

L'état de l'art en matière de compression des séquences de télévision numérique et ses conséquences

Rapport présenté par

Jean-Pierre DARDAYROL, ingénieur général

Didier LAVAL, contrôleur général économique et financier

Frédéric PLATET, ingénieur général

Jean-Gabriel REMY, ingénieur général

RAPPORT N° II-A.1 - 2006 – Février 2006

Ce document contient des informations couvertes par le secret des affaires
Il est strictement destiné à la lecture du commanditaire et ne peut être communiqué
que sur accord du CGTI

SOMMAIRE

1 - Introduction.....	1
2 - Synthèse de la problématique	3
2.1 - La mise au point et la production en très grande série de décodeurs	3
2.2 - La performance des encodeurs et son évolution	4
2.3 - Le multiplexage statistique	5
2.4 - Le codage du son.....	6
3 - Conclusions opérationnelles.....	7
3.1 - Le cas de trois multiplexes disponibles.....	10
3.2 - L'optimisation de la ressource	11

L'état de l'art en matière de compression des séquences de télévision numérique et ses conséquences

1 - INTRODUCTION

Ce rapport vise à répondre aux interrogations du Ministre de l'Industrie figurant en annexe 7. Il fait suite au rapport n° II-B.2 – 2004 rédigé par le CGTI le 24 septembre 2004.

Son objet est d'actualiser les dates de disponibilité des équipements industrialisés conformes aux standards de compression MPEG4, ainsi que de rechercher les moyens techniques de développer l'accès des téléspectateurs à la télévision numérique sur l'ensemble du territoire, et notamment dans les zones frontalières.

Afin d'obtenir des informations qui ne soient pas contestables, le CGTI a procédé en deux temps :

- une consultation des experts du HD Forum, qui sont les auteurs d'une monographie sur ce sujet, éditée par la SEE (Société de l'Electricité, de l'Electronique et des Technologies de l'Information et de la Communication) ;
- l'interrogation aussi exhaustive que possible des responsables des entreprises audiovisuelles ayant à connaître de ce sujet. La lettre qui leur a été envoyée figure en annexe 9, la liste des entreprises consultées en annexe 10, la liste des entreprises ayant répondu en annexe 11. On regrettera l'absence de réponses de la part des acteurs du câble et de l'ADSL.

Le HD Forum a fourni dès la fin décembre 2005 la note technique figurant en annexe 8. Les réponses écrites des responsables des organismes audiovisuels sont venues compléter, préciser et nuancer ce constat en fonction du vécu opérationnel observé.

Par ailleurs, plusieurs entretiens complémentaires ont été conduits avec les acteurs du secteur de l'audiovisuel.

De plus, la Direction Technique du CSA a organisé le 27 janvier 2006 une réunion générale en ses locaux, qui a permis de rencontrer en une seule occasion la plupart des représentants des éditeurs, des diffuseurs, et de certains industriels.

*
* *

Après une brève synthèse de la problématique, un point est fait successivement sur :

- les décodeurs ;
- les encodeurs ;
- le multiplexage statistique ;
- le codage du son ;

pour terminer sur la formulation de conclusions opérationnelles sur :

- la capacité d'un multiplex de la TNT ;
- la capacité offerte par trois multiplexes TNT
- l'optimisation de la ressource.

2 - SYNTHESE DE LA PROBLEMATIQUE

La réception de la télévision numérique met en œuvre plusieurs technologies, dont le développement relève d'équipes de R&D différentes :

- **la mise au point et la production en très grande série de décodeurs ;**
- **la mise au point des encodeurs comprimant les programmes audiovisuels (images et son) ;**
- **la formation des multiplexes de diffusion, en particulier avec utilisation de multiplexeurs statistiques.**

2.1 - La mise au point et la production en très grande série de décodeurs

La production en très grande série de décodeurs décompressant les images MPEG2 s'appuie sur un marché mondial. Plusieurs industriels, principalement asiatiques, fournissent le marché de masse avec des appareils vendus au détail environ 100€ (50€ pour certaines « zapettes » aux performances limitées).

Les décodeurs MPEG4-SD produits dès à présent pour la TNT décodent le MPEG2 et s'adaptent également à la réception des 12 chaînes payantes diffusées en MPEG4-SD¹.

Actuellement, ce sont des appareils relativement complexes, vendus en petit nombre, et, partant, relativement chers². La fourchette de prix actuelle se situe probablement entre trois fois et six fois le prix des décodeurs MPEG2 actuellement vendus en magasin. Néanmoins, ce rapport va évoluer fortement.

En ce sens, il convient de noter la qualification dès aujourd'hui d'un décodeur d'une technologie particulière, mis au point par la start-up NEOTION (dans le cadre d'un projet de R&D aidé par le réseau RIAM) pour la décompression du seul MPEG4-SD, dont il est annoncé qu'il pourrait être vendu en masse à la fin de l'année 2006 au prix de 100€(TTC).

De leur côté, les producteurs de circuits spécialisés (ASIC), en particulier STMicroelectronics, travaillent à la mise au point de décodeurs « universels » qui pourront recevoir indifféremment MPEG2-HD, MPEG4-HD, MPEG2-SD et MPEG4-SD. Ces développements achoppent actuellement sur une partie concernant la haute définition, plus

¹ Néanmoins, les décodeurs devront s'adapter aux paramètres de chaque chaîne payante. Ils comportent à cet effet un sous-ensemble servant à traiter les éléments du cryptage qui en fait des pièces particulières.

² Un prix de détail de 379€ a été cité pour un prix de vente au détail en Allemagne. Ce prix élevé ne peut être considéré comme une référence de base. En France, les décodeurs MPEG4 sont vendus aux éditeurs et non au grand public.

précisément la maîtrise des prises HDMI permettant l'entrée en HDTV dans les téléviseurs, beaucoup plus complexes que les classiques prises PERITEL (qui sont suffisantes pour la SDTV). De ce fait, l'industrialisation des décodeurs « universels » ne devrait pas commencer avant le printemps 2006, et elle devrait atteindre la production en grande série dans le courant de 2007, et sera effective à des prix très compétitifs en 2008.

Ainsi, il est permis d'estimer **qu'au plus tard en 2008 les décodeurs « universels » pourraient être accessibles à un prix équivalent à celui des décodeurs MPEG2 actuels.**

Parallèlement, certains producteurs de téléviseurs, en particulier SONY et PHILIPS devraient dès le printemps 2006 systématiser la technologie « idTV », incluant un décodeur TNT-MPEG2 dans le téléviseur pour tous les appareils mis sur le marché. A moyen terme, 2008 par exemple, ce décodeur incorporé pourrait traiter aussi bien le MPEG4 que le MPEG2.

2.2 - La performance des encodeurs et son évolution

Les encodeurs MPEG2, aussi bien en définition standard qu'en haute définition sont parfaitement au point, au terme de plus de 12 ans de R&D. Les recherches et développements les concernant sont arrêtés chez la plupart des industriels, qui concentrent désormais leurs efforts sur la mise au point et le développement des encodeurs MPEG4, principalement en HD, mais aussi en SD.

Les éditeurs de chaîne et les diffuseurs, pour leur part, effectuent des tests intensifs avec les appareils qui leur sont livrés par leurs fournisseurs industriels. Aujourd'hui, les résultats mesurés sont loin d'être conformes aux attentes que permet une analyse « théorique » de la norme MPEG4 (à savoir un gain supérieur à 60% par rapport au MPEG2). Ce paradoxe, momentané, s'explique par deux facteurs :

- la technologie des encodeurs actuels utilise des circuits programmables (DSP), dont la puissance de calcul est globalement insuffisante pour faire face à la complexité de la norme MPEG4. En conséquence, les ingénieurs n'ont implanté qu'une partie des raffinements de cette norme. Par ailleurs, et cela explique le recours aux DSP, ils ne sont pas sûrs de la pertinence de leurs solutions logicielles, qui sont progressivement optimisées. Il est annoncé par les industriels que l'utilisation de circuits spécialisés (ASIC) très puissants, implantant la totalité de la norme interviendra au début de 2007. Par la suite, comme ce fut le cas pour le MPEG2, les gains en performance résulteront de l'amélioration des logiciels ;
- ces encodeurs sont en fait des systèmes informatiques « temps réel » dont il faut maîtriser le paramétrage. Cette maîtrise n'est pas encore atteinte par les exploitants des entreprises audiovisuelles, qui sont en phase de découverte des particularités du MPEG4, différentes de celles du MPEG2.

