

RECOMMANDATION UIT-R BR.1356*

Application de la compression en production de base et en archivage de télévision de définition conventionnelle en fonction de l'utilisateur*****

(Questions UIT-R 238/11 et UIT-R 239/11)

(1998)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que l'utilisation de nouveaux supports d'enregistrement sur disque devrait se généraliser dans tous les domaines de la production télévisuelle, à savoir le montage non linéaire, la reproduction en directe et les archives de courte ou de moyenne durée;
- b) que cette technologie offre de gros avantages – amélioration considérable de la souplesse d'exploitation, flux de production et automatisation des stations – et qu'elle présente donc un grand intérêt pour l'amélioration des studios existants et la conception d'installations de studio entièrement nouvelles;
- c) que l'utilisation, selon des conditions de rentabilité et d'économie en temps, d'une technique de stockage hiérarchique couplée à de nouveaux réseaux d'interconnexion autorisant un fonctionnement interactif et multiutilisateurs exige toutefois une réduction importante du débit du signal vidéo soumis aux processus mentionnés ci-dessus;
- d) qu'il existe déjà sur le marché un certain nombre de méthodes de réduction du débit binaire incompatibles entre elles permettant de stocker les données dans de bonnes conditions d'économie et d'utiliser différents formats de fichiers et différents protocoles de réseautage pour l'échange de signaux et que ces méthodes compromettent l'interopérabilité entre équipements et studios éloignés de marques différentes;
- e) qu'il est jugé particulièrement important et urgent d'entreprendre des études des méthodes de compression pour le stockage et l'archivage des données de télévision et que ces études seront profitables aux radiodiffuseurs, en particulier à ceux des pays en développement, comme le montrent les contributions émanant de l'UIT-D, des UMR et de certaines administrations,

recommande

1 de fonder l'élaboration des algorithmes de compression et des méthodes de transport sur des normes ouvertes, ce qui veut dire qu'ils doivent être mis à la disposition de toutes les parties

* La Commission d'études 6 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2001 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44.

** On entend par production de base la production/postproduction destinée à assurer un fonctionnement quasi transparent à un débit de signaux vidéo compressés d'environ 50 Mbit/s.

*** Cette Recommandation s'applique uniquement aux systèmes entrelacés 525 lignes et 625 lignes et aux méthodes de compression vidéo utilisant des débits de 50 Mbit/s ou moins (sauf audio) et une résolution de codage d'une seule image TV ou plus.

On trouvera à l'Appendice A de cette Recommandation une description générale des algorithmes de compression qui pourront être utilisés en production télévisuelle ainsi que certains exemples d'application.

intéressées suivant les impératifs d'équité dictés par la propriété intellectuelle nécessaire à l'application de ces normes. La disponibilité sur le marché de dispositifs à puce et/ou d'algorithmes conçus pour le codage et le décodage des logiciels peut inciter les utilisateurs à adopter des méthodes de compression particulières;

2 pour chaque application de production télévisuelle ayant une identité unique, de réduire au minimum le nombre de méthodes et de paramètres de compression pour que la compatibilité et l'interopérabilité soient les plus grandes possible;

3 d'élaborer des méthodes de test de conformité à l'intention d'une part, des fabricants d'équipements aux normes pour les algorithmes et les méthodes de transport et, d'autre part, des utilisateurs achetant et installant des équipements correspondant à ces normes. Les organes de normalisation devraient adopter des normes pour les méthodes de tests de conformité afin de répondre aux besoins des fabricants et des utilisateurs;

4 de faire en sorte qu'un seul et même système de compression utilisé avec des paramètres différents d'un bout à l'autre de la chaîne puisse être décodé par un seul et même décodeur;

5 d'élaborer un décodeur commun («agile») permettant d'utiliser plus d'une famille de systèmes de compression;

6 d'intégrer la compression vidéo dans des systèmes plus complexes via des interfaces normalisées. La transposition via la Recommandation UIT-R BT.601, c'est-à-dire décodage et recodage, devrait être la méthode par défaut de concaténation de signaux vidéo comprimés utilisant des techniques et/ou des paramètres différents;

7 de faire en sorte que le système de compression choisi n'empêche pas d'utiliser des infrastructures basées sur l'interface numérique série (voir la Recommandation UIT-R BT.656);

8 d'examiner plus avant les questions d'interopérabilité et d'élaborer des normes permettant d'atteindre des niveaux prévisibles de performance/qualité de fonctionnement lors de la mise en oeuvre de telle ou telle application;

9 de concevoir les trains de bits acheminant des signaux comprimés de telle sorte qu'ils puissent être formatés et paquetés pour être transportés sur le plus grand nombre possible de circuits et réseaux de communication;

10 d'utiliser lorsque cela est nécessaire les méthodes de codage des canaux et les méthodes de protection contre les erreurs appropriées;

11 de concevoir les systèmes de compression de façon à ce que, en mode de fonctionnement normal, les relations temporelles entre signaux (syncro audio/vidéo) et la synchronisation à l'entrée du codeur soient reproduites à la sortie du décodeur;

12 de faire en sorte que les retards d'acheminement des signaux imputables à la compression (codage/décodage) soient limités à des durées adaptées à telle ou telle application de production télévisuelle;

13 de faire en sorte que certaines informations d'intervalle vertical analogique soient acheminées par le système de compression sans toutefois être comprimées avec la vidéo. Des dispositions devraient être prises pour que des parties choisies de métadonnées puissent être acheminées de façon transparente simultanément avec les données vidéo et audio;

14 de faire en sorte que le système de compression retenu pour les dispositifs simulant des magnétoscopes permette la reproduction d'images en mode «navette» pour identifier le contenu et en mode accéléré/ralenti pour le choix de points de montage;

15 de faire en sorte que les interfaces de réseau et les dispositifs de stockage puissent fonctionner en mode débit variable et en mode débit constant;

16 de faire en sorte que le dispositif de stockage permette d'enregistrer et de lire des programmes de télévision sous forme de trains et de fichiers de données, et non pas de décoder en bande de base en vue d'un enregistrement et d'un nouveau codage au moment de la lecture;

17 de faire en sorte que la méthode de compression choisie pour la télévision standard puisse s'appliquer à la télévision haute définition, dans un souci d'uniformité pendant la phase de transition.

NOTE 1 – La terminologie spécialisée utilisée fréquemment dans le domaine innovant de la production télévisuelle est définie dans la Recommandation UIT-R BR.1357.

