

électroluminescentes sont robustes, possèdent de grands angles de vue et une longue durée de vie. S'ils demeurent chers, petits et monochromes, ils se sont néanmoins imposés pour plusieurs applications.



Les écrans à émission de champ. Il y a 20 ans, des chercheurs de l'Université Stanford ont montré que de faibles tensions électriques appliquées à des pointes de molybdène ou d'autres métaux réfractaires créent des champs électriques suffisamment intenses pour extraire des électrons du métal à la température ambiante. Cette émission électronique «de cathode froide» est aujourd'hui le fondement d'un dispositif de visualisation sans tube qui utilise plusieurs cathodes par pixel.

À l'époque où l'émission de pointe fut découverte, on ignorait comment réaliser industriellement ces cathodes. Les progrès de la micro-électronique et de la physique des matériaux ont résolu le problème. La Société française *PixTech* commercialise les premiers écrans à émission de champ ; des sociétés américaines la suivent.

La Société *Canon* vient d'annoncer un autre type de cathode, qui faciliterait la fabrication de ces écrans. On évite de sculpter des pointes microscopiques sur du silicium monocristallin en créant une mince bande isolante entre deux zones métalliques (qui servent d'électrodes) déposées sur du verre. Si ce dispositif fonctionne comme prévu, des cathodes de n'importe quelle taille pourraient être réalisées par des systèmes bon marché analogues aux imprimantes à jets d'encre.

Si de nombreux problèmes demeurent, les écrans à émission de champ sont de sérieux concurrents des écrans à cristaux liquides, pour les écrans de petites dimensions. Pour ce qui concerne les grandes dimensions, ce seront peut-être même des concurrents des écrans à plasma.



Les écrans fluorescents. Ces écrans, qui s'inspirent d'une idée ancienne, sont des sortes de tubes cathodiques plats fonctionnant à basse tension. Les électrons émis par des filaments cathodiques froids sont dirigés vers des atomes qui émettent de la lumière avec un bon rendement malgré la basse tension. Les pixels peuvent être sélectionnés et allumés par un réseau de grilles métalliques situées entre les cathodes et les phosphores. Ces dispositifs fluorescents sous vide sont souvent utilisés pour les horloges de voitures, dans les affichages de fours et, aussi, pour les magnétoscopes. Par cette technique, les ingénieurs n'ont, pour l'instant, réalisé que de petits affichages.

elles sont soutenues par des entreprises qui disposent de fonds importants et qui jouissent d'un soutien d'État.

Les entreprises japonaises bénéficient aujourd'hui de leur volonté et des investissements effectués depuis 30 ans. Elles doivent aussi beaucoup à l'inventivité de leurs ingénieurs et de leurs ouvriers, qui ont assidûment perfectionné les techniques de production. Pour ces raisons, les usines d'écrans de visualisation sont pour la plupart en Asie.

L'amélioration de ces écrans est un travail motivant, source d'idées novatrices. De nouvelles techniques apparaissent, alors même que les anciennes s'améliorent. Ces écrans, qu'ils soient à plasma ou issus d'une autre technique, sont des éléments primordiaux de l'interaction entre les humains et les machines de demain.

Alan SOBEL, consultant à Evanston (Illinois), travaille depuis 35 ans dans le domaine de l'affichage électronique.

Flat-Panel Displays and CRTs, sous la direction de Lawrence E. Tannas, Jr., Van Nostrand Reinhold, 1985.

Electro-optical Displays, sous la direction de M. Karim, Marcel Dekker, 1992.

T. MAKINO et al., *Improvement of Video Image Quality in AC-Plasma Display Panels by Suppressing the Unfavorable Coloration Effects with Sufficient Gray Shades Capability*, in *Asia Display*, 1995.

Display Systems: Design and Applications, sous la direction de Lindsay W. MacDonald et Anthony C. Lowes, Wiley SID series in display technology, published in association with the Society for Information Display, John Wiley & Sons, 1997.

Display Systems: Design and Applications, sous la direction d'A. Lowe, John Wiley & Sons, 1997.

La norme européenne de télévision numérique

JEAN-PIERRE HÉNOT • VINCENT MICHON • BERTRAND SUEUR

La nouvelle norme européenne de télévision numérique remplacera bientôt la norme de transmission analogique dans tous les équipements télévisuels.