Actuellement, les efforts des ingénieurs visent avant tout la télévision de haute définition, dont la commercialisation est prévue au printemps 2006 sur satellite, câble et ADSL. Sans atteindre la performance de 50% - c'est-à-dire une compression double de celle du MPEG2 à qualité égale -, les encodeurs MPEG4 délivrent aujourd'hui un gain de 30% environ en HD et 10% environ en SD, ces valeurs variant considérablement d'un produit à un autre.

Avec les nouvelles technologies en cours de mise au point pour le début 2007, le gain se situera entre 35% et 60% selon les prévisions et simulations des industriels, ce qui laisse à penser que le niveau de 50% devrait être avéré dans le courant 2007 et disponible industriellement et opérationnellement en 2008.

Certaines start-ups spécialisées dans les encodeurs - ENVIVIO et MODULUS - déclarent atteindre dès aujourd'hui ce gain de 50%. Toutefois, pour un équipement aussi critique, les éditeurs de programmes ne souhaitent pas s'approvisionner auprès de start-ups et préfèrent des industriels dominant toute la chaîne d'encodage et de multiplexage.

2.3 - Le multiplexage statistique

La télévision numérique utilise des multiplexeurs statistiques dès que le nombre de programmes diffusés est suffisant pour l'obtention d'un « gain statistique ». Le gain en débit numérique à qualité donnée est particulièrement sensible en radiodiffusion par satellite, car le multiplexage statistique porte sur plus d'une douzaine de chaînes. Ces multiplexeurs statistiques sont de puissants ordinateurs qui dialoguent en permanence avec les encodeurs propres à chaque chaîne selon un protocole d'échange d'information particulier (qui est propre à chaque industriel) : les encodeurs signalent la complexité des images à venir, et le multiplexeur statistique optimise en conséquence l'allocation instantanée de la « bande passante » pour chaque chaîne en fonction de critères de qualité, mais aussi en fonction du prix payé par l'éditeur de chaîne.

Au plan théorique, rien n'empêche de multiplexer statistiquement des programmes MPEG2 et des programmes MPEG4, dont les flux numériques de transport sont de même nature. En revanche, sans doute faute de marché solvable, aucun industriel n'a effectué les développements nécessaires, en particulier en matière de logiciel pour implémenter les protocoles de communication nécessaires aux échanges entre les deux types d'encodeurs et le multiplexeur statistique. Et aucun n'a de plans pour développer de tels multiplexeurs dans le futur.

De ce fait, le multiplexage statistique ne s'applique qu'à des programmes qui sont tous en MPEG2 (indifféremment SD ou HD) ou bien tous en MPEG4 (SD ou HD).

La TNT française a été lancée avec des multiplexes de 24 Mbps chacun. Ce débit est pour l'essentiel alloué aux chaînes de chaque multiplex pour l'encodage des images et du son. Mais ce débit est également affecté pour une partie à des transmissions « de service » constituant un « *overhead* », comme celle du guide de programme, ou les mises à niveau logicielles des décodeurs. Les chaînes actuelles se partagent un débit d'environ 23 Mbps pour la diffusion proprement dite, soit, en moyenne, environ 4,6 Mbps par chaîne dans les multiplexes à 5 chaînes, et 3,8 Mbps (mais avec multiplexage statistique) dans les multiplexes à 6 chaînes (le multiplex R1 notamment).

Concernant la TNT, le multiplexage statistique ne peut concerner que deux à six chaînes selon la composition des multiplexes. Le gain apporté pour les multiplex de la TNT est relativement modeste, estimé à 10% ou 15%, et il ne porte que sur la partie vidéo.

En théorie, il y aurait donc intérêt à constituer des multiplexes homogènes afin de maximiser le gain apporté par le multiplexage statistique. En pratique, le nombre de chaînes par multiplex TNT est toujours modeste et ce gain est sans commune mesure avec celui observé sur la radiodiffusion directe par satellite.

2.4 - Le codage du son

Actuellement, les programmes de la TNT comprennent tous une « bande son » stéréo, occupant 192 kbps. Tout en assurant une qualité excellente, ce codage produit un encombrement d'un ordre de grandeur inférieur à celui de la vidéo.

Toutefois, notamment sous la pression des ventes de DVD, qui offrent une « bande son » en « 5.1 », certains éditeurs de la TNT voudraient adopter ce procédé (qui appartient à Dolby). Le « Dolby Digital 5.1 AC3 » accompagnera de toute façon les programmes en HDTV. Dans ce cas, il faut compter avec un débit numérique de l'ordre de 0,6 Mbps à 1 Mbps selon les technologies d'encodeur et de décodeur utilisées.

3 - CONCLUSIONS OPERATIONNELLES

Pour visualiser les progrès de la télévision numérique apportés par le MPEG4, le tableau ci-après décrit de façon schématique, trois situations, correspondant, pour un multiplex purement MPEG4, au printemps 2006, au printemps 2007, au printemps 2008.

Ce tableau ne prend pas en compte les multiples situations créées par un degré d'avancement différent de la R&D chez les différents constructeurs. Il ne tient pas compte, par exemple, du fait que le constructeur le plus avancé pour le MPEG4-HD n'est pas le même que celui qui optimise le MPEG4-SD ou le MPEG2-SD. Ce tableau a été formalisé pour clarifier les ordres de grandeur obtenus avec les équipements en service ou en test chez les éditeurs.

³ voir en bas de page le mode de calcul.

³ Calculs de capacité d'un multiplex TNT

La capacité offerte par le multiplex (MUX) est utilisée :

- pour « l'overhead » (OH),
- les bandes son stéréo de la SDTV (SS),
- les images MPEG4-SD avec multiplexage statistique (M4SD),
- les bandes son Dolby Digital 5.1 AC3 (DD) de la HDTV,
- les images MPEG2-SD avec (ou sans) multiplexage statistique (M2SD),
- les images MPEG4-HD avec ou sans multiplexage statistique (M4HD) et
- les images MPEG2-HD avec ou sans multiplexage statistique (M2HD).

La formule applicable est :

$$\text{MUX} = \text{OH} + k.\text{SS} + k.\text{M4SD} + l.\text{SS} + l.\text{M2SD} + m.\text{DD} + m.\text{M4HD} + n.\text{DD} + n.\text{M2HD}$$

Où k est le nombre des chaînes MPEG4-SD, l celui des chaînes MPEG2-SD, m celui des chaînes MPEG4-HD et n celui des chaînes MPEG2-HD.

Avec, en Mbps :	M2HD = 18 à 24, voire 30
MUX = 24	M2SD = 4,4 (si 1 ou 2) ; 3,8 (si 5 ou 6)
OH = environ 1Mbps	M4SD = 3,3 (en 2006) ; 2,6 (en 2007) ; 1,8 (en 2008)
SS = 0,2 DD = 0,8	M4HD = 11 (en 2006) ; 8 (en 2007) ; 7 (en 2008)

Les valeurs retenues pour les calculs sont :

- Gain MPEG4/MPEG2 (en SDTV) : 25% en 2006 ; 40% en 2007 ; 50% en 2008

Efficacité du multiplexage statistique = 10% à 20%, selon nombre de vidéos concernées

	Printemps 2006	Printemps 2007	Printemps 2008
Disponibilité industrielle des décodeurs MPEG4	Disponibles en petite série Onéreux : environ 3 à 7 fois le prix d'un décodeur MPEG2	Transition vers les technologies à base d'ASICs, début de la production en grande série Estimation de 2 à 5 fois le prix d'un décodeur MPEG2	Production en très grande série de décodeurs « universels » à moins de 100 €
Amélioration de la performance des encodeurs MPEG4 par rapport au MPEG2	10% - 30%	30% - 50%	50%
Nombre total possible de chaînes MPEG4-SD par MUX-TNT homogène (24 Mbps)	7 (soit +2)	8 (soit +3)	11 (soit +6)
Possibilité d'addition de chaînes MPEG2-SD aux 5 chaînes MPEG4-SD déjà présentes dans le multiplex	1	2	3
Possibilité de diffusion de chaînes HD et nombre de chaînes HD et SD dans le même multiplex	0 HD + 7 SD	1 HD + 4 SD	1 HD + 7 SD ou 2 HD + 3 SD

Remarques

- Ce tableau simplifié suppose que les chaînes SD utilisent un son codé stéréo à 192 kbps. La chaîne HDTV sans restriction est estimée accompagnée d'un son « *full 5.1AC3Dolby Digital* » estimé à 800 kbps pour accepter VO/VF.
- Ce tableau ne tient pas compte des consommations réduites, en termes de débit binaire, acceptées par certaines chaînes de la TNT aujourd'hui. Le format retenu est celui d'une « chaîne généraliste moyenne ». En tenant compte de l'existence de

chaînes à débit limité, il est possible de faire entrer dix chaînes dans un multiplex TNT dès 2007.