APPENDICE A

Rapport sur l'utilisation de la compression en production télévisuelle

Introduction

La compression numérique pour la vidéo est la technologie des technologies dans le domaine innovant de la production télévisuelle puisqu'elle permet de stocker des séquences de programmes sur des serveurs qui rendent l'accès à ces séquences pour ainsi dire instantané et permettent une utilisation simultanée par plusieurs utilisateurs. En raison de ces caractéristiques, il est possible d'améliorer l'efficacité du flux de travail et d'abaisser le coût de la production, de la postproduction et du réaménagement des programmes de télévision.

Le rapport détermine un certain nombre de paramètres qui définissent la qualité de fonctionnement de base de différents systèmes de compression et examine leur incidence sur la qualité de l'image et la marge de postproduction dans des applications diverses que l'on trouve normalement en production télévisuelle répartie.

PARTIE A

Compression

1 Compression numérique pour la vidéo

1.1 Qualité de l'image

Le choix des paramètres du système de compression a une incidence importante sur la qualité globale de l'image. Les choix des paramètres de compression doivent être optimisés pour conserver la qualité de l'image tout en pouvant loger les données d'image dans la largeur de bande ou l'espace de stockage disponible. Différentes combinaisons de paramètres de compression peuvent convenir à des applications différentes.

Les paramètres du système de compression à prendre en considération sont notamment: les méthodes de codage sous-jacentes, la structure d'échantillonnage de codage, le prétraitement, le débit des données et la structure des groupes d'images utilisée. Dans le choix des paramètres du système de compression il faut également tenir compte de l'interaction entre les choix de paramètres. Il faut enfin ne pas négliger certains problèmes d'exploitation particuliers, par exemple le montage du train de bits ou l'insertion d'un nouveau contenu dans un train de bits entrant.

1.1.1 Méthode de codage

La méthode de codage est fondamentale dans le choix des paramètres de compression. Quatre grandes méthodes de compression sont utilisées dans la chaîne de production de distribution et télévisuelle: MPEG-2 Main Profile at Main Level (MP@ML), MPEG-2 4:2:2 Profile at Main Level (4:2:2@ML), Motion JPEG et DV. Toutes ces méthodes de codage sont à base de transformée en cosinus discrète (DCT). Elle consistent toutes en un réarrangement et une quantification des coefficients de la transformée, suivis d'un codage à longueur variable.

La norme MPEG est une boîte à outils qui comportent une estimation et une compensation du mouvement, ce qui permet d'améliorer l'efficacité du codage, au détriment de la mémoire et de la durée du traitement. Dans les deux méthodes de codage Motion JPEG et DV, les données de codage sont liées à l'image ce qui permet de réduire le coût du codage; par contre ces méthodes ne tirent pas pleinement parti de l'efficacité de codage de la technique d'estimation et de compensation du mouvement entre images. Les normes MPEG et DV autorisent toutes les deux un traitement avec adaptation du mouvement et un traitement des images en intra.

1.1.2 Structure d'échantillonnage

Les normes MPEG, Motion JPEG et DV peuvent être utilisées avec la matrice de pixels 4:2:2 de la Recommandation UIT-R BT.601. Les normes MPEG et Motion JPEG peuvent l'une et l'autre être utilisées avec d'autres matrices de pixels, plusieurs fréquences image et un balayage entrelacé ou progressif. On notera que la matrice 4:2:2 est dérivée, selon une méthode de sous-échantillonnage, du signal original pleine largeur de bande (4:4:4). L'opération de sous-échantillonnage peut être poussée plus avant pour réduire les données relatives au signal, l'échantillonnage 4:2:2 étant en principe utilisé pour l'échange entre systèmes.

Les systèmes 4:2:2, comme les systèmes MPEG-2 4:2:2 Profile, 4:2:2 Motion JPEG et DV 4:2:2 (qui fonctionnent à 50 Mbit/s), utilisent tous deux fois moins d'échantillons de différence de couleur par ligne que ceux utilisés dans le canal de luminance. Ils fournissent la moitié de la largeur de bande horizontale dans les canaux de différence de couleur par rapport à la largeur de bande de luminance et la totalité de la largeur de bande verticale.

Les systèmes 4:1:1 comme le système DV 525 utilisent quatre fois moins d'échantillons de différence de couleur par ligne que le nombre utilisé dans le canal de luminance. Ils réduisent la largeur de bande horizontale du signal de différence de couleur à un quart de celle du canal de luminance tout en conservant la largeur de bande verticale intégrale. Les filtres utilisés pour obtenir des largeurs de bande horizontale sous-échantillonnées 4:1:1 comme d'autres filtres horizontaux, ont en général une courbe de réponse plate dans leur bande passante, ce qui permet d'effectuer une transposition avec la norme 4:2:2 sans aggraver la dégradation au-delà de celle observée avec un sous-échantillonnage 4:1:1.

Les systèmes 4:2:0 comme les systèmes DV 625¹ et MPEG-2 Main Profile utilisent deux fois moins d'échantillons de différence de couleur horizontalement et deux fois moins d'échantillons de différence de couleur verticalement que le nombre utilisé dans le canal de luminance. Ces systèmes conservent donc la même largeur de bande horizontale de différence de couleur que les systèmes 4:2:2 (c'est-à-dire la moitié de celle du canal de luminance) mais réduisent la largeur de bande verticale de différence de couleur à la moitié de celle du canal de luminance. Toutefois, les

¹ Le format D-7 proposé par la SMPTE, bien que basé sur le codage DV, utilisera un échantillonnage en 4:1:1 pour les systèmes 525 et 625 lignes.

systèmes de codage 4:2:0 n'offrent pas en général une courbe de réponse plate dans leur bande passante verticale, ce qui exclut toute transposition transparente vers les autres formes de codage. Par conséquent, les systèmes utilisant l'échantillonnage 4:2:0 avec traitement intermédiaire ne conserveront pas en général la largeur de bande 4:2:0 intégrale du codage préalable.

Il faut choisir avec soin les structures d'échantillonnage de compression en cas de concaténation de différentes techniques de codage de compression. En général, le fait de mélanger différentes structures sous-échantillonnées a des incidences sur la qualité de l'image de sorte qu'il faut éviter autant que faire se peut d'utiliser ces structures en cascade. Par exemple, les signaux 4:1:1 ou 4:2:0 conserveront leur qualité d'origine tout au long du traitement 4:2:2 ultérieur (semblable au «bumping up» des formats de bande) alors que l'utilisation en cascade de signaux 4:1:1 et 4:2:0 donnera en général une qualité moins bonne que la qualité 4:1:0.

