

## RECOMMANDATION UIT-R BT.1201\*

**Imagerie à ultra-haute résolution**

(Question UIT-R 226/11)

(1995)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que l'imagerie à ultra-haute résolution pourra être utilisée demain dans divers domaines comme l'infographie, l'imprimerie, les applications médicales, l'industrie cinématographique, la télévision, etc.;
- b) qu'il faut pour mettre au point des systèmes d'imagerie de ce type consulter de nombreux spécialistes des images dans des domaines apparentés;
- c) que des études et des expériences pratiques sur l'imagerie à ultra-haute résolution sont réalisées dans différentes régions du monde;
- d) qu'il est préférable d'utiliser des dispositifs communs pour mettre en œuvre les systèmes d'imagerie à ultra-haute résolution à un coût raisonnable;
- e) que les techniques de réduction du débit binaire jouent un rôle essentiel dans la transmission des images à ultra-haute résolution;
- f) que la résolution spatiale, la résolution temporelle et le format d'image nécessaires peuvent varier selon les applications commerciales;
- g) qu'il est aujourd'hui possible d'assurer la conversion des grilles d'échantillonnage spatial et temporel entre différents formats sans introduire de défauts aux images converties,

*recommande*

- 1 de faire en sorte que la résolution spatiale et la résolution temporelle ainsi que le format d'image soient assez souples pour satisfaire aux exigences très diverses des différents domaines d'application (l'Annexe 1 donne des exemples des travaux en cours);
- 2 d'utiliser dans le train de données un en-tête pour définir les paramètres visés au § 1;
- 3 d'utiliser des caractéristiques colorimétriques communes pour tous les formats.

---

\* La Commission d'études 6 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2002 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44.

## ANNEXE 1

**Rapport d'activité sur l'imagerie à ultra-haute résolution (HRI)****1 Introduction**

Compte tenu des limitations des technologies actuelles, les applications décrites dans la présente Recommandation ne sont pas, pour la plupart, des applications en temps réel. Il a fallu concevoir un modèle hiérarchique pour étudier les questions pratiques visées au § 3.

C'est pourquoi la hiérarchie de résolutions spatiales indiquée au § 2 du Tableau 1 a été adoptée.

TABLEAU 1

**Hiérarchie de résolutions spatiales**

	HRI-0	HRI-1	HRI-2	HRI-3
Résolution spatiale (nombre d'échantillons)	1 920 × 1 080	3 840 × 2 160	5 760 × 3 240	7 680 × 4 320

Pour les besoins de la présente étude, la hiérarchie adoptée est basée sur un format d'image 16:9.

Les hiérarchies HRI-0 à 3 sont dans un rapport entier simple de résolutions horizontale et verticale.

La hiérarchie HRI est représentée dans le domaine spatial, la coordonnée temporelle étant constante (pas en temps réel) ou variable (en temps réel) après spécification de la fréquence image.

**2 Situation actuelle****2.1 Traitement des images fixes et des images image par image (actuellement pratiqué)**

On constate que les effets spéciaux optiques sur film réalisés par voie numérique sont largement utilisés dans les films récents. Le public apprécie énormément ce type d'effets spéciaux. Le traitement électronique sur film, technique maintenant éprouvée de postproduction en studio, ouvre une nouvelle ère pour la production cinématographique, en se substituant efficacement et à un coût intéressant aux anciennes techniques de traitement optique des films. Ces effets spéciaux réalisés par infographie, par incrustation et par technique du fond bleu, permettent de retoucher des scènes et notamment de supprimer des paysages et des couleurs, et de modifier les gradations dans de vieux films ou des films en mauvais état. Plusieurs systèmes de ce type sont disponibles sur le marché et sont utilisés avec succès. Le système dans son intégralité se compose d'un analyseur de film CCD, d'un enregistreur sur film à la sortie et d'un dispositif de traitement des signaux. On utilise généralement des consoles et des progiciels particuliers pour réaliser ces effets spéciaux. Les équipements permettent de manipuler des images de qualité cinéma ayant une résolution extrêmement élevée, c'est-à-dire une résolution 40 fois supérieure à celle de la télévision classique.