- c) Inversement, ce tableau privilégie le nombre de chaînes diffusées. Comme variante à l'utilisation des débits numériques rendus disponibles par l'amélioration du MPEG4, il est possible également de prévoir une amélioration générale des cinq chaînes en ce qui concerne l'image (avec un « SDTV+ » ou « HDTV- », à définir), le son (5.1), l'interactivité (MHP par exemple) ou autres.
- d) Malgré le résultat des calculs, il est possible d'envisager de placer trois chaînes « HDTV- » dans un multiplex TNT. Elles auront à se partager 25,3 Mbps avant multiplexage statistique, soit 8,7 Mbps chacune en moyenne. En conséquence, il faudra rogner éventuellement sur le son (abandon du « 5.1 AC3 », peu probable) et sur la qualité des images. Ce serait alors une « HDTV pour TNT ».

Conclusions

Au printemps 2008, et peut-être en 2007 dans le cas d'une évolution favorable des développements industriels, il sera possible de diffuser au moins trente trois chaînes en MPEG4-SD dans trois multiplexes TNT de 24 Mbps. Ce point mérite d'être souligné tant dans l'optique d'une recherche de dividende numérique, qu'en cas de restriction du nombre de multiplexes possibles, par exemple dans les zones frontalières.

Les avancées technologiques semblent aujourd'hui le fait de start-ups comme NEOTION, MODULUS et ENVIVIO. Il faudrait envisager de promouvoir leurs performances auprès des éditeurs.

3.1 - Le cas de trois multiplexes disponibles

Trois multiplexes TNT, ce sont trois fois 23 Mbps utiles environ.

En MPEG2-SD et avec multiplexage statistique, l'exemple du R1 montre que chaque multiplex peut accommoder avec un minimum de contraintes six chaînes. Trois multiplexes sont une capacité adaptée à la diffusion de dix huit (18) chaînes en MPEG2-SD.

Avec trois multiplexes TNT, il est donc possible de diffuser correctement, c'est-à-dire avec la qualité actuellement ressentie par les téléspectateurs de la TNT, les 18 chaînes MPEG2-SD actuelles, moyennant un bon multiplexage statistique.

Néanmoins, en tenant compte de la promesse faite à France Ô et du statut particulier de Canal+, il apparaît que trois multiplexes sont incapables de diffuser correctement un « bouquet minimal » (selon la loi) de la TNT.

En utilisant le MPEG4-SD, toutes les chaînes actuelles de la TNT, gratuites et payantes, pourront être très correctement diffusées, c'est-à-dire avec une très bonne qualité, en utilisant trois multiplexes. La question difficile est : quand ? Et son corollaire est : pourquoi les éditeurs investiraient-ils dans une double diffusion, en MPEG4 et en MPEG2 ? Pour quel marché ?

Pour les chaînes gratuites, une diffusion en MPEG4-SD en plus de l'existant en MPEG2-SD signifie un coût de « liaison de transport », qui peut prendre la même forme qu'aujourd'hui (transport par satellite), et un coût de diffusion TNT lié au nombre d'émetteurs équipés. Dans les zones de pénurie de fréquence imposant la seule diffusion en MPEG4, le prix à payer pour ces émetteurs est approximativement moitié moindre que pour du MPEG2, puisqu'un multiplex « accommode » à peu près deux fois plus de chaînes en MPEG4. Cette économie peut rapidement compenser le coût du transport dès que le nombre de sites d'émission concerné devient important.

Eventuellement, cette diffusion en MPEG4 peut être une possibilité d'offrir une « TNT par satellite » analogue à celle qui assure actuellement la réception des six chaînes analogiques pour plus d'un million de foyers français.

3.2 - L'optimisation de la ressource

Deux mesures peuvent contribuer à optimiser l'occupation du spectre :

- inciter à l'intégration du décodage du MPEG4 dès lors que les décodeurs « universels » ou des décodeurs mixtes MPEG2-SD et MPEG4-SD seront disponibles à des prix du même ordre de grandeur que celui des décodeurs MPEG2-SD actuels ;
- taxer progressivement l'occupation du domaine public hertzien par les chaînes afin de les inciter à gérer dans une logique économique la « bande passante ». Il s'agit de l'encombrement total (vidéo + son) avec :
 - une franchise jusqu'à 2 Mbps, incitant à l'innovation ;
 - une taxation modeste de 2 Mbps à 3 Mbps, ce qui peut permettre d'accommoder le MPEG2-SD « muxé » avec son stéréo ; ce qui permet de traiter le MPEG4-SD dans de très bonnes conditions ;
 - une taxation plus forte de 3 Mbps à 4 Mbps ;
 - une taxation progressive au-delà. En particulier, il paraît essentiel de ne pas pérenniser gratuitement des allocations de plus de 4,5 Mbps, qui peuvent provoquer des comportements irrationnels visant à conserver un avantage gratuit que ne justifie plus la technologie.

L'état de l'art en matière de compression des séquences de télévision numérique et ses conséquences

A N N E X E S

RAPPORT N° II-A.1 - 2006 – Février 2006

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1** : Les performances du codage MPEG4 en définition standard (SD) et en haute définition (HD) et leurs évolutions
- Annexe 2** : Les performances globales dans un multiplex DVB-T, avec diverses hypothèses de codage du son selon les pratiques constatées sur les multiplexes existants
- Annexe 3** : La date de disponibilité de multiplexeurs statistiques MPEG2/MPEG4
- Annexe 4** : La date vraisemblable de disponibilité de trois chaînes HD sur un multiplex de 24 Mbits/s
- Annexe 5** : Le cas des régions connaissant une pénurie de fréquences, zones frontalières en particulier
- Annexe 6** : Des propositions de mesures à prendre pour accélérer ces dates de disponibilité
- Annexe 7** : Lettre de mission du Ministre Délégué à l'Industrie
- Annexe 8** : Note du HD Forum en date du 31 décembre 2005
- Annexe 9** : Lettre envoyée aux professionnels de l'audiovisuel
- Annexe 10** : Liste des entreprises du secteur audiovisuel consultées

**Les performances du codage MPEG4 en définition standard (SD)
et en haute définition (HD) et leurs évolutions**

Le développement de circuits spécialisés : facteur de performance du codage.

Le codage de compression MPEG2 est aujourd'hui au bout des améliorations possibles, au terme d'une dizaine d'années d'efforts conjugués de tous les laboratoires de Recherche et Développement du domaine de l'audiovisuel dans le monde. En particulier, les encodeurs vendus sur le marché ont implémenté la totalité de la norme, dans ses moindres détails. De plus, la recherche et le développement se focalisent désormais sur les codages de compression plus performants, à savoir le MPEG4-AVC pour une mise au point opérationnelle, et le MPEG21 pour des travaux à moyen terme.

