

Les normes MPEG : de la compression à la gestion intégrée des contenus multimédias

MPEG Standards: From Compression to the Integrated Management of Multimedia Contents

Las normas MPEG: de la compresión a la gestión integrada de los contenidos multimedia

François-Xavier Paré

Volume 49, Number 1, January–March 2003

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1030296ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1030296ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Association pour l'avancement des sciences et des techniques de la documentation (ASTED)

ISSN

0315-2340 (print)

2291-8949 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Paré, F.-X. (2003). Les normes MPEG : de la compression à la gestion intégrée des contenus multimédias. *Documentation et bibliothèques*, 49(1), 13–21. <https://doi.org/10.7202/1030296ar>

Article abstract

The Motion Picture Experts Group develops international standards for electronic multimedia data files. The MPEG-1 and MPEG-2 standards specify how visual and sound files should be compressed in order to facilitate the rapid network transfer and the storage on disc. MPEG-4 also specifies compression standards applicable to real-time streaming. MPEG-7 outlines a document description system based on metadata used for very complex searching. Finally, the MPEG-21 standard will propose an application framework for the integrated management of multimedia resources (creation, distribution, copyright management, method of payment, etc.).

Les normes MPEG : de la compression à la gestion intégrée des contenus multimédias

François-Xavier Paré

Étudiant,

École de bibliothéconomie et des sciences de l'information

Université de Montréal

Le Motion Picture Experts Group est un organisme chargé de développer des normes internationales sur les fichiers informatiques multimédias. Les normes MPEG-1 et MPEG-2 édictent des modes de compression de fichiers visuels et sonores permettant le transfert rapide en réseau et facilitant le stockage sur disque. MPEG-4 concerne également la compression, mais s'applique à la diffusion en temps réel (« streaming »). MPEG-7 propose un système de description des documents basé sur des métadonnées permettant des recherches très sophistiquées. Finalement, MPEG-21 offrira un cadre d'application pour une gestion intégrée des ressources multimédias (création, distribution, gestion des droits d'auteur, mode de paiement, etc.).

MPEG Standards : From Compression to the Integrated Management of Multimedia Contents

The Motion Picture Experts Group develops international standards for electronic multimedia data files. The MPEG-1 and MPEG-2 standards specify how visual and sound files should be compressed in order to facilitate the rapid network transfer and the storage on disc. MPEG-4 also specifies compression standards applicable to real-time streaming. MPEG-7 outlines a document description system based on metadata used for very complex searching. Finally, the MPEG-21 standard will propose an application framework for the integrated management of multimedia resources (creation, distribution, copyright management, method of payment, etc.).

Las normas MPEG : de la compresión a la gestión integrada de los contenidos multimedia

El Grupo de Expertos de Películas (Motion Picture Experts Group) es un organismo encargado de elaborar normas internacionales para los archivos informáticos multimedia. Las normas MPEG-1 y MPEG-2 determinan modos de compresión de archivos visuales y sonoros que permiten la transferencia rápida en red y facilitan el almacenaje en discos. La norma MPEG-4 atañe también a la compresión, pero se aplica a la difusión en tiempo real (« streaming »). La MPEG-7 propone un sistema de descripción de los documentos basado en metadatos que permiten búsquedas muy complejas. Finalmente, la norma MPEG-21 ofrecerá un marco de aplicación para una gestión integrada de recursos multimedia (creación, distribución, gestión de derechos de autor, modo de pago, etc.).

La normalisation est l'une des clés de voûte des progrès fulgurants de l'informatique au XX^e siècle. Dans plusieurs domaines, les normes internationales¹ ont assuré la concertation des efforts des chercheurs et des entreprises. Ces normes sont généralement issues de comités internationaux d'experts qui décident de se mettre d'accord sur certains principes techniques, dans le but de favoriser les échanges au sein d'une industrie, et ce à l'échelle mondiale. On pourrait voir dans la normalisation une tentative de freiner l'innovation, de restreindre les domaines d'investigation possibles. À notre avis, cette position mérite d'être nuancée. En fait, nous pourrions dire que les meilleures normes sont celles qui servent de tremplin au progrès, fournissant des bases communes susceptibles de favoriser l'émergence de technologies nouvelles.

Le présent article propose justement un survol des différentes normes mises au point par un comité international de normalisation appelé le Motion Picture Experts Group. Les travaux menés jusqu'ici par ce groupe concernent la compression, l'indexation et la gestion des documents visuels et sonores numériques. Après une brève présentation du MPEG et de son fonctionnement, nous passerons en revue les différentes normes MPEG, en mettant l'accent sur les caractéristiques importantes de chacune ainsi que sur des exemples concrets de leur utilisation.

Le Motion Picture Experts Group

Établi en 1988, le Motion Picture Experts Group (MPEG) est un groupe de travail chapeauté par l'Organisation

internationale de normalisation (ISO). Il est chargé de développer des normes internationales pour la compression, la décompression, le traitement et le codage des images en mouvement, du son et de la combinaison des deux. Jusqu'ici, le MPEG a donné naissance à cinq normes (MPEG 1, 2, 4, 7 et 21). La première norme développée, MPEG-1, a été approuvée en novembre 1992.

Le MPEG réunit 3 fois par année environ 300 experts d'une vingtaine de pays. Contrairement à d'autres comités de standardisation qui ne font qu'approuver des technologies qui leur sont soumises, le MPEG s'occupe lui-même du développement technique. Le travail est réparti

1. Norme: « Ensemble de règles d'usage, de prescriptions techniques, relatives aux caractéristiques d'un produit ou d'une méthode, édictées dans le but de standardiser et de garantir les modes de fonctionnement, la sécurité et les nuisances ». (Tiré de *Le Petit Robert*, 2000).

entre divers comités de spécialistes à l'occasion des réunions et le résultat de leur travail est communiqué à tous à la rencontre suivante. D'ailleurs, de nombreux documents de travail sont disponibles sur le site web du MPEG <<http://mpeg.telecomitalia.com>>.

Nous allons, dans les sections suivantes, passer en revue les différentes normes de la famille MPEG. Chacune a été développée en réponse à un besoin particulier et possède son mode de fonctionnement propre. Si certaines normes ont déjà démontré leur utilité dans le monde de la vidéo numérique (MPEG 1 et 2), les autres doivent encore faire leurs preuves. Soulignons également que les normes MPEG ne prescrivent pas de format de fichier particulier, mais un système de codage et de décodage de l'information.

MPEG-1

Première norme élaborée par le MPEG, MPEG-1 a été conçue pour compresser les fichiers vidéo. On peut d'emblée se demander ce qui justifie la compression d'un fichier vidéo. La réponse à cette question est que les fichiers vidéo numériques sont trop « gros ». En effet, bien que des progrès aient été faits à cet égard depuis quelques années, la bande passante et l'espace de stockage sont encore nettement insuffisants pour pouvoir utiliser des vidéos dans leur format original (non compressé). L'exemple suivant permet de se rendre compte de cet état de fait².