## 2.2 Infographie

Il est possible de produire par infographie des images destinées aux arts graphiques. Ces images sont produites localement sans problèmes techniques majeurs. Si la capacité du disque est suffisante et si l'ordinateur est très rapide, des paramètres comme la résolution spatiale, les dimensions de l'écran, la résolution temporelle et d'autres peuvent en principe être adaptés aux besoins. Il est toutefois difficile de créer en temps réel des images animées avec les technologies actuellement disponibles. Tout dépend de la complexité de l'image à produire et de la technique d'infographie utilisée. La production d'images selon une technique d'infographie simple permet de réaliser certaines applications en temps réel: systèmes de réalité virtuelle, simulateurs de vol et jeux.

Pour ce qui est de la production actuelle de programmes de TVHD, il faut environ 1 h pour créer l'image d'un homme avec un ordinateur de 200 MIPS. Pour produire avec la même technologie une image de niveau HRI-3, il faudra 16 h pour créer une image ayant une résolution de  $4 \times 4$  fois supérieure. L'utilisation d'unités de traitement très puissantes en termes de MIPS et d'équipements graphiques spécialisés est essentielle pour créer par infographie des images à haute résolution.

Les caractéristiques les plus courantes des dispositifs d'affichage dans les consoles graphiques actuelles sont les suivantes: format 4:3, pixels carrés, balayage progressif à 60 images,  $1280 \times 1024$  pixels et une gradation totale sur 32 bits dans l'échelle couleur et dans celle des gris. Dans les modèles récents, on utilise  $1600 \times 1024$  pixels et une gradation sur 48 bits.

## 3 Aspects pratiques

### 3.1 Technologie des dispositifs d'affichage

#### 3.1.1 Ecrans cathodiques

Avec des écrans cathodiques d'environ 50 cm de diagonale, on peut obtenir une résolution d'environ 1000 lignes avec un pas du masque égal à 0,3 mm. On a déjà réalisé un pas de 0,15 mm avec des consoles spéciales. Le pas du masque dépend de nombreux facteurs techniques, notamment l'épaisseur du masque et des techniques de fabrication. Avec les technologies actuelles, on estime que la limite se situe à environ 0,16 mm pour les écrans cathodiques de 1 m. Le diamètre actuel du spot du faisceau électronique est d'environ 1-2 mm. Pour obtenir une résolution plus élevée, il faut ramener le diamètre du spot à environ 0,5-1 mm.

Il faut par ailleurs augmenter la vitesse des circuits de déviation des tubes cathodiques. A cette fin, on réduit la largeur de la bobine de déviation et on diminue les pertes dans les circuits magnétiques. Il faudra un circuit de compensation numérique pour réduire les erreurs de déflexion.

#### 3.1.2 Ecrans à cristaux liquides

La technologie des écrans à cristaux liquides trouve deux applications possibles pour la présentation d'images à haute résolution. Pour les écrans à cristaux liquides à lecture directe, la disponibilité d'un panneau à cristaux liquides de plus grandes dimensions risque de poser un problème important sur le double plan de la technologie et du coût. Pour la présentation d'images à haute résolution, les spectateurs exigent toujours un écran de grande dimension. A cet égard, pour les systèmes de projection à cristaux liquides, il faut trouver un compromis entre des systèmes optiques onéreux qui exigent un panneau à cristaux liquides de grande dimension et la moindre brillance des panneaux à cristaux liquides de petite dimension.