Le codage de compression MPEG4-AVC (ou MPEG4-H264) est incontestablement plus performant que le MPEG2, cependant cette amélioration est acquise au prix d'une complexité nettement supérieure. Fort heureusement, l'amélioration constante des performances de la microélectronique a rendu possible l'implantation, au moins partielle, de ces algorithmes sophistiqués. Dans un premier temps, compte-tenu du coût considérable du développement de circuits spécialisés (*ASIC's*), les industriels utilisent pour l'encodage des circuits programmables (*DSP*) capables d'effectuer la compression des programmes audiovisuels sans être optimisés pour ce faire. De ce fait, la performance obtenue aujourd'hui est en retrait par rapport aux perspectives de performance ouvertes par le MPEG4, performance cible qui sera atteinte à un certain horizon distant de plusieurs mois.

Il convient de noter toutefois que deux industriels, MODULUS aux Etats-Unis et ENVIVIO en France affirment obtenir dès à présent un gain de 50% avec le MPEG4-AVC en qualité SD.

Les développements de circuits adaptés au MPEG4 sont jusqu'à présent motivés par la télévision numérique diffusée par satellite, notamment aux Etats-Unis. En effet, le coût d'utilisation d'un transpondeur satellitaire, qui varie entre un et quatre millions d'Euros par an, conduit à une rentabilité certaine d'une optimisation des capacités de transmission. En conséquence, les opérateurs de télévision par satellite poussent le développement et l'adoption :

- de la transmission en DVB-S2¹, qui fait passer la capacité d'un transpondeur de 36 Mbps à 50 Mbps environ ;
- de la compression en MPEG4, qui est d'ores et déjà plus performante que la meilleure compression MPEG2, et qui va s'améliorer avec la mise au point d'encodeurs de plus en plus sophistiqués ; sachant que le décodeur utilisé par les téléspectateurs est d'ores et déjà disponible industriellement en parfaite conformité avec la totalité de la norme MPEG4.

Ces développements permettent de viser la diffusion par satellite en télévision de haute définition (HDTV) adaptée aux nouveaux téléviseurs à écran plat dans des conditions économiques acceptables - et même compétitives - , et ce dans un avenir très proche. En fait, seul le MPEG4-HD permet d'envisager la diffusion en HDTV dans des conditions économiques concurrentielles. De ce fait les priorités des développements se portent sur ce codage particulier.

Les conditions de la mesure de la performance.

La difficulté de produire un avis tranché sur une mesure de performance du MPEG4 – et sur la date à laquelle cette performance sera atteinte - tient par ailleurs à la dépendance du débit binaire résultant de la compression vis-à-vis de la nature des images à transmettre. Les codages de compression - MPEG2, MPEG4 ou autres - utilisent tous une analyse « différentielle » des images. Ceci veut dire que ne sont transmises que les modifications de l'image au cours du temps ; à la limite, s'il s'agit d'une image fixe (une photo par exemple), le débit à transmettre est quasi-nul au-delà de la séquence d'initialisation. En revanche, si un grand nombre de « pixels » de l'image changent toutes les 40 millisecondes, le débit binaire exprimant ces changements devient important.

En MPEG2, il est désormais acquis que n'importe quel programme télévisuel en qualité standard (SDTV) est convenablement transmis avec 4 Mbps à 4,5 Mbps. Cela signifie que la plupart des programmes n'ont pas besoin de cette capacité. En particulier, les images d'un « présentateur » se satisfont d'un débit binaire de l'ordre d'un mégabit par seconde. Les informations recueillies permettent d'affirmer que le MPEG2-SD, avec un son stéréo peut être transmis avec 3,8 Mbps avec multiplexage statistique modeste sans restriction particulière sur le contenu des programmes transmis.

Pour comparer différents codages de compression, il est nécessaire de procéder à des essais comparatifs sur un très grand nombre de séquences audiovisuelles types, qui ont été normalisées par différents organismes, en particulier l'UER, mais aussi la BBC ou bien le CCETT. Le fait qu'il existe plusieurs jeux de séquences montre que l'évaluation de la qualité comporte toujours

¹ Le DVB-S2 est la nouvelle norme de radiodiffusion télévisuelle par satellite. Incompatible avec le DVB-S actuel, le DVB-S2 nécessite le changement des terminaux récepteurs, mais ne nécessite aucune action au niveau de la parabole de réception (même bilan de liaison). Les opérateurs de radiodiffusion par satellite combinent le passage du DVB-S au DVB-S2 avec le changement de compression en passant au MPEG4, ce qui leur permet d'offrir des programmes en HD à peu de chose près avec la même dépense liée au satellite.

une part subjective. De plus, la définition de la qualité apparaît quelque peu élastique, notamment en ce qui concerne le nombre des « lignes » retenu.

La mesure actuelle et les anticipations de la performance du MPEG4.

Les mesures effectuées par le HD Forum conduisent à une performance du MPEG4 qui est dès à présent meilleure que celle du MPEG2 :

- en qualité SD, le canal numérique nécessaire pour la vidéo est réduit, grâce à l'utilisation du MPEG4, de 4,5 Mbps à 3,8 Mbps aujourd'hui, et à 2,9 Mbps en fin 2006 – début 2007 ;
- en qualité HD, le canal numérique nécessaire est réduit de 18 Mbps à 14 Mbps, voire à 13 Mbps dès aujourd'hui et 9 Mbps sont assurés pour 2007.

Ces performances du MPEG4 sont obtenues aujourd'hui avec l'utilisation des circuits programmables DSP. Une amélioration modeste peut être obtenue grâce à une amélioration de la programmation de ces circuits, toutefois la puissance de calcul nécessaire au traitement intégral, ou quasi-intégral, du MPEG4 nécessite des circuits spécialisés, dans lesquels la programmation des algorithmes est réalisée « en dur ».

Le développement des circuits *ASIC*'s nécessaires pour atteindre une compression plus de deux fois supérieure à celle du MPEG2 est partiellement conditionné par l'existence d'un marché suffisant rentabilisant leur développement. En effet, les encodeurs MPEG4 ne sont pas produits en très grande série comme les décodeurs². Le marché des encodeurs se chiffre à quelques dizaines de pièces en France, quelques centaines de pièces dans le monde.

Néanmoins, le marché américain aidant, les prévisions situent à fin 2006 ou début 2007 la disponibilité de l'encodage MPEG4 plus de deux fois plus performant que le MPEG2 actuel, aussi bien en SDTV qu'en HDTV.

Concernant le codage du son, les standards de fait actuels sont applicables. Il s'agit de :

- la stéréophonie, qui nécessite 192 kbps pour la totalité des programmes actuellement diffusés sur la TNT, et 256 kbps pour une stéréo améliorée ;
- le 5.1 AC3 – alias *Dolby Digital* – utilisé par les productions des *majors* hollywoodiens, qui utilise 384 kbps.

² De plus, ces derniers, les décodeurs, sont déjà normalisés de façon extrêmement précise (« au bit près »), d'où le lancement de productions de série. Il est donc loisible d'attendre que le décodeur MPEG4 acceptant HDTV, SDTV, MPEG4 et MPEG2 soit prochainement d'un prix analogue à celui des « zapettes » MPEG2 actuellement en service sur la TNT.

L'introduction du « 5.1 » sans précautions peut avoir pour conséquence une consommation de 1 Mbps pour le canal son du fait de certaines incompatibilités techniques au niveau des décodeurs actuellement vendus sur le marché.

A ce jour, aucune prise de son n'est effectuée en « 5.1 », tout au moins à notre connaissance. Noter que les « home cinemas » savent recréer l'illusion du « 5.1 » à partir d'un son stéréo.

Nota : les évolutions en matière de codage du son ne suivent pas, en ce qui concerne la télévision numérique, les normalisations pour cause de prix à payer pour les brevets. C'est ainsi que le « 5.1 AC3 » a été adopté par les « majors » d'Hollywood parce que les redevances dues au titre de la propriété intellectuelle ont été plus raisonnables que celle du MPEG. Néanmoins, le son stéréo (standard MPEG1) est parfaitement suffisant pour une très bonne qualité.