1.1.3 Traitement préalable à la compression

Les possibilités des systèmes de compression vidéo de compresser des images dans une largeur de bande ou un espace de stockage finis sont intrinsèquement limitées. En effet les systèmes de compression s'appuient sur la suppression de la redondance dans les images, de telle sorte que lorsqu'elles sont très complexes (c'est-à-dire caractérisées par une très faible redondance), les images risquent de ne pas tenir dans l'espace de données disponible, d'où la présence de défauts dans l'image imputables à la compression. Dans ces cas, il peut être préférable de réduire la complexité de l'image par d'autres méthodes avant de passer à la compression. Ces méthodes – traitement préalable – comportent un filtrage et une réduction du bruit.

En présence de bruit dans le signal d'entrée, le système de compression doit dépenser quelques bits pour coder le bruit, ce qui laisse un nombre de bits moins important pour le codage de l'image. Lorsqu'on utilise les techniques de détection ou d'estimation et de compensation du mouvement, le bruit peut réduire la précision du traitement du mouvement qui, à son tour, réduit l'efficacité du codage. Même avec des systèmes de compression n'utilisant pas l'estimation et la compensation du mouvement, le bruit ajoute une énergie importante dans les composantes haute fréquence de la transformée DCT qui, sinon, seraient nulles. Des bits sont ainsi gaspillés sur des composantes non essentielles de la DCT et l'efficacité du codage par plages est réduite.

Les spécifications des systèmes de compression ne définissent en général que les fonctions de compression dans l'équipement mais ne précisent pas les modalités du traitement préalable à la compression, à l'exception de la permutation (shuffling), fonction inhérente du système DV, qu'il ne faut pas confondre avec la permutation utilisée pour la gestion des erreurs dans les enregistreurs numériques.

Etant donné que la plupart des opérations de prétraitement, filtrage ou réduction du bruit par exemple, ne sont pas toujours nécessaires, les paramètres de prétraitement peuvent être choisis en fonction de la nature des images et des possibilités du système de compression. Ces choix peuvent être préétablis ou libres.

1.1.4 Débit de données

La norme MPEG-2 4:2:2 Profile at Main Level définit des débits de données allant jusqu'à 50 Mbit/s. Les équipements conformes à la norme Motion JPEG 4:2:2 fonctionnent normalement à des débits de données allant jusqu'à 50 Mbit/s. Les systèmes DV 4:1:1 et DV 4:2:0 fonctionnent à 25 Mbit/s. Le système DV 4:2:2 fonctionnant à 50 Mbit/s est actuellement au stade de la normalisation. La norme MPEG-2 Main Profile at Main Level est définie à des débits de données allant jusqu'à 15 Mbit/s.

Le choix du débit de données pour la norme MPEG-2 4:2:2@ML est fonction de la structure des groupes d'images (GI) utilisée. On utilisera en principe des débits plus faibles avec des structures GI longues, plus efficaces et des débits plus élevés avec des structures GI simples et plus

courtes. On peut avec des images codées en intra (images MPEG-2 4:2:2 Profile I uniquement, M-JPEG et DV), à un débit de données de 50 Mbit/s, obtenir une qualité d'image comparable. La norme MPEG-2 4:2:2@ML couplée à des structures GI plus longues et des débits de données plus faibles permet d'obtenir une qualité comparable à celle que l'on obtient avec des structures GI plus courtes à des débits de données plus élevés, quoiqu'au détriment du temps d'attente (voir groupe d'images ci-après).

1.1.5 Groupe d'images

Il y a trois grandes façons de coder ou de compresser une image. La plus élémentaire est de coder une trame ou une image en ne s'intéressant qu'au contenu de cette trame ou de cette image. C'est ce qu'on appelle le codage en intra (codage I uniquement). La deuxième façon de coder une image consiste à utiliser la prédiction avec compensation du mouvement d'une image (appelée image P) à partir d'une image précédente codée en intra. Le codage de l'information relative à l'erreur de prédiction permet au décodeur de reconstruire la bonne image en sortie. La troisième méthode utilise elle aussi la prédiction avec compensation du mouvement mais en plus la référence de prédiction (appelée image de référence) peut précéder et/ou suivre l'image en cours de codage (codage bidirectionnel ou codage d'image B). La référence pour chaque image ou chaque partie d'image est choisie de façon à réduire au minimum le nombre de bits nécessaire pour coder cette image.

Les séquences d'images utilisant des combinaisons des trois types de codage, tels qu'ils sont définis par le groupe MPEG, sont appelées groupes d'images (GI). Les deux normes Motion JPEG et DV utilisent uniquement le codage en intra et ne sont donc pas décrites en termes de GI.

La norme MPEG-2 permet plusieurs choix de structures GI, certaines étant plus couramment utilisées que d'autres. En général, une structure GI est décrite par sa longueur totale et par la séquence de récurrence des types de codage de l'image (par exemple, 15 images de IBBP). Le choix optimal de la structure GI est fonction de l'application considérée, du débit de données et du temps d'attente.

Etant donné que les images codées en intra sont les moins efficaces et que les images codées en bidirectionnel sont les plus efficaces, on obtiendra pour un certain débit de données, une meilleure qualité d'image avec des structures GI plus longues comportant un plus grand nombre d'images B et P. Ce phénomène, plus marqué pour de faibles débits de données, diminue à des débits de données élevés. A 20 Mbit/s, il peut être utile d'employer de longues structures GI (par exemple IBBP) alors qu'à 50 Mbit/s des structures GI plus courtes peuvent offrir la qualité requise.

Le choix de la structure GI affecte non seulement la qualité de l'image mais influe également sur le temps d'attente. Etant donné qu'une image B ne peut pas être codée avant que n'apparaisse l'image de référence suivante, un retard est introduit dans le processus de codage. On notera toutefois que ce retard est fonction de la distance entre les images de référence et non de la longueur totale de la structure GI. Il est possible en utilisant judicieusement les références d'image P de conjuguer l'efficacité de codage de longues structures GI et le temps d'attente moindre de structures GI plus courtes.

1.1.6 Qualité constante/débit de données constant

On caractérise parfois les systèmes de compression en spécifiant leur débit, variable ou constant. Les systèmes MPEG-2 et Motion JPEG peuvent fonctionner en mode débit variable ou mode débit constant; le système DV ne fonctionne qu'en mode débit constant. Dans la pratique, les systèmes

dont on pense qu'ils ont un débit de données constant ont en fait un débit de données qui varie mais sur de brefs laps de temps. On peut aussi caractériser les systèmes de compression en comparant systèmes à qualité constante et systèmes à débit de données constant.