## **3.2 Technologies de prise de vues**

### **3.2.1 Caméra de télévision**

On suppose que la résolution marginale d'une optique est de l'ordre de 100 lignes/mm. Par conséquent, la résolution verticale qu'il est possible d'obtenir avec une optique de 1 pouce (zone d'exploration CCD de  $14 \times 7,8$  mm) est de  $7,8 \times 100 \times 2 = 1560$  lignes TV. On considère qu'il faudrait une optique de plus de 1 pouce dans un système de niveau supérieur au niveau HRI-1 ( $3\,840 \times 2\,160$ ).

Lorsqu'on veut obtenir une résolution plus élevée, on diminue en général la taille des pixels des dispositifs de prise de vues. La faible sensibilité est compensée par une augmentation de la surface sensible, par l'adoption d'éléments à haute sensibilité et par la réduction du niveau du bruit.

Pour ce qui est du nombre et de la taille des pixels, on a annoncé un prototype de CCD bidimensionnel à 2 millions de pixels (optique de  $2/3$  pouce) pour la télévision. On estime qu'il sera possible dans quelques années non pas de réduire la taille des pixels mais d'augmenter la taille de la surface sensible des microcircuits qui seront alors compatibles avec le niveau HRI-1. Il faudrait une nouvelle technologie si l'on augmente la résolution.

La réduction du rapport signal/bruit d'une caméra entraîne une diminution du taux de compression; il est donc essentiel d'abaisser le niveau de bruit.

### **3.2.2 Télécinéma**

Il existe à l'heure actuelle trois types de télécinéma qui diffèrent selon la technique de prise de vues: le télécinéma à tube ou à capteur CCD, le télécinéma à spot mobile et le télécinéma laser. La plupart des problèmes liés à l'imagerie à haute résolution se posent lorsque le télécinéma est utilisé en temps réel. Si les applications ne sont pas du type réel, la quasi-totalité des problèmes disparaissent lorsque l'exploration s'effectue à faible vitesse.

### **3.2.3 Acquisition électronique d'images fixes**

La qualité d'une image argentique sur film 35 mm est pratiquement la même que celle d'une image du niveau HRI-1. Il est possible d'obtenir une résolution beaucoup plus élevée en augmentant le format du film utilisé.

A l'heure actuelle, il existe un analyseur d'images fixes exclusivement, à CCD de  $5 \times 5$  cm comportant 4 millions de pixels, ce qui correspond à une résolution intermédiaire entre le niveau HRI-1 et le niveau HRI-2. Un nouveau dispositif appelé à remplacer le CCD permettra d'obtenir une résolution beaucoup plus élevée.

## **3.3 Techniques de transmission**

### **3.3.1 Transmission optique**

Avec une longueur d'onde de  $1,55 \mu\text{m}$ , on a obtenu un débit de transmission supérieur à 2,5 Gbit/s et une distance de 100 km entre répéteurs. Etant donné que les systèmes de transmission optiques ont une très grande capacité de transmission par rapport à d'autres systèmes, on pense qu'ils seront les systèmes de transmission incontournables de demain pour la transmission d'images numériques évoluées.

Le Tableau 2 indique plusieurs domaines importants pour le développement des techniques de transmission optique nécessaires à l'acheminement des futurs signaux à débit binaire élevé dans le cas des applications HRI en temps réel. On voit que des progrès marquants doivent encore être réalisés.

TABLEAU 2

**Développement de la technologie de transmission par relais optique**

	Lorsque le rapport de transmission appliquée est 150 Mbit/s pour la HRI-0 et la HRI-1 en temps réel <sup>(1)</sup>	Lorsque le rapport de transmission appliquée est 600 Mbit/s pour la HRI-2 et la HRI-3 en temps réel <sup>(1)</sup>
Technologie de transmission par relais optique	Transmission optique jusqu'à 100 Gbit/s Transmission en lumière cohérente Modulation de lumière MRF (10 longueurs d'ondes) Amplification de lumière	Transmission optique jusqu'au niveau des Tbit/s Transmission en lumière cohérente Modulation de lumière MRF (100 longueurs d'ondes) –

<sup>(1)</sup> Voir le Tableau 9 pour la définition de HRI-0 -1 -2 -3 en temps réel.

