

TV numérique: 1ère partie d'une nouvelle série en quatre volets

Comment fonctionne la télévision numérique?

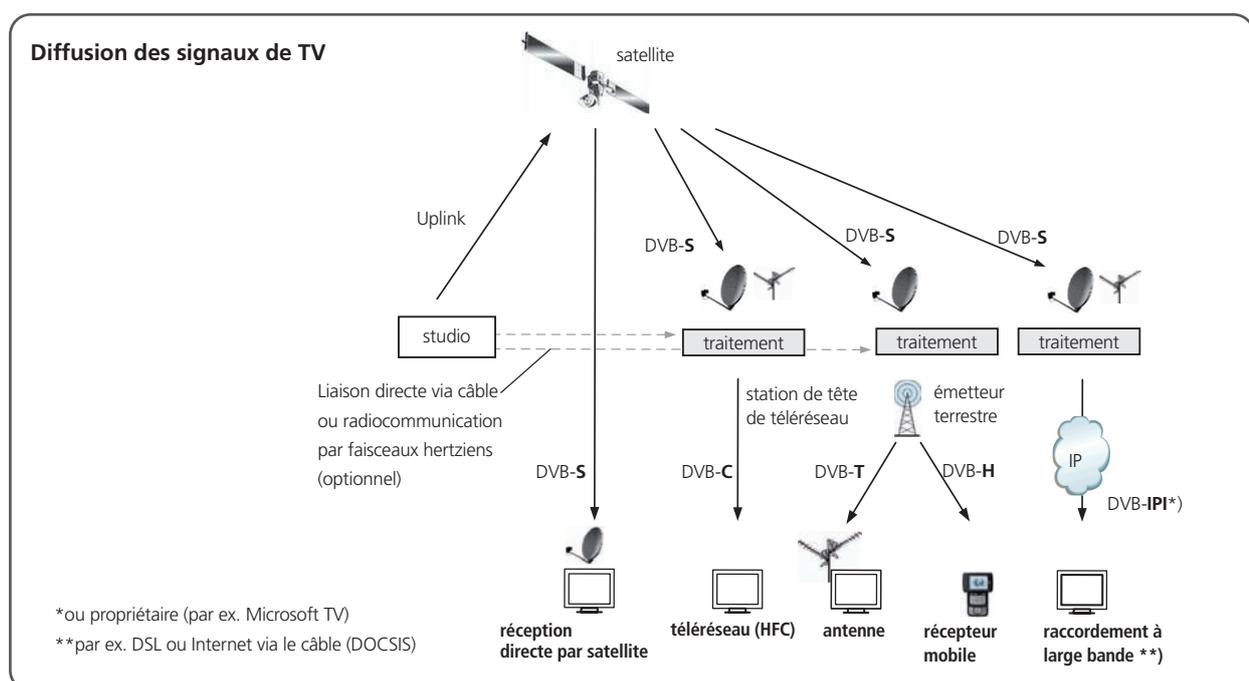
Le magazine de Swisscable lance une nouvelle série d'articles techniques sur la télévision numérique. En quatre volets, les bases techniques de la télévision numérique selon le standard DVB-T sont expliquées. Les différences et les nouvelles possibilités par rapport à la technologie analogique actuelle sont également démontrées. Dans la première partie, il s'agit des voies de diffusion, des standards et des bases de transmission.

Le marché de la TV est en mutation. La force motrice en est la numérisation en cours de la télévision. L'UE a ainsi pour but de remplacer complètement la télévision analogique par la TV numérique d'ici 2012. Mais, comment fonctionne la télévision numérique?

Migration pas à pas vers la TV numérique Depuis quelque temps déjà, la numérisation des signaux audiovisuels se fait lors de la production et du traitement dans les studios. Actuellement, nous nous trouvons dans la phase finale de ce développement, au stade de la numérisation des voies de diffusion et des appareils finaux dans les foyers. Les technologies modernes de compression vidéo et les procédures

numériques efficaces de modulation ont été déterminantes. Celles-ci permettent aujourd'hui une diffusion économiquement valable de la TV numérique. Un exemple pour l'illustrer: une image de TV numérique de qualité Standard Definition TV (SDTV) en mode non compressé nécessite pour sa diffusion un débit correspondant à quatre canaux analogiques de TV ou 50 accès parallèles à large bande.

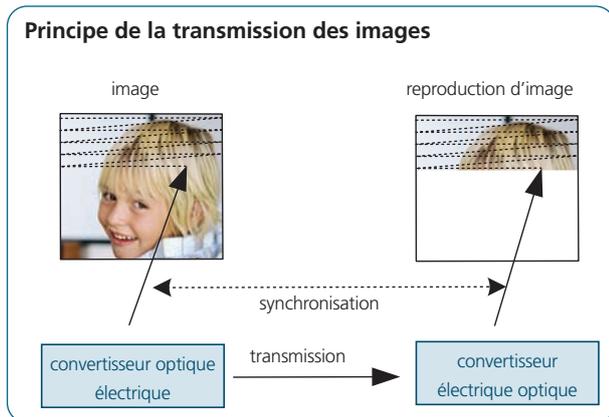
L'enregistrement d'un film de deux heures en format non compressé sur un support de stockage demanderait environ 150 gigabytes de capacité de stockage – ce qui correspond à environ 32 DVD. Pour le format haute résolution, le flux de données est d'environ le quintuple. ►



Voies de diffusion et standards Alors qu'aux débuts de la télévision, la transmission terrestre, c'est-à-dire la diffusion par émetteurs terrestres, était la plus connue, actuellement, la diffusion primaire se fait principalement via satellites géostationnaires comme Astra ou Eutelsat et la rediffusion par télérelais. IPTV, la diffusion qui utilise le protocole IP, gagne également en importance.

En Europe, le standard DVB s'est établi pour la télévision numérique, aux USA c'est ATSC, et au Japon ISDB. Selon le média utilisé, DVB spécifie en sub-standards (DVB-C, DVB-S, etc.) les modes utilisés. Ceux-ci se distinguent principalement par les procédures de modulation utilisées et la correction des défauts. Tous ont en commun le codage de la source et les mécanismes de transport selon MPEG (Motion Picture Experts Group).

Contrairement au domaine du Broadcast, la disponibilité d'une infrastructure standardisée pour IPTV n'est qu'à ses débuts. Pour cette raison, les fournisseurs d'IPTV misent avant tout sur des systèmes propriétaires comme par exemple Microsoft-TV.