Les systèmes à qualité constante essaient de maintenir une qualité d'image uniforme en adaptant un débit de données codé normalement dans les limites d'un débit de données maximal. Etant plus faciles à coder, les images simples sont codées à des débits de données plus faibles. Il en résulte une plus grande efficacité de compression des images simples ce qui peut être un avantage important pour les systèmes de stockage et pour les transferts d'images en temps non réel. Un fonctionnement à qualité constante est utile pour l'enregistrement sur disque et pour certains systèmes d'enregistrement sur bande comme les systèmes de sauvegarde de bandes.

Les systèmes à débit de données constant essaient de maintenir un débit de données moyen constant à la sortie du codeur de compression. Il en résultera une meilleure qualité avec des images simples et une qualité moins bonne lorsque les images sont plus complexes. Outre qu'ils maintiennent un débit de données moyen constant certains systèmes maintiennent également ce débit constant sur une structure GI. La compression à débit binaire constant est utilisée pour l'enregistrement sur bande vidéo et pour les transmissions à débit de données fixe (par exemple services des gros exploitants).

Un débit de données cible sera bien sûr associé à un traitement à débit constant. Un traitement à débit de données variable peut être tenu de respecter un débit de données maximal. Lorsque ce débit maximal est inférieur au débit cible du dispositif à débit constant, le codage à qualité constante peut convenir à un environnement à débit constant.

1.1.7 Montage

Les paramètres de compression concernant le montage relèvent de deux grandes catégories: le montage complexe et le montage élémentaire plus simple (coupé/collé – splicing). Dans le cas d'un montage complexe faisant intervenir des effets spéciaux ou un traitement et une analyse poussés des images, il faudra pour un grand nombre de processus procéder à un décodage selon la Recommandation UIT-R BT.601. Dans ces cas, l'avantage que présentent les structures GI complexes au niveau de l'efficacité de codage mérite éventuellement d'être pris en considération. Dans l'autre type de montage, il peut toutefois être souhaitable d'opérer entièrement dans le domaine comprimé en utilisant la technique du collage des trains binaires. Cette dernière opération peut en effet s'effectuer entre deux trains binaires qui utilisent tous les deux la même technique de compression. Le débit de données et d'autres paramètres de compression devraient être délimités pour faciliter le collage. Des trains comprimés existants peuvent être collés dans le domaine comprimé avec des signaux caractérisés par des débits de données différents.

Les techniques permettant d'opérer directement dans le domaine comprimé sont actuellement au stade de l'élaboration. En effet des problèmes concernant le montage dans le domaine comprimé sont à l'examen. Il a même été suggéré qu'il serait peut-être possible d'effectuer des opérations plus complexes dans le domaine comprimé. On notera toutefois qu'on retrouvera pour une bonne part la dégradation de la qualité de l'image imputable à la décompression et à la recompression nécessaires pour les effets spéciaux si ces opérations sont effectuées directement dans le domaine comprimé étant donné que les relations des coefficients DCT resteront modifiés par les effets spéciaux.

Si toutes les méthodes de codage par compression utilisées en montage sont bien définies dans le cadre de normes ouvertes, les systèmes pourraient permettre un décodage multiformat, qui

permettrait aux dispositifs de réception de traiter des trains comprimés sur la base d'un nombre restreint de normes de compression différentes.

1.1.8 Compression concaténée

Les systèmes de télévision utilisant la compression vidéo devraient, dans la mesure du possible, maintenir la vidéo en forme comprimée et non utiliser des îlots de compression qui doivent être interconnectés en forme non comprimée. Etant donné qu'il y aura vraisemblablement plusieurs étapes de compression et de décompression, il est essentiel dans le choix d'un système de compression de savoir si on peut résister à une compression et une décompression concaténées. Les résultats de systèmes de compression concaténés seront différents selon qu'il s'agit de systèmes identiques ou de systèmes utilisant des techniques et des paramètres de compression différents.

Un certain nombre de facteurs peuvent influencer la qualité des systèmes de compression concaténés. Tous les systèmes pris en considération dans le présent document font appel à la transformée en cosinus discrète (DCT). Tout élément qui modifie les données d'entrée pour les différentes opérations DCT entre systèmes de compression concaténés peut se traduire par une quantification différente des données transformées, ce qui à son tour se traduit par une perte d'information d'image supplémentaire. En outre, toute modification qui aboutit à une gestion différente de la mémoire tampon se traduira par une quantification différente.

Dans le cas d'un codage MPEG, toute modification dans l'alignement des structures GI entre les différentes opérations de compression en cascade se traduira par une quantification différente étant donné que les transformées des images P et B opèrent sur des prédictions d'image avec compensation du mouvement alors que les transformées des images I opèrent sur l'image intégrale.

Pour les systèmes MPEG, M-JPEG et DV toute modification de l'alignement spatial de l'image entre les différentes opérations de compression en cascade aboutira à une quantification différente étant donné que les données d'entrée fournies à un bloc DCT donné auront changé. Tout effet spécial ou tout autre traitement entre les opérations de compression en cascade modifieront de même la quantification.

La dégradation de l'image par générations successives sera minimale dans le cas d'opérations de compression concaténée interconnectées conformément à la Recommandation UIT-R BT.601 si la méthode de codage par compression et les paramètres de compression, en particulier l'alignement spatial et l'alignement temporel, sont identiques à chaque étape de compression.

Il n'est pas toujours possible d'éviter de mélanger méthodes et/ou paramètres de compression. Dans certaines applications, la dégradation totale de l'image imputable à des opérations de compression et de décompression en cascade sera minimale si l'on essaie de maintenir le plus haut niveau de qualité de compression d'un bout à l'autre du processus et si l'on utilise uniquement des niveaux de compression de qualité moindre de temps à autre, par exemple pour l'acquisition ou pour l'utilisation de services fournis par de gros exploitants. Toutefois, pour d'autres applications qui utilisent des niveaux de compression de qualité moindre, on peut conserver la meilleure qualité d'image globale en revenant au niveau de qualité de compression le plus élevé uniquement lorsque les impératifs de traitement de l'image l'imposent.

Au-delà des problèmes de qualité qui viennent d'être examinés, le fait de rester dans le domaine comprimé offre certains avantages d'exploitation. Des transferts plus rapides et moins rapides qu'en temps réel sont en effet plus faciles dans le domaine comprimé. De plus, certains utilisateurs se réjouiront d'un traitement de l'image dans le domaine comprimé car cela leur permettra peut-être de traiter l'image plus vite qu'en temps réel.