Supposons que la résolution maximale d'un écran soit de 800 x 600, ce qui signifie une largeur de 800 pixels et une hauteur de 600 pixels (ce choix est conservateur, puisque beaucoup d'écrans fonctionnent à des résolutions plus élevées). La surface de l'écran représente donc une matrice composée de: $800 \times 600 = 480\,000$ pixels. Chacun de ces pixels peut afficher à n'importe quel instant une couleur particulière, codée sur 16 bits (ou 2 octets). Par exemple, une couleur peut être représentée par 11111110000000. Assigner une couleur précise à chaque pixel de l'écran demande donc: $480\,000 \times 2 = 960\,000$ octets, soit 937,5 kilo-octets (ko).

Une vidéo peut être considérée comme une suite d'images. Au rythme de 30 images par seconde, une seconde de

film en format 800 x 600 constituera donc un fichier de: $937,5 \times 30 = 28\,125$ Ko, soit 28,8 méga-octets (Mo). Pour stocker une heure de film, on aurait par conséquent besoin d'environ 103 Go, ce qui excède la capacité de la plupart des disques durs actuels... sans parler d'un éventuel téléchargement via Internet. On se rend bien compte de l'impossibilité pratique de manipuler de tels fichiers. C'est ici que l'idée de la compression prend tout son sens. En effet, en réduisant la taille des fichiers, ceux-ci deviennent davantage manipulables, plus faciles à stocker et à transmettre sur un réseau.

Toute opération de compression nécessite deux dispositifs: un encodeur qui doit empaqueter les données de façon à réduire leur taille et un décodeur qui devra l'"dépaqueter" les données pour les rendre de nouveau lisibles par la machine. Si ces deux dispositifs ne sont pas compatibles, le système ne pourra pas fonctionner. D'où l'importance de la standardisation et l'utilité d'un organisme comme le Motion Picture Experts Group. Avant de voir plus en détail en quoi consiste la norme MPEG-1, il convient de faire un tour d'horizon des méthodes de compression.

Types de compression

On distingue en général deux types de compression. Le premier est la compression dite sans perte, qui permet théoriquement une réversibilité complète, sans aucune dégradation de l'information compressée. Son fonctionnement est relativement simple: il consiste à regrouper des informations identiques et successives de façon à économiser des bits et donc de l'espace. Par exemple, si l'on trouve dans une image 1000 pixels consécutifs exactement de la même couleur, on pourrait décrire l'un à la suite de l'autre les 1000 pixels chacun à l'aide de 16 bits, ce qui nous donnerait une chaîne de 16000 bits. Par contre, en utilisant des algorithmes de compression, il est possible d'énoncer ces 1000 pixels comme étant simplement 1000 fois 16 bits. On pourra alors représenter les mêmes 1000 pixels avec seulement une cinquantaine de bits (cela dépend de la méthode utilisée), mais avec le même résultat à l'affichage. La compression sans perte fait appel aux mêmes types d'algorithmes que ceux contenus dans les logiciels de compression de fichier (comme *WinZip*, utilisé couram-

ment pour compresser des fichiers avant de les envoyer par courriel), à savoir les méthodes *Lempel-Ziv*, *Huffman* et autres.

La compression sans perte a beau garantir la réversibilité de l'opération de compression, il reste qu'elle n'est pas des plus efficaces, avec un ratio moyen de compression de seulement 2 pour 1. On doit donc se tourner vers le deuxième type de compression, dite avec perte, qui permet des économies d'espace beaucoup plus substantielles, parfois de l'ordre de 300 pour 1. Par contre, on doit pour ce faire accepter de sacrifier en partie la qualité de l'image et du son. Notons ici que bien qu'une perte de données puisse survenir il n'est pas certain qu'elle sera perceptible par l'humain. En effet, certains algorithmes vont éliminer des données qui se trouvent de toute façon hors du seuil humain de perception visuelle et acoustique. Il reste toutefois que dans bien des cas la perte de qualité est bel et bien perceptible.

Deux techniques de compression avec perte existent. La compression spatiale consiste à réduire la taille des images fixes qui forment une séquence vidéo. La norme MPEG utilise à cet effet la méthode JPEG, un format courant pour les images fixes numériques. La seconde technique est la compression temporelle, qui sépare en deux groupes toutes les images fixes composant une séquence vidéo: les images clés et les images delta. Les images clés sont des images de référence entièrement décrites. Une image delta, par contre, n'est décrite que sous l'angle de la différence par rapport à l'image de référence à laquelle elle se rapporte. Supposons qu'une séquence vidéo présente un reporter parlant devant un immeuble. La première image de la séquence sera codée complètement et constituera une image clé. Pour l'image suivante, par contre, on ne codera que ce qui est différent par rapport à l'image précédente et on aura alors une image delta. En effet, il ne devrait pas y avoir une grande différence entre cette seconde image et la première. Tout au plus les lèvres du reporter ou sa tête auront bougé légèrement. Mais tout le reste de l'image n'aura sans doute pas changé (l'immeuble, par exemple). Il serait donc inutile d'enre-

2. Exemple adapté de: *Introduction à la compression vidéo*. Page consultée le 3 mars 2003. Adresse URL: <http://www.media-video.com/sections.php?op=viewarticle&artid=74>.

gistrer toute la seconde image, puisqu'elle sera de toute façon presque identique à la précédente. Grâce à diverses techniques, on ne considérera donc que les éléments modifiés, ce qui permettra d'économiser beaucoup de bits de données. Toutes les images ne peuvent toutefois pas être des images delta. Outre la première image, des images clés seront donc codées régulièrement, par exemple à toutes les 12 images.

Contenu de la norme MPEG-1

Venons-en à la norme MPEG-1 elle-même. Son objectif était de permettre le stockage et la récupération de l'image en mouvement et du son sur des supports de taille raisonnable (un cédérom, par exemple). Elle convient donc à des débits allant jusqu'à 1,5 Mbps.

La norme MPEG-1 elle-même est constituée de cinq documents. Le premier décrit ce qu'on appelle la couche système. Il s'agit d'un mécanisme assurant la synchronisation entre audio et vidéo dans un film. Le second spécifie les techniques de compression utilisées. Il s'agit en fait d'un amalgame des méthodes évoquées plus haut, complété par diverses techniques. Les détails de ces méthodes dépassent toutefois le cadre de cet article. Nous nous contenterons de mentionner que les fichiers passeront successivement par des processus de compensation de mouvement, de transformation en cosinus discrète, de quantisation et de *Run-length encoding*.

Le troisième document propose des filtres pour la compression des données audio. C'est d'ailleurs cette norme qui est utilisée dans les fameux fichiers MP3 qui ont tant fait couler d'encre, notamment pour des questions de droits d'auteur. Le nom *MP3* ne signifie donc pas MPEG-3 (comme beaucoup le pensent), mais bien *MPEG-1 Layer 3*. Les données sonores éliminées d'un fichier MP3 sont théoriquement supérieures ou inférieures au seuil d'audibilité chez l'humain, d'où une qualité sonore très acceptable malgré une perte d'informations considérable. Le quatrième document fournit des procédures de test pour s'assurer qu'un encodeur ou un décodeur respecte bel et bien la norme MPEG-1, alors que le cinquième est un rapport technique concernant l'implantation de MPEG-1 dans un logiciel.

