

La vidéo analogique

I. Introduction	3
II. Le son et la lumière	3
1) Le son	3
2) La lumière	4
3) La couleur	5
4) Synthèse additive des couleurs.....	7
5) Synthèse soustractive.....	8
6) Optique géométrique	9
III. La perception du son et de la lumière	10
1) L'oreille	10
2) L'œil	12
IV. Le signal vidéo analogique.....	14
1) Le signal noir et blanc	14
2) Synchronisation	16
3) Le balayage.....	18
4) La vidéo RVB.....	19
5) Le signal YUV	21
6) Le signal Y/C	22
7) Le signal composite.....	23
8) Schémas récapitulatifs	27
V. Les différents standards de diffusion en télévision.....	28
1) Quelques dates	28
2) Le NTSC.....	28
3) Le PAL	29
4) Le SECAM	30
5) Tableau récapitulatif.....	31

I. Introduction

La photographie permet de capturer une image, un instant précis. En faisant défiler ces images assez rapidement, l'œil a une impression de mouvement. C'est le principe utilisé par le cinéma et la vidéo.

La vidéo analogique regroupe un ensemble de dispositifs dont le but est de capturer une scène en mouvement afin de la retranscrire en utilisant des systèmes électroniques d'analyse et de traitement.

Ainsi, la caméra est l'outil qui permet de transformer un signal lumineux en un signal électrique, un écran aura le rôle inverse. Entre temps, différentes étapes (stockage, traitement, ...) se sont succédées. On parle d'une chaîne de traitement vidéo.

La lumière est le vecteur qui permet aux images d'être traitées par les capteurs tels que l'œil ou les capteurs d'une caméra. De la même manière un micro transforme une onde acoustique en un signal électrique.

II. Le son et la lumière

1) Le son

Le son est une onde produite par la vibration mécanique d'un support fluide ou solide et propagée grâce à l'élasticité du milieu environnant sous forme d'*ondes longitudinales*. Par extension physiologique, le son désigne la sensation auditive à laquelle cette vibration est susceptible de donner naissance.

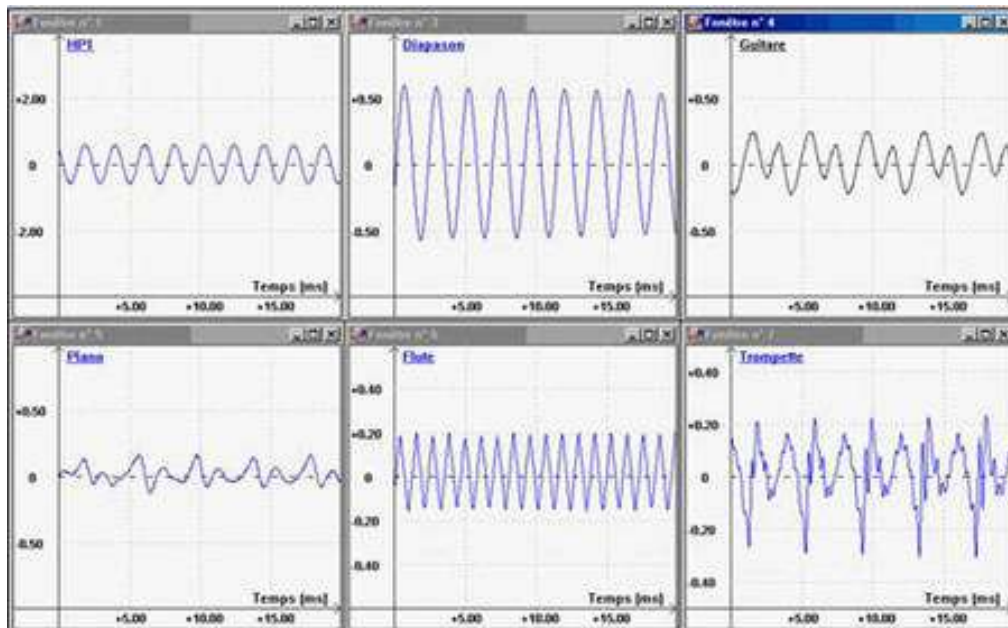
La science qui étudie les sons s'appelle l'acoustique. La psychoacoustique combine l'acoustique avec la physiologie et la psychologie, pour déterminer la manière dont les sons sont perçus et interprétés par le cerveau.

En effet notre oreille ne nous permet pas de percevoir l'ensemble des sons émis dans la nature. De manière générale on considère un son comme une onde propagée généralement dans l'air à raison de 340 m/s.

La fréquence d'un son est exprimée en hertz (Hz), elle est directement liée à la hauteur d'un son perçu, mais n'en est qu'une des composantes. À une fréquence faible correspond un son grave, à une fréquence élevée un son aigu.

