nœuds, en raison de la largeur de bande limitée dans le sens montant vers Internet, met en évidence la nécessité de disposer de « super noeuds » plus grands et plus distants pour la compenser, ce qui fait augmenter le risque général de perte de paquets et, par conséquent, d'apparition d'artefacts vidéo.

Les dispositifs de décodage de l'environnement non contrôlé de la TV par Internet limitent aussi l'efficacité du codage. L'extrême variété du matériel et des logiciels utilisés pour recevoir les services vidéo sur Internet a tendance à limiter leurs caractéristiques communes. Le codec H.264, extrêmement efficace, mais qui exige un certain type de matériel et/ou de ressources logicielles pour le décodage, ne se rencontre pas fréquemment dans l'environnement déployé aujourd'hui. MPEG-2 Video et Adobe Flash, qui ont tendance à être les lecteurs vidéo les plus utilisés, ne peuvent ni l'un ni l'autre offrir la même qualité d'image que le H.264 à des débits binaires équivalents.

Difficultés d'intégration avec les services vidéo sur internet

Les services vidéo sur internet se développent très rapidement. La diversité du contenu offert, la facilité d'insertion de nouveau contenu et la rapidité avec laquelle de nouveaux services peuvent être intégrés constituent un vrai défi pour les services IPTV gérés, ce qui incite les fournisseurs de ce type de services à essayer de combiner les deux types de services IP sur le même décodeur.

La combinaison la plus naturelle est le modèle « hybride », regroupant les deux types de services, probablement en intégrant le client pair-à-pair dans le décodeur du prestataire de service. La collaboration entre les deux services serait ainsi possible et bénéficierait aux utilisateurs en leur permettant de visionner le contenu vidéo internet sur une TV au lieu d'un écran d'ordinateur. Le prestataire de service s'assurerait alors que les flux vidéo sur internet bénéficient de la largeur de bande requise sur le réseau, peut-être même en hébergeant des nœuds ou en mettant du contenu en antémémoire sur son propre réseau pour améliorer la transmission. Le contenu TV internet peut même être transcodé pour offrir un service de qualité supérieure se différenciant de la version Internet.

Ce modèle « hybride » offre une collaboration entre les services, mais pourrait néanmoins être soumis à des limites. Le décodeur pourrait peut-être recevoir les services TV

Internet, mais la quantité de mémoire et de traitement supplémentaires, ainsi que la complexité accrue des logiciels pourraient rendre les choses trop difficiles pour les décodeurs tels qu'ils sont actuellement conçus, ce qui ferait augmenter leur coût unitaire et aurait donc des retombées sur le modèle commercial, la concurrence entre ces services étant quant à elle susceptible d'évincer certains acteurs de ce marché en raison d'accords d'exclusivité.

Comment un radiodiffuseur peut-il injecter du contenu dans un service vidéo sur internet?

Revenons tout d'abord un peu en arrière dans l'histoire d'internet : aujourd'hui, internet est connu dans le monde entier pour son pouvoir « magique » d'envoyer des courriers électroniques, des images et autres données critiques n'importe où dans le monde. Il ne s'agit bien sûr pas du tout de magie, mais de la géniale constitution d'un réseau de différents réseaux qui a permis à internet de s'étendre progressivement au monde entier et de continuer à se développer. Ce réseau de réseaux est en fait constitué d'un treillis de réseaux indépendants sur le plan administratif, connectés directement ou indirectement sur un réseau à commutation par paquets basé sur un protocole (IP) inventé à cet effet.

Le modèle internet de réseau de réseaux permettant à tout un chacun de se connecter à tout le monde individuellement était idéal jusqu'à ce que les coûts et la taille de la large bande ne s'élèvent exagérément et que la gestion des liaisons individuelles ne devienne trop difficile. C'est ce qui a amorcé le mouvement vers les points d'interconnexion internet (IXP), qui limitent les connexions et le trafic sur des points multiples et permettent au prestataire de service de proposer la connexion à un point central plutôt que des connexions individuelles entre les participants. L'un des premiers de ces points a été créé à MAE-East au Tyson's Corner en Virginie, aux États-Unis, mais il en existe aujourd'hui dans toute l'Europe, notamment LINX à Londres, AMS-IX à

Amsterdam et DE-CIX à Francfort, qui sont les points les plus grands et les mieux établis.