Ce dernier document n'est toutefois pas du domaine public.

Une dernière chose mérite d'être soulignée à propos de MPEG-1 : son interopérabilité. Cette norme contrôle la syntaxe des données (c'est-à-dire la façon dont les données sont arrangées) et le fonctionnement du décodeur. Par contre, rien n'est spécifié pour ce qui concerne l'encodeur. On peut donc utiliser n'importe quel encodeur, pourvu que le code produit soit conforme aux standards établis. Ceci apporte donc une certaine flexibilité et permet une évolution dans les technologies d'encodage sans que les décodeurs deviennent pour autant obsolètes.

MPEG-2

Approuvée en 1992, la norme MPEG-2 est en quelque sorte un complément à MPEG-1. Alors que cette dernière convient surtout à des débits inférieurs à 1,5 Mbps, MPEG-2 a un débit maximum beaucoup plus élevé, à 15 Mbps. Par ailleurs, un décodeur MPEG-2 est tout à fait capable de décoder un document vidéo codé selon MPEG-1. L'inverse n'est toutefois pas vrai. En outre, MPEG-2 peut jongler avec différentes tailles d'images.

Nous n'entrerons pas dans les détails de la norme MPEG-2 puisque son principe général de fonctionnement est similaire à celui de MPEG-1, mais quelques points particuliers valent d'être soulignés. D'abord, MPEG-2 procure une plus grande flexibilité et peut tirer parti de circuits intégrés plus perfectionnés pour servir à toutes sortes d'applications. MPEG-2 est donc à la base de divers standards de diffusion télévisuelle dont la télévision haute définition (HDTV) et est utilisée comme système de compression dans la technologie DVD, d'autant plus qu'elle supporte les fonctionnalités sonores à canaux multiples (le son dit *surround*) comme *Dolby AC-3*. Il s'agit donc d'une norme assez polyvalente, orientée vers des applications plus avancées sur le plan de la qualité visuelle et sonore.

Bien que la qualité visuelle et sonore de MPEG-2 soit largement supérieure à celle de MPEG-1, on ne peut toutefois pas parler d'équivalence avec un document original sur film par exemple. Ceci devient évident lorsqu'on veut produire un agrandissement d'une image d'une vidéo MPEG-2. On s'aperçoit alors que la texture de l'image n'est pas aussi fine qu'en

mode analogique, que des détails manquent. Ces détails peuvent être difficiles à percevoir lorsque le film défile devant nos yeux, mais il y a bel et bien une perte d'information. On n'aura donc pas une copie en tous points conforme à l'original. Bref, si l'on compte sur MPEG-2 pour ses fonctions de préservation des documents, il faudrait peut-être rajuster le tir. MPEG-2 fait des miracles pour la diffusion, avec une qualité fort respectable, mais ne peut être envisagée dans un esprit de préservation du patrimoine audiovisuel.

MPEG-4

La norme MPEG-4 a été adoptée officiellement en 1999. Ses applications ne sont donc pas encore aussi répandues que celles des deux normes précédentes. MPEG-4 possède toutefois un spectre de possibilités beaucoup plus étendu que MPEG 1 et 2, accordant une place importante à l'interactivité avec l'utilisateur ainsi qu'à l'intégration de diverses composantes visuelles et sonores au sein d'un même fichier. Cette norme pourra entre autres servir à la diffusion en temps réel (communément appelée *streaming*), un segment actuellement occupé par des logiciels comme le *Real Player* de Real Networks ou le *Windows Media Player* de Microsoft. C'est ce mode de diffusion qui permet d'écouter une station de radio ou des extraits de chansons, ou encore d'assister à un spectacle en direct sur le web.

Soulignons d'abord que les techniques de compression fournies par MPEG-4 sont légèrement supérieures à celles que l'on trouve dans les MPEG 1 et 2, mais la véritable force de MPEG-4 réside dans sa grande flexibilité, notamment en ce qui a trait au taux de transfert des données, particulièrement en temps réel.

Flexibilité des taux de transfert

Nous avons vu plus tôt qu'un fichier MPEG-1 pouvait être lu à un débit inférieur à 1,5 Mbps, alors qu'un fichier MPEG-2 pouvait être lu autour de 15 Mbps. Par contre, un fichier MPEG-4 peut fonctionner avec des taux de transfert moindres que ceux de MPEG-1 (même sous les 64 Kbps), mais aussi avec des taux plus élevés que ceux de MPEG-2 (on vise même jusqu'à 1,2 Gbps pour la qualité studio) et bien sûr n'importe quelle valeur entre ces deux

extrêmes. Autrement dit, peu importe la capacité de l'appareil de lecture utilisé ou la bande passante disponible, le flux vidéo s'ajustera en conséquence, afin de produire la meilleure qualité selon les circonstances.

Cela s'avère particulièrement intéressant pour les applications reliées à la téléphonie sans fil. De plus en plus de contenu est accessible via un téléphone cellulaire : cotes de la bourse, résultats sportifs, etc. Il est bien sûr intéressant de pouvoir offrir du contenu multimédia (son et vidéo) sur ces appareils, mais ils sont souvent peu puissants et bénéficient généralement d'une connexion assez lente (en tout cas si on la compare à un modem câble, par exemple). C'est justement là que la capacité de MPEG-4 à diffuser à un très faible taux de transfert devient intéressante. Ainsi, avec une faible connexion, les images pourront arriver très vite à l'écran et leur qualité s'améliorera peu à peu à mesure que le reste des données arrivera. Et si le taux de transfert devait augmenter de façon importante pendant la transmission, la qualité visuelle et sonore s'améliorerait sur le champ en conséquence. MPEG-4 fournit également un excellent système de correction d'erreurs, ce qui est particulièrement utile avec une connexion lente et/ou fragile. Cela signifie en outre que les producteurs de contenu n'auront plus à maintenir plusieurs versions de leurs fichiers vidéo (réglés à différents taux de transfert déterminés) sur leurs serveurs de façon à satisfaire l'ensemble de leur clientèle. Un seul fichier MPEG-4 suffira.

Le concept d'objets audiovisuels

L'autre concept relativement révolutionnaire apporté par MPEG-4 est celui d'objets audiovisuels. Il implique simplement que différentes parties d'une scène peuvent être encodées et transmises séparément en tant qu'objets audiovisuels (OAV). Les objets seront ensuite regroupés par le décodeur. De cette façon, chaque objet est encodé de la façon la plus efficace possible. Ce processus est plus performant que si l'on encodait l'image en entier comme le font les normes MPEG-1 et MPEG-2.

MPEG-4 utilise entre autres une technique dans laquelle une grille de points (invisible) est tracée sur la surface d'un

objet. Lorsque l'objet se déforme d'une quelconque façon, la distance des points les uns par rapport aux autres change. Si par exemple un objet rétrécit, les points de la grille se rapprocheront les uns des autres. Une fois qu'un objet a été encodé comme tel, ses déplacements à l'écran peuvent être traduits simplement par quelques vecteurs (exemple : déplacement de tel point, sur telle distance, vers la gauche, à telle vitesse), ce qui demande moins de travail pour le décodeur et l'encodeur que d'analyser l'image entière.