Actuellement, il existe un codage du son plus performant que les deux précités, il s'agit de l'AAC+, introduit dans les standards de l'UMTS, et également utilisé dans les expérimentations parisiennes du DVB-H. Mais il semble que les « majors » n'aient aucune intention de s'y rallier. Comme indiqué plus haut, le son n'est pas un élément déterminant dans la détermination du canal numérique nécessaire à la transmission d'un programme télévisuel, en tout cas actuellement et pour encore un certain temps. Cette affirmation n'est pas valable pour une diffusion en qualité « CIF » (*Common Interchange Format*, qualité du VHS), qui est celle que vont probablement adopter les diffusions de programmes audiovisuels à destination des mobiles. En MPEG4, la qualité CIF se contente de 384 kbps, soit à peu près l'encombrement d'une transmission audio de *Dolby Digital*. Il devient alors important d'employer un codage du son très performant donnant la même qualité avec seulement 64 kbps, ce que permet le codage AAC+. Noter que les transmissions des expérimentations parisiennes utilisent des débits inférieurs, à savoir environ 200 kbps pour la vidéo et 30 kbps pour le son, avec un résultat jugé excellent.

**Les performances globales dans un multiplex DVB-T,
avec diverses hypothèses de codage du son
selon les pratiques constatées sur les multiplexes existants**

Actuellement et conformément à la réglementation et aux décisions du Conseil supérieur de l'audiovisuel (- CSA), les multiplexes de la TNT sont constitués de programmes distincts, avec allocation d'un débit binaire moyen de 4,5 Mbps environ (5 chaînes). Le multiplex R1, avec 6 chaînes et un bon multiplexage statistique¹ se contente de 3,8 Mbps environ par chaîne.

Cette situation technique est associée à un état de fait juridique formé d'une cascade de contrats :

- les chaînes attributaires contractent avec un opérateur de multiplex ;
- l'opérateur de multiplex (ou les chaînes directement) contracte avec un opérateur technique de radiodiffusion.

Pour modifier la donne technique, il faut corrélativement, et préalablement, mettre à plat tout ce contexte juridique.

Cette allocation de 4,5 Mbps est assez confortable en MPEG2-SD et permet de transmettre dans d'excellentes conditions les programmes télévisuels les plus exigeants (le sport par exemple), avec une compression MPEG2-SD et un son stéréo.

L'application d'un multiplexage statistique nécessite l'investiture d'un « chef d'orchestre » décisionnaire sur la répartition du flux de 24 Mbps entre les diverses chaînes du multiplex. En corollaire, il faut établir un « règlement de copropriété » accepté par toutes les parties prenantes au multiplex. Ces dispositions paraissent facilement envisageables lorsque le multiplex regroupe des chaînes audiovisuelles du même groupe.

Par ailleurs, il n'existe pas d'exemple de multiplexage statistique entre des programmes compressés en MPEG2 et des programmes compressés en MPEG4. Sur le plan théorique, un tel multiplexage n'est pas impossible, car le « transport stream » est compatible. Toutefois, la nature

¹ Un multiplexage statistique est une méthode qui permet de tirer parti à chaque instant des différences de caractéristiques des images transmises dans un même multiplex pour en optimiser le débit total.

différente des codages impliquerait de la part du responsable technique du multiplexage une qualification actuellement non disponible. Par ailleurs, il est indispensable que les encodeurs dialoguent avec le multiplexeur statistique selon un protocole commun, qui n'est pas implémenté à l'heure actuelle, car aucun client ne se présente pour financer ce développement.

Techniquement, l'optimisation de la ressource inclinerait donc à placer toutes les chaînes MPEG2 dans des multiplexes à part, avec un multiplexage statistique. Comptant 18 ou 19 chaînes gratuites émises en MPEG2, avec multiplexage statistique il paraît plausible de les faire tenir dans trois multiplexes en appliquant certaines restrictions à la qualité des images et du son. En forçant la dégradation pour revenir aux standards américains en vigueur, 24 Mbps pourraient permettre d'accueillir, avec multiplexage statistique, 7 chaînes, - voire 8 avec un plan contraignant et une qualité réduite. Il ne semble pas que les titulaires actuels de licences de diffusion sur la TNT accepteraient cette modification des règles du jeu. De leur côté, les téléspectateurs se sont habitués à la qualité offerte par la TNT, qui devient un standard de fait.

Les programmes payants, diffusés en MPEG4 pourraient également se voir « comprimés » afin de faire place à d'autres offres. Les mêmes considérations relatives à la qualité sont applicables.

Ainsi, pour optimiser la ressource, il peut sembler indispensable de modifier les attributions actuelles, ce qui présenterait un impact non négligeable en terme de renégociation de contrats au-delà même de la contestation de la remise en cause d'une concession acquise. En regard, le gain en « bande passante » reste modeste, du fait du petit nombre de chaînes présentes dans un multiplex de la TNT et donc du gain modeste apporté par le multiplexage statistique pour ce nombre.

Au niveau de la diffusion, la présence sur le terrain de plus de 1,3 million de « zapettes » strictement MPEG2 rend quelque peu irréaliste l'idée de faire diffuser à court terme toutes les chaînes en MPEG4 pour améliorer l'offre de programmes. Leur remplacement autoritaire par des décodeurs acceptant le MPEG4 coûterait plus de 100 millions d'Euros, sans compter les « effets d'aubaine » inévitables en pareil cas.

Attendre leur remplacement « spontané » par des décodeurs « universels » traitant également le MPEG4 signifie probablement attendre une bonne dizaine d'années, si l'on applique les rythmes de renouvellement du matériel audiovisuel observés jusqu'alors. Tout au plus peut-on envisager d'accompagner la mise sur le marché de décodeurs « universels », lorsqu'ils auront un prix comparable à celui des zapettes, lorsque l'industrialisation en aura été faite.

**La date de disponibilité de multiplexeurs statistiques
MPEG2/MPEG4**

La compression, ou encodage, est réalisée par chaque industriel selon ses algorithmes propres et « propriétaires ». **En conséquence, le multiplexage statistique n'est applicable avec une absolue cohérence qu'en recourant à un seul fournisseur d'équipement pour tous les programmes d'un multiplex.**

Par ailleurs, la détermination des paramètres de priorité entre les divers programmes devant être diffusés simultanément nécessite une autorité forte et incontestée, qui « aura la main » sur les réglages des multiplexeurs.

Ainsi, il est aujourd'hui réaliste de réaliser un multiplexage statistique de programmes compressés tous en MPEG2, ou bien tous en MPEG4. En revanche, le multiplexage statistique de programmes MPEG2 et de programmes MPEG4 dans une trame commune n'est appliqué par personne jusqu'à présent.

Il faut noter qu'un tel multiplexage n'aurait pas l'appui d'un marché mondial. Les opérateurs audiovisuels étrangers sont très rarement concernés par la problématique de conserver longtemps une diffusion simultanée en MPEG2 et en MPEG4.

**La date vraisemblable de disponibilité de trois chaînes HD
sur un multiplex de 24 Mbits/s**

Supposant maintenant la disponibilité d'un multiplex libre, le R5 par exemple, plusieurs hypothèses d'utilisation peuvent être envisagées :

- diffuser plus de chaînes nationales ou locales, en SDTV ;
- diffuser de la télévision mobile, comme c'est le cas dans trois expériences actuelles ;
- diffuser des chaînes en haute définition, en HDTV.

En disposant d'un multiplex de 24 Mbps, il apparaît immédiatement que la performance des encodeurs MPEG4 en 2006, bien que nettement meilleure que celle des meilleurs MPEG2, ne permet en aucun cas de diffuser 3 programmes simultanés en HDTV, même avec un multiplexage statistique, par ailleurs presque dépourvu d'intérêt pour ce petit nombre de chaînes. En effet, il faut compter pour la seule vidéo une moyenne de 13 ou 14 Mbps par programme aujourd'hui. En réalité, comme la HDTV ne se conçoit pas vraiment sans le son « 5.1 », il est clair qu'**aujourd'hui, un multiplex TNT n'est pas capable de contenir plus d'un seul programme en HDTV. En revanche, il permet de diffuser simultanément à cette chaîne HDTV plusieurs chaînes SDTV.**

A partir de 2007, lorsque les ASIC's spécialisés seront implémentés (et les encodeurs correspondants mis en service), un programme HDTV devrait se contenter de 9 Mbps au maximum. En conséquence, avec ou sans multiplexage statistique, il sera possible de gérer deux programmes HDTV simultanément dans un MUX de 24 Mbps.