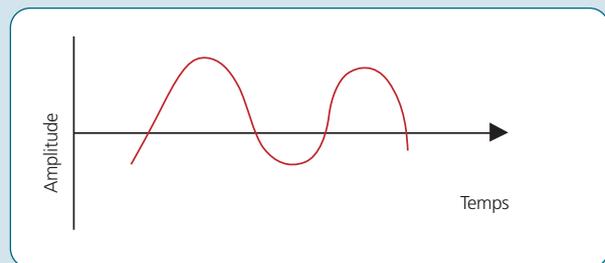


Bases de la transmission des images (en mouvement) Le principe de base de transmission des images de TV est resté inchangé depuis son invention. L'image est balayée le long de lignes de balayage, transformée en signaux électriques, transmise par un canal et, finalement, reproduite par le récepteur. Afin de minimiser autant que possible la quantité de données à transmettre, on a profité de la faculté limitée de perception de l'œil humain. On utilise par exemple une fréquence limitée de répétition des images, car dès 20 images par seconde, on crée l'impression d'un mouvement fluide des images. Les images sont, par exemple, diffusées en mode de balayage d'entrelacement, l'œil humain assemble les deux moitiés d'image en une seule. Comme la résolution de la rétine est limitée, des informations colorimétriques peuvent être transmises avec une résolution moindre que celles de la luminosité, sans qu'il y ait perte visible de qualité. Au début de la télévision, on ne transmettait que les valeurs de luminosité, les émissions étaient donc en noir et blanc, les couleurs ne s'y sont

ajoutées que plus tard. Afin de pouvoir continuer à utiliser les récepteurs noir et blanc, il fallait développer des systèmes compatibles pour la transmission des couleurs. A côté de NTSC aux USA et SECAM en France et quelques pays d'Europe de l'Est, le standard PAL pour la télévision en couleur s'est imposé en Europe de l'Ouest. La télévision PAL a vu le jour en 1967 dans le cadre de l'Internationale Funkausstellung et est restée pratiquement inchangée jusqu'à ce jour – à l'exception d'améliorations ponctuelles et de quelques suppléments.

Lisez dans le prochain numéro du magazine comment fonctionne la télévision analogique et quelles sont les innovations de la télévision numérique.

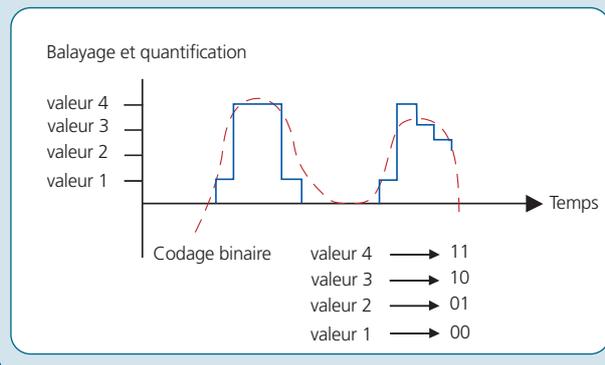
Glossaire



Signaux analogiques et numériques Un signal analogique peut reproduire dans son amplitude chaque valeur entre le minimum et le maximum de façon continue.

Contrairement au signal analogique, le signal numérique est un signal discret et quantifié, c'est-à-dire qu'il ne peut représenter que des valeurs (pré)déterminées. Lors du traitement des signaux numériques, les processus en continu – en quelque sorte des signaux «analogiques» – sont transformés par balayage et codage en signaux numériques et représentés par des valeurs binaires pour que leur quantification puisse être mesurée en bits.

Plus le nombre des niveaux de quantification et plus la fréquence de balayage (fréquence de sampling) sont élevés,



... Glossaire

mieux le signal numérique reproduit le signal d'origine (analogique). En même temps, les exigences sont d'autant plus grandes pour le traitement des signaux et la largeur de bande pour la transmission des données.

DVB (Digital Video Broadcast) DVB désigne, sous l'aspect technique, les processus standardisés pour la transmission des fichiers numériques. Selon la voie de transmission utilisée, différents standards sont utilisés:

- DVB-C** câble
- DVB-S** satellite
- DVB-T** terrestre (antenne)
- DVB-H** Handheld applications
- DVB-IP** DVP over IP

IPTV Transmissions des services multimédias (télévision, vidéo, audio, textes, images et fichier) par Internet Protocol via des réseaux qui mettent à disposition la qualité (Quality of Service, Quality of Experience), la sécurité, l'interactivité et la fiabilité.

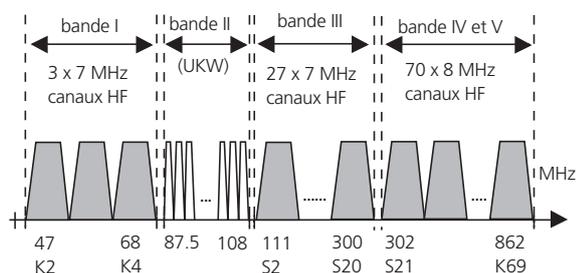
Broadcast C'est selon ce principe que fonctionne la diffusion de la télévision traditionnelle: Un émetteur approvisionne simultanément un nombre pratiquement illimité de récepteurs avec le même signal. Aucun flux de signaux de retour de différents récepteurs vers l'émetteur n'est nécessaire. Chaque récepteur décide, de manière autonome, s'il veut traiter les signaux reçus et, le cas échéant, lesquels.

Méthode de l'entrelacement En utilisant la méthode d'entrelacement, l'image est divisée en deux moitiés. Dans un premier passage, les lignes impaires sont balayées, dans un deuxième temps, les lignes paires. Lors de la reproduction par l'appareil de réception, l'œil humain recompose les sauts de lignes en une seule image. L'écran s'allume à une fréquence double (50 Hz) de celle de la répétition de l'image (25Hz) sans que le volume du flux de données transmis se double également. Ainsi, l'effet de scintillement subjectif se réduit fortement. Cela permet en même temps de mieux utiliser la largeur de bande. La somme du nombre des lignes des deux moitiés d'images ne doit atteindre que 70 pour cent du nombre d'une image comparable balayée de manière progressive (progressive scanning) afin d'atteindre la même impression d'image (facteur de Kell).

PAL (Phase Alternating Line) Avec la méthode PAL, il a été choisi d'inverser de 180 degrés la phase de la porteuse couleur (R-Y). Dans la mesure où le contenu de l'image ne change pas fondamentalement entre deux lignes, les défauts de teinte de couleur qui apparaissent pendant la diffusion sont alors inversés sur la ligne suivante dans le récepteur ce qui entraîne leur annulation mutuelle, et leur transformation en défauts de saturation de couleur. Ceux-ci sont pour l'homme beaucoup plus difficiles à déceler que les défauts de teinte de couleur. Les autres paramètres de la méthode PAL sont les suivants:

- lignes 625 (visibles 576)
- fréquence verticale 50 Hz
- fréquence horizontale 15625 Hz
- largeur de bande vidéo 5 MHz
- largeur de bande canal 7 / 8 MHz
- porteuse couleur 4.43 MHz
- porteuse son 5.5 MHz

Répartition des canaux



Répartition des canaux La répartition des canaux (largeur de bande de canal) désigne l'espace entre les canaux voisins à l'intérieur d'une bande de fréquences. Les canaux ont la même largeur à l'intérieur d'une bande de fréquences. Pour la télévision analogique, un programme a besoin exactement d'un canal haute fréquence (canal HF) pour la diffusion. Pour la télévision numérique, un multiplex avec plusieurs programmes y trouve de la place.

2ème partie de la série en quatre volets sur la télévision numérique

Comment fonctionne la TV numérique?

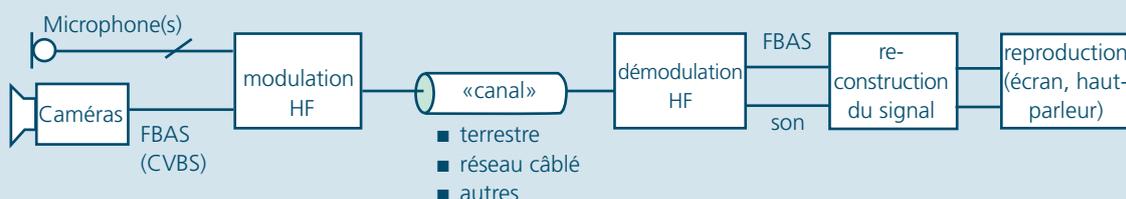
La 2ème partie de la série technique concernant la télévision numérique passe brièvement en revue le mode de fonctionnement de la télévision numérique et décrit les nouveautés essentielles de la transmission numérique.