Le point d'interconnexion internet, en entrant directement en interconnexion avec d'autres réseaux, a pour effet que les données échangées entre ces réseaux n'ont pas besoin de transiter par leur prestataire de service en amont. Selon le volume et la destination, la latence et la gigue entre deux extrémités en sont réduites, ce qui abaisse les coûts du trafic de transit et permet de préserver le caractère aussi local que possible du trafic. Ce système crée aussi un lien administratif et de soutien mutuel direct entre les parties, qui peuvent mieux contrôler le trafic échangé.

Les points d'interconnexion, qui sont au cœur du trafic échangé, peuvent permettre la transmission directe d'autres services par le point d'interconnexion ou de connexions locales privées entre les réseaux. Aujourd'hui, c'est ainsi que sont échangés de nombreux services de données voix sur IP et de services de données privés basés sur IP.

Les points d'interconnexion sont donc le lieu idéal pour permettre aux radiodiffuseurs de créer un lien avec les prestataires de service dans le but d'acheminer des services radiodiffusés linéaires ou non à leur utilisateur final. Le fait que le point d'interconnexion soit indépendant du prestataire de service permet aussi de l'utiliser pour l'agrégation

de contenu, ainsi que la conception et la transmission de services en gros ou de services à marque blanche. La BBC par exemple, en collaboration avec ITV, est en train de transmettre une chaîne de TV radiodiffusée destinée aux principaux prestataires de service du Royaume-Uni. Elle offre également le même service pour la radio, en collaboration avec Virgin Radio, EMAP et GCA. Ce service existe depuis quelques années et a été sélectionné pour une récompense à l'IBC 2007 dans la catégorie « Application novatrice d'une technologie de transmission de contenu ».

Qualité de l'expérience

La qualité de l'expérience, telle qu'elle est définie dans la norme ETSI TISPAN TR 102 479, est constituée par l'expérience du produit offert par un service de communication ou par l'interface utilisateur d'une application telle qu'elle est perçue par l'utilisateur. Ce critère est hautement subjectif et tient compte d'un grand nombre de facteurs différents en plus de la qualité du service, par exemple le prix du service, l'environnement de consommation, le degré de stress, etc. Sur un réseau IP, la diversité et la multiplicité du réseau rendent ce critère plus délicat et par conséquent plus important pour la réussite du service que sur d'autres modes de transport (*voir figure 5*).

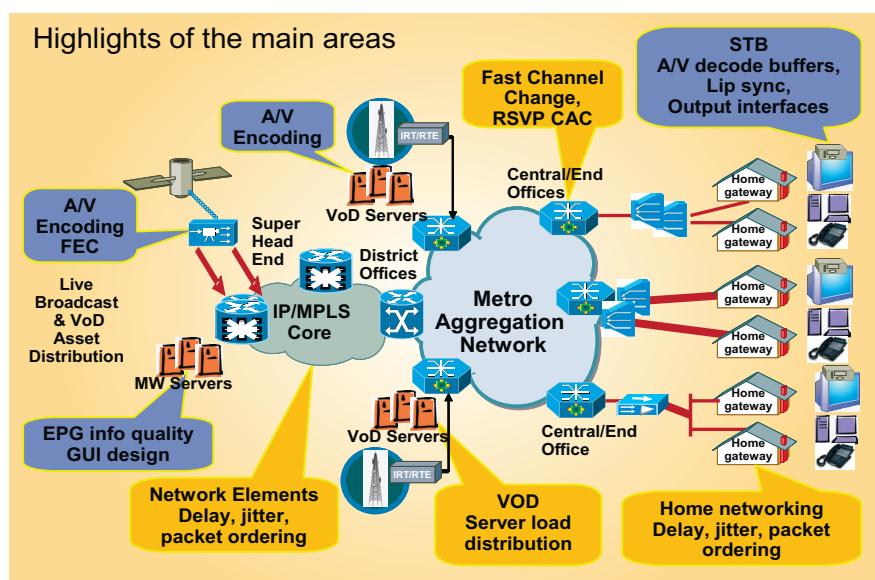


Figure 5 – Qualité de l'expérience IPTV du modèle complet



Thomas Kernen est ingénieur au sein de l'équipe de consultance pour l'Europe de Cisco Systems. Son domaine d'expertise est la vidéo sur IP, qu'il traite avec les radiodiffuseurs, les opérateurs télécom et les prestataires de services IPTV pour concevoir des architectures et des solutions de transmission vidéo. Il a travaillé auparavant durant 10 ans chez des opérateurs télécom, notamment trois ans auprès d'un opérateur triple play FTTH pour lequel il avait développé l'architecture IPTV.