**3.3.2 Radiodiffusion par satellite**

Pour la radiodiffusion par satellite à large bande, on peut utiliser les fréquences comprises entre 21,4 et 22 GHz (600 MHz) attribuées par la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92). Dans ce cas, compte tenu de la largeur de bande du tube à ondes progressives (TOP), il est possible de réaliser des répéteurs de radiodiffusion par satellite présentant une largeur de bande d'environ 300 MHz. Cependant, dans la pratique, du point de vue de la puissance électrique et des dimensions du satellite, il faut compenser les problèmes d'affaiblissement et d'affaiblissement par absorption atmosphérique propres à la bande des 21 GHz, en augmentant la puissance rayonnée en fonction de l'intensité des précipitations dans chaque région. Pour cela, des progrès techniques devront être enregistrés afin de réaliser:

- des TOP très performants, légers et de forte puissance,
- des antennes spatiales à ouverture synthétique,
- une meilleure production de puissance électrique,
- des systèmes de contrôle de la puissance rayonnée.

**3.3.3 Télévision par câble (CATV)**

Pour ce qui est de la télévision par câble, par rapport aux systèmes actuels de transmission analogique, la transmission en temps réel de signaux HRI nécessite:

- l'utilisation de systèmes multicanaux,
- l'obtention d'une meilleure qualité de transmission,
- une vitesse de transmission plus élevée et des bandes plus larges,
- l'utilisation de la technologie numérique et optique.

Le Tableau 3 indique conjointement la largeur de bande et le niveau de modulation correspondant à chaque niveau de la hiérarchie de transmission HRI en temps réel.

TABLEAU 3

**Largeur de bande et niveau de modulation pour la transmission HRI**

H hiérarchie de transmission HRI en temps réel <sup>(1)</sup> (après compression)	Largeur de bande et niveau de modulation
HRI-0 (50 Mbit/s)	12 MHz/MAQ-64
HRI-0 et 1 (65-130 Mbit/s)	24-36 MHz/MAQ-64 18 MHz/MAQ-256
HRI-2 et 3 (500 Mbit/s)	100 MHz/MAQ-256 (il faut un câble en fibres optiques)

<sup>(1)</sup> Voir le Tableau 9 pour la définition de la hiérarchie de transmission en temps réel.

### 3.4 Technologie d'enregistrement

#### 3.4.1 Magnétoscopes

L'évolution des techniques utilisées pour les magnétoscopes grand public (8 mm, VHS) laisse prévoir qu'il sera possible d'ici l'an 2000 d'obtenir une densité d'enregistrement de 1 à 2,5 bit/ $\mu\text{m}^2$ . Le Tableau 4 indique les surfaces d'enregistrement disponibles pour chaque type de cassette commercialisée.

TABLEAU 4

**Surfaces d'enregistrement pour des bandes conditionnées en cassettes**

Bande	Cassette 8 mm	Cassette VHS
Bandes commercialisées (largeur, longueur, épaisseur)	(8 mm, 106 m, 10 $\mu\text{m}$ )	(12,7 mm, 246 m, 19 $\mu\text{m}$ )
Bandes qui verront le jour en l'an 2000 (largeur, longueur, épaisseur)	(8 mm, 212 m, 5 $\mu\text{m}$ )	(12,7 mm, 467 m, 10 $\mu\text{m}$ )
Surface d'enregistrement effective de la bande (90% de la largeur utilisée)	$1,52 \times 10^{12} \mu\text{m}^2$	$5,33 \times 10^{12} \mu\text{m}^2$

Pour enregistrer les signaux HRI en temps réel, il faut utiliser sous une forme ou une autre un algorithme de compression à l'entrée. Le Tableau 5 indique la capacité d'enregistrement estimée pour chaque format de magnéscope considéré.