Depuis 20 ans, le monde de la télévision prépare son évolution vers les systèmes numériques, où les sons et les images sont codés par des nombres au lieu d'être transmis sous forme de signaux continus. Dans les années 1980, les effets spéciaux numériques se multiplient. Aujourd'hui, la numérisation s'est imposée dans l'ensemble du monde audiovisuel : elle déborde du studio professionnel et envahit tous les maillons de la chaîne de l'image, des caméras aux téléviseurs, en passant par les satellites ou les réseaux câblés.

Cet avènement du numérique est facilité par l'adoption d'une norme européenne issue des travaux du groupe DVB (*digital video broadcast*, soit «diffusion vidéo numérique»). Ainsi, les grandes sociétés d'informatique, de télécommunication et d'audiovisuel multiplient les produits entièrement numériques. L'utilisateur bénéficiera de programmes de télévision plus nombreux. Pour les professionnels de l'audiovisuel, la numérisation diminue le coût de diffusion des programmes.

Pourquoi la numérisation des images nécessite-t-elle une compression des données et comment cette compression est-elle faite ? Une fois numérisée, l'image est transmise aux téléspectateurs par des satellites, par des câbles ou par voie hertzienne terrestre. Quels sont les avantages et les inconvénients de ces modes de transmission ? Enfin, quelle que soit la méthode choisie, la transmission numérique nécessite des «codes correcteurs d'erreur», recettes mathématiques qui permettent de retrouver le message original, même lorsque celui-ci a été en partie altéré. Comment ces codes fonctionnent-ils et comment

mélange-t-on plusieurs flots de données dans un flot plus important, ce qu'on nomme le multiplexage ? L'examen de ces questions montrera combien le traitement numérique des sons et des images est supérieur à l'ancien système analogique de diffusion.

Nous verrons aussi comment la numérisation permet de crypter l'information pour contrôler l'accès aux programmes de télévision payants. Aujourd'hui, près d'une centaine de chaînes numériques sont diffusées par satellite ou par le câble. La qualité encore imparfaite de ces transmissions devrait être améliorée par l'augmentation des débits : la télévision en haute définition pourra alors s'imposer.

Réduire les débits

La norme numérique professionnelle d'échantillonnage des images se fonde sur les caractéristiques de la télévision analogique, qui affiche 25 images par seconde, avec 625 lignes par image, dont 576 sont effectivement visibles à l'écran (les autres lignes transmettent des informations complémentaires, comme le télétexte). Chaque ligne est composée de 720 points, codés par un nombre à 16 chiffres binaires (16 bits). Ainsi, la transmission des images numérisées nécessite un débit d'information égal à 165 mégabits par seconde.

Ce débit considérable est nécessaire dans les studios professionnels qui doivent manipuler les images et garantir des enregistrements parfaits, même après de multiples copies, mais il est excessif pour des utilisations domestiques : la capacité des canaux de transmission ou le débit des magnétoscopes grand public sont 10 à 40 fois inférieurs.

Grâce aux techniques de compression numérique, on diminue le débit au prix d'une dégradation maîtrisée de la qualité des images et des sons. Cette compression résulte de deux opérations principales : d'une part, on évite de transmettre la totalité de chaque image fixe ; d'autre part, on utilise les redondances entre images, de sorte que, dans la transmission d'une succession d'images, on ne transmet que les changements entre les images.

Une image fixe, telle la photographie d'un clocher gris sur un ciel bleu, se décompose en plusieurs zones. Un point bleu est le plus souvent entouré d'autres points bleus, tandis que la plupart des points gris sont cernés d'autres points gris. Cette règle s'applique à toute l'image, excepté sur les contours, où le gris de la pierre jouxte le bleu du ciel.

En pratique, pour analyser les détails de l'image, on la décompose en pavés jointifs de huit lignes par huit points. À l'intérieur de ces pavés, on effectue une opération mathématique qui transforme les 64 nombres qui codaient la couleur des 64 points en 64 autres nombres. On choisit cette opération réversible de manière à présenter l'information sur le bloc en fonction de la qualité subjective de l'image : la suite de 64 nombres obtenus est caractéristique de la quantité de détails de l'image, c'est-à-dire du nombre de contours. Chacun des 64 nombres correspond à un niveau de détail. Comment transmettre une image plus grossière que l'image initiale ? En choisissant de transmettre seulement une partie de ces nombres (par exemple les 16 premiers). Puis, dans le récepteur, l'opération mathématique inverse reconstruit l'image initiale, mais moins détaillée.