Thomas Kernen est membre de l'IEEE, de la SMPTE et du groupe AVC du Forum DVB.

Jeff Goldberg est chef de projet technique chez Cisco, entreprise où il a été recruté en 1994. Depuis 1999, il travaille sur divers projets IPTV, notamment la conception de décodeurs IP et de réseaux domestiques. Membre fondateur du groupe DVB-IPI, il se consacre notamment aux réseaux résidentiels, à la fiabilité, à la qualité du service et aux composantes de gestion à distance. Avant Cisco, il concevait des dispositifs de poche et des logiciels informatiques.



Critères subjectifs et objectifs

Les systèmes de mesure subjectifs, tels que UIT-R BT.500-11, offrent un modèle d'évaluation de la qualité de l'image par un groupe de téléspectateurs profanes chargé de comparer des séquences vidéo et de les évaluer sur une échelle donnée. La préparation et la réalisation de ce test exigent des ressources considérables. Il est généralement utilisé pour comparer des codecs vidéo, des débits binaires, des résolutions et autres paramètres de codage.

Un opérateur de réseau IP ne peut pas demander à un groupe de regarder des images pour en évaluer la qualité, notamment en raison du nombre de chaînes diffusées. Il teste donc la qualité par le biais de systèmes de mesure automatisés assurant le suivi et la notification en temps réel au sein du réseau et de l'infrastructure des services. Ces modes d'évaluation passent en général par une contribution humaine subjective, destinée à corrélérer des données de base avec lesquelles les modes d'évaluation objectifs peuvent être mis en correspondance. Un opérateur place généralement à des points critiques du réseau des sondes renvoyant au système de gestion du réseau (NMS) un ensemble de critères de mesure déclenchant des alarmes sur la base de seuils prédéfinis.

Comparés à un environnement de radiodiffusion traditionnel, les services vidéo transportés sur une infrastructure IP exigent un suivi plus poussé. Les deux catégories principales de critères sont les suivantes :

- **Réseau de transport IP**

Lors du transport des services, les paquets IP traverseront des nœuds multiples du ou des réseaux, avec le retard de transmission, la gigue, la modification de l'ordre et la perte des paquets que cela peut entraîner.

- **Flux de transport vidéo (MPEG-2 TS)**

Les solutions traditionnelles de suivi du TS doivent aussi être utilisées pour s'assurer que les paquets du TS soient exempts d'erreurs.

Ces deux catégories relèvent aussi de départements différents : le suivi du transport IP relève du Centre des opérations de réseau et le suivi du flux de transport vidéo du centre de distribution TV. Une bonne communication et une détection des pannes de qualité dans les différents départements constituent parfois l'une des clés d'une bonne qualité sur IP.

Enfin, même si ceci dépasse la simple gestion basée sur un réseau, des critères de mesure

supplémentaires, notamment les suivants, doivent être pris en considération dans un système complet :

- **Transaction** – Interface utilisateur graphique et temps de réponse pour le changement de voie, fiabilité du service
- **Charge utile (compression A/V)** – Respect des normes de compression, artefacts de codage
- **Affichage (décodage A/V)** – Conversion de l'espace chromatique, déblocage, désentrelacement, facteur d'échelle.

Méthodes de mesure

La principale méthode de mesure pour le réseau de transport IP est l'indice de transmission du média (MDI), tel que défini dans le document IETF RFC 4445. Le MDI est divisé en deux volets : le facteur de retard (DF) et le taux de perte du média (MLR), tous deux mesurés sur un échantillon temporel d'une seconde. La notation utilisée pour l'indice est DF:MLR.

Le facteur de retard détermine la gigue introduite par la durée entre l'arrivée

des paquets. Ce facteur ne doit pas être considéré comme une valeur absolue, mais relative à une mesure prise sur un point donné du réseau. Les codeurs, multiplexeurs, désembrouilleurs, nœuds du réseau ou autres dispositifs peuvent créer de la gigue à différents points. Il est important de connaître la valeur du facteur de retard prévu, qui peut être calculée au moyen d'une mesure de base prise dans des conditions idéales de fonctionnement. La valeur peut changer en fonction du type de flux: les flux à débit constant (CBR) devraient avoir une durée fixe entre l'arrivée des paquets, alors que la valeur des flux à débit variable (VBR) l'est aussi. Une fois une valeur de base déterminée, il faut fixer une valeur de déclenchement généralement nettement supérieure comme seuil d'alarme.