En résumé, l'introduction de la HDTV dans un multiplex spécialement affecté à cet effet paraît une mauvaise décision. En revanche, introduire la HDTV sous la forme d'un changement de définition d'une des chaînes SDTV actuelles est relativement simple techniquement. Si une telle modification devait être disponible pour la Coupe du Monde de football, il faudrait le décider tout de suite. Il devrait s'agir de MPEG4-HD, car le MPEG2-HD nécessite un multiplex entier pour une seule chaîne.

Reste néanmoins que le satellite et le câble – s'il est équipé pour la télévision numérique – et l'ADSL permettront très rapidement la réception en HDTV.

**Le cas des régions connaissant une pénurie de fréquences,
zones frontalières en particulier**

Les six multiplexes de la TNT ne peuvent pas être déployés partout en France. C'est le cas pour plusieurs zones frontalières. En particulier celles du nord et de l'est de la France, présentent de réelles difficultés de déploiement de la télévision numérique radiodiffusée.

En particulier, il semble qu'en Alsace, il ne pourrait être possible de dégager des fréquences que pour trois multiplexes TNT au lieu de six en métropole, et cela implique une réelle compréhension de la part des pays voisins.

En conséquence, une solution technique permettant de diffuser une trentaine de chaînes dans trois multiplexes seulement peut présenter un avantage décisif.

Dans cette perspective, l'adoption de la compression MPEG4 dès à présent pour toutes les émissions assurant la desserte de l'Alsace pourrait être une solution. En effet, l'adoption générale du MPEG4-SD pour les 30+ chaînes de la TNT permet d'augmenter le gain des multiplexeurs statistiques d'une part, les gains de compression par rapport au MPEG2 vont aller croissants d'autre part. Il est à peu près certain que trois multiplexes suffiraient à la diffusion de trente trois chaînes SDTV à une date qui se situe entre la mi-2007 et le courant 2008. En étant optimiste, il est permis d'imaginer avancer cette échéance au début de 2007. La difficulté peut provenir de l'approvisionnement en décodeurs MPEG4, qui pourraient être insuffisamment industrialisés. Cette solution présente quelques contraintes :

- au plan réglementaire, il faut modifier les arrêtés pour accepter que la TNT gratuite soit diffusée en MPEG4 – SDTV, au moins localement ;
- concernant la construction des contrats entre les divers acteurs de la chaîne audiovisuelle, il faut introduire une exception pour les zones frontalières permettant la constitution des multiplexes MPEG4. En particulier, il convient de choisir avec soin les associations de chaînes optimisant l'utilisation de la ressource et le rendement du multiplexage statistique ;
- concernant les liaisons de desserte des émetteurs, il faut rechercher la solution la plus économique afin de minimiser le coût de cette diffusion particulière. On peut imaginer, entre autres solutions, mettre en place sur Atlantic Bird 3, ou un autre satellite par exemple Hot Bird, deux nouveaux répéteurs spécialement « dédiés », entièrement consacrés à la diffusion en MPEG4, si l'opérateur du satellite fait une offre attrayante.

Il faudrait que cette diffusion provoque une accélération de l'industrialisation des décodeurs MPEG4-SD afin que le prix en soit peu différent des décodeurs MPEG2 actuels.

**Des propositions de mesures à prendre
pour accélérer ces dates de disponibilité**

Dans ce faisceau de contraintes, que peut-on faire pour optimiser la radiodiffusion de la TNT ?

Il faut dès à présent préparer les évolutions, et en particulier l'émergence industrielle du MPEG4, qui semble assurée pour 2008 ; et éventuellement, avec un peu d'optimisme et un accompagnement approprié de la part des pouvoirs publics, cet avènement pourrait intervenir au deuxième semestre 2007.

Le fait que certaines régions notamment frontalières présentent des disponibilités de fréquences moindres est une opportunité pour lancer une action industrielle centrée sur le MPEG4, fondée sur l'existence d'un marché substantiel.

En particulier, il faut éviter de sacrifier à des considérations à court terme les perspectives de « dividende numérique » provenant d'une diffusion « tout MPEG4 » à terme de 2010 – 2012.

Par ailleurs, la TNT ne pouvant pas servir tous les Français avec 115 émetteurs, il paraît important de choisir assez rapidement la voie permettant de remplacer l'analogique dans tous les foyers à une échéance relativement proche. En particulier, si de nouveaux émetteurs terrestres doivent être équipés, alors que cela n'est pas prévu dans les accords avec les titulaires de chaînes dans la TNT, il va falloir examiner comment cette dépense serait financée.

Lettre de mission du Ministre Délégué à l'Industrie



LE MINISTRE DELEGUE A L'INDUSTRIE

Paris, le 20 DEC 2005

Monsieur le Président,

La télévision numérique terrestre (TNT) est une réalité en France depuis le 31 mars dernier et un véritable succès commercial, puisqu'elle a séduit, à ce jour, plus d'un million de foyers. Les prochaines étapes de l'audiovisuel numérique sont déjà en vue et dès l'année 2006 pourraient démarrer la diffusion en haute définition, la télévision mobile ou la télévision hertziennne interactive. En parallèle, se pose la question des modalités d'extension de la couverture de la TNT aux zones frontalières souffrant d'un déficit de fréquences. Toutes ces évolutions seront facilitées grâce à la généralisation de la norme de compression MPEG-4 et à l'évolution rapide de ses performances.

Le CGTI s'est précédemment livré à une analyse détaillée de cette norme de compression dans le cadre du rapport « Télévision numérique : enjeux et perspectives en 2005 », remis en septembre 2004 et qui avait éclairé les pouvoirs publics lors du choix des normes de compression de la TNT.

Alors que désormais cohabitent sur la TNT les deux normes MPEG-2 (pour les chaînes gratuites) et MPEG-4 (pour les chaînes payantes) et que les progrès techniques vont être dictés par la seule évolution du MPEG-4, je souhaite connaître plus précisément les perspectives offertes aujourd'hui par ce format de compression sur les différents vecteurs de diffusion audiovisuelle, et particulièrement sur la TNT et l'ADSL.

Ainsi, je vous demande d'actualiser votre rapport de septembre 2004, en décrivant notamment les différences observées par rapport aux prévisions qui pouvaient être faites il y a un an et en fournissant, entre autres, des précisions sur :

- les performances du codage MPEG-4 en définition standard (SD) et en haute définition (HD) et leurs évolutions ;
- les performances globales dans un multiplexe DVB-T, avec diverses hypothèses de codage du son selon les pratiques constatées par les multiplexes existants ;
- la date de disponibilité de multiplexeurs statistiques MPEG-2 / MPEG-4 ;
- la date vraisemblable de disponibilité de trois chaînes HD sur un multiplexe de 24 Mbits/s ;
- des propositions de mesures à prendre pour accélérer ces dates de disponibilité.

.../...

Monsieur Henri SERRES
Vice-Président
du Conseil Général des Technologies de l'Information
Bât. Necker - TELEDEOC 792
120 rue de Bercy
75572 PARIS Cedex 12

Pour développer cette étude, vous prendrez soin d'interroger toute la chaîne de valeur de l'audiovisuel, les constructeurs, les diffuseurs, les distributeurs, mais également les éditeurs notamment, TNT et ADSL.

Je transmettrai vos conclusions à M. Dominique Roux, dans le cadre de la mission d'accompagnement du déploiement de la TNT, de la haute définition de la télévision mobile que lui a confiée le Premier ministre le 29 septembre dernier.

Je souhaite disposer de vos conclusions avant le 28 février 2006 et d'un point d'étape lors de la prochaine réunion sur le déploiement de la TNT aux frontières que je présiderai le 23 janvier.

Je vous prie de croire, Monsieur le Président, à l'assurance de ma considération distinguée.