Les physiologistes s'accordent à dire que l'oreille humaine moyenne ne perçoit les sons que dans une certaine plage de fréquences située environ (selon l'âge, la culture, etc.), entre 16 Hz (en dessous les sons sont qualifiés d'infrasons) et 20 kHz (au-delà les sons sont qualifiés d'ultrasons puis d'hyperson au dessus de 1 GHz). Ce n'est pas toujours le cas : le chien perçoit les sons jusqu'à 45 kHz, la chauve-souris et le dauphin peuvent percevoir les sons de fréquence 500 kHz...

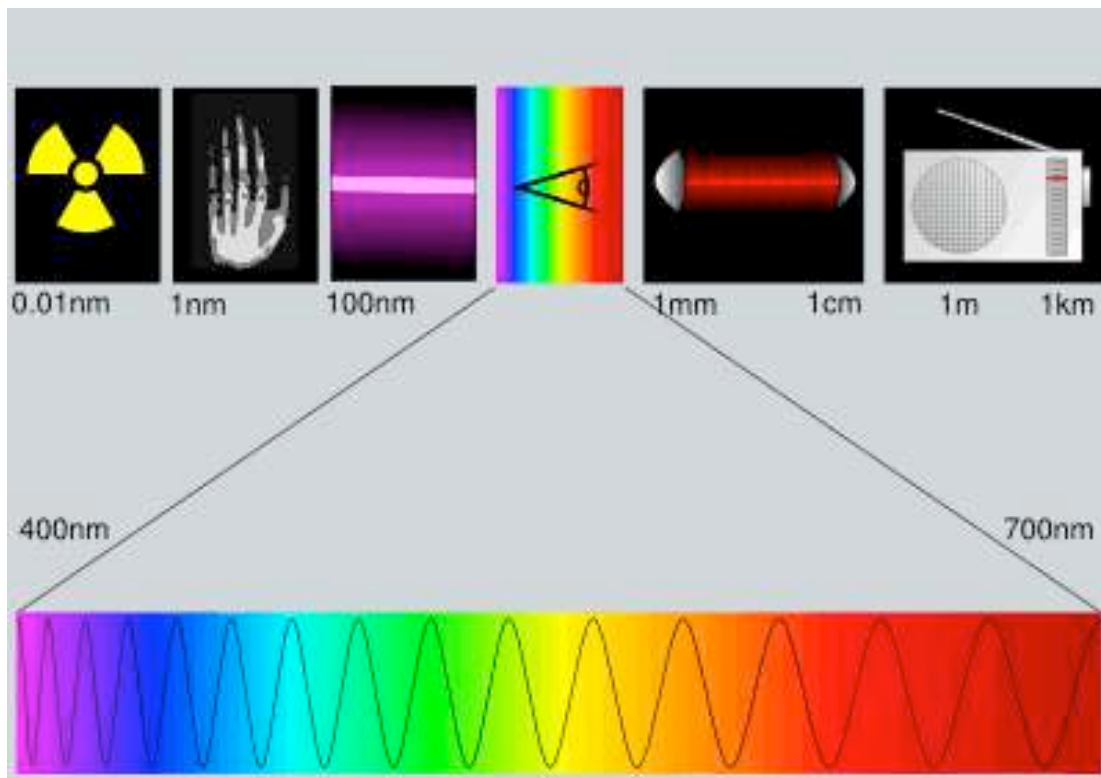
L'amplitude est une autre caractéristique importante d'un son. La pression sonore perçue dépend (entre autres) de l'amplitude et correspond dans l'air aux variations de pression de l'onde. Le son peut être fort ou doux (les musiciens disent *forte* ou *piano*).



Cette vue représente l'évolution de l'amplitude de différents signaux audios.

2) La lumière

La lumière, quant à elle, est l'ensemble des ondes électromagnétiques visibles par l'œil humain, c'est-à-dire comprises dans des longueurs d'onde de 380nm (violet) à 780nm (rouge). La lumière est intimement liée à la notion de couleur.



La lumière se déplace en ligne droite dans tout milieu transparent, en particulier le vide ou l'air. Elle peut en revanche changer de trajectoire lors du passage d'un milieu à un autre.

Dans le vide, la lumière se déplace à une vitesse strictement fixe, et d'ailleurs indépassable. On trouve d'ailleurs souvent l'affirmation « la vitesse de la lumière est constante », le « dans le vide » étant alors sous-entendu. La lumière est un peu plus lente dans l'air, et notablement plus lente dans l'eau. Le principe de Fermat ou les lois de Descartes permettent de déduire les changements de trajectoire de la lumière lorsqu'elle passe d'un milieu à l'autre en fonction de sa vitesse dans chacun des milieux.

La lumière peut d'ailleurs être décomposée (les faisceaux prennent des directions différentes selon leur longueur d'onde, et donc selon leur couleur pour la lumière visible) à force de traverser différents milieux transparents, car la vitesse peut dépendre de la fréquence.