Le taux de pertes du média donne le nombre de paquets du TS perdus pendant la durée de l'échantillon et est calculé grâce au suivi des compteurs de continuité du TS.

Si le flux contient un en-tête RTP, il est possible d'utiliser le numéro de la séquence pour identifier les paquets décalés ou manquants sans qu'il soit nécessaire d'examiner la charge utile du paquet IP, ce qui réduit les exigences de calcul et accélère le processus de suivi. Il est donc normal de répartir des sondes MDI sur tout le trajet de retransmission IP pour permettre un suivi

des rebonds, qui permet de mieux mettre en évidence les problèmes suscités par un élément particulier du réseau.

Pour compléter les critères de mesure des paquets IP, il est fait appel à la norme DVB-M ETSI TR 101 290 (ETR 290) pour examiner le flux de transport en tant que tel. Elle fonctionne de la même façon que sur une infrastructure traditionnelle basée sur l'ASI.

L'association de l'indice et de l'ETR 290 offre une méthode de détection des problèmes liés au transport adaptable et rationnelle sur le plan financier. Les alarmes déclenchées au niveau de l'IP et du TS permettent de regrouper ces problèmes et de les corrélérer avec le système de gestion du réseau afin d'obtenir un outil de détection précis interceptant les différents événements avant leur point d'insertion dans l'infrastructure du réseau.

donc naturel, étant donné la difficulté que représente la transmission des images sur DSL, que le groupe IPI ad hoc se penche sur la question. Il a consacré beaucoup de temps à examiner tous les aspects de la protection des erreurs, y compris des simulations détaillées de différents schémas de correction d'erreur directe (FEC) et de critères de qualité d'expérience.

Ces travaux ont débouché sur un protocole par couches facultatif utilisant une combinaison de deux FEC : une couche de base et une ou plusieurs couches d'amélioration facultatives. La couche de base est constituée d'un simple code de parité XOR entrelacé basé sur les paquets s'inspirant du Pro-MPEG COP3 (également connu sous le nom de norme SMPTE 2022-1 par l'intermédiaire du Video Services Forum, voir <http://www.videoservicesforum.org/activities.shtml>) et la couche d'amélioration utilise le code FEC Raptor de Digital Fountain (<http://www.digitalfountain.com>), ce qui permet la prise en charge simultanée et combinée des deux codes FEC sur le récepteur pour obtenir une performance de correction des erreurs supérieure à celle offerte par un seul.

La FEC a souvent donné de bons résultats, mais une autre technique, baptisée *retransmission RTP*, peut aussi être

Amélioration de la QoE grâce à la FEC et à la retransmission

Le DVB jouit d'une expérience considérable en matière de correction des erreurs et de schémas de masquage pour différents environnements. Il était