Cette technique est fort avantageuse pour des applications comme la vidéoconférence. La norme MPEG-4 définit d'ailleurs une grille correspondant à un visage humain moyen, sans expression faciale. Tous les décodeurs sont programmés avec ce visage. On n'a donc qu'à transmettre les différences entre le visage de la personne réelle et le visage par défaut, puis à ajouter la texture nécessaire pour donner l'aspect tridimensionnel approprié. Cette texture n'est envoyée qu'au début de la transmission et elle est ensuite utilisée pour le reste de la transmission. Pour ce qui est de l'animation du visage, on n'a qu'à transmettre au fur et à mesure les quelques vecteurs nécessaires afin d'indiquer les mouvements de la grille recouvrant le visage. Notons que dans ce cas il s'agit de vecteurs spécialement conçus pour traduire des expressions faciales. Toutes ces mesures tendent à réduire le travail de l'encodeur et du décodeur, ce qui, en fin de compte, ne pourra qu'améliorer la qualité de la transmission à un taux de transfert donné.

Les objets audiovisuels peuvent en outre être contrôlés indépendamment les uns des autres, et ce de diverses façons. Peter Symes³ donne pour exemple une démonstration durant laquelle un match de soccer était retransmis en utilisant la norme MPEG-4. Le ballon avait alors été encodé comme un objet séparé du reste de l'image et avait été désactivé. Le match était donc transmis sans le ballon, de façon à inciter les gens à payer pour pouvoir visionner le match avec un ballon. Cette anecdote permet de comprendre la capacité de séparation des scènes en objets, mais aussi d'entrevoir les vastes possibilités de cette technologie, et ce bien au-delà de l'industrie de la télévision payante... Les jeux vidéo et la vidéo interactive, entre autres, pourraient bénéficier de ces avancées.

La norme MPEG-4 permet également de créer une hiérarchie entre les objets audiovisuels, de façon à donner la priorité à l'une ou l'autre des composantes d'une scène. Un objet considéré plus important sera transmis plus rapidement ou de façon plus claire que les autres. Pour revenir à l'exemple de la vidéoconférence, si l'on voit simultanément à l'écran quelqu'un parler en présentant un graphique, on pourrait vouloir mettre l'accent sur le graphique plutôt que sur le visage de la personne qui parle (puisque les détails du visage n'apportent, somme toute, que peu d'information supplémentaire). On donnerait donc la priorité à l'objet graphique sur l'objet visage. Cela signifie que si le taux de transmission était limité (dans le cas d'un trop grand achalandage sur le réseau par exemple), on verrait le graphique avec beaucoup de clarté, mais le visage serait peut-être moins clair, à tout le moins jusqu'à ce que le taux de transfert s'améliore. Quant à l'arrière-plan de la scène (qui n'est pratiquement d'aucune utilité), il serait au troisième rang dans la hiérarchie et n'apparaîtrait clairement que si les deux autres étaient clairs, et ainsi de suite...

Cette capacité de s'adapter automatiquement au taux de transfert approprié relève de ce qu'on appelle la multirésolution spatiale et temporelle. La multirésolution spatiale signifie que la résolution des objets plus importants peut être plus élevée que celle des autres objets audiovisuels. De la même façon, la multirésolution temporelle permet d'avoir des taux de transfert différents pour les divers objets audiovisuels d'une scène. On a donc la possibilité de mettre l'accent là où on le désire. C'est une amélioration considérable par rapport aux normes MPEG précédentes, qui transmettaient les scènes entières sans considération pour les objets audiovisuels. C'est en partie ce qui fait que MPEG-4 est plus efficace que ses prédécesseurs, mais beaucoup bien plus complexe.

Interactivité et autres caractéristiques

Ceci nous amène à examiner les possibilités d'interactivité liées à la norme MPEG-4. Il faut d'abord dire que les objets

3. Symes, Peter. 2001. The new flavors of MPEGs. *Broadcast Engineering* 43 (3) : 252-260.

Tableau 1

Temps réel* ?	Symétrie** ?	Interactivité*** ?	Applications possibles
Oui	Oui	Oui	Vidéotéléphonie, vidéoconférence, expertise à distance, télé-médecine...
		Non	N/A
	Non	Oui	Télésurveillance (ex. : caméras sur les autoroutes, moniteur permettant de surveiller un nouveau-né...)
		Non	N/A
Non	Oui	Oui	Messages multimédias (envoyés par courriel)
		Non	N/A
	Non	Oui	Récupération d'informations dans des banques de données vidéo, vidéo sur demande...
		Non	Présentations multimédias non interactives

* Dans une application en temps réel, l'acquisition (production) de l'information et son utilisation sont simultanées. Il n'est donc pas nécessaire de télécharger l'information au préalable pour pouvoir la visualiser.

** Il y a symétrie quand les moyens de transmission (i.e. le taux de transfert) sont équivalents de part et d'autre de la connexion (du serveur à l'utilisateur, et de l'utilisateur au serveur, par exemple).

*** Il y a interactivité lorsque l'utilisateur a un certain contrôle sur la présentation ou le contenu de la séquence vidéo qui lui est présentée.

apparaissant dans une scène en MPEG-4 peuvent être naturels (des scènes issues d'une caméra, par exemple) ou encore synthétiques (comme du texte ajouté par la suite). Il est donc possible d'ajouter des instructions à l'écran et des boutons donnant accès à des options, ou encore de rendre des parties de l'écran cliquables. On peut même envisager la possibilité de manipuler directement un objet, c'est-à-dire de le déplacer, de le supprimer ou simplement de changer sa vitesse.

Parmi les autres caractéristiques notables de MPEG-4, notons sa compatibilité avec les normes MPEG précédentes ainsi qu'avec des formats comme le VRML (*Virtual Reality Modeling Language*⁴ utilisé pour la réalité virtuelle) et le SMIL (*Synchronized Multimedia Integration Language*⁵, utilisé pour les présentations multimédias interactives). MPEG-4 peut aussi transmettre adéquatement des images fixes, des graphiques en deux et trois dimensions, du son en mode à canaux multiples, du texte, etc. Autre fait intéressant, MPEG-4 est capable de gérer des images de diverses formes. Dans ce contexte, les images rectangulaires, auxquelles nous sommes habitués, ne constituent qu'un cas particulier parmi tant d'autres. Il serait ainsi possible de faire jouer une séquence vidéo sur un écran de forme ronde ou triangulaire.