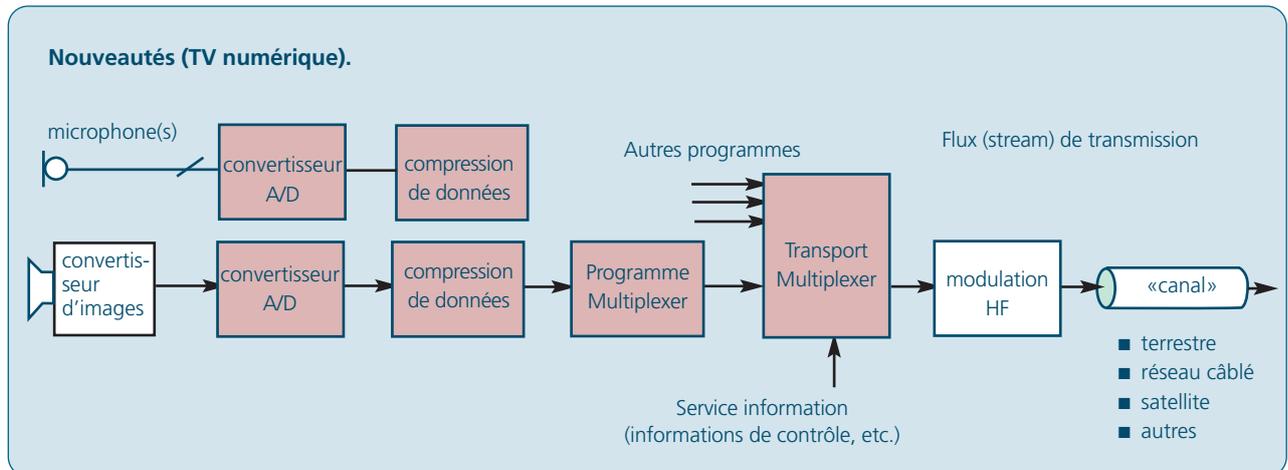
Dans le cas de la télévision analogique, l'image à enregistrer est continuellement balayée en mode d'entrelacement par la caméra. Les composants de couleurs rouge, vert et bleu sont ainsi transformés en tensions correspondantes analogiques U_{rouge} , U_{vert} et U_{bleu} . A partir de là, les deux signaux de différence de couleur R-Y et B-Y ainsi qu'un signal de luminance (Y) sont générés. Les signaux de différence de couleur sont modulés à 4.43 MHz, conformément au standard PAL, et ils sont ajoutés, avec les signaux de synchronisation nécessaires, au signal de luminance (Y). Le mélange de signaux chrominance/luminance (FBAS, CVBS) permet la reconstruction intégrale de l'information originale de l'image dans le récepteur de TV. Pour la transmission des signaux analogiques, les signaux de base de bande (FBAS (CVBS) et audio) sont modulés à haute fréquence, additionnés et transmis au récepteur via un canal haute fréquence de bande passante de 7 ou 8MHz. Le mélange des signaux de vidéo (FBAS, CVBS) subit une modulation d'amplitude, le signal de son stéréo une modulation de fréquence. Dans le récepteur, le canal de réception corres-

pondant est sélectionné via le tuner et le signal reçu démodulé. A partir des signaux de FBAS (CVBS) et de son ainsi générés les composants particuliers (tels que signaux vidéo RGB, signaux de synchronisation, son gauche, son droite) sont reconstitués. Finalement, d'une part, ces signaux sont émis pour la reconstruction de l'image par ligne sur l'écran, et, d'autre part, pour la restitution du son par les haut-parleurs.

Télévision numérique: transformation en signaux numériques Comme la TV analogique, la télévision numérique se base sur la transmission continue des images consécutives. La nouveauté principale réside dans le fait que les signaux d'images et de son sont transformés en signaux numériques par un transformateur A/QA avant leur traitement et leur diffusion. Cette transformation constitue la base pour les algorithmes du traitement des signaux, comme par exemple la compression des fichiers selon la méthode MPEG. Elle est aussi la condition pour pouvoir diffuser et archiver les signaux de manière économique. ►

Mode de fonctionnement de la TV analogique





Mode de fonctionnement de la télévision numérique La technologie de transport flexible (multiplexe de programme et transport) permet de nombreuses possibilités pour la transmission de formats audio-visuels différents ainsi que d'informations supplémentaires. Un canal à haute fréquence permet ainsi la transmission simultanée de plusieurs programmes, tandis que la TV analogique est limitée à un programme par canal. La transmission numérique permet en plus d'éliminer presque complètement la perte de qualité sur les voies de diffusion.

Dans le prochain numéro, il sera question de la transformation des signaux analogiques en signaux numériques ainsi que de la compression de fichiers, nécessaire pour la transmission économique de la TV numérique.

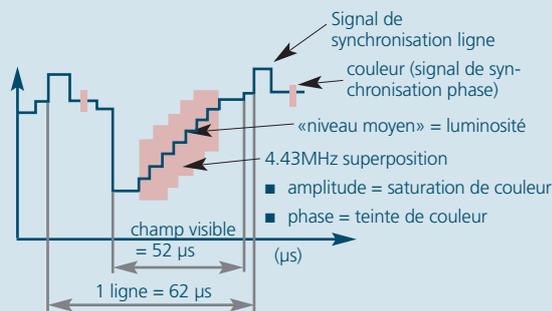
Vous trouverez le glossaire pour l'article à la page 21.

Les principales différences entre la TV analogique et la TV numérique pour l'utilisateur

Nouveau (TV numérique)	Ancien (TV analogique)
ajout presque illimité d'informations supplémentaires (par ex. guide électronique de programmes)	largeur de bande limitée pour des informations supplémentaires (teletext)
supporte des formats différents de vidéo (par ex. SDTV 4:3, SDTV 16:9, HDTV ainsi que d'autres formats à venir)	seulement PAL 4:3; 16:9 seulement en ajoutant une «barre noire» (Letterbox) en haut et en bas de l'image (diminution de la résolution)
plusieurs canaux audio stéréo: Dolby Digital	limité à deux canaux analogiques audio: Dolby Surround
transmission de fichiers pour d'autres applications futures	largeur de bande pour les fichiers fortement limitée et pas adaptée à des applications à hauts débits
transmission simultanée de plusieurs programmes par canal HF (permet une offre plus large de programmes)	1 programme occupe tout un canal HF
transmission numérique, les pertes sur la voie de transmission peuvent être presque totalement éliminées	correction difficile voire impossible des interférences captées sur la voie de diffusion (grésillement, images fantômes, etc.)

Glossaire

Signal FBAS (CVBS, Composite) Mélange des signaux chrominance/luminance. Ce signal analogique de vidéo permet la reconstruction intégrale des informations originales de l'image dans le récepteur de TV.