1.2 Niveaux de qualité

S'il est vrai que différents niveaux de qualité de compression seront utilisés dans différentes catégories d'application les utilisateurs s'efforceront d'en réduire au minimum le nombre total. Les différences de qualité s'accompagneront de différences de coûts d'équipement et d'exploitation en fonction de la catégorie d'application. Par exemple, il pourrait y avoir trois niveaux de qualité de compression dans une opération de radiodiffusion type.

Le niveau de qualité de compression le plus élevé, qui en général nécessite le débit de données le plus élevé, serait utilisé dans les applications pour lesquelles la qualité de l'image doit être la meilleure et dans les applications qui supposent une opération de postproduction lourde. Une caractéristique essentielle de ce niveau de qualité est la possibilité d'accepter un traitement multigénération avec peu de dégradation de la qualité de l'image. Ce niveau de qualité de compression devrait donc pouvoir être utilisé dans certaines applications de production haute-qualité mais on continuera d'utiliser pour les applications de production qui exigent un très haut niveau de qualité un stockage et un traitement non comprimés. Le niveau de qualité de compression le plus élevé serait également utilisé pour les images critiques et pour archiver le contenu de programmes qui sont susceptibles d'être réutilisés lors d'un traitement de production ultérieur.

Le niveau de qualité de compression moyen serait utilisé dans les applications pour lesquelles on a besoin d'une bonne qualité d'image et dans celles où les opérations de postproduction sont limitées. Il accepterait un nombre limité de génération de traitement et pourrait être utilisé pour l'acquisition et le montage des actualités, la distribution de programmes de réseau et la production de programme locale. Il serait également utilisé pour archiver le contenu de programmes susceptibles d'être réutilisés mais qui ne nécessitent pas un important traitement de production supplémentaire.

Le niveau de qualité de compression moindre serait utilisé pour les applications où le coût est plus important que la qualité. Il ne permettrait pas en principe un traitement ultérieur mais pourrait être utilisé pour la présentation de programmes ou le stockage de gros volumes de données en vue d'une consultation rapide. Il ne serait pas en général utilisé pour archiver le contenu de programmes susceptibles d'être réutilisés.

Ces exemples de niveau de qualité ne correspondent pas nécessairement à des catégories particulières de qualité de fonctionnement absolue; ils devraient être considérés comme des niveaux de qualité relatifs à interpréter en fonction des impératifs particuliers des critères de tel ou tel utilisateur. On trouvera dans la Partie B – Applications de compression – de plus amples détails sur les différentes applications et sur l'utilisation de la compression.

1.3 Considérations d'exploitation

Quel que soit le niveau de qualité de compression les systèmes doivent être parfaitement opérationnels pour les applications dans lesquelles on entend les utiliser. Les équipements utilisant la compression devraient fonctionner aussi bien ou mieux que les équipements analogiques et les équipements numériques non comprimés. L'utilisation de la compression dans un système quel qu'il soit ne doit pas gêner son fonctionnement.

S'il est possible de choisir et de modifier les caractéristiques de compression dans le cadre du fonctionnement normal d'un système comprimé, ces opérations devraient être simples à effectuer grâce à la clairvoyance du constructeur. Les systèmes présentant des caractéristiques de compression variables devraient être dotés d'interfaces utilisateur faciles à appréhender et à utiliser, par intuition. De plus, les choix et les modifications apportés à un système comprimé ne doivent pas ajouter à la confusion ou compromettre le fonctionnement et la qualité du système auquel il est raccordé.

On pourrait utiliser plus d'une méthode de compression ou plus d'un ensemble de paramètres dans une installation de production télévisuelle. En pareil cas, il devrait y avoir interopérabilité. Les caractéristiques de compression utilisées en postproduction doivent être concaténées et présenter une interopérabilité avec la norme MPEG-2 MP@ML pour l'émission.

On admet que l'intégration de systèmes vidéo comprimés dans des systèmes complexes doit se faire via des interfaces normalisées. Même avec ce type d'interface, on observe des retards d'acheminement des signaux à l'entrée ou à la sortie imputables à la compression (codage/décodage). Les concepteurs de systèmes sont invités à tenir compte de ce temps d'attente dû à la compression ainsi qu'à la synchronisation des trains de bits des signaux audio, vidéo et des métadonnées. L'efficacité du codage vidéo s'obtient au prix d'un retard introduit par le codec de sorte qu'il faut savoir trouver l'équilibre qui permettra d'obtenir la qualité d'image requise avec un retard minimum dans le codec. Ceci peut être particulièrement important pour les interviews en direct, en particulier lorsque la largeur de bande disponible est faible et l'impératif d'opérer en temps réel est élevé. Les systèmes comprimés doivent être conçus de façon à éviter la perte de synchronisation ou le dysfonctionnement des relations temporelles.

Les trains binaires des signaux comprimés devraient être formatés et paquetés pour pouvoir être acheminés sur le plus grand nombre de circuits et de réseaux de communication possible. On notera que les trains de bits comprimés sont très sensibles aux erreurs et qu'il faut donc utiliser chaque fois que cela est nécessaire des méthodes de codage des canaux et de protection contre les erreurs appropriées.

Des dispositions devraient être prises pour que certaines informations d'intervalle vertical analogique soient acheminées via le système de compression mais pas nécessairement comprimées avec la vidéo. En outre, certaines parties de l'espace données auxiliaires des signaux numériques peuvent acheminer des données (par exemple métadonnées) et il faut faire en sorte que certaines parties de ces données soient acheminées sur un trajet transparent en même temps que la vidéo et les données audio.

1.4 Stockage

Lorsqu'un train de bits vidéo comprimé est soit stocké soit consulté sur un support, certains attributs de stockage et de compression nécessaires au support de stockage dépendent de l'application visée.

1.4.1 Interfaces

La méthode d'interfaçage par défaut est celle de la Recommandation UIT-R BT.601. Toutefois, il existe de plus en plus aujourd'hui des interfaces de réseau dotées des fonctions et une largeur de bande garantissant l'accès; elles permettront d'utiliser des méthodes de copie numériques entre dispositifs de stockage. Etant donné que ces dispositifs peuvent à la fois accepter et remettre des données représentant de la vidéo en temps non réel, le réseau devrait aussi permettre le transfert de fichiers à des débits plus lents et plus rapides que le temps réel, dans un souci de plus grande souplesse. L'interface réseau devrait pouvoir fonctionner en mode débit variable (ou qualité constante) et débit constant à des débits de transfert différents et facultativement transférer des trains de données spécialisés optimisés pour les modes défilement. Un dispositif en aval pourrait ainsi copier un fichier directement depuis un dispositif primaire en vue d'une relecture en mode cascade sur un dispositif secondaire.