On affine cette compression des images fixes en utilisant les imperfections du système visuel humain, qui remarque plus facilement une tache sur un pantalon uni que sur un pull-over chiné. Ainsi, on réduit peu la qualité des images si l'on transmet plus grossièrement les zones chinées que les zones unies. La quantité d'informations sur les discontinuités ainsi sacrifiées lors de cette étape détermine le débit de l'image comprimée, et donc, sa qualité.

Dans les séquences animées, l'impression du mouvement résulte de l'affichage d'une nouvelle vue fixe tous les 1/25 de seconde. Or, deux images successives d'une série sont comparables à deux photographies d'une même scène, prises à une fraction de seconde d'intervalle : elles se ressemblent beaucoup. Les systèmes de codage exploitent cette redondance temporelle en distinguant trois types d'images. Premièrement, des images codées intrinsèquement, c'est-à-dire sans référence aux images voisines (images de type *I*, comme *Intra*), sont indispensables pour amorcer le décodage lorsque le téléspectateur change de chaîne ou après un changement de plan, et leur transmission nécessite la moitié du débit total. Deuxièmement, les images codées à partir des ressemblances avec une image précédente (image de type *P*, comme *Prédit*) : on transmet uniquement les différences entre ces images et des images

précédentes ; leur transmission nécessite quatre fois moins de débit que les précédentes. Enfin, pour les images interpolées de type *B*, on transmet les différences entre ces images et la moyenne des deux images *I* et *P* situées de part et d'autre (les images sont remises dans le bon ordre à l'arrivée) ; elles n'occupent que quelques pour-cent du débit total (voir la figure 3).

Ces principes ont été définis par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) qui a publié des algorithmes nommés MPEG1 et MPEG2 vidéo (*Moving Picture Expert Group*, soit «groupe d'experts pour les images animées»). Le premier, prévu pour l'enregistrement de séquences d'images sur disque compact à des débits inférieurs à 1,5 mégabit par seconde, traite des images quatre fois plus petites que les images normales de télévision. La norme MPEG2 étend la norme MPEG1 au format de la télévision classique et peut même être utilisée pour de la télévision en haute définition.