Il ressort du Tableau 5 qu'il faut un rapport supérieur à 1/60 pour l'enregistrement en temps réel de signaux HRI-3.

Les calculs ci-après sont des estimations basées sur les hypothèses qui ont été formulées à partir des tendances actuelles en matière d'enregistrement. Il faut tenir compte d'autres éléments pour réaliser concrètement un enregistreur adapté à chaque niveau de la hiérarchie HRI.

TABLEAU 5

## Capacité d'enregistrement estimée des magnétoscopes d'ici l'an 2000

Hiérarchie HRI en temps réel <sup>(1)</sup>	Débit binaire du signal d'origine (Gbit/s)	Type de cassette	Image animée (h)			Image fixe (pages)
			Rapport de compression			Rapport de compression
			1/60	1/30	1/4	1/10
HRI-0 2 millions de pixels	2,5	8 mm VHS	8	4	0,5	$3 \times 10^5$
			27	14	2	$1 \times 10^6$
HRI-1 8 millions de pixels	10	8 mm VHS	2	1	0,1	$7 \times 10^4$
			7	3	0,5	$3 \times 10^5$
HRI-2 19 millions de pixels	40	8 mm VHS	0,5	0,2	0,03	$2 \times 10^4$
			2	0,9	0,11	$6 \times 10^4$
HRI-3 33 millions de pixels	72	8 mm VHS	0,3	0,1	0,02	$1 \times 10^4$
			1,0	0,5	0,06	$3 \times 10^4$

<sup>(1)</sup> Voir le Tableau 9 pour la définition de la hiérarchie en temps réel.

### 3.4.2 Disques

L'évolution des techniques actuelles en matière de disques laisse prévoir qu'il sera possible d'ici l'an 2000 de multiplier par un facteur compris entre 4 et 9 la capacité d'enregistrement actuelle. Le Tableau 6 indique la capacité d'enregistrement disponible pour chaque type de disque actuellement commercialisé.

TABLEAU 6

## Capacité d'enregistrement réalisable d'ici l'an 2000

Support d'enregistrement	Dimensions (mm)	Capacité d'enregistrement (Moctet)
MD	64	600-1 350
CD-ROM	120	2 720-6 120
LD	300	18 200-41 000

Pour enregistrer des signaux HRI en temps réel il faudra utiliser sous une forme ou une autre des algorithmes de compression à l'entrée. Le Tableau 7 indique la capacité d'enregistrement estimée pour chaque format de disque examiné.

TABLEAU 7

## Capacité d'enregistrement estimée des vidéodisques d'ici l'an 2000

Hiérarchie HRI en temps réel <sup>(1)</sup>	Débit binaire du signal d'origine (Gbit/s)	Support d'enregistrement	Image animée (h)			Image fixe (pages)
			Rapport de compression			Rapport de compression
			1/60	1/30	1/4	1/10
HRI-0 2 millions de pixels	2,5	MD CD-ROM LD	0,06	0,03	–	$2 \times 10^3$
			0,3	0,1	0,02	$9 \times 10^3$
			1,7	0,8	0,1	$6 \times 10^4$
HRI-1 8 millions de pixels	10	MD CD-ROM LD	0,01	0,01	–	$5 \times 10^2$
			0,06	0,03	–	$2 \times 10^3$
			0,4	0,2	0,03	$2 \times 10^4$
HRI-2 19 millions de pixels	40	MD CD-ROM LD	–	–	–	$1 \times 10^2$
			0,02	0,01	–	$6 \times 10^2$
			0,1	0,05	0,01	$4 \times 10^3$
HRI-3 33 millions de pixels	72	MD CD-ROM LD	–	–	–	$7 \times 10$
			0,01	–	–	$3 \times 10^2$
			0,06	0,03	–	$2 \times 10^3$

Il ressort du Tableau 7 que la capacité d'enregistrement sera de 9 fois supérieure à la capacité actuelle lorsque les progrès technologiques le permettront. Il ressort clairement de ce même Tableau que pour les images animées, le temps d'enregistrement serait trop court avec un rapport de compression de 1/30 dans la hiérarchie HRI-1 et qu'avec une compression de 1/60 on se rapprocherait du temps d'enregistrement des disques laser analogiques actuels.