Applications possibles

Toutes ces capacités sont très prometteuses pour MPEG-4. Sa grande flexibilité et ses fonctionnalités d'interaction laissent entrevoir de nombreuses applications potentielles. Bien qu'elle ne remplacera probablement pas, du moins à court terme, une norme aussi bien implantée que MPEG-2 dans les DVD, MPEG-4 ouvre la porte à des possibilités nouvelles et améliorera considérablement le fonctionnement d'applications existantes. À court terme, ce seront peut-être les compagnies œuvrant dans le domaine de la téléphonie sans fil qui feront le plus de pressions en faveur de l'acceptation commerciale de MPEG-4. Il y a à l'heure actuelle un bassin important de consommateurs de ce type d'appareils, et comme on l'a vu plus haut, MPEG-4 solutionne de nombreux problèmes reliés à la vidéo sur faible bande passante. Mais MPEG-4 peut s'avérer utile dans plusieurs contextes (que ce soit dans un environnement sans fil ou non), comme en témoigne le tableau 1⁶.

MPEG-7

Si les trois normes MPEG précédentes (1, 2 et 4) s'occupaient de la compression de données audiovisuelles,

MPEG-7 a plutôt comme objet la description de contenu multimédia. Son nom officiel est d'ailleurs *Multimedia Content Description Interface*. Le but de MPEG-7 est de résoudre un problème de plus en plus criant qui concerne particulièrement (mais pas seulement) les archivistes, bibliothécaires et autres professionnels de l'information : l'omniprésence de matériel audiovisuel et surtout la difficulté de repérer les documents désirés puis de les identifier et y accéder. L'identification et la gestion de ce type de contenu deviennent de plus en plus complexes à cause de la multiplication des sources, des formats et des modes de repérage.

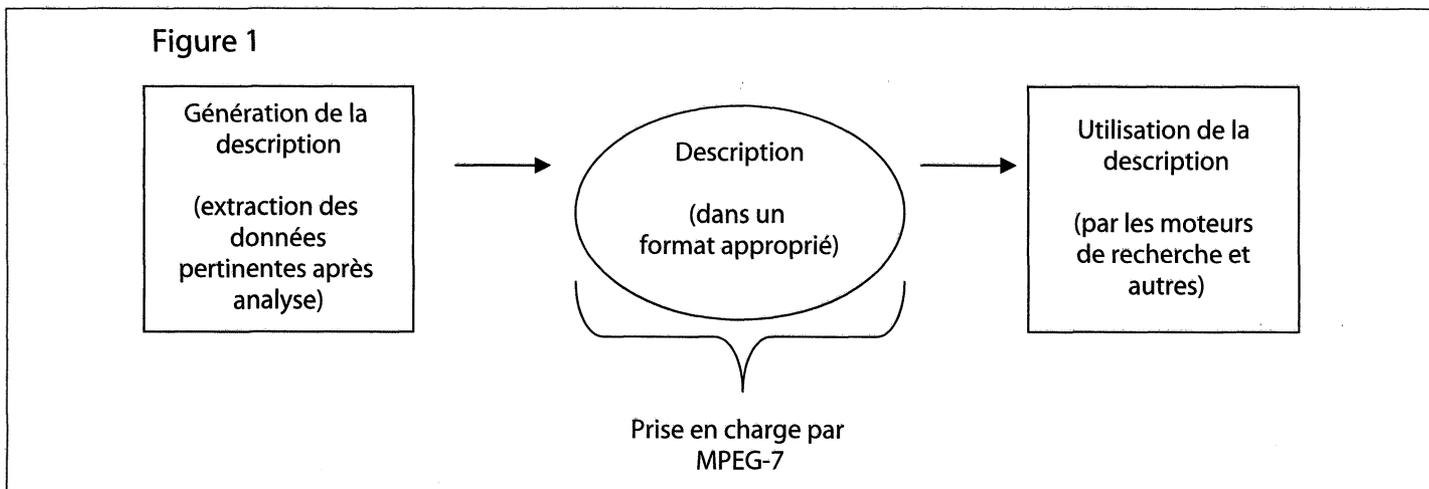
Concrètement, MPEG-7 fournit des outils standardisés de description, c'est-à-dire un ensemble de métadonnées⁷, ainsi qu'une syntaxe décrivant leur structure et les relations entre elles. Ces outils de description devraient éventuellement permettre un repérage efficace de l'informa-

4. Pour plus de détails sur cette norme du Web3D Consortium, voir l'adresse suivante : http://www.web3d.org/technicalinfo/specifications/ISO_IEC_14772-All/index.html.

5. Pour plus de détails sur cette norme du W3C, voir l'adresse suivante : <http://www.w3.org/AudioVideo/>.

6. Tableau adapté de: Thérier, Thomas. *MPEG-4*. Page consultée le 3 mars 2003. Adresse URL : <http://www.chez.com/mapextom/>.

7. Métadonnée : « Donnée qui renseigne sur la nature de certaines autres données et qui permet ainsi leur utilisation pertinente ». (Tiré du *Grand dictionnaire terminologique*, <http://www.granddictionnaire.com/>).



tion (par recherche, filtrage ou navigation). Notons d'emblée que les métadonnées MPEG-7 peuvent être intégrées à des fichiers de divers formats (incluant bien sûr ceux qui se conforment aux normes MPEG 1, 2, et 4), mais que ce n'est pas absolument nécessaire. Les données MPEG-7 peuvent se trouver sur un tout autre serveur que le fichier qu'elles décrivent. Un lien de type URL peut alors être établi entre les deux. Qui plus est, la description en format MPEG-7 peut aussi bien convenir à des documents numériques qu'analogiques, comme un film sur ruban ou une image imprimée sur une feuille de papier.

Avec MPEG-7, plusieurs degrés d'abstraction sont possibles. D'abord, une description audiovisuelle sans interprétation avancée est réalisable. Pour la partie vidéo, il y a donc des informations comme la forme, la taille, la texture, la couleur, même la trajectoire ou la position des objets! Pour l'audio, nous aurions plutôt des informations sur la tonalité, le tempo, etc. Un plus grand degré d'abstraction permet toutefois des descriptions sémantiques, plus complexes, comme: «deux enfants jouant avec un ballon» ou «un chien qui aboie». Évidemment, une description d'un degré d'abstraction inférieur peut être plus facilement automatisée, alors qu'une description sémantique, qui nécessite un plus haut degré d'analyse, requerra sans doute une intervention humaine.

En plus de décrire le contenu d'un document, MPEG-7 permet d'inclure d'autres informations utiles comme: le format et la taille du fichier; les conditions d'accès (l'endroit où le document

est stocké, des informations sur les droits d'auteur ou le prix; la classification au niveau de l'âge (pour le contrôle parental) ou en fonction de catégories quelconques; des liens vers d'autres informations pertinentes; le contexte, dans une perspective documentaire (ex.: «filmé à l'occasion de la cérémonie d'ouverture des Jeux olympiques d'été de Séoul en 1988»); et plusieurs autres informations sur la réalisation du document, son appartenance à une collection, etc.

Pour la représentation textuelle des métadonnées, MPEG-7 utilise le langage XML, un standard du W3C qui bénéficie déjà d'un haut degré d'acceptation dans le monde informatique. Ceci est fort encourageant en ce qui a trait à la compatibilité de MPEG-7 avec des technologies existantes et à venir.