PAL (Phase Alternating Line) En mode PAL, la phase du signal de différence de couleur (R-Y) est inversée de 180 degrés en alternance par ligne. Dans la mesure où le contenu de l'image ne change pas fondamentalement entre deux lignes, les défauts de teinte de couleur qui apparaissent pendant la diffusion peuvent ainsi être compensés par l'addition de deux lignes consécutives dans le récepteur, et peuvent être transformés en défauts de saturation de couleur. Ceux-ci sont pour l'homme beaucoup plus difficiles à déceler que les défauts de teinte de couleur. Les autres paramètres de la méthode PAL sont les suivants:

lignes:	625 (visibles 576)
fréquence verticale:	50 Hz
fréquence horizontale:	15625 Hz
largeur de bande vidéo:	5 MHz
largeur de bande de canal:	7/8 MHz
porteur couleur:	4.43 MHz
porteur son:	5.5 MHz

Modulation d'amplitude (AM) Mode de transmission, consistant à moduler les signaux d'information d'une porteuse haute fréquence en variant l'amplitude. L'amplitude varie donc en fonction du niveau et de la fréquence du signal de modulation.

Modulation de fréquence (FM) Modulation d'un signal de fréquence élevée par la variation de sa fréquence au rythme de la fréquence basse du signal d'information. La modulation de fréquence permet un plus grand volume de dynamique par rapport à la modulation d'amplitude et est moins sensible aux dérangements.

Résolution et tableau de pixels La résolution d'une image est définie par le nombre de la distribution verticale et horizontale des points d'image. Le standard PAL fixe la résolution verticale à 576 trames visibles. Le nombre de points par ligne (résolution horizontale) n'est pas définie par un chiffre discret mais par la largeur de bande de la caméra et du traitement des signaux. Dans le cadre de la numérisation, la résolution horizontale discrète d'un image numérisée comparable à celle du standard PAL a été fixée à 720 pixels. C'est le format SDTV (Standard Definition TV). La technologie numérique de TV permet en règle générale plusieurs formats. Pour le domaine du Broadcast, les formats suivants sont importants:

		lignes (vertical)	pixels (horizontal)
SDTV	4:3	576	720
	16:9	576	960
HDTV	16:9	1080	1920
	16:9	720 ^{*)}	1280 ^{*)}

*) seulement pour les méthodes de balayage progressif

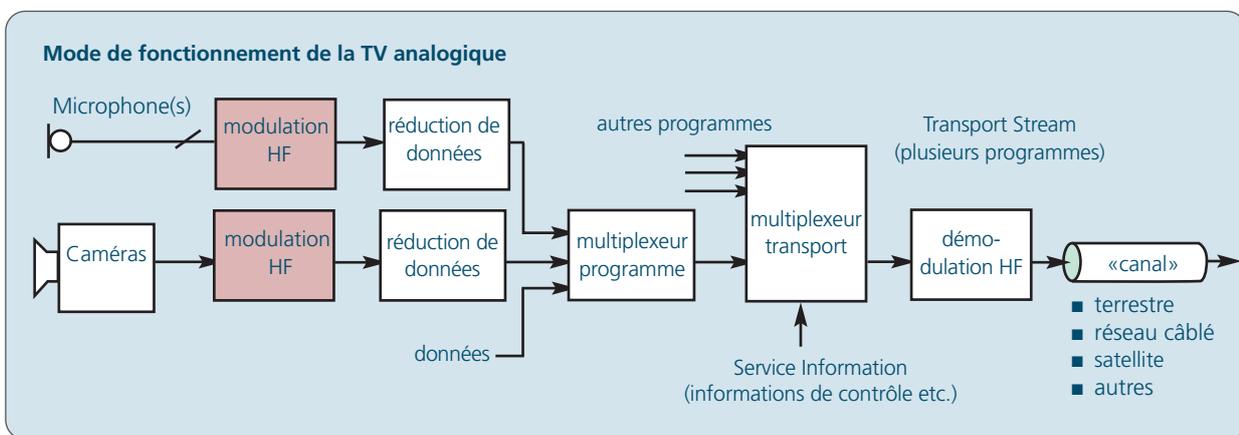
Dolby Surround Dolby Surround est un mode analogique multi-canaux. Par le codage de matrice (amatriçage) quatre canaux audio sont répartis sur deux canaux. Ils peuvent ainsi être diffusés par les canaux stéréo habituels de la TV analogique. Un décodeur approprié (chaîne HiFi, par exemple) reconstitue les quatre canaux audio (gauche, droite, centre, surround) à partir du signal bi-canal. Bien que des développements pour les utilisateurs tels que Dolby Prologic aient, entre-temps, continuellement amélioré l'impression du son en surround pour les utilisateurs, l'impression surround se limite dans la plupart des cas à des effets isolés.

Dolby Digital (DD) En tant que version améliorée numérique, Dolby Digital (AC-3) offre la possibilité de transmettre jusqu'à six canaux de son indépendants et numériques. Il s'agit, par exemple, d'un signal stéréo en ce qui concerne le format DD 2.0, et, quant à DD 5.1, d'un signal avec cinq pistes auquel s'ajoute un signal pour le Subwoofer (pour les effets de très basses fréquences). En fonction du format, des débits de 64 à 448 kbit/s sont nécessaires pour la transmission. Généralement, ce sont 384 kbit/s.

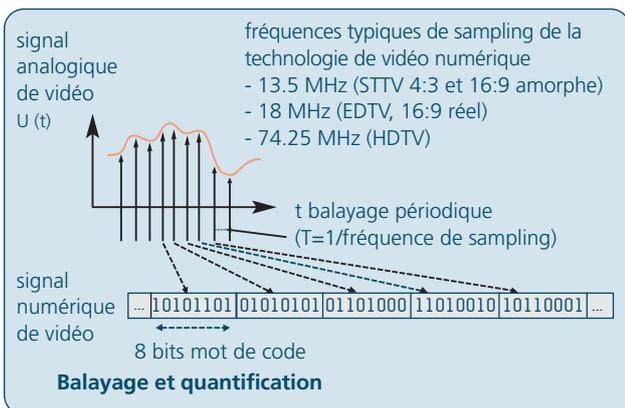
Partie 3 de la série à 4 volets sur la TV numérique

Comment fonctionne la TV numérique?

Le troisième volet de la série technique sur la télévision numérique traite de la transformation des signaux analogiques en signaux numériques. Il donne des informations de base et explique le mode de fonctionnement de la réduction des données.



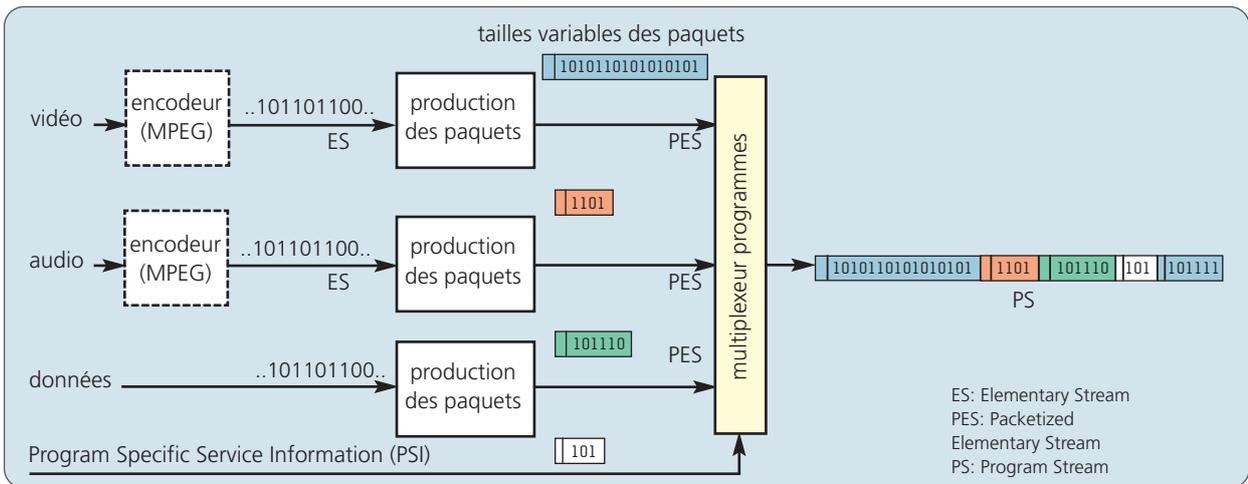
Balayage et quantification Pour la diffusion des signaux de TV numériques, les signaux analogiques produits, ligne par ligne, par le convertisseur d'image pour chaque couleur de base (rouge, jaune, bleu: RJB) doivent être, dans un premier temps, transformés en signaux numériques. Pour cela, le signal analogique est balayé périodiquement (discretisation) et transformé en une valeur binaire définie (quantification). Dans le domaine de la technologie de vidéo, des largeurs de mot de 8–10 bits sont généralement utilisées. Le résultat est une suite infinie de mots de code qui représentent le signal analogique d'origine.