1.4.2 Débit binaire nécessaire

Chaque fois que cela est possible, les utilisateurs préféreront enregistrer directement les données entrantes sous forme de fichiers sur un support d'enregistrement plutôt que de décoder et de recoder

en vue d'un stockage. Etant donné que le débit binaire vidéo comprimé sera différent selon l'application, toute connexion de réseau au dispositif doit pouvoir accepter des débits de données d'entrée et de sortie très divers.

Un dispositif de sauvegarde sur bande et un serveur vidéo à disque devront pouvoir stocker des flux vidéo comprimés à débit binaire variable, ce qui nécessitera une interface pouvant accepter un flux de données à débit variable.

De plus, des flux vidéo comprimés peuvent être stockés sur un dispositif de sauvegarde sur bande ou sur un serveur à disque, chaque flux étant enregistré à un débit binaire moyen différent.

1.4.3 Gestion des ressources

Un dispositif de sauvegarde sur bande doit pouvoir accepter et présenter des fichiers vidéo comprimés sur une gamme de valeurs. Un système intégré devra savoir piloter le dispositif en question pour un canal E/S pouvant avoir un débit de données programmable et non constant.

Les dispositifs de stockage devraient indiquer la gamme des débits de données qui peuvent être enregistrés et lus. Un serveur vidéo à disque a, de plus, la possibilité d'accepter plusieurs canaux E/S. Une signalisation supplémentaire sera peut-être nécessaire pour que la largeur de bande de canal et le nombre de canaux puissent être bien signalés au système.

1.4.4 Synchronisation des signaux audio, des signaux vidéo et des métadonnées

De nombreux dispositifs de stockage peuvent enregistrer des données vidéo, des données audio et des métadonnées dans différentes parties du support ou sur des supports différents pour diverses raisons. L'information de synchronisation devrait être incluse pour faciliter une bonne synchronisation des données reconstruites à la vitesse de lecture normale.

1.4.5 Emulation de magnétoscopes

Lorsqu'il est conçu pour être ou simuler un magnétoscope, un dispositif d'enregistrement utilisant des signaux vidéo comprimés peut mettre en oeuvre différents modes de défilement d'un magnétoscope. Ces modes peuvent comporter une visualisation en mode navette pour identifier le contenu, des images en mode accéléré ou ralenti pour identifier les points de montage et un fonctionnement en ralenti de qualité. Toutefois, la suppression de la redondance du signal vidéo par compression réduira les possibilités de reproduction haute qualité en mode défilement. Les méthodes et paramètres de compression retenus doivent autoriser l'utilisation de la fonction défilement lorsque cela est nécessaire pour l'application de l'utilisateur. Si le dispositif d'enregistrement doit reconfigurer les données sur les supports d'enregistrement pour assurer une meilleure fonction en mode défilement, cette conversion devrait être transparente et n'introduire aucune perte de conversion.

1.5 Interopérabilité

Le terme d'interopérabilité peut prêter à confusion car il recouvre des notions différentes selon le domaine dans lequel il est employé. Les systèmes de compression ajoutent à cette confusion en raison des problèmes que posent les transferts de programmes, la concaténation, le montage en cascade, la qualité du codage et du décodage et les tests de conformité. L'échange de programmes suppose une interopérabilité à trois niveaux: le niveau physique, les protocoles utilisés et les caractéristiques de compression. Dans les lignes ci-dessous on n'examinera que les questions de compression, les liaisons physiques et les protocoles étant l'objet d'autres chapitres.

S'agissant des transferts de programmes, le groupe d'action (task force) a déterminé l'existence de plusieurs types d'interopérabilité. Le premier est l'interopérabilité, conformément à la

Recommandation UIT-R BT.601, qui consiste à décoder les signaux comprimés dans une grille et à les recoder. C'est la méthode par défaut actuelle; elle est bien maîtrisée. D'autres méthodes devraient être déterminées dans l'avenir. Le groupe d'action est investi d'une autre tâche, à savoir classer en catégories les méthodes d'interopérabilité, examiner leurs caractéristiques, les rattacher à diverses applications et élaborer les limites qu'il faudrait peut-être imposer aux caractéristiques des dispositifs et des systèmes pour garantir les niveaux de performance prévisibles qu'attendent les utilisateurs pour telle ou telle application.

1.6 Test de conformité

L'interopérabilité entre produits vidéo comprimés est la clé du bon fonctionnement des systèmes utilisant la compression. L'interopérabilité est possible via la Recommandation UIT-R BT.601 mais il est souhaitable d'avoir une interopérabilité au niveau comprimé pour réduire au minimum les pertes de concaténation. L'interopérabilité au niveau comprimé peut concerner des codeurs et des décodeurs utilisant la même méthode et les mêmes paramètres de compression, la même méthode de compression mais des paramètres différents, voire des méthodes de compression différentes. Les tests de conformité sont fondamentaux pour garantir une bonne interopérabilité.

Les fabricants et les utilisateurs de systèmes de compression peuvent utiliser des tests de conformité de diverses façons: les codeurs peuvent être testés pour vérifier qu'ils génèrent des trains binaires valables; les décodeurs peuvent être testés pour vérifier qu'une gamme de trains binaires peut être décodée correctement; des applications peuvent être testées pour vérifier que les caractéristiques d'un train binaire donné sont conformes aux spécifications de l'application considérée, par exemple pour vérifier que le volume de données utilisées pour coder une image reste dans les limites indiquées. Dans la pratique, il est plus difficile de définir et de générer des tests de conformité que de les appliquer, de sorte que les tests utilisés par les fabricants pourraient être identiques à ceux utilisés par les utilisateurs.

Dans le cas du codage MPEG-2, les tests de conformité portent essentiellement sur les attributs des trains binaires; il n'y a pas de test de conformité au niveau physique puisque la norme MPEG-2 ne suppose pas l'existence d'une couche physique particulière. Un certain nombre de tests normalisés sont décrits dans la norme ISO/CEI 13818-4. Les modalités des tests exposés dans les documents MPEG-2 peuvent être élargies à d'autres méthodes de compression, en particulier le codage Motion JPEG et le codage DV. Ce volet comporte des tests sur les trains de transport, sur les trains de programmes, sur la précision de synchronisation et sur les trains binaires vidéo et audio. Un certain nombre de tests MPEG-2 sur les trains binaires vidéo sont spécifiques à la norme 4:2:2 Profile/Main Level. D'autres tests devront être mis au point.