Composantes de MPEG-7

Il est important de comprendre d'abord que MPEG-7 ne spécifie qu'un format standardisé de description. La norme ne spécifie donc pas la façon dont les données doivent être extraites du document (autrement dit la façon dont l'indexation doit être faite). L'important, après tout, est que les données soient ensuite récupérables et analysables par tous les moteurs de recherche compatibles MPEG-7. Selon le document qu'on a à décrire, il pourrait être plus approprié de faire une indexation automatique, semi-automatique ou encore entièrement manuelle. Il est donc difficile de standardiser cette partie du processus. Qui plus est, les progrès vont bon train dans le domaine de l'indexation des documents

visuels et sonores; le fait de ne rien standardiser dès maintenant permettra de bénéficier des améliorations à venir dans ce domaine. Les nouvelles techniques d'indexation pourront toujours produire des données compatibles MPEG-7, en autant qu'elles respectent son format particulier.

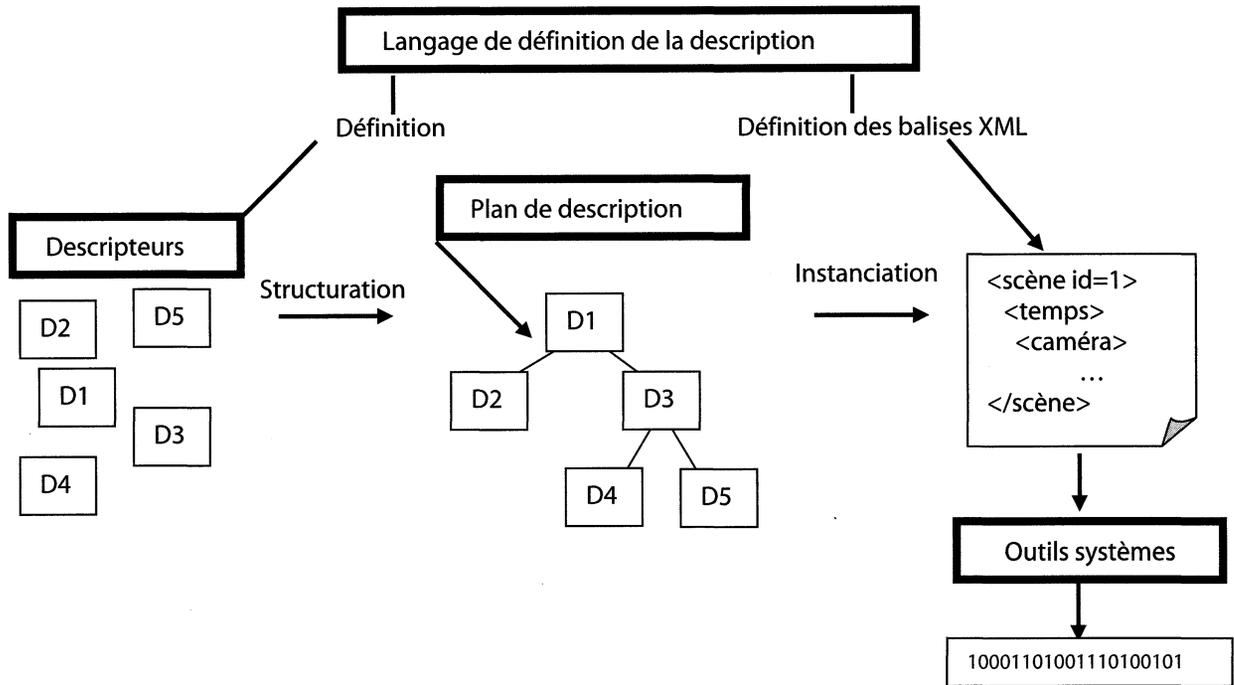
Le même principe a été suivi pour ce qui est du fonctionnement précis des moteurs de recherche pouvant exploiter les métadonnées MPEG-7. Cette partie a également été exclue de la norme MPEG-7, pour des raisons identiques à celles mentionnées ci-dessus. La figure 1⁸ nous montre à quoi se limite le domaine d'application de MPEG-7 dans la chaîne «Extraction – Description – Utilisation» des métadonnées.

Alors, en quoi consiste exactement MPEG-7? On peut diviser ses composantes en trois parties: les outils de description, le langage de définition des descriptions et les outils systèmes.

Les outils de description comptent deux éléments, soit les descripteurs, qui spécifient la syntaxe des métadonnées, et le plan de description, qui spécifie la nature des relations sémantiques entre les différentes métadonnées. La deuxième partie est le langage de définition de la description. C'est ce langage qui permet de définir les propriétés des deux éléments précédents (descripteurs

8. Par exemple, en HTML, les métadonnées prendront la forme de balises META, qui donneront des renseignements sur l'auteur de la page web, la date de sa création, des mots clés, etc. Ces métadonnées, incluses dans le code HTML de la page, ne s'afficheront pas à l'écran lors de la navigation, mais pourront être utilisées par des moteurs de recherche, afin de repérer et d'indexer la page web.

Figure 2



et plan de description). Il permet en outre l'instanciation de ces deux éléments en langage XML, pour un document donné. Finalement, les outils systèmes transforment le code XML en un format binaire, ce qui facilite le stockage et le transfert des données MPEG-7. Le schéma représenté à la figure 2⁹ donne un aperçu du fonctionnement des trois composantes de MPEG-7.

Exemples d'applications

Les applications potentielles de MPEG-7 sont très nombreuses. Les stations de radio et de télévision en feraient certainement bon usage pour retrouver les extraits nécessaires à la préparation d'émissions. Les différentes banques d'images numériques telles les archives médicales, historiques ou de *stock shots* (plans d'archives en cinéma) voudront également bénéficier de ses nombreuses capacités d'indexation. Il en est de même pour la reconnaissance des caractéristiques faciales et autres techniques biométriques, ce qui laisse entrevoir des applications en milieu policier.

Il est particulièrement intéressant d'imaginer les requêtes qui pourront être faites avec succès grâce à MPEG-7. Par

exemple, on n'aurait qu'à dessiner quelques lignes à l'écran pour obtenir un fichier contenant des formes similaires. De la même façon, on pourrait chercher par types de mouvements ou par relations entre des objets. Sur le plan sonore, on pourrait pianoter quelques notes et obtenir des pièces avec la même tonalité ou la même mélodie. Ou en utilisant un extrait d'un discours d'un politicien, obtenir d'autres discours, grâce à la reconnaissance du spectre sonore de sa voix. Ces exemples sont déjà plutôt impressionnants, mais ce n'est là qu'un aperçu des applications envisageables.

Évidemment, pour que des requêtes semblables soient possibles dans la réalité, il faudra que des outils soient développés pour extraire facilement ces métadonnées. Il faudra aussi que des moteurs de recherche permettent la recherche par le biais de ces critères. Tout cela, on l'a vu, est hors du contrôle des experts du MPEG et repose d'abord et avant tout sur l'acceptation de MPEG-7 par les géants de l'industrie du multimédia et du web, qui devront créer de tels outils. C'est ce qui s'est produit avec les normes précédentes, mais on peut se demander si l'industrie suivra cette fois-ci avec une norme somme toute assez ambitieuse.