Format de données brutes avec une grande quantité de données Il en résulte donc au total au moins $3 \times 8 = 24$ bits par point d'image pour tous les trois signaux de couleur de base (R,J,B). Cela donnerait, pour une résolution comparable au standard PAL (SDTV) une quantité de données de 1.25 Mbyte par 40ms, pour HDTV ce serait même le quintuple. Ce format de données brutes est aussi connu comme format 4:4:4 RJB, mais, à cause de son haut débit, il n'est guère utilisé hors d'applications spéciales.

La technologie de TV profite du fait que l'œil humain perçoit moins les variations de couleur de pixels voisins que les variations de luminosité, et que sa capacité de résolution en direction verticale est plus grande qu'en direction horizontale. Cela permet de traiter l'information chromatique avec une moindre résolution que l'information de luminance (Chroma-subsampling).

Réduction des données possible sans perte de qualité Dans les studios de TV, le format 4:2:2 YCbCr est aujourd'hui généralement en usage. Pour chaque point de balayage, une valeur de luminance de 8-bits (Y) est utilisée, tandis qu'on utilise seulement, pour un point sur deux, deux valeurs de



différence de chrominance de 8-bits (C_b, C_r) (Chromasubsampling horizontal). En ce qui concerne le Broadcast, le format 4:2:0 $YCbCr$ s'est imposé. Comme pour le format 4:2:2, pour chaque point de balayage une valeur de luminance de 8-bits (Y) est transmise, mais seulement une valeur de chrominance par ligne en alternant, soit C_b ou C_r . (Chromosampling horizontal & vertical). La quantité de données résultant de ce procédé est ainsi réduite de moitié par rapport au format des données brutes, sans qu'on puisse constater une diminution perceptible de qualité.

Une réduction supplémentaire de données est nécessaire

La quantité de données après la numérisation est encore trop élevée pour pouvoir être diffusée de manière économique. Pour cette raison, elle doit être davantage réduite. Pour cela, on utilise principalement les procédés de codage de vidéo spécifiés par MPEG. Contrairement à la télévision analogique, des images complètes (I-Frames) ne sont transmises que sporadiquement; pour le reste, ne sont transmis que les composants d'image qui changent (P- et B-Frames). Les parties de l'image qui sont plusieurs fois identiques pour la même image ne sont transmises qu'une seule fois. En règle générale, les changements rapides limités à un certain endroit, difficilement perceptibles pour l'œil humain, ne sont plus transmis à partir d'un certain seuil. L'efficacité des algorithmes de compression est sans cesse améliorée. Au niveau actuel de la technologie, on atteint des débits de données de 4-7 Mbits/s (MPEG-2) pour SDTV et de 8-16 Mbits/s pour HDTV (MPEG-4/AVC). Le degré de compression des données dépend essentiellement du contenu de l'image. Les images très animées ne peuvent être comprimées qu'à un moindre degré.

Les flux de données sont regroupés dans un flux de programme

Les différents flux d'audio et de vidéo (Elementary Stream ES) qui se trouvent, après le codage, à la sortie de l'encodeur MPEG doivent être regroupés pour le traitement suivant (voir en-haut). Dans un premier temps, ils sont divisés en paquets, chacun d'entre eux étant doté d'informations

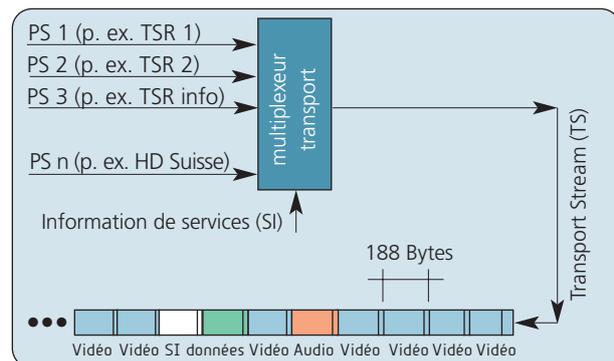
supplémentaires concernant son contenu et sa taille. Ensuite, les différents paquets d'audio et de vidéo, complétés de paquets supplémentaires pour les données et la signalisation (information de service, guide électronique des programmes, Teletext, etc.) sont regroupés dans le multiplexeur de programme. Il en résulte un flux de programmes qui contient toutes les informations nécessaires à un programme.

Flux de transport jusqu'au récepteur

Selon la voie de diffusion choisie, de manière typique par DVB, plusieurs flux de programmes sont regroupés en un flux de transport. De plus, les paquets variables, de taille relativement importante, sont repartis en un grand nombre de petits paquets de taille constante de 188 bytes. Chaque paquet est constitué d'une tête (Header) et d'une part de données utilitaires (Payload). Le Header contient, entre autres, des informations concernant le contenu et l'affiliation du paquet afin de permettre la reconstitution des flux élémentaires chez le récepteur.

Le nombre des programmes par flux de transport dépend des débits des données de chaque programme et des caractéristiques de la voie de diffusion utilisée.

Lisez dans le prochain numéro comment les signaux numériques sont modulés et transportés ensuite jusqu'aux prises de raccordement dans les salons des clients. (Glossaire page 23)



Glossaire

De RGB à YCbCr Tandis que le modèle RGB exprime une couleur déterminée par les couleurs de base additives rouge, jaune et bleu, les modèles «luminances – chrominances» tels que, par exemple, YCbCr, divisent la valeur RGB en luminance de base Y et les deux composants chromatiques C_b et C_r. C_b est la valeur pour la déviation de gris en direction du bleu ou du jaune (couleur complémentaire de bleu) et C_r est la valeur correspondante pour la déviation en direction du rouge ou du turquoise. Détermination de YCbCr, à partir de RGB:

$$Y = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$$

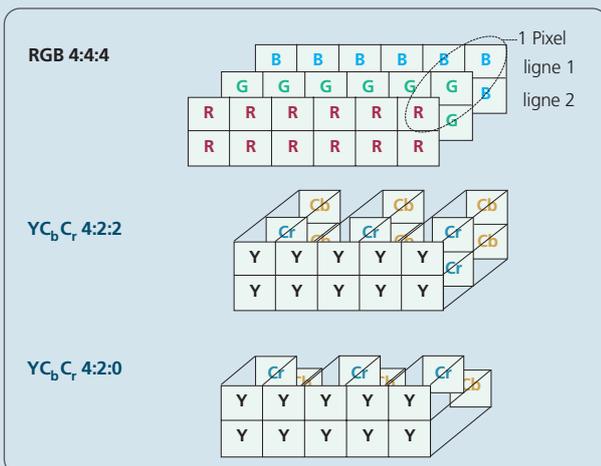
$$C_r = 0.6 \cdot R - 0.28 \cdot G - 0.32 \cdot B$$

$$C_b = 0.21 \cdot R - 0.52 \cdot G + 0.31 \cdot B$$

Ce modèle est ainsi la base permettant de transmettre les composants chromatiques C_b/C_r avec une moindre résolution que les valeurs de chrominance Y (Chromasubsampling).