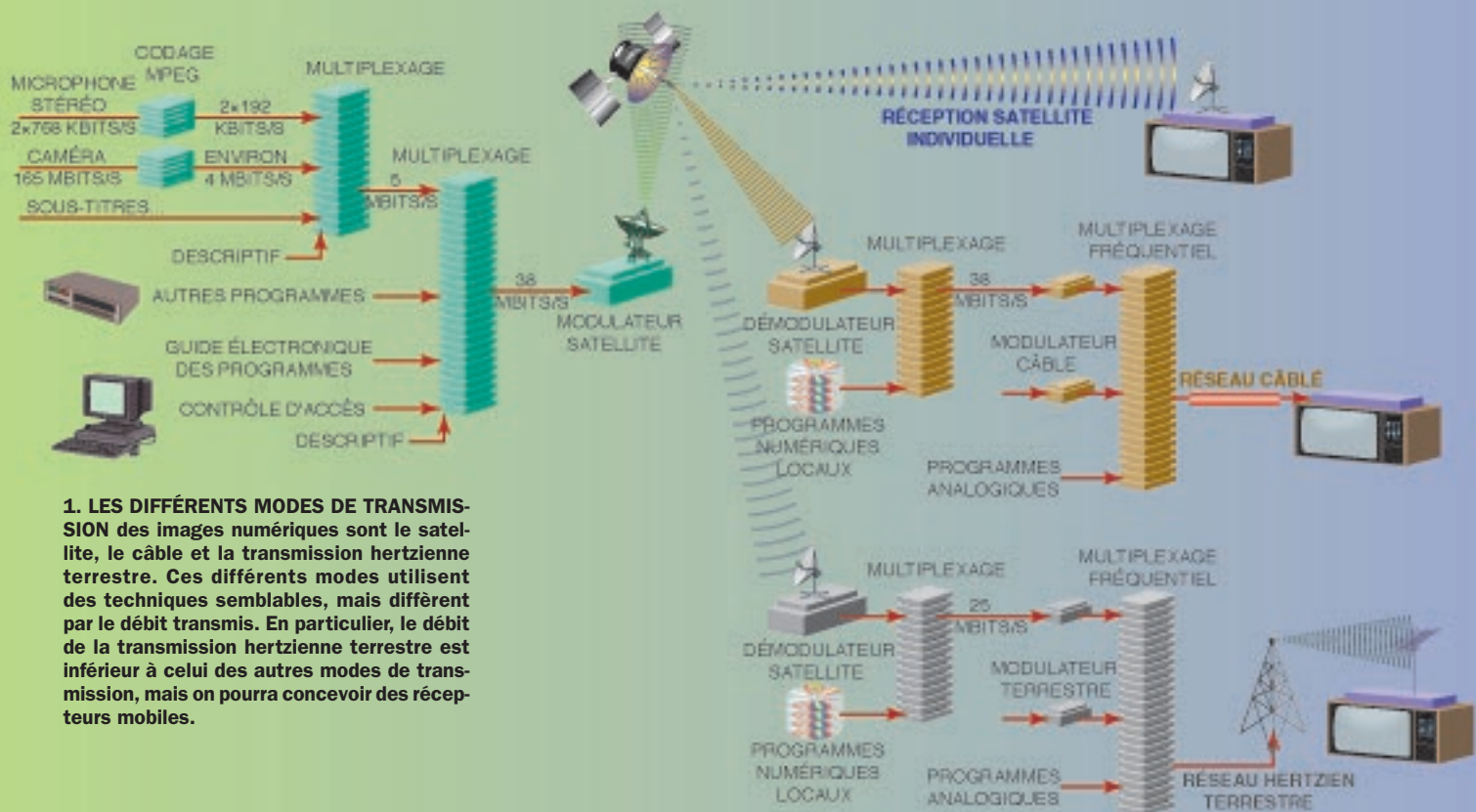
Le son, à l'appui de l'image

La télévision ne se réduit pas aux images : elle s'enrichit grâce au son. La numérisation des bandes sonores qui accompagnent les images vidéo est similaire à celle des images elles-mêmes. Dans la norme MPEG2, les sons sont échantillonnés à 48 kilohertz sur 16 bits

minimum : 48 000 fois par seconde, on code l'intensité du son selon 65 536 niveaux (2^{16}). Le débit occupé par le son est ainsi de 768 kilobits par seconde et, comme la bande passante est une ressource rare, les données audio sont également comprimées.

L'oreille étant le dernier élément de la chaîne de transmission des sons, les ingénieurs utilisent ses imperfections afin de réduire le débit sans dégrader la qualité perçue. On divise par exemple la gamme des fréquences audibles, des plus graves aux plus aiguës, en 32 bandes de fréquences distinctes. Toutes les 8 millisecondes, on mesure l'intensité des 32 bandes. Puis on utilise une particularité du système auditif humain, qui ne perçoit pas un son lorsqu'il est émis en même temps qu'un autre son plus puissant et de fréquence voisine : le démarrage d'un camion couvre le bruit sourd du moteur de la voiture qui le suit. Par exemple, lorsque la bande 25 est si forte que l'on n'entend pas beaucoup la bande 24 ni la bande 23, on transmettra une information minimale pour ces bandes, à condition que cette réduction d'information reste inaudible.

La norme MPEG1 code sans défaut audible un son stéréophonique à un débit de deux fois 256 kilobits par seconde, voire deux fois 192 kilobits par seconde si l'on élimine certaines redondances entre les deux voies. Cette norme est aujourd'hui utilisée pour la



1. LES DIFFÉRENTS MODES DE TRANSMISSION des images numériques sont le satellite, le câble et la transmission hertzienne terrestre. Ces différents modes utilisent des techniques semblables, mais diffèrent par le débit transmis. En particulier, le débit de la transmission hertzienne terrestre est inférieur à celui des autres modes de transmission, mais on pourra concevoir des récepteurs mobiles.