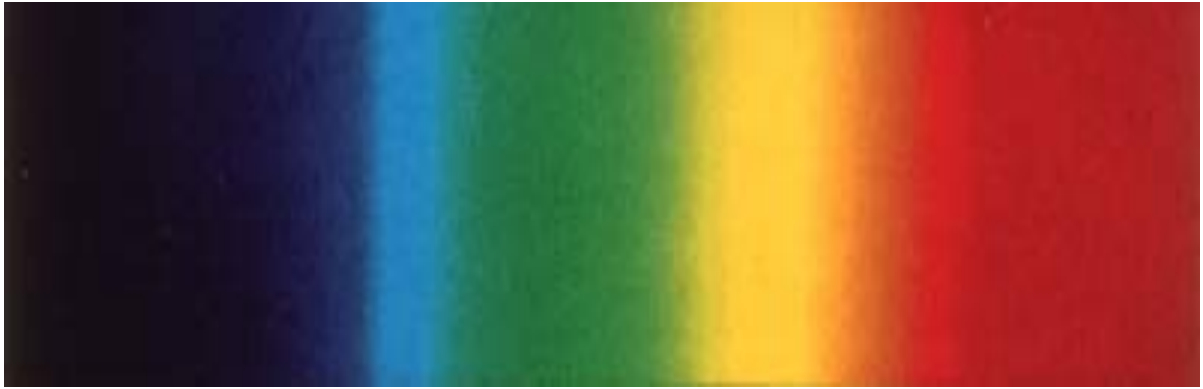
Il existe deux sources lumineuses : celles qui produisent de la lumière (comme le soleil ou la flamme d'une bougie) et celles qui réfléchissent ou renvoient les rayons qu'ils reçoivent d'une source lumineuse (comme la lune ou l'objet que vous avez sous les yeux). Contrairement au son qui a besoin des particules de l'air comme support de diffusion, le rayonnement lumineux se déplace en ligne droite dans tous les milieux même le vide. Sa vitesse de propagation est alors de 300 000 km/s: c'est ce que l'on nomme la vitesse de la lumière.

3) La couleur

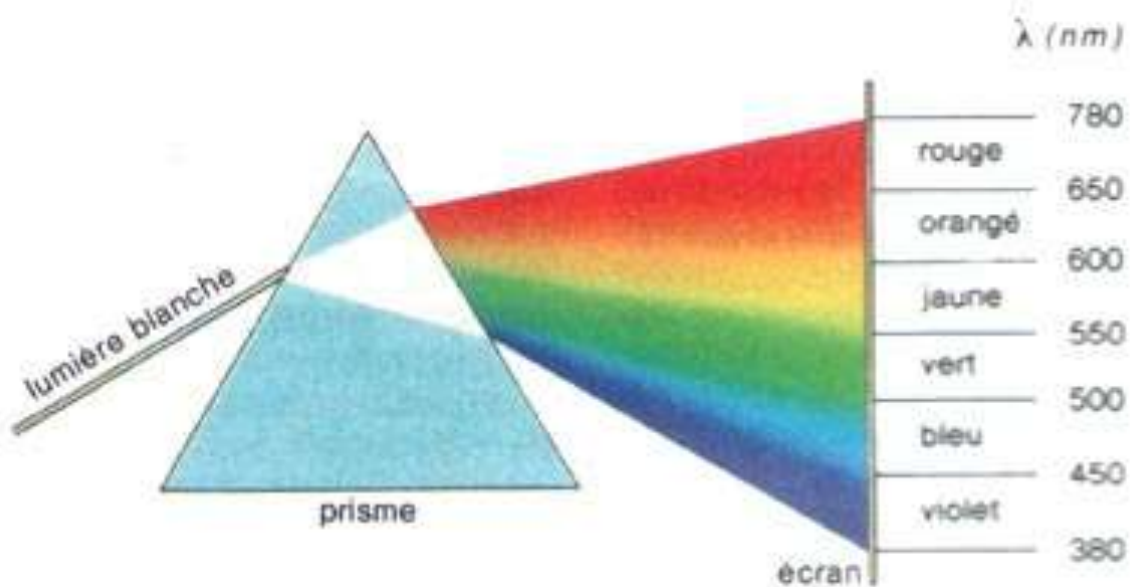
On prête plusieurs sens au mot « couleur ». L'un d'eux veut qu'une couleur corresponde à une lumière pure, d'une seule longueur d'onde. Une autre définition qualifie de couleur toute apparence obtenue par dosage des différentes lumières. Si le bleu est une couleur dans tous les cas, le blanc (réunion de toutes les longueurs d'ondes, ou de longueurs d'onde bien choisies), le magenta (réunion de rouge et de bleu) et le noir (aucune lumière) ne sont des couleurs que suivant la seconde définition.

Il est vrai que l'oeil humain ne voit rien dans le noir. Cependant, il suffit d'allumer une source lumineuse pour rendre visibles les objets qui nous entourent. Ce n'est donc pas l'oeil qui, gardant les mêmes facultés de vision de nuit comme de jour, émettrait de la lumière pour voir mais bien plutôt les objets qui éclairés diffusent des rayonnements lumineux perceptibles par l'oeil.