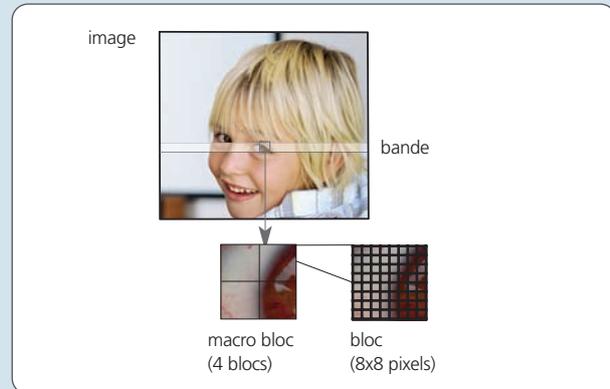
Format Image (actif)	RGB 4:4:4 10 Bit	YCbCr 4:2:2 8 Bit	YCbCr 4:2:0 8 Bit
720x576 fr = 25i fsy = 13.5	311	166	124
960x576 fr = 25i fsy = 18	415	221	166
1280x720 fr = 25p fsy = 74.5	1382	737	553
1920x1080 fr = 25i fsy = 74.5	1555	829	622

Débits nets de données en Mbit/s fr = fréquence de changement d'images en MHz
i = interlacé, p = progressif
fsy = fréquence de balayage (luminance Y)

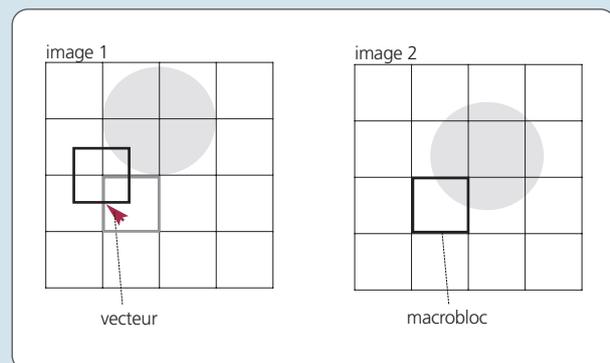


Codage vidéo MPEG Pour le traitement, les images sont divisées en différents blocs. Ces blocs sont traités par une opération mathématique, la Transformation en Cosinus Discrète (TCD). Par ce traitement, les valeurs de luminance ou les valeurs chromatiques sont transformées en fréquences. Dans la mesure où l'œil humain perçoit moins bien les fréquences élevées que les fréquences basses, celles-ci sont pondérées plus bas lors de la quantification afin de réduire le débit de

données. Par une optimisation de codage supplémentaire (Run Length Encoding et codage Huffman) on peut, en plus, éliminer d'autres éléments redondants d'information.



Le procédé principal du codage MPEG consiste à décrire autant que possible de parties d'une image par la seule différence de contenu par rapport à l'image précédente codée. En utilisant cette compensation de mouvement, on détermine le mouvement des parties d'une image comme il est créé par exemple par un mouvement de la caméra ou par des objets qui bougent. Le mouvement de ces parties d'image est exprimé par de simples vecteurs de mouvement. Le mouvement lent d'une caméra peut ainsi se passer presque totalement des codages et des transmissions d'informations directes d'image. En codant par exemple le macrobloc marqué en gras de l'image 2, on cherche dans l'image 1 un bloc aussi similaire que possible à l'intérieur d'un périmètre de recherche défini: seule la différence entre les deux blocs (= moins d'informations) ainsi que le vecteur de mouvement seront codés et transmis.

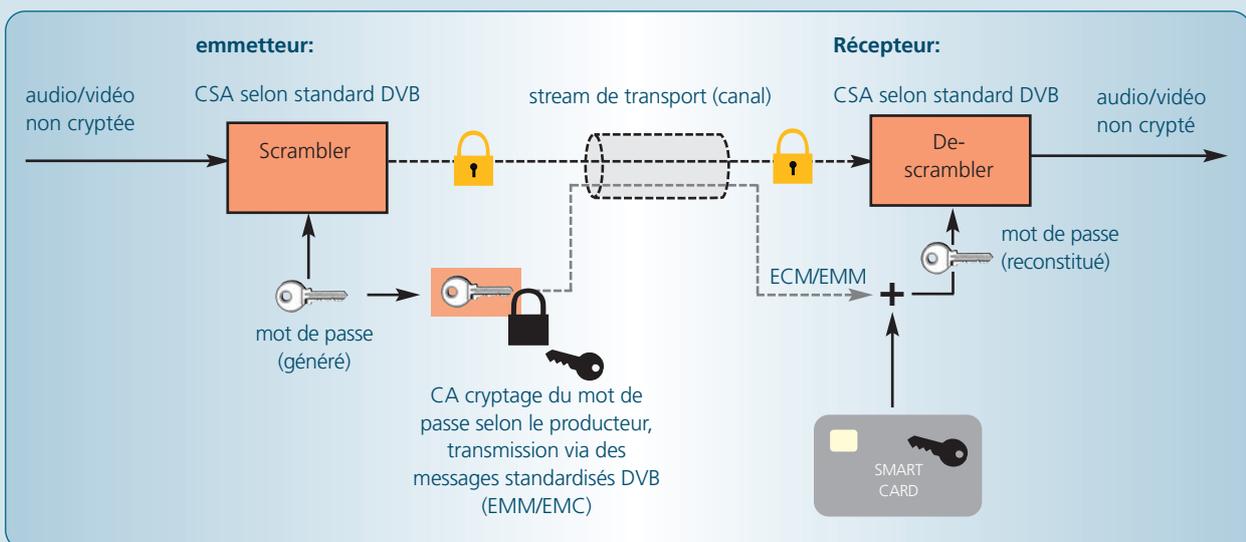


Flux de transport TS Dans le domaine de la télévision numérique, on appelle flux de transport un flux de données qui contient toutes les informations nécessaires (audio, vidéo, data, signalisation) pour la diffusion et la reproduction auprès du récepteur. On fait la distinction entre SPTS (Single Program Transport Stream) et MPTS (Multiple Program Transport Stream). Un SPTS contient les informations d'un seul programme (par exemple pour l'enregistrement sur DVD ou pour la rediffusion sur la base d'IP). Le MPTS, par contre, contient les informations de plusieurs programmes et est utilisé particulièrement pour la rediffusion par DVB.

Dernière partie de la série en quatre volets sur la télévision numérique

Comment fonctionne la télévision numérique?

Le dernier volet de la série technique sur la télévision numérique montre comment les signaux numériques sont cryptés, modulés et transportés ensuite jusqu'aux prises de raccordement dans les salons des clients.