### 3.5 Techniques de codage et de traitement des images

Les images à ultra-haute définition des signaux HRI en temps réel supposent des quantités énormes d'informations. Pour conserver une qualité d'image élevée tout en ramenant effectivement et de manière peu coûteuse le débit binaire jusqu'au point correspondant aux caractéristiques de transmission et au support de stockage, il est essentiel de mettre au point un algorithme plus performant et une technique de traitement des signaux plus rapide pour le codage et le décodage. La possibilité d'élaborer un algorithme de codage pour les signaux HRI en temps réel est examinée dans le présent paragraphe compte tenu des études des techniques de codage précédentes faites à l'UIT-T, à l'ISO/CEI et dans d'autres organismes de normalisation.

Le Tableau 8 indique la part relative de chaque technologie fonctionnelle ou de chaque élément d'algorithme actuellement disponible dans le rapport de réduction du débit binaire total obtenu.



TABLEAU 8

**Efficacité de compression de chaque élément de l'algorithme**

Compression fréquentielle: transformée en cosinus discrète	5-10
Compression temporelle: compensation du mouvement	2-3
Compression statistique des données: codage à longueur variable	1,3-1,5
Rapport de compression moyen	15-30

Le Tableau 9 indique le rapport de compression nécessaire pour la transmission de chaque image HRI en temps réel.

TABLEAU 9

**Rapport de compression nécessaire pour la transmission**

Hiérarchie des images	H. 26X/ MPEG-2	HRI-0 en temps réel	HRI-1 en temps réel	HRI-2 en temps réel	HRI-3 en temps réel
Nombre de pixels effectifs	720 × 483	1 920 × 1 080	3 840 × 2 160	5 760 × 3 240	7 680 × 4 320
Rapport de fréquence d'échantillonnage	4:2:2	4:2:2	4:2:2	4:4:4	4:4:4
Gradation (luminance et différence de couleur) (bit)	8	10	10	12	12
Débit de trame/seconde	30	60	60	60	60
Débit binaire du signal source (Gbit/s)	0,216	2,5	10	40	72
Vitesse de transmission (Mbit/s)	5-10	60-80	100-150	150-600	150-600
Rapport de compression	20-40	30-40	70-100	70-270	120-480

La valeur marginale du rapport de compression auquel les spectateurs noteront rarement une dégradation de la qualité de l'image après distribution secondaire sera de 15 à 30, comme indiqué dans le Tableau 9. Il sera possible de réduire encore les débits binaires en utilisant les caractéristiques HVS (sensibilité du système visuel humain) ou le filtrage. On considère donc qu'on pourrait obtenir une qualité de distribution secondaire avec un rapport de compression compris entre 1/25 et 1/50 mais pour ce qui est de la qualité d'image de niveau contribution, la limite du rapport de compression pourrait se situer autour de 1/6.

Au sommet de la hiérarchie, il faut un rapport de compression compris entre 300 et 500, ce qui appelle d'importants progrès technologiques. Un codage basé sur une connaissance du contenu de l'image, encore au stade expérimental, est une solution possible.

Le Tableau 10 récapitule les dispositifs nécessaires pour le traitement de signaux HRI en temps réel (disponibilité).

Les paramètres dans les rangées codeur/décodeur du Tableau 10 correspondent à une mise en œuvre avec une seule puce. Il est possible de mettre au point un dispositif avec plusieurs puces selon des schémas de traitement parallèles. La mise en œuvre du dispositif est beaucoup plus aisée.