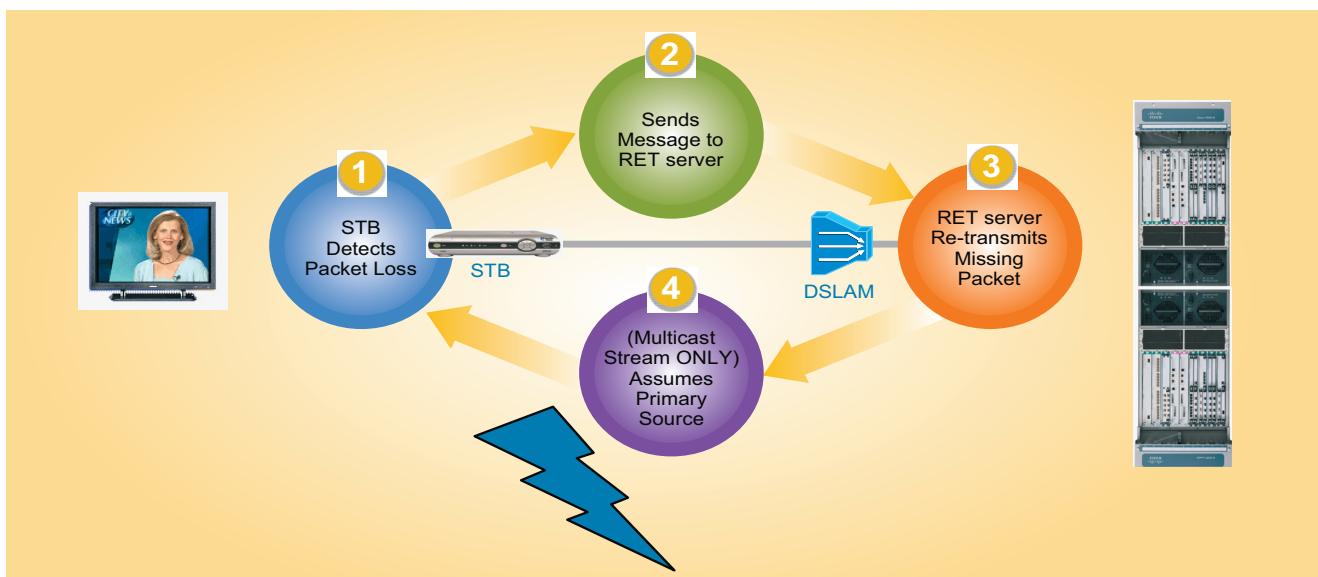


Figure 6 – Qualité de l'expérience IPTV du modèle complet

utilisée sur IP pour réparer les erreurs. Elle fonctionne par l'intermédiaire du compteur de séquences se trouvant dans tous les en-têtes RTP ajoutés à chaque paquet IP du flux vidéo. Le décodeur compte les séquences et s'il constate qu'il en manque une ou plusieurs, il envoie un message au serveur de retransmission, qui répond en envoyant les paquets manquants. S'il s'agit de la retransmission d'un flux de multidiffusion, le serveur de retransmission doit mettre le flux quelques secondes en antémémoire pour transmettre les paquets manquants (*voir figure 6*).

Réservation de largeur de bande par session

L'un des avantages de l'IP vient de la capacité d'offrir du contenu à la demande, par exemple la vidéo à la demande (VoD). Cette possibilité est en train de modifier le comportement des consommateurs, qui délaisseront les programmes linéaires qu'ils étaient habitués à regarder pour se tourner désormais vers la consommation de contenu non programmé, ce qui a des retombées sur le trafic du réseau. L'infrastructure IP subit elle aussi les conséquences de cette évolution, le nombre de flux simultanés sur l'infrastructure IPTV gérée pouvant varier de quelques milliers à des centaines de milliers. La largeur de bande et la durée de vie de ces flux sont différentes, pour toute l'infrastructure du réseau jusqu'au

décodeur, en fonction de la nature du contenu transporté entre les « streamers » de sources exécutant la session.

Le plus important est d'éviter la perte de paquets en raison d'une congestion, ce qui est possible si ces sessions sont signalées au réseau, qui veillera à ce qu'une largeur de bande suffisante soit disponible lors de la création d'un nouveau flux. Si la largeur de bande est insuffisante, le réseau doit éviter la création de nouveaux flux, au risque de détériorer l'expérience de tous les utilisateurs connectés sur cette liaison (*figure 7*).

Le RSVP CAC (basé sur la norme RFC2205, mise à jour par les normes RFC2750, RFC3936 et RFC4495) permet la réservation de largeur de bande par session sur la liaison de données transmettant une session donnée. Les étapes 1 & 2 de la *figure 7* illustrent le démarrage de la session de vidéo à la demande entre le décodeur et l'intergiciel. Les paramètres d'autorisation seront vérifiés, sur la base d'un ensemble de critères tels que le crédit, la notation du contenu, la géographie et les dates de sortie, pour s'assurer que le consommateur est autorisé à visionner le contenu. Une fois ces opérations autorisées par l'intergiciel et le système de facturation, l'intergiciel ou le gestionnaire du système de vidéo à la demande identifie le serveur de diffusion en continu de VoD pour la session. A la 3^e étape, le serveur lance une demande de liaison de réservation RSVP entre les deux extrémités de l'infrastructure de réseau compatible RSVP. Enfin, à la 4^e étape, si la largeur de bande est disponible,

la session pourra commencer, sinon une réponse négative sera envoyée à l'intergiciel afin de fournir une réponse adaptée au client.