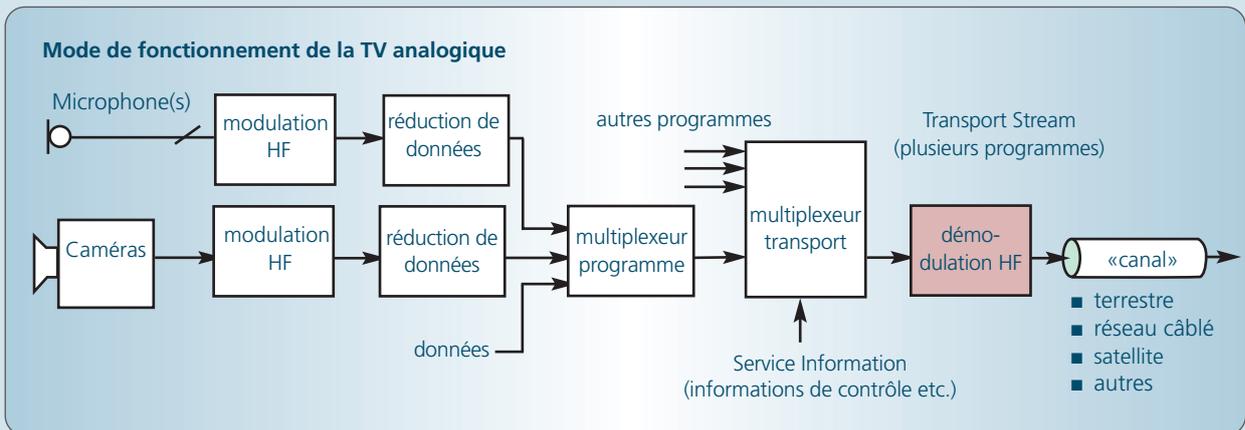


Comme nous l'avons décrit dans le numéro 3/2008, le flux de transport est composé de nombreux petits paquets d'une taille constante de 188 bytes. Le cas échéant, ces paquets peuvent être cryptés. La totalité ou quelques programmes d'un flux de transport peuvent ainsi être rendus accessibles à des récepteurs autorisés. Dans ce cas, on parle d'un accès conditionné (angl. Conditional Access CA).

Le Scrambling (système de cryptage) se fait à l'aide d'un algorithme standardisé (DVB Common Scrambling Algorithm). Celui-ci calcule le signal crypté de sortie à partir du signal d'entrée et d'un mot de passe qui change sans cesse. Pour le Descrambling dans le récepteur, il faut connaître le mot de passe actuellement en vigueur. L'information nécessaire est ajoutée au flux de transport (MUX) dans des messages stan-

darisés (CA Service Information) Grâce aux codes enregistrés sur les Smartcards, le récepteur peut générer les mots de passe nécessaires. Les mécanismes exacts et les processus dépendent de chaque producteur, soit Nagravision, Conax et ViaAccess. Pour des raisons de sécurité, aucun standard ne peut ni ne doit exister dans ce domaine.

Modulation numérique Comme c'est le cas pour le signal FBAS et les deux signaux audio de la télévision analogique, pour la télévision numérique les signaux de base – le cas échéant, les flux de données numériques de transport – doivent être groupés dans un canal afin qu'ils puissent être transportés via la voie correspondante de diffusion (satellite, télé-réseau, etc). A cela s'ajoute l'utilisation des procédés de



modulation QPSK ou QAM qui ont été optimisés pour les signaux numériques.

Dans la mesure où des dérangements peuvent avoir lieu sur les voies de diffusion, on ajoute, avant la modulation, quelques bytes supplémentaires pour la correction de fautes à chaque paquet de données de 188 bytes. Cela permet au récepteur d'éliminer, jusqu'à un certain degré, les fautes apparues pendant la diffusion. A côté d'un nombre constant de 6 bytes

(Reed-Solomon-Code), on ajoute un certain nombre de bytes dépendant de la qualité de la voie de diffusion (FEC: Forward Error Correction). FEC 2/3 signifie, par exemple, qu'on ajoute, sur 2 bytes d'information, 1 byte pour la correction de fautes. Lors de la diffusion via les téléseaux, le FEC n'est pas nécessaire car il est moins soumis à des risques de dérangements.

Le tableau suivant montre un extrait des configurations les plus utilisées pour DVB:

média	standard	procédé	modulation	FEC	largeur de canal [MHz]	débit de données utilisable par canal (Mbits/s)
satellite	DVB-S	Single Carrier	QPSK	2/3	33	33.8
			QPSK	7/8	33	44.4
	DVB-S2		QPSK	3/4	33	46
			8-PSK	2/3	33	58.8
câble	DVB-C	Single Carrier	QAM-64	-	8	38.45
			QAM-256	-	8	51.28
	DVB-C2*		QAM-1024	-	8	65.8
terrestre	DVB-T	COFDM	QAM16	5/6	8	18.43
			QAM64	7/8	8	31.67

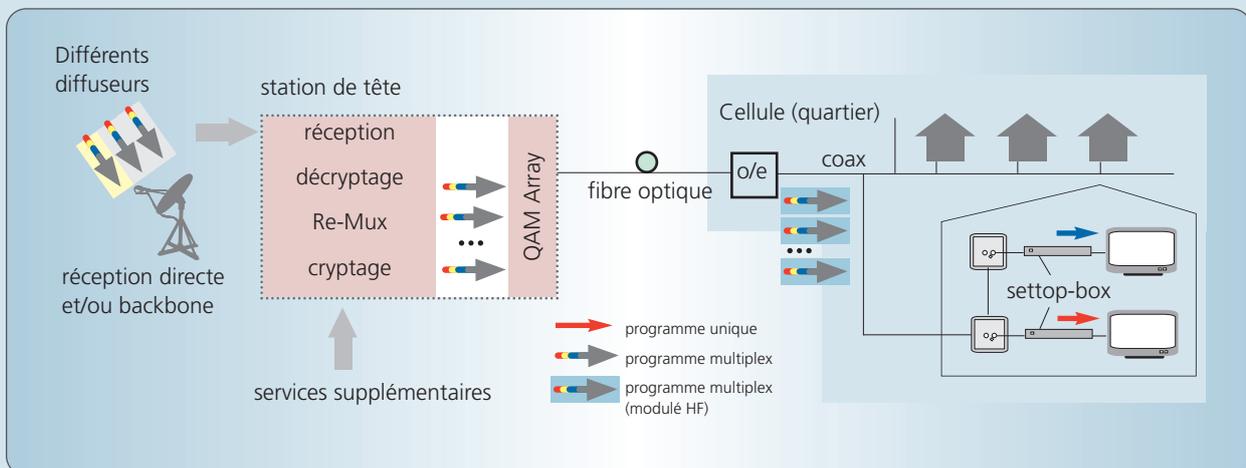
* en préparation

Glossaire

Pour l'essentiel, les procédés se distinguent en ce qui concerne les degrés utilisés de modulation et les corrections de fautes. Suite aux procédés différents, il y a des capacités différentes de transport (débits de données nets) par canal pour la diffusion des programmes numériques de TV via les différentes voies.