Qui plus est, il ne faut pas oublier la quantité considérable de documents visuels et sonores déjà existants et disponibles sur le web, qui ne respectent pas la norme MPEG-7. Il serait difficile de refaire l'indexation de chaque fichier en format MPEG-7. On risque donc de laisser de côté certains documents valables si l'on se tourne uniquement vers MPEG-7. Quoiqu'il en soit, MPEG-7 reste une initiative louable dont les avantages nous semblent importants. Cela pourrait justifier que l'on entreprenne éventuellement des opérations de rétroconversion de fichiers de façon à les rendre compatibles à MPEG-7.

MPEG-21

La norme MPEG-21 devrait être complète d'ici la fin de 2003. Nous avons toutefois une bonne idée de son fonctionnement général.

L'idée générale de MPEG-21 est de définir un cadre d'applications pour faciliter l'utilisation de ressources multimédias à travers différents types de

9. Schéma adapté de : Martínez, José. *MPEG-7 Overview (version 8)*. Juillet 2002. Adresse URL : <http://mpeg.telecomitalia.com/standards/MPEG-7/MPEG-7.htm>.

réseaux et d'applications. Concrètement, il s'agirait d'un ensemble de standards concernant la création de contenu multimédia, sa distribution, son utilisation, la protection des droits d'auteur, les modes de paiement, etc., le tout de la façon la plus transparente possible pour l'utilisateur. MPEG-21 a en outre été conçu pour fonctionner en harmonie avec ses prédécesseurs (MPEG 1, 2, 4 et 7). Des éléments standards MPEG-21 pourraient donc se trouver dans un fichier codé en MPEG-4, par exemple.

MPEG-21 repose sur le concept d'article numérique (*Digital item*). Un tel article consiste en une combinaison de ressources (une vidéo, du son et des images par exemple), accompagnées de métadonnées (potentiellement de type MPEG-7) et d'une structure (décrivant les relations entre les ressources).

Un second concept important est celui de l'utilisateur (*User*). Quiconque interagit avec un article numérique est considéré comme un utilisateur au sens de MPEG-21. Il peut s'agir d'un individu, d'une organisation, d'une entreprise ou autre. Un utilisateur peut agir à n'importe quel moment de la chaîne de production multimédia, que ce soit en tant que créateur de contenu, distributeur ou consommateur final.

On peut diviser la norme MPEG-21 en sept principaux éléments. Des contraintes d'espace nous empêchent de les traiter en détail, mais il nous apparaît tout de même important de les mentionner. Le premier élément concerne la déclaration d'un article numérique. Autrement dit, on dictera la façon par laquelle un document audiovisuel deviendra officiellement un article numérique respectant la norme MPEG-21. Cette partie répondra aussi à des questions comme : Qu'est-ce qu'un article numérique ? Un film et son scénario forment-ils un ou deux articles numériques ? Si un film est disponible en plusieurs langues, peut-il constituer un seul article numérique ? Tout cela est important car, si on veut accorder des droits de visionnement à un utilisateur, il faut savoir où s'arrêtent ces droits : au film lui-même, au film et à ses éléments (comme le scénario), etc.

Le deuxième élément concerne l'identification et la description d'un article numérique. On veut ici assurer l'identification unique et précise d'un article permettant de le trouver dans nos recherches et

de le distinguer d'éventuelles copies ou de documents similaires. On pourra identifier un document à l'aide d'un identificateur existant (comme un code ISBN ou l'équivalent), en plus de pouvoir garder une trace des différentes versions, ainsi qu'une description plus détaillée des caractéristiques particulières du document.

Troisièmement, MPEG-21 fournit des moyens de faciliter la manipulation et l'utilisation des documents multimédias. Ceci inclut des protocoles reliés à la création, à la recherche, au stockage, à la livraison et à la consultation de ces documents. On veut entre autres faire en sorte que plusieurs de ces étapes puissent être prises en charge par des agents intelligents, c'est-à-dire des programmes informatiques chargés de trouver le contenu intéressant pour une personne. Le but est d'atteindre une plus grande personnalisation pour les utilisateurs finaux.

Le quatrième élément est d'une grande importance et constitue peut-être ce qui fera en sorte que MPEG-21 sera finalement endossée par l'industrie du multimédia. Il s'agit de la protection et de la gestion des droits liés à la propriété intellectuelle. C'est là un point très important pour tous les grands producteurs de contenu sur le web et ailleurs. La question de la propriété intellectuelle a pris de l'ampleur avec l'arrivée des fichiers musicaux en format MP3 et depuis ce temps les producteurs s'efforcent de mettre au point des moyens d'enrayer ce fléau, qui les prive de revenus considérables. Essentiellement, MPEG-21 va ici améliorer un standard existant sous le nom de IPMP (*Intellectual Property Management and Protection*). Il sera donc possible de déterminer l'étendue exacte des droits de chaque utilisateur d'un article numérique, peu importe sa place dans la chaîne de production multimédia. Cela pourrait aller jusqu'au nombre de fois qu'un document peut être visionné par l'utilisateur final.

Les cinquième et sixième éléments se combinent pour former ce qui sera appelé l'adaptation des articles numériques. MPEG-21 se penchera ici sur le problème de l'interopérabilité de l'accès au contenu. Après avoir précisé certaines caractéristiques de son environnement, un utilisateur final pourra recevoir du contenu adapté à sa situation. Il pourrait par exemple spécifier la bande passante maximale disponible sur son réseau, les caractéristiques

techniques de son ordinateur (mémoire, processeur...), des limitations physiques comme sa surdité, voire le niveau de bruit et d'éclairage de la salle où il se trouve. Sur la base de ces spécifications, l'article numérique sera modifié pour être le plus possible adapté à ses besoins !

Finalement, MPEG-21 s'occupera de la gestion des événements. Dans le contexte de MPEG-21, toute interaction d'un usager avec un article numérique constitue un événement. Donc, le téléchargement d'un fichier constituera un événement, tout comme le visionnement dudit document. Le concept d'événement sera utilisé en particulier pour compiler des statistiques sur les transactions à toutes les étapes de la chaîne de production multimédia.

Exemple d'utilisation

Les possibilités amenées par MPEG-21 sont extrêmement vastes. Cette norme s'occupe en quelque sorte de combler les trous laissés entre différentes applications actuelles, de façon que toute la chaîne soit intégrée. Les scénarios imaginables sont nombreux, comme le montre cet exemple concret, tiré d'un texte de Bormans et Rump¹⁰ :

Un homme veut créer un album de photos de famille avec des composantes multimédias. Grâce à MPEG-21, il peut annoter les photos avec du texte (qui pourra être utilisé pour la recherche) ainsi qu'avec des extraits de la voix des gens sur les photos. Il peut également combiner ses photos à des vidéos situées sur les sites web d'autres membres de la famille, hébergés dans d'autres provinces. Il veut regrouper ces photos dans un album et accompagner certaines d'entre elles de musique de fond. Les droits sur cette musique auront été acquis d'un site web commercial. Enfin, grâce à MPEG-21, l'homme s'assure que l'album en question ne soit accessible qu'aux membres de sa famille, que ses photos ne puissent pas être utilisées à des fins commerciales (pour illustrer une publicité par exemple) sans autorisation et que son album soit accessible de partout dans le monde, autant sur son ordinateur personnel que sur un téléphone cellulaire.