En 1801, le physicien anglais Thomas Young, formulait sa théorie trichromatique de la couleur, affirmant que la rétine devait posséder trois types d'éléments respectivement sensibles au bleu-indigo, au vert-jaune et au rouge . Cette hypothèse s'est vu confirmée par toutes les expériences qui ont suivi mais il a fallu attendre 1865, pour que Maxwell fasse la démonstration qu'une couleur quelconque pouvait être obtenue à partir de trois couleurs de base convenablement choisies: les couleurs primaires, celles que l'on ne peut pas obtenir par le " mélange des autres".



La lumière blanche offre à notre univers sa diversité de couleurs. Sans lumière, pas de couleur. A elle seule, la lumière renferme toutes les couleurs que l'on peut observer lors d'un arc-en-ciel, le résultat de la décomposition de la lumière du soleil au travers des gouttelettes d'eau de pluie. Ce phénomène a longtemps suscité l'interrogation de nos ancêtres jusqu'à ce que le grand savant anglais Sir Isaac Newton réalise expérimentalement, en 1672, la décomposition prismatique de la lumière blanche et définisse par là-même l'individualité des lumières colorées contenues dans la lumière solaire. Il réussit également à recomposer la lumière blanche à partir de ses composantes au moyen d'un second prisme, ouvrant ainsi la voie à ce que l'on nommera la synthèse additive des couleurs. La lumière blanche est donc la superposition de toutes les couleurs visibles.



Comment les objets prennent-ils une couleur déterminée ?

Un objet absorbe certaines couleurs (certaines longueurs d'ondes) de la lumière blanche et réfléchit les autres. Les rayons lumineux renvoyés donnent à l'objet sa couleur. Ainsi, la peinture de la carrosserie d'une voiture rouge absorbe tous les rayonnements lumineux sauf les rouges.

4) Synthèse additive des couleurs

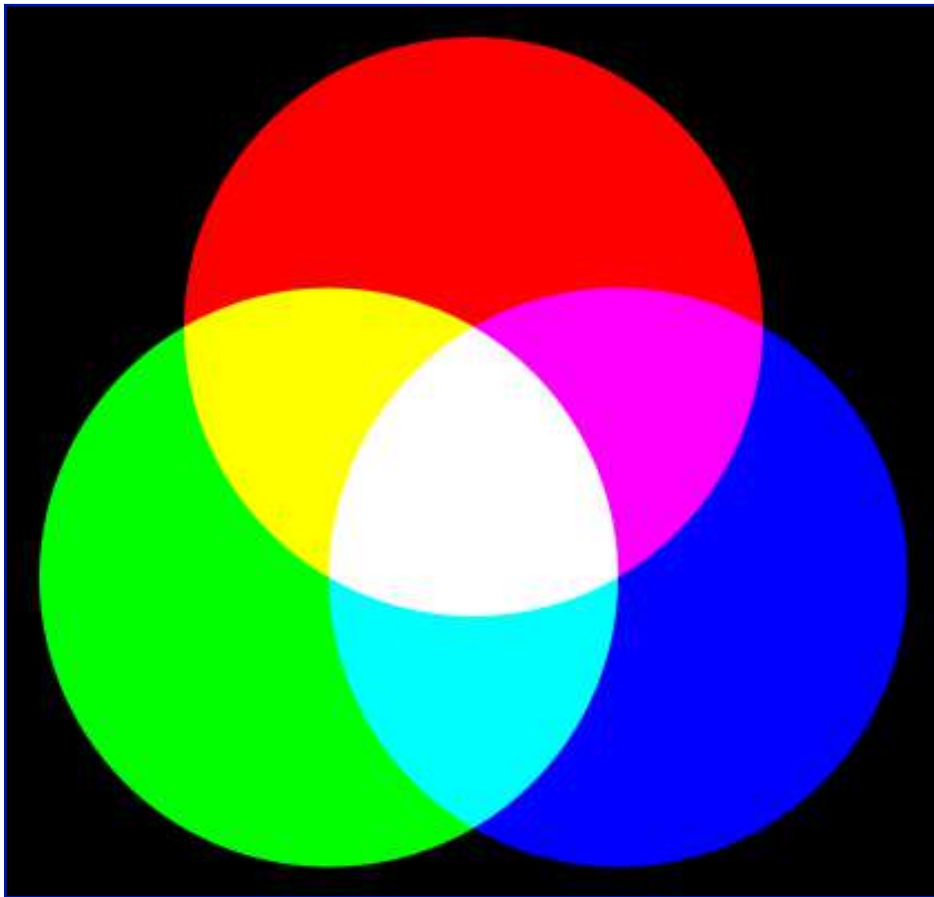
La synthèse additive est l'opération consistant à combiner la lumière de plusieurs sources émettrices colorées afin d'obtenir une nouvelle couleur.

En synthèse additive, les couleurs primaires généralement utilisées sont au nombre de trois : le rouge, le vert et le bleu (RVB ou RGB).

- L'addition de ces trois couleurs donne du blanc.
- L'absence de couleur donne du noir.