Rediffusion En raison de la grande densité de câblage, la rediffusion via les téléreseaux est la voie la plus importante en Suisse. Plus de 2,8 millions de foyers reçoivent leurs signaux de TV via le téléreseau. Les câblo-opérateurs, quant à eux, reçoivent les programmes numériques de radio/TV des diffuseurs de programmes via satellite, réseaux de fibre optique ou faisceau hertzien. Dans la station de tête (Head-end), les signaux subissent un traitement selon les besoins des clients et sont ensuite distribués selon le standard DVB-C via les réseaux HFC jusqu'aux prises de connexion dans les appartements.

Flux de transport TS Dans le domaine de la télévision numérique, on appelle flux de transport un flux de données qui contient toutes les informations nécessaires (audio, vidéo, data, signalisation) pour la diffusion et la reproduction auprès du récepteur. On fait la distinction entre SPTS (Single Program Transport Stream) et MPTS (Multiple Program Transport Stream). Un SPTS contient les informations d'un seul programme (par exemple pour l'enregistrement sur DVD ou pour la rediffusion sur la base d'IP). Le MPTS, par contre, contient les informations de plusieurs programmes et est utilisé particulièrement pour la rediffusion par DVB.



Dans le cas le plus simple, le traitement dans la station de tête consiste en une simple transmodulation. Les flux de transport reçus via satellite et modulés QPSK sont démodulés, les informations de signalisations sont adaptées et modulées en procédé QAM afin d'être diffusées sur les canaux correspondants – normalement bande IV et V – du réseau HFC. Les stations de tête plus complexes ouvrent également les flux de transport, mais recomposent les programmes qu'ils contiennent, adaptent si nécessaire le débit de données (Remultiplexing) et ajoutent des données pour les services supplémentaires, comme le guide électronique de programmes unique, valable pour tous les programmes.

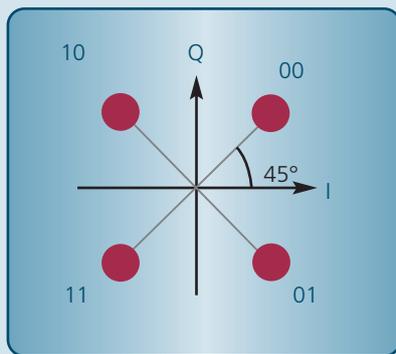
Simulcrypt/Multicrypt Le standard DVB permet l'utilisation simultanée de différents systèmes de Conditional-Access (CA). On fait la distinction entre Multicrypt et Simulcrypt.

En utilisant le procédé Multicrypt, les données utiles cryptées ainsi que les informations CA (CA Service Information) des différents paquets de programmes (flux de transport) sont diffusées de manière

indépendante via le système CA utilisé cas par cas. Les procédés Multicrypt permettent la réception des paquets de programmes de différents diffuseurs sans accord écrit global (clé commune).

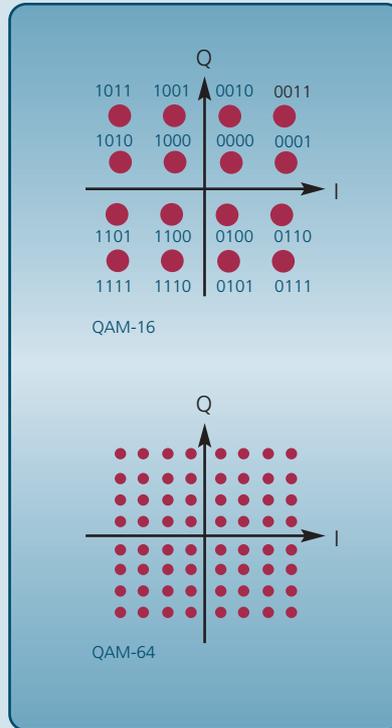
En utilisant le procédé Simulcrypt, seules les différentes informations CA (CA Service Information) sont diffusées plusieurs fois. Le signal utile, qui est «scramblé» (crypté) avec le mot de passe identique pour tous les systèmes, n'est transmis qu'une seule fois. Le récepteur filtre l'information CA compatible avec son système pour la reconstruction du mot de passe. Simulcrypt permet l'utilisation simultanée des différents systèmes CA ou versions, sans qu'il soit nécessaire de diffuser plusieurs fois le signal utile identique.

QPSK QPSK signifie modulation à quatre phases (angl. Quaternary Phase Shift Keying). QPSK est un procédé numérique de modulation où une seule période de signal transporte 2 bits à la fois. L'information est transportée par la phase des porteuses. L'amplitude est sans importance. Pour cette raison, les signaux QPSK sont très résistants face aux dérangements.



QAM QAM signifie modulation d'amplitude en quadrature (angl. Quadrature Amplitude Modulation). Le procédé QAM combine la modulation d'amplitude avec celle de la phase, c'est-à-dire que l'information est transportée par la phase (comme avec le procédé QPSK) et, en plus, par l'amplitude. Ainsi, plus d'états

différents peuvent être diffusés par période de signal. QAM-16 permet ainsi 16 états différents (4 bits), QAM-64 en conséquence 64 (6 bits) et ainsi de suite.

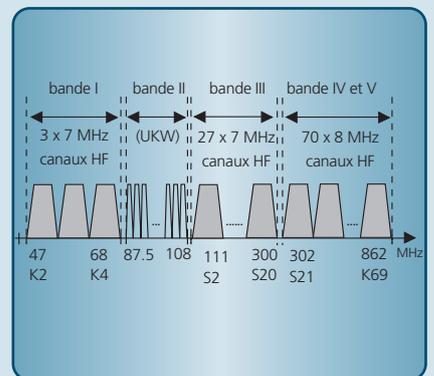


Plus le degré de modulation est élevé, plus il devient difficile pour le récepteur de distinguer les différents états et de reconstituer de manière exacte la valeur binaire d'origine. Pour cette raison, les procédés plus compliqués sont en comparaison plus exposés aux dérangements et ne peuvent être utilisés qu'avec des liaisons (de câble) de bonne qualité.

Réseaux HFC Hybrid Fibre Coax (HFC) désigne une technologie de diffusion large bande des signaux analogiques et numériques via des supports physiques. Pour la distribution des signaux jusque dans les quartiers, on utilise des réseaux de fibre optique (FTTC, Fibre to the Curb). A la fin des fibres optiques, les signaux optiques sont transformés en signaux électriques qui sont transportés ensuite via des câbles coaxiaux jusqu'aux différents foyers. Dans la plupart des cas, un câble coaxial dessert plusieurs foyers. Les

réseaux sont généralement utilisés pour la TV par câble et, en règle générale, ils sont dotés d'un canal de retour qui sert de base à des services informatiques et à la télévision interactive. Selon le degré de modernisation des réseaux et les suppressions de programmes analogiques de TV, les réseaux HFC disposent d'entre 70 et 100 canaux HF qui peuvent être utilisés pour la diffusion des programmes numériques de TV. Grâce aux technologies actuelles de modulation et de compression de vidéo, on peut diffuser jusqu'à 12 programmes de SDTV ou jusqu'à 5 programmes HDTV par canal. Le standard DVB-C2 actuellement en développement promet une augmentation de capacité allant jusqu'à 80 pour cent.

Répartition des canaux La répartition des canaux (largeur de bande de canal) désigne l'espace entre les canaux voisins à l'intérieur d'une bande de fréquences.



Les canaux ont la même largeur à l'intérieur d'une bande de fréquences. Pour la télévision analogique, un programme a besoin exactement d'un canal haute fréquence (canal HF) pour la diffusion. Pour la télévision numérique, un multiplex avec plusieurs programmes y trouve de la place.