PARTIE B

Applications de compression

1 Modèle d'application

La Fig. 1 donne un aperçu générique de la chaîne de programme en précisant tous les domaines d'application primaires. Chacune de ces fonctions est décrite en détail par la suite.

2 Acquisition

La compression offre de gros avantages pour l'acquisition en extérieur, actualités, sport, production vidéo en reportage, etc.

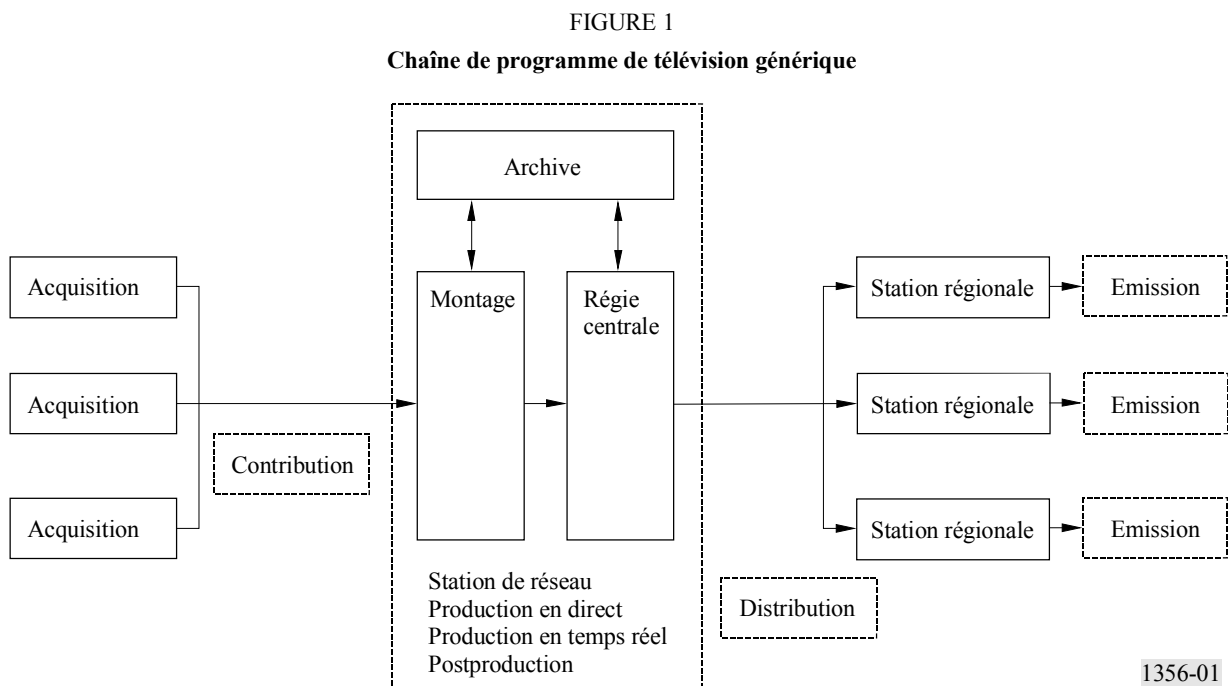
Les équipements doivent remplir les conditions suivantes:

- grande portabilité;
- légèreté;
- faible consommation d'énergie (longue durée de projection); et
- robustesse.

L'utilisation de la compression joue un rôle important dans la réponse apportée à ces exigences car le débit binaire et la capacité de stockage nécessaires sont réduits.

La méthode de compression utilisée pour l'acquisition devrait permettre un montage sur place.

Pour des applications comme la production vidéo en reportage ou les programmes sportifs une structure d'échantillonnage 4:2:2 est préférable. L'utilisation d'une structure moindre, par exemple 4:1:1 et 4:2:0, devrait être acceptable pour le reportage d'actualités à condition qu'il ne faille pas un post-traitement important.



3 Contribution

Le contenu acquis sur le terrain, puis monté sur place à l'aide d'un dispositif portable, ou en direct doit être transmis au studio en vue d'un traitement ultérieur et de sa transmission finale.

La largeur de bande des canaux de communication disponible à cette fin peut être différente de celle du signal comprimé enregistré de même que la qualité de service. Il serait souhaitable que le signal

comprimé provenant d'une source d'acquisition s'adapte parfaitement aux impératifs du support de communication. Toutefois, compte tenu de la très grande diversité du choix sur le marché (par exemple DS3, E3 et OC-1 à OC-192, le débit de données allant de quelques dizaines de mégabits à quelques gigabits par seconde) ceci n'est concrètement pas possible sauf si l'on utilise le débit de données du canal ayant la largeur de bande binaire la plus faible.

Lorsque le débit binaire d'un système de compression est plus élevé que celui du canal de communication, l'alternative réside entre une transmission plus lente que le temps réel (ce qui peut ne pas être possible pour certaines applications) et une couche supplémentaire de compression, ce qui se traduira par des erreurs de concaténation et aboutira à une dégradation de la qualité de l'image.

Lorsque le débit de données du système de compression utilisé est plus faible que celui du canal de communication il sera préférable d'utiliser un système de compression unique et non des systèmes de compression concaténée. La largeur de bande inutilisée pourra être employée à d'autres fins (protection supplémentaire contre les erreurs ou information sur les services auxiliaires).

Le service de contribution par satellite entre camions distants et studios n'est pas toujours disponible en raison de l'encombrement du spectre pour ce type de communication. Le fait de choisir une compression à faible débit binaire peut contribuer à combler cette lacune mais n'utiliser que ce critère pour choisir le débit du signal comprimé risque d'avoir d'autres conséquences, négatives.

Les communications fixes par satellite contribuent largement aux actualités télévisées. Ce type de signal est enregistré à la station 24 heures sur 24 et le choix du format de compression adapté dépend d'autres critères qui peuvent être différents de ceux applicables à l'équipement d'acquisition sur le terrain.

4 Compression en production en direct/en temps réel

Grâce à la compression pour le tournage en extérieur, le canal de communication entre les équipements d'acquisition distants et le studio où la production finale est faite sera moins sollicité. L'utilisation de la compression en production en direct/en temps réel a déjà été examinée dans les sections relatives à l'acquisition et à la contribution.

5 Postproduction/exploitation

5.1 Montage en temps réel

Le montage en temps réel fait en général intervenir le plus simple des effets de production, à savoir le coupé/collé qui, dans les systèmes comprimés, s'opère sur les flux (stream splicing) et devrait alors être fait sans transcodage.