10. Schéma adapté de : Martínez, José. *MPEG-7 Overview (version 8)*. Juillet 2002. Adresse URL : <http://mpeg.telecomitalia.com/standards/MPEG-7/MPEG-7.htm>.

On voit que toutes ces applications sont réalisables grâce à des techniques mentionnées dans la section précédente du présent texte. On remarque aussi que certaines fonctions pourraient faire appel à des technologies MPEG-4 et MPEG-7. L'important, c'est qu'une même norme (MPEG-21) sous-tend toutes les transactions. Voilà au fond ce qu'offre MPEG-21 : un standard global pour une gestion intégrée des contenus multimédias.

Conclusion et perspectives

Les normes MPEG 1 et 2 ont déjà fait leurs preuves dans leurs domaines d'application respectifs. Elles ont d'ailleurs été largement acceptées par l'industrie. Malgré leurs limites (concernant notamment la qualité de l'image et du son, impropre à la préservation dans une perspective historico-archivistique), ces normes s'acquittent très bien de leur tâche, axée sur la diffusion de l'information.

Quant à MPEG-4, elle prend de plus en plus sa place sur l'échiquier mondial de la vidéo numérique. Malgré une certaine concurrence pour ce qui est de la diffusion en direct (de la part de Real et Microsoft entre autres), son avenir est plutôt encourageant, en raison de ses caractéristiques techniques innovatrices, qui ouvrent la voie à l'interactivité et à une utilisation multiplateformes.

MPEG-7 répond à un besoin criant pour la recherche d'information en proposant un standard d'indexation des documents numériques qui pourrait faciliter grandement l'accès aux documents visuels et sonores dans un avenir rapproché. Il reste à voir à quel point l'industrie y souscrit et voudra investir dans le développement de produits compatibles.

C'est également le cas de MPEG-21, bien que cette fois-ci l'industrie y voie déjà un avantage majeur : la protection des droits de propriété intellectuelle. Il est donc fort probable que des applications MPEG-21 voient éventuellement le jour, ce qui signifie pour tous les utilisateurs de nombreuses fonctions alléchantes, au-delà des considérations de droits d'auteur.

En terminant, il convient toutefois de soulever une question qui concerne particulièrement les normes MPEG 4, 7 et 21. À mesure que les possibilités d'iden-

tification et de contrôle de l'utilisation des fichiers se perfectionnent, de nouvelles possibilités de faire payer les utilisateurs apparaissent. En effet, déjà certains modèles d'affaires mis de l'avant par l'industrie pour MPEG-4 inquiètent les observateurs. On a entre autres soulevé la possibilité pour les fabricants de décodeurs MPEG-4 de demander des redevances pour chaque visionnement d'un fichier. Ceci augure plutôt mal car MPEG-4 pourrait être ainsi supplantée par des solutions de rechange comme Real ou Microsoft, qui ne demandent aucune redevance pour l'utilisation de leurs décodeurs. Cette situation mérite qu'on s'y attarde, car elle est d'une grande importance, non seulement pour MPEG-4, mais aussi pour toutes les normes MPEG à venir.

Sources consultées

- Introduction à la compression vidéo*. Page consultée le 3 mars 2003. Adresse URL : <http://www.media-video.com/sections.php?op=viewarticle&artid=74>.
- Berthet, Patrick. *Compression vidéo MPEG-4: Modèle économique dangereux*. Page consultée le 3 mars 2003. Adresse URL : <http://netpilote.com/index.php3?page=/creationsite/internet.php3&art=63>.
- Bormans, Jan et Keith. 2002. *MPEG-21 Overview v.4*. Adresse URL : <http://mpeg.telecomitalia.com/standards/MPEG-21/MPEG-21.htm>.
- Bormans, Jan et Niels Rump. 2001. *Study on MPEG-21 (Digital Audiovisual Framework) Part 1 v2.0*. Adresse URL : http://mpeg.telecomitalia.com/working_documents/MPEG-21/tr/pdtr.zip.
- Chiariglione, Leonardo. 1996. *Short MPEG-1 description*. Adresse URL : <http://mpeg.telecomitalia.com/standards/MPEG-1/MPEG-1.htm>.
- Chiariglione, Leonardo. 2000. *Short MPEG-2 description*. Adresse URL : <http://mpeg.telecomitalia.com/standards/MPEG-2/MPEG-2.htm>.
- Chiariglione, Leonardo. 2001. *MPEG-4, why use it?* Adresse URL : <http://leonardo.telecomitalia.com/paper/MPEG-4/>.
- Koenen, Rob. 2001. *From MPEG-1 to MPEG-21: Creating an Interoperable Multimedia Infrastructure*. Adresse URL : http://mpeg.telecomitalia.com/documents/from_MPEG-1_to_MPEG-21.htm.
- Koenen, Rob. 2002. *MPEG-4 Overview - (V.21 - Jeju Version)*. Adresse URL : <http://mpeg.telecomitalia.com/standards/MPEG-4/MPEG-4.htm>.
- Martínez, José. 2002. *MPEG-7 Overview (version 8)*. Adresse URL : <http://mpeg.telecomitalia.com/standards/MPEG-7/MPEG-7.htm>.
- Motion Picture Experts Group. *Who we are*. Page consultée le 3 mars 2003. Adresse URL : http://mpeg.telecomitalia.com/who_we_are.htm.
- Pillou, Jean-François. *La compression des vidéos numériques*. Page consultée le 3 mars 2003. Adresse URL : <http://www.commentcamarche.net/video/compvid.php3>.
- Rump, Niels. 2002. *MPEG-21 MDS - Frequently Asked Questions (FAQ) - Version 4.0*. Adresse URL :

<http://mpeg.telecomitalia.com/faq/mp21-mds/mp21-mds.htm>.

Sauer, Jeff. 2001. What's it good 4: encoding and applying MPEG-4. *Emedia Magazine* 14 (3): 38-44.

Schumacher-Rasmussen, Eric. 2002. Not so gently down the stream: Rough waters for MPEG-4. *Emedia Magazine* 15 (6): 12.

Symes, Peter. 2001. The new flavors of MPEGs. *Broadcast Engineering* 43 (3): 252-260.

Takahashi, Dean. 2002. The next MPEG step. *Electronic Business* 28 (9): 80-86.

Thérier, Thomas. *MPEG-4*. Page consultée le 3 mars 2003. Adresse URL : <http://www.chez.com/mapextom/>.

Thom, D. et al. 1998. *MPEG Audio FAQ Version 9*. Adresse URL : <http://mpeg.telecomitalia.com/faq/mp4-aud/mp4-aud.htm>.

Watkinson, John. 2002. MPEG-4 secrets. *Broadcast Engineering* 44 (5): 60-68.