TABLEAU 10

## Dispositifs appropriés et disponibilité de ces dispositifs pour le traitement de signaux HRI en temps réel

Rubrique	HRI-0 en temps réel	HRI-1 en temps réel	HRI-2 en temps réel	HRI-3 en temps réel
Convertisseur analogique/numérique	Production en série possible vers 1994 ou 1995	Eventuellement possible Réalisation attendue vers 1997	Difficile compte tenu de la technologie actuelle Innovation technologique nécessaire	Progrès technologique nécessaire
Convertisseur numérique/analogique	Production en série possible	Production expérimentale Pas de problème	Eventuellement possible Réalisation attendue vers 1997	Eventuellement possible Réalisation attendue vers l'an 2000
Fréquence d'échantillonnage maximale requise	Environ 150 MHz	Environ 500 MHz	Environ 1,2 GHz	Environ 2 GHz
Capacité de mémoire de trame (par image)	Production en série possible Pas de problème 40 Mbits	Production expérimentale Pas de problème 165 Mbits	Eventuellement possible Réalisation attendue vers l'an 2000 670 Mbits	Eventuellement possible Réalisation attendue vers l'an 2003 1,2 Gbits
Traitement LSI et intégration	Possible 0,5 $\mu\text{m}$	Possible 0,35 $\mu\text{m}$ Production expérimentale	Eventuellement possible 0,25 $\mu\text{m}$ Réalisation attendue vers l'an 2000	Eventuellement possible 0,15 $\mu\text{m}$ Réalisation attendue vers l'an 2003
Logique du codeur LSI (1 puce) DSP (1 puce)	6 millions de transistors Possible  Possible (puce VLSI spécifique)	12 millions de transistors Eventuellement possible (Nouvelle architecture nécessaire)  Presque impossible Progrès technologique nécessaire	30 millions de transistors Presque impossible Progrès technologique nécessaire Progrès technologique nécessaire	100 millions de transistors Progrès technologique nécessaire  Progrès technologique nécessaire
Logique du décodeur LSI (1 puce) DSP (1 puce)	2 millions de transistors Possible  Possible (puce VLSI spécifique)	5 millions de transistors Eventuellement possible  Eventuellement possible (puce VLSI spécifique)	12 millions de transistors Eventuellement possible (Nouvelle architecture nécessaire) Presque impossible Progrès technologique nécessaire	30 millions de transistors Presque impossible Progrès technologique nécessaire Progrès technologique nécessaire

LSI: circuit intégré à grande échelle

DSP: dispositif de traitement de signaux numériques

## 4 Paramètres

TABLEAU 11

### Ensemble de paramètres pour l'imagerie à ultra-haute résolution

Paramètres	Valeurs
Dimensions de l'écran	Les formats 4:3 et/ou 16:9 sont les formats de base mais il est possible d'adopter d'autres valeurs tenant compte des divers besoins
Résolution spatiale	Compte tenu de la compatibilité avec l'informatique, il est préférable d'avoir une résolution de $1\,920 \times 1\,080$ et/ou des multiples entiers pour des écrans 16:9 afin de réaliser des pixels carrés
Résolution temporelle	Pour ce qui est du système de balayage, il faut adopter un système de balayage progressif car ce système présente des caractères et des chiffres contenant des bandes latérales; il facilite par ailleurs le codage ou le traitement des images par rapport à un balayage entrelacé. Il convient de noter qu'une résolution spatiale plus élevée suppose en général une résolution temporelle plus élevée. Un système à 60 trames/seconde environ et à balayage progressif pourra convenir pendant un certain temps
Gradation	8 bits pour des images animées et 10 bits pour des images fixes. Il faudra peut-être utiliser une gradation sur 12 bits pour des manipulations de signaux complexes, compositions d'images, impression vidéo et utilisations secondaires, par exemple
Colorimétrie	Il semble que les caractéristiques colorimétriques indiquées dans la Recommandation UIT-R BT.709 conviennent pour l'instant mais il faudra peut-être utiliser une nouvelle méthode permettant d'obtenir une gamme de représentation des couleurs plus étendue