L'addition deux à deux de ces couleurs primaires permet d'obtenir les couleurs secondaires :

- le rouge et le vert donnent le jaune.
- le rouge et le bleu donnent le magenta.
- le bleu et le vert donnent le cyan.



Il est alors possible de caractériser chaque couleur en indiquant la proportion de rouge, de vert et de bleu qui la compose.

5) Synthèse soustractive

La synthèse soustractive est l'opération consistant à combiner l'effet d'absorption de plusieurs couleurs afin d'en obtenir une nouvelle. Par exemple, la superposition sur une surface blanche de deux filtres colorés, l'un jaune et l'autre bleu, permet d'obtenir du vert.

Le terme soustractif vient du fait qu'un objet coloré soustrait (absorbe) une partie de la lumière incidente. De fait, une couleur obtenue par synthèse soustractive de plusieurs autres sera nécessairement plus sombre qu'elles.

En synthèse soustractive, les couleurs primaires généralement utilisées sont au nombre de trois : le cyan, le jaune et le magenta

- l'addition de ces trois couleurs donne du noir
- l'absence de couleur est le blanc (si le support est blanc)

L'addition deux à deux de ces couleurs primaires permet d'obtenir les couleurs secondaires :

- le cyan et le jaune donnent le vert
- le cyan et le magenta donnent le bleu (bleu-violet)
- le jaune et le magenta donnent le rouge (rouge vermillon)

La synthèse soustractive est le principe qui régit le mélange de pigments colorés en peinture, en imprimerie et en impression papier pour la photographie couleur. En théorie, l'utilisation des trois couleurs primaires permet de reproduire toutes les couleurs existantes ; en pratique on y ajoute souvent le noir.

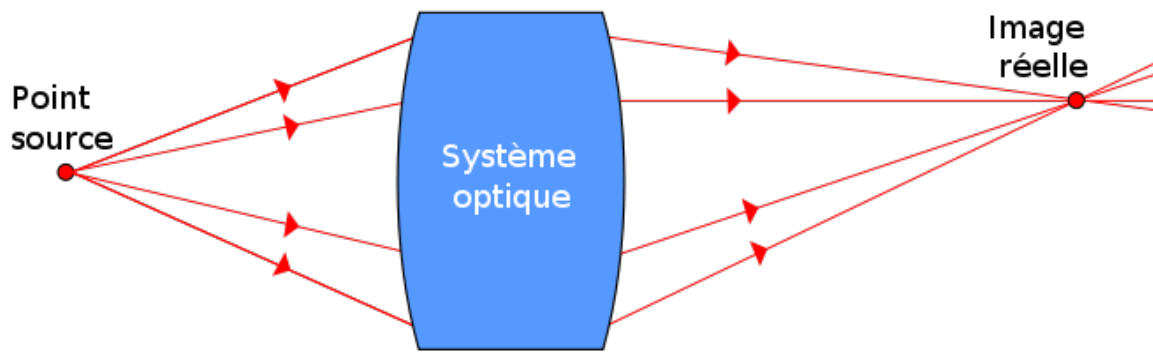


De la même manière qu'en synthèse additive on peut caractériser chaque couleur par un triplet de couleur pour le cyan, le magenta et le jaune. On ajoute parfois une quatrième valeur pour le noir (CMJK).

6) Optique géométrique

Nous allons utiliser différents dispositifs pour capter ces rayons lumineux et les analyser au travers de la caméra.

Dans un premier temps, il va falloir considérer certaines règles de l'optique géométrique:



Un système optique est composé par un ensemble de lentilles transparentes, de formes diverses placées sur le trajet du flux lumineux

La lumière y subit des réflexions, des réfractions, des diffusions, des diffractions ou des filtrages suivant le niveau d'analyse des trajets.

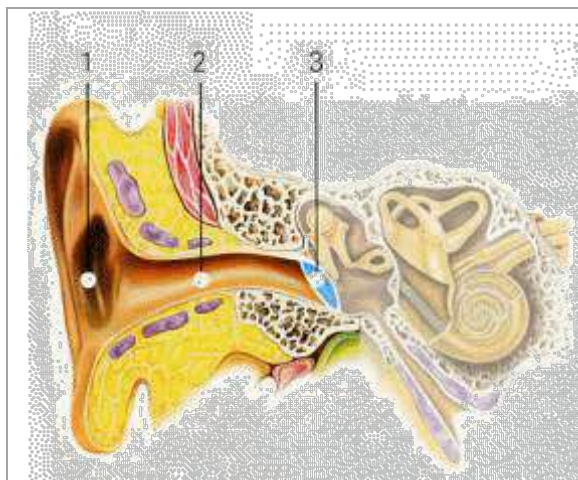
On observe alors la formation d'une image virtuelle de l'objet observé à travers ce système optique. Le système optique de la caméra (objectif) est réglé de telle manière à ce que l'image se forme à la surface du capteur ou de la pellicule.