François LOOS

Note du HD Forum en date du 31 décembre 2005

Questions de M. Jean-Gabriel Remy, CGTI - Réponses du HD-Forum

1. Performances actuelles d'un canal MPEG-4 comparées à celles d'un MPEG-2 et perspectives.

Le HD-Forum a interrogé ses membres industriels susceptibles de fournir au marché des codeurs temps réel MPEG-4 H264. 6 sur 10 des membres interrogés ont répondu, et un autre a promis une réponse qui n'a pas encore été reçue. Parmi ces réponses un membre a signalé vendre des cartes de base sur lesquelles ses clients portent leur logiciel. Les autres réponses reçues précisent que les tests ont porté sur des séquences d'images types, de nature et complexité différentes (CCETT, UER, BBC etc....) considérées comme représentatives des différentes situations que propose la télévision afin de faire des comparaisons objectives.

Plusieurs constructeurs ont précisé que les résultats portaient sur des solutions temporaires à base de DSP en attente des ASIC's développés spécifiquement qui permettront d'obtenir des gains supplémentaires.

La situation actuelle montre que le gain entre une compression MPEG-2 de dernière génération avec tous les pré- et post- traitements adaptés et les codeurs temps réel MPEG-4 actuels pour des images de définition standard varie selon les constructeurs, et bien sûr varie selon les contenus, entre 15% et 30% (4 Mbits/s ramenés à 2,5-3 Mbits/s).

Pour des images de haute définition les gains sont actuellement du même ordre de grandeur, 20 à 35 %. (18Mbits/s ramenés à 13-14Mbits/s).

Pour fin 2006-début 2007, les gains simulés et espérés en particulier avec les ASIC's en cours de développement sont estimés en SD aussi bien qu'en HD de 35 à 60% selon le contenu des séquences, mais il faut noter que pour la plus grande partie des séquences tests, le gain est supérieur aux 50%.

Les dates 2006-début 2007 ne seront qu'une étape, en effet, les progrès continueront car toutes les possibilités de l'algorithme ne seront pas encore toutes implémentées. Ceci n'est pas nouveau, car pour le MPEG-2 le processus a été le même.

Pour le canal son les chiffres communément adoptés sont d'environ :

- 256 kBits/s pour canal stéréo
- 384 kBits/s pour un 5.1 AC3 (Dolby Digital)

En conclusion, 3 canaux HD sur un multiplex terrestre sont envisageables courant 2007.

2. Disponibilité d'un MUX-STAT MPEG-2, MPEG-4

Le multiplexage statistique dynamique à l'intérieur d'un même multiplex consiste à affecter à chaque programme des limites de débit maximum et minimum (pouvant aller jusqu'à zéro) ainsi qu'un degré de priorité puis à établir un critère de "complexité" des images à diffuser. Plus les images sont complexes et plus leur priorité est de rang important plus on leur affecte de débit dans les limites fixées. La somme des débits ne doit pas dépasser le maximum autorisé. Cette affectation est dynamique avec une constante de temps déterminée, éventuellement jusqu'à l'image. Cette technique permet d'optimiser dans un multiplex la qualité moyenne des images sans pénaliser la qualité des canaux de rangs inférieurs. Du fait qu'à l'heure actuelle, aucune norme ne définit ce qu'est la complexité ni l'interface de contrôle/commande, il n'est possible de faire ce multiplexage que pour un ensemble de codeurs MPEG-2 ou MPEG-4 d'un même constructeur¹, soit globalement soit par catégorie de flux.

¹ Pour plus d'information consulter le numéro hors série septembre 2005 de la REE: Optimisation actuelle des performances de la compression vidéo: le Standard MPEG-4 ; Boris Felts et al.

3. Cohabitation de flux MPEG-2 et MPEG-4 dans un même multiplex

Cette cohabitation a été démontrée en temps réel sur un multiplex terrestre au Ministère de l'Industrie par les partenaires du HD forum dès octobre 2004 avec des images HD et SD.

De plus, la norme TS 101 154 adoptée par l'ETSI le 3 janvier 2005 précise les modalités du multiplexage de flux MPEG-2 et MPEG-4 sur un même train MPTS (voir figure 1).

Note 1 : Le réseau 6 de la TNT opéré par SMR6 diffuse un signal mixte MPEG2/MPEG4 depuis février 2005, démontrant cette cohabitation et la non perturbation des adaptateurs TNT ne supportant que le MPEG2.

Note 2 : En première mondiale, TPS a également effectué avec succès des essais de diffusion de la chaîne TPS Star en MPEG4 HD en cohabitation avec des chaînes MPEG2 et MPEG4 SD dans le multiplex SMR6 sur le réseau TNT.

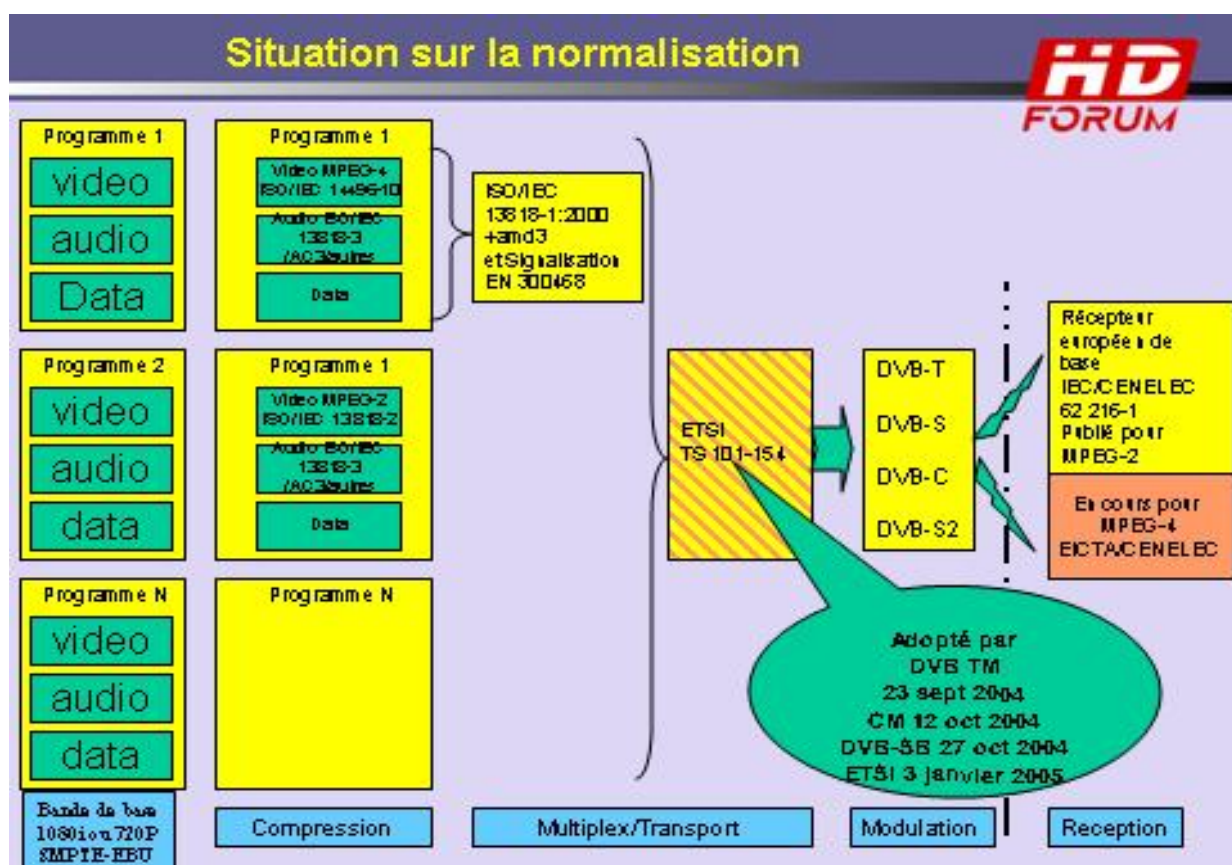


Figure 1 : normes applicables à la télévision numérique

4. Cohabitation d'un flux DVB-H et DVB-T sur un même MUX

Il y a sans doute plusieurs interprétations possibles de cette question.

- **Avant modulation pour composer le multiplex :**

Sur le principe, il est tout à fait possible de multiplexer des transport-stream DVB-T et DVB-H (le MPE-FEC et time slicing spécifiques au DVB-H interviennent dans la partie IP), le multiplexage se faisant en amont de la modulation du canal.