Il est vivement recommandé de procéder au montage sur les flux comprimés en utilisant des débits binaires différents. Cette technique du traitement par compression en est à ses débuts mais, à n'en pas douter, elle sera possible entre des flux de la même famille de compression.

5.2 Montage postproduction

On a besoin pour le montage postproduction du niveau de qualité le plus élevé possible. On utilise en effet très souvent la superposition pendant ce traitement de production. Tous les effets, hormis le

coupé/collé, nécessitent un décodage. La superposition, en tant que processus, peut nécessiter plusieurs recodages ultérieurs; une perte de qualité de l'image peut donc être bien réelle.

Pour éviter cette perte le producteur devrait utiliser des méthodes analogues à celles employées dans le passé pour la superposition en analogique. Dans l'une d'elles on utilisait des formats de traitement et de stockage haute qualité afin que la dégradation du signal d'origine soit la plus faible possible. Des études approfondies sur la concaténation des systèmes comprimés ont montré que la compression concaténée aura une incidence négative sur la qualité globale de l'image. La technique analogique du montage et du stockage intermédiaire présentant le format de qualité le plus élevé possible s'applique également dans un environnement comprimé, ce qui signifie que le traitement devrait s'effectuer dans le domaine non comprimé ou au débit binaire comprimé le plus élevé possible dont dispose l'utilisateur.

5.3 Postproduction en différé

On suppose que pour la postproduction en différé, l'utilisateur est moins exigeant concernant la qualité de l'image car ce processus n'est utilisé que pour la création d'une liste de décisions de montage. Cette liste est utilisée par la suite pour le montage effectif du programme à diffuser. Ainsi, un dispositif de postproduction peut utiliser efficacement un équipement de postproduction haute qualité et de coût élevé. Une caractéristique importante d'une station de montage en différé est de faciliter la prise des décisions de montage susceptibles d'être suivies avec précision en direct.

5.4 Présentation/régie centrale

Ce type de traitement régule le flux en sortie de la station du réseau. Dans cet environnement, les décisions sont toujours prises en direct et en général dans des conditions dynamiques. L'opérateur doit prendre des décisions en fonction de situations particulières; par conséquent le délai de réponse et la reproductibilité sont de la plus haute importance. A ce stade du traitement, l'opérateur maîtrise peu la qualité de l'image; il ne maîtrise en fait que la diffusion du contenu.

La fiabilité de l'équipement est elle aussi très importante car tout risque de panne pourrait avoir des conséquences catastrophiques pour l'installation. A l'évidence, l'utilisation de la compression n'améliorera pas la situation mais si un dispositif fonctionne avec des signaux comprimés au départ il est logique que la régie centrale suive la méthode de traitement de l'installation et commute les signaux comprimés.

La commutation à la régie centrale s'effectuera au niveau du flux élémentaire structuré en paquets. Ce processus peut être suivi d'un codage en flux de transport. Toutefois, la qualité de l'image en sortie aura été préalablement déterminée par des codages précédents et la qualité finale de l'image sera dictée par le débit et la structure du flux comprimé diffusé.

6 Distribution

6.1 Liaisons par satellite

Des liaisons par satellite sont souvent disponibles comme canaux analogiques dans lesquels on peut utiliser un processus de modulation numérique adéquat, ce qui permet d'avoir une souplesse considérable dans le choix des débits binaires du système de compression vidéo. Lorsque des flux binaires entrants ont été préalablement codés, les codeurs de satellite devraient utiliser le même

processus de codage que celui appliqué au contenu alimenté en amont ou le contenu préalablement codé devrait être communiqué directement au modulateur du satellite pour qu'il n'y ait pas de pertes de concaténation. Lorsque cela n'est pas possible (car le débit binaire disponible est inférieur à celui du flux binaire préalablement codé) il y aura des pertes de concaténation.

6.2 Opérateurs publics (coopératives de télécommunication, telcos)

La question des opérateurs publics a déjà été examinée dans la section «Contribution».

D'autres caractéristiques des liaisons par satellite et des liaisons utilisées par les telcos concernent la possibilité de transfert plus rapide qu'en temps réel pour des raisons d'économie et d'exploitation.

6.3 Emission

La transmission chez le particulier est limitée par la faiblesse du débit binaire et devrait être du type MPEG-2 MP@ML, limitée probablement à moins de 8 Mbit/s, mais en tout cas à moins de 15 Mbit/s.

Dans certains cas, il faudra insérer le contenu local par «collage de flux comprimés».

6.4 Distribution sur supports empaquetés

La distribution du contenu chez le particulier est, comme l'émission, limitée par la faiblesse du débit binaire. Une différence importante toutefois devrait être l'utilisation de la technique à débit binaire variable et d'une sortie à un seul canal.

Il ne sera pas nécessaire d'insérer le contenu local mais il faudra dans certains cas prévoir un branchement interactif dans le contenu stocké.

7 Archivage

7.1 Archivage en ligne

Les archives en ligne vont en général stocker directement des flux binaires comprimés pour éviter les effets de concaténation d'un autre système de compression. Les archives peuvent par ailleurs être associées à des images et des métadonnées en mode lecture rapide fortement comprimées pour faciliter la restitution du contenu des archives. Le niveau de qualité des images en mode lecture rapide n'est nécessaire que pour faciliter la reconnaissance de l'image, ces images n'étant pas vraisemblablement utilisées à d'autres fins.

Les métadonnées et les images en mode lecture rapide seront en principe situées dans le même dispositif de stockage pour que l'accès au contenu soit rapide. Une fonction complète de montage devrait pouvoir exister avec le contenu des archives en ligne.

7.2 Archivage quasi en ligne

Une archive quasi en ligne est une archive intermédiaire contenant les copies du contenu et des métadonnées. En principe, les images en mode lecture rapide et les métadonnées seront stockées dans l'archive en ligne pour un accès rapide alors que le contenu sera stocké en différé sur un serveur distant. Une fonction complète de montage du contenu de l'archive quasi en ligne reste possible.

7.3 Archivage de longue durée (archive de dernier niveau)

Dans une archive de dernier niveau, le contenu et toutes les métadonnées associées sont stockés dans l'archive mais seules les métadonnées et les images en mode lecture rapide se prêtent à un accès aisé en vue d'une lecture rapide de l'archive. Selon les besoins de ce type d'archive, le contenu peut être soumis à une nouvelle compression, par exemple la compression MPEG-2 MP@ML à faible débit binaire.