III. La perception du son et de la lumière

1) L'oreille

L'oreille est classiquement divisée en trois parties assurant des fonctions bien définies dans le processus de perception sonore.

L'oreille externe comprend le pavillon et le conduit auditif externe (CAE). Elle protège le tympan de l'extérieur et sert d'amplificateur de son.

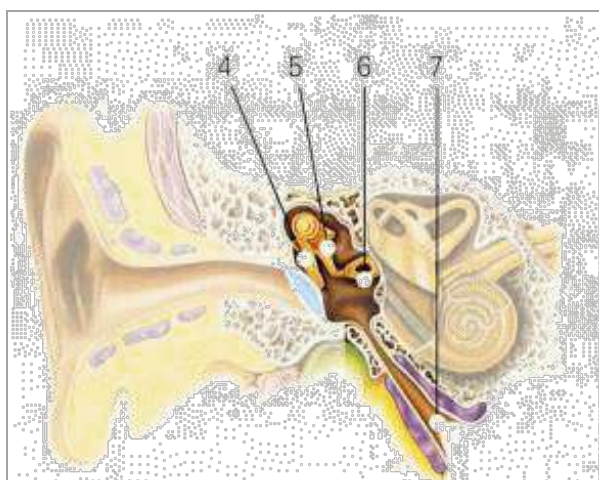


1 Pavillon

2 Conduit auditif

3 Tympan

L'oreille moyenne comprend la caisse du tympan, la trompe d'Eustache et la chaîne des osselets : le marteau l'enclume et l'étrier. Cette chaîne osseuse dont les éléments ont une taille de l'ordre du millimètre réalise la jonction entre l'oreille externe et l'oreille interne. Elle doit à la fois protéger l'oreille interne et transformer les vibrations aériennes arrivant de l'oreille externe en vibrations solidiennes (analysables par l'oreille interne).



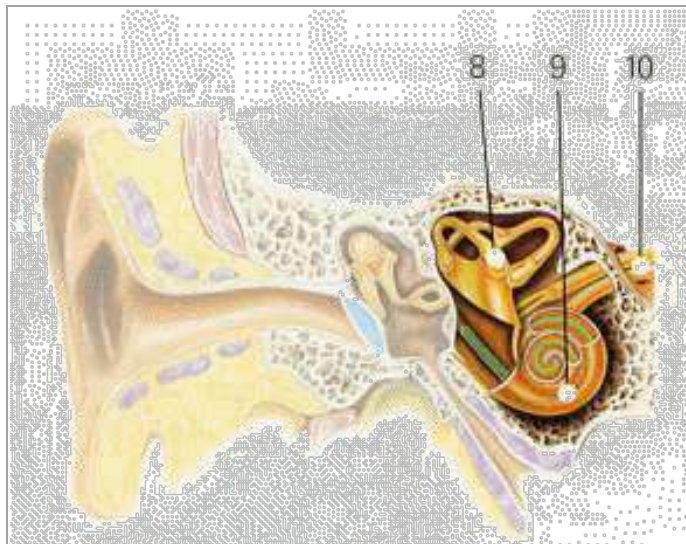
4 Marteau

5 Enclume

6 Etrier

7 Trompe d'Eustache

Enfin, **l'oreille interne** comprend le vestibule, les canaux semi-circulaires et la cochlée. Elle est reliée à l'oreille moyenne par deux orifices (fenêtre ovale et fenêtre ronde) obturées par des membranes. C'est sur la fenêtre ovale que va s'insérer l'étrier.