- **Après composition du multiplex pour assurer la modulation du canal :**

En revanche, dans le choix de la modulation du canal (FEC, QPSK, 16QAM, 64QAM) interviennent directement les paramètres de mobilité ou non mobilité.

De plus, la partie OFDM de la modulation, influence directement cette portabilité : en DVB-T 8k (8000 porteuses) ; en DVB-H on préconise 4k pour le déplacement en voiture à vitesse élevée.

Les adaptateurs actuels de la TNT ne supportent pas le mode 4K.

Comme indiqué sur la figure 1, le multiplex est établi dans l'étage précédent l'étage de modulation dans une architecture système classique.

5. Cas des multiples codages/décodages sur la chaîne de transmission : exemple le sport.

Il y a plusieurs cas possibles :

- le premier est une cascade contribution-diffusion. La contribution ou la capture des images étant faite à beaucoup plus haut débit entre 50 et 100 Mbits/s et constituée d'images I (Intra) de GOP 1 seulement, la décompression, le traitement puis la diffusion ultérieure avec des GOP longs se fait sans perte de qualité notable. Il existe une autre possibilité largement employée en transmission primaire, le codage MPEG2 4.2.2 (mpeg2 pro) ou 4.2.0 à des débits de l'ordre de 9 à 12 Mb/s (SD), dans ce cas il n'y a plus de traitement avant la compression de diffusion ;
- en revanche, le second, cascade compression-décompression d'images constitué de GOP long à débits voisins n'est pas recommandé sans précaution. Des mesures objectives avec ou sans précautions ont été présentées par Snell et Wilcox ou le BBC il y a deux ou trois ans et met en évidence des dégradations notables qui dépendent de très nombreux paramètres du système mettant en évidence des stratégies de traitement des différents constructeurs et des compromis qu'ils font dans l'utilisation de l'algorithme.

Note 3 : Dans le cadre de la HD, les essais HD Forum se font uniquement en MPEG2 (pas encore de disponibilité de codeurs MPEG4 HD en profil 4.2.2) aux alentours de 24/30 Mb/s

Il existe plusieurs solutions d'améliorations décrites dans les articles joints [voir monographie de la SEE précitée] et normalisées au SMPTE (Thomson y a largement contribué) mais il ne semble pas aujourd'hui que ces possibilités liées au "Mole" soient encore utilisées.

6. Quand pourrons-nous mettre 3 chaînes HD sur un Mux terrestre ?

Voir réponse au point N° 1 : *En conclusion, 3 canaux HD sur un multiplex terrestre sont envisageables courant 2007.*

Lettre envoyée aux professionnels de l'audiovisuel

CONSEIL GÉNÉRAL DES TECHNOLOGIES
DE L'INFORMATION

TÉLÉDOC 792 - 120, RUE DE BERCY
75572 PARIS CEDEX 12
TÉLÉPHONE : 01 40 04 04 04

Paris, le 3 janvier 2006

Le Vice-Président,

001/CGTI/JGR

Monsieur le Président,

La télévision numérique est aujourd'hui une réalité en France. Il s'agit essentiellement de télévision au format "standard" (SDTV). Elle connaît un vif succès quel que soit le vecteur de transmission utilisé : par ADSL, par câble, par TNT terrestre ou par satellite. En 2006, pourraient démarrer, et venir enrichir l'offre, la télévision en haute définition (HDTV), la télévision mobile et la télévision interactive.

Afin de soutenir le développement d'une offre de programme toujours plus riche, il apparaît utile de pouvoir recourir désormais à la compression MPEG4-AVC dès que possible, c'est-à-dire dès que ses performances réellement observées en service opérationnel atteindront le niveau promis par la norme. D'ores et déjà, le HD Forum par l'expression de son président a bien voulu me faire part de son point de vue sur ce sujet technique.

Le CGTI avait produit en septembre 2004 – grâce à la collaboration des entreprises du secteur et à la mise à disposition de l'expertise de vos collaborateurs – une analyse détaillée sur les perspectives ouvertes, pour la diffusion de programmes audiovisuels, par le MPEG4-AVC.

Le Ministre me demande aujourd'hui d'actualiser cette étude et de préciser l'état de l'art sur les points suivants :

- 1 les performances actuelles (au 31 décembre 2005) de la compression MPEG4-AVC, c'est-à-dire des encodeurs, en définition standard (SDTV) et en haute définition (HDTV) ;

- 2 les prévisions de performances attendues pour le 31 décembre 2006 avec l'explication de l'amélioration obtenue par rapport à la situation actuelle. En particulier, cette amélioration nécessite-t-elle un changement de matériel ou seulement des mises à jour logicielles pouvant être introduites dans les encodeurs actuels ;
- 3 les objectifs de performance future avec une datation probable, également assorties des raisons d'annoncer de tels résultats. En particulier, il est très important de connaître les dates auxquelles le MPEG4 fournira une compression double de celle du MPEG2 (objectif 50%, soit moins de 2 Mbps pour un programme SDTV de sport), puis une compression 2,4 fois supérieure (objectif 58%, soit moins de 1,7 Mbps pour un programme SDTV de sport) ; enfin quelle est l'efficacité attendue à moyen terme et les raisons de cette nouvelle amélioration ;
- 4 les performances globales obtenues aujourd'hui, puis fin 2006, puis à une date ultérieure significative, avec un multiplexeur statistique – en précisant lequel – aussi bien en MPEG2 qu'en MPEG4 :
 - o dans un flux numérique à 24 Mbps, par exemple pour la TNT ou l'ADSL ;
 - o dans un flux numérique à 36 Mbps, de type DVB-S ;
 - o dans un flux numérique à 50 Mbps, de type DVB-S2 ;
 - o dans une offre câble, en précisant laquelle ;
 - o dans une offre ADSL, et également laquelle.
- 5 la date vraisemblable de la possibilité opérationnelle de transmettre 3 chaînes HDTV dans un train binaire de 24 Mbps ; je vous demande de préciser si cette association rend indispensable un multiplexage statistique, et en conséquence une gestion coordonnée des chaînes concernées ;
- 6 l'existence présente ou future sur le marché de multiplexeurs statistiques combinant des programmes compressés en MPEG2 et des programmes compressés en MPEG4, ainsi que leurs performances et leurs prix ;
- 7 la date et les conditions de la disponibilité en grande série de décodeurs décompressant MPEG2 et MPEG4, en SDTV et en HDTV ;
- 8 la date et les conditions de la disponibilité de téléviseurs incorporant la décompression MPEG2 et MPEG4.

Ces informations sont destinées à éclairer les pouvoirs publics pour une orientation des choix, notamment réglementaires, relatifs aux conditions de la diffusion des programmes audiovisuels en télévision numérique à court et moyen terme.

Dans la mesure du possible, je souhaiterais disposer des réponses à ces questions pour le 16 janvier 2006 afin d'en rendre compte immédiatement au Ministre. Au cas où vous souhaiteriez que votre réponse soit présentée par oral avant son envoi par écrit, je vous communique les adresses électroniques de deux de mes collaborateurs : jean-gabriel.remy@ieee.org et jean-pierre.dardayrol@industrie.gouv.fr

Je me permets par ailleurs de vous demander de m'indiquer celui de vos collaborateurs avec lequel le CGTI pourra approfondir ultérieurement l'analyse technique de ces questions.

Je tiens à vous remercier par avance pour votre contribution et vous prie de croire, Monsieur le Président, à l'assurance de ma considération distinguée.

H. SERRES

Henri SERRES

Liste des entreprises du secteur audiovisuel consultées

TF1
TPS
France Televisions
METROPOLE TELEVISION
Canal Plus
AB Groupe
BOLLORE MEDIA
NRJ-TV
Lagardère
France Telecom
ILIAD - FREE
Neuf-CEGETEL
TdF
NOOS
GLOBECAST
EUTELSAT
THOMSON
HARMONIC
PHILIPS
TANDBERG
PANASONIC
ENVIVIO
HBS
SAGEM Communication
SONY
Samsung
SHARP
ST Microelectronics
PIONEER
NEOTION