Conclusions

L'acheminement sur IP d'images de qualité radiodiffusion est désormais possible et est utilisé par un grand nombre de radiodiffuseurs du monde entier. La nature de l'IP en tant que mécanisme de transport non déterministe et exempt de connexion oblige à une planification, une conception de l'architecture et une gestion du réseau particulières, rendues possibles grâce à l'application de principes bien connus de l'ingénierie IP. Lorsque le réseau IP est le réseau internet dans son ensemble, le manque de contrôle rend difficile de garantir une qualité égale à celle de la radiodiffusion, tandis que sur un réseau IP géré, il est possible d'utiliser les techniques relatives à la qualité de service, au suivi et à la redondance pour garantir une qualité et une fiabilité égales à celles de la radiodiffusion.

Les techniques de suivi de la vidéo sont similaires à celles utilisées pour n'importe quel flux de transport MPEG-2. Il faut toutefois qu'elles soient reliées à la couche IP, par exemple grâce au MDI, la résolution du problème exigeant fréquemment tant un diagnostic de réseau qu'un diagnostic vidéo.

©UER Publié en anglais en octobre 2007

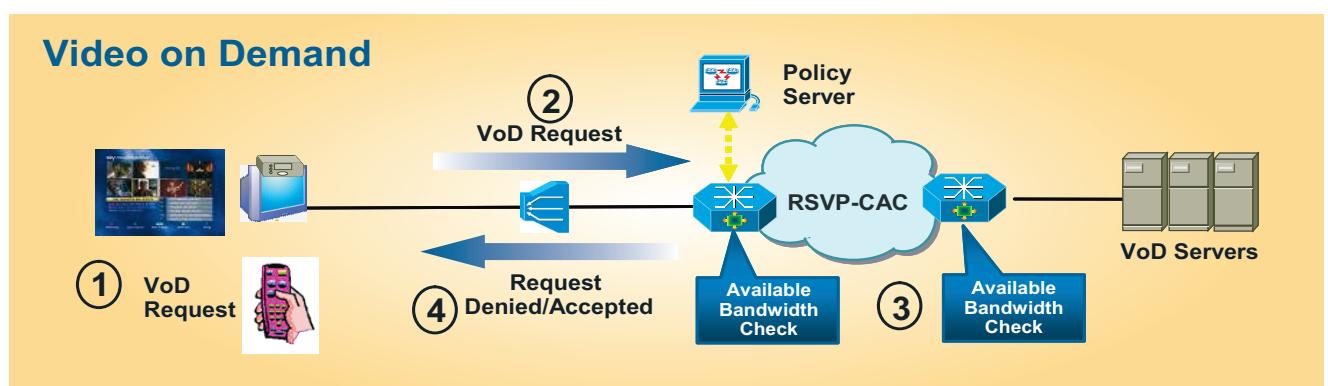


Figure 7 – Contrôle d'admission de la connexion

La revue technique de l'UER est publiée en ligne quatre fois par an en anglais
www.ebu.ch/en/technical/trev/trev_home.html

E BU Technical Review - Internet Explorer fourni par Dell

http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev_home.html

E BU Technical Review


Latest Edition

[Archive / Thematic Index](#)

[Abbreviations \(Jan 2007\)](#)

[Bookshelf](#)

[Seminars](#)

[Get Acrobat Reader](#)

[E BU Technical Home Page](#)

[E BU Technical Publications](#)

[E BU Home Page](#)

[Contact us](#)

EBU Technical Review

Contents

No. 312 (October 2007)

EBU Technical Review has a secure mailing list which is used to notify list members when a new edition has been published:
[SUBSCRIBE](#) // [UNSUBSCRIBE](#)

Hot Topics

Broadband TV	Broadcasting to Handhelds	Digital Compression	HDTV in Europe
Multichannel Audio	Webcasting		

[Download all the PDFs from this edition in a single file \(2.2 MB\)](#)
(all the articles can then be printed in one step)

Editorial

[Technological neutrality and service neutrality](#)
Philip Laven

Content Protection

HDMI & HDCP — the manufacturers' perspective

Dietrich Westerkamp  (202 kB)

HDTV signals offer great opportunities to broadcasters, but there is also the negative side – a high risk of piracy. In order to protect prime content against illegitimate use, content-protection mechanisms can be used.

For the digital HDMI interface between an HDTV set-top box and an "HD ready" display device, HDCP technology is chosen. This is a tool that can be used at the discretion of the broadcaster who can activate it by means of a switching signal. In the case of a piracy attack, the technology offers a revocation mechanism whereby a list of revoked devices is transmitted in a safe way to the receiver, where it is stored.

Terminé

Internet | Mode protégé : activé

100%