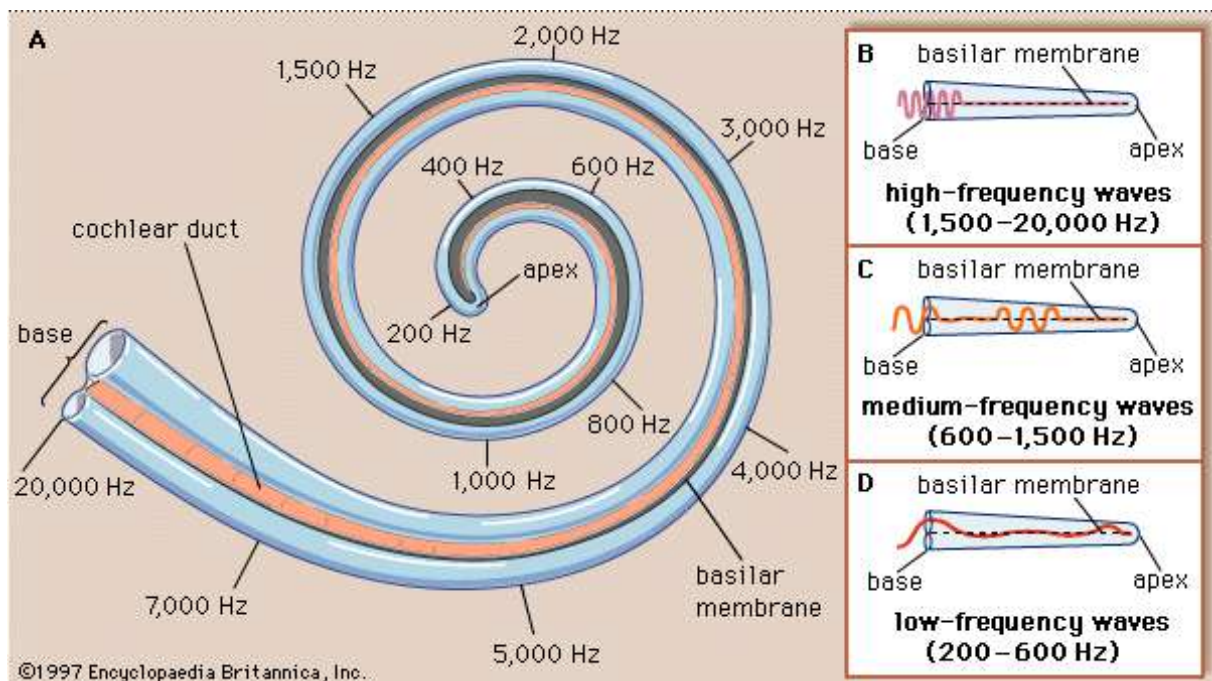


8 canaux semi-circulaires

9 Cochlée

10 Nerf cochléaire

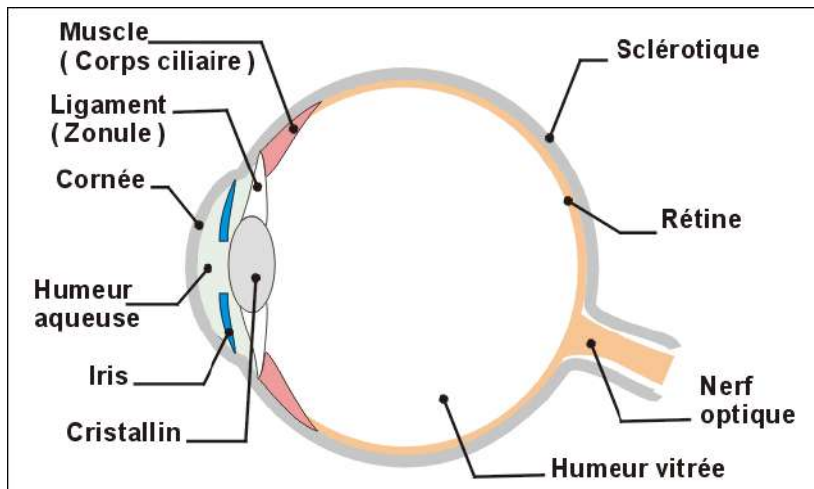
La cochlée est tapissée de cellules vibratiles qui transmettent les vibrations aux cerveaux par l'intermédiaire du nerf auditif en fonction de la fréquence d'excitation. En fonction de la fréquence de l'onde, des cellules différentes réagissent.



Nous verrons par la suite qu'un microphone fonctionne de manière assez similaire pour produire un signal électrique en présence d'une onde acoustique.

2) L'œil

Examinons à présent le fonctionnement de l'œil :



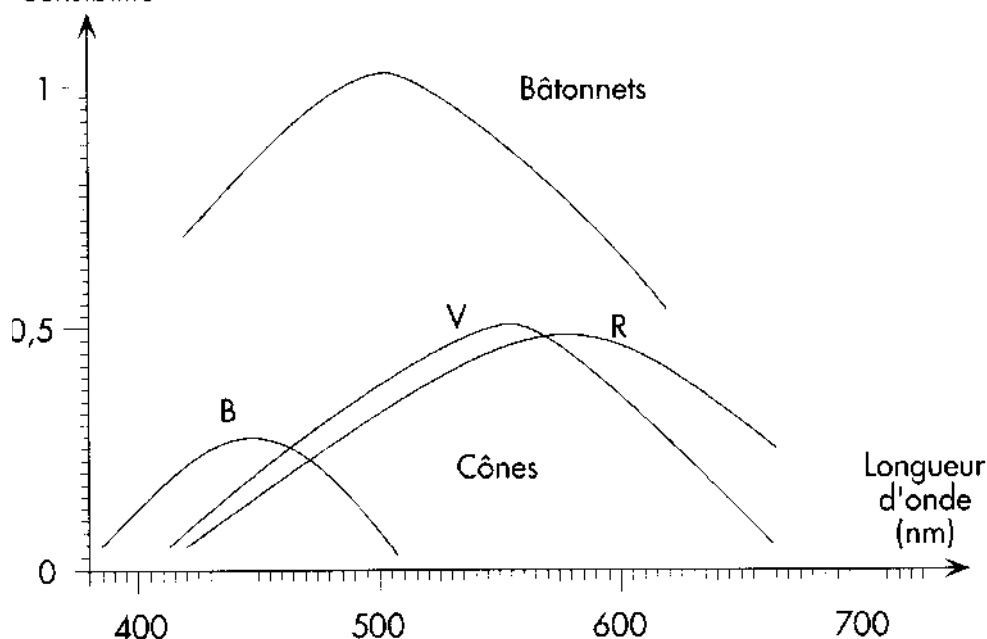
La **cornée** permet de concentrer le faisceau lumineux sur le cristallin. Celui-ci fait la mise au point pour que l'image se forme sur la rétine. (mise au point)

L'**iris** sert à réguler la quantité de lumière qui rentre dans l'œil. (diaphragme).

La **rétine** est constituée de cellules sensibles à la lumière et qui réagissent en produisant un stimulus nerveux. (capteur)

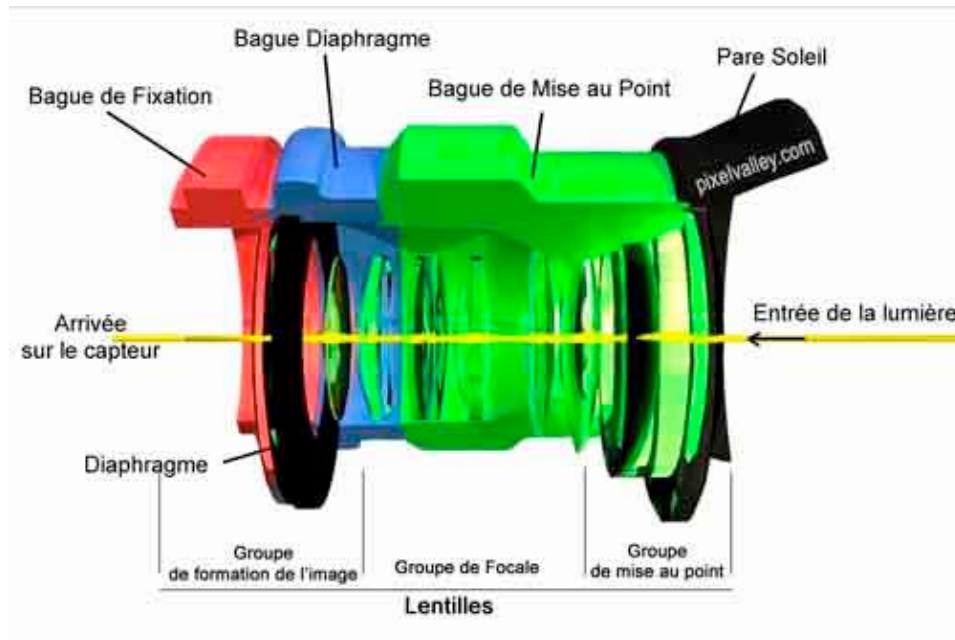
Certaines de ces cellules sont particulièrement sensibles à l'intensité lumineuse : les bâtonnets. D'autres cellules, moins nombreuses, réagissent en fonction de la couleur : les cônes. On peut distinguer 3 types de cônes, sensibles aux longueurs d'ondes bleues, vertes et rouges.

L'œil est beaucoup plus sensible à la lumière qu'aux couleurs...

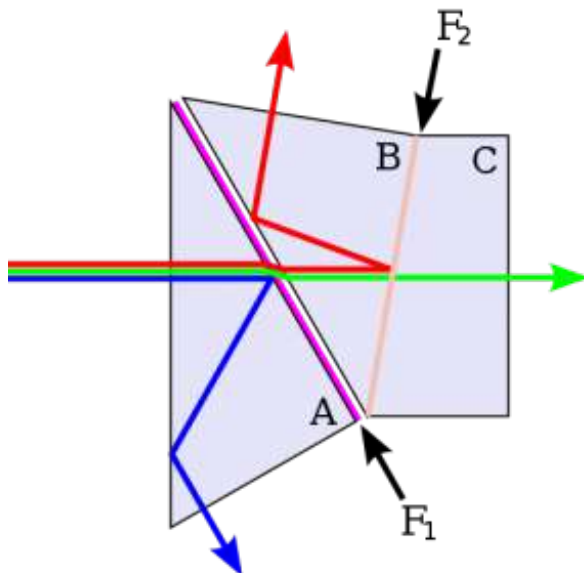


L'œil dispose d'une sorte de mémoire, on parle de persistance rétinienne, comprise entre $1/10^{\text{ème}}$ et $1/40^{\text{ème}}$ de seconde. C'est grâce à ce phénomène que l'on a une impression de mouvement en regardant des images qui se succèdent rapidement.

La caméra vidéo reprend le même principe de fonctionnement général, elle est composée d'un objectif qui envoie la lumière sur différents capteurs sensibles à une composante chromatique particulière.



Dans une caméra moderne on utilisera le plus souvent trois capteurs pour décomposer l'image en 3 composantes colorées : rouge verte et bleue.



C'est à partir des signaux RVB issus de ces 3 capteurs que l'on fabrique un signal vidéo. On parle alors de signal composante RVB ou RGB (Red Green Blue). Mais avant d'en arriver là, commençons par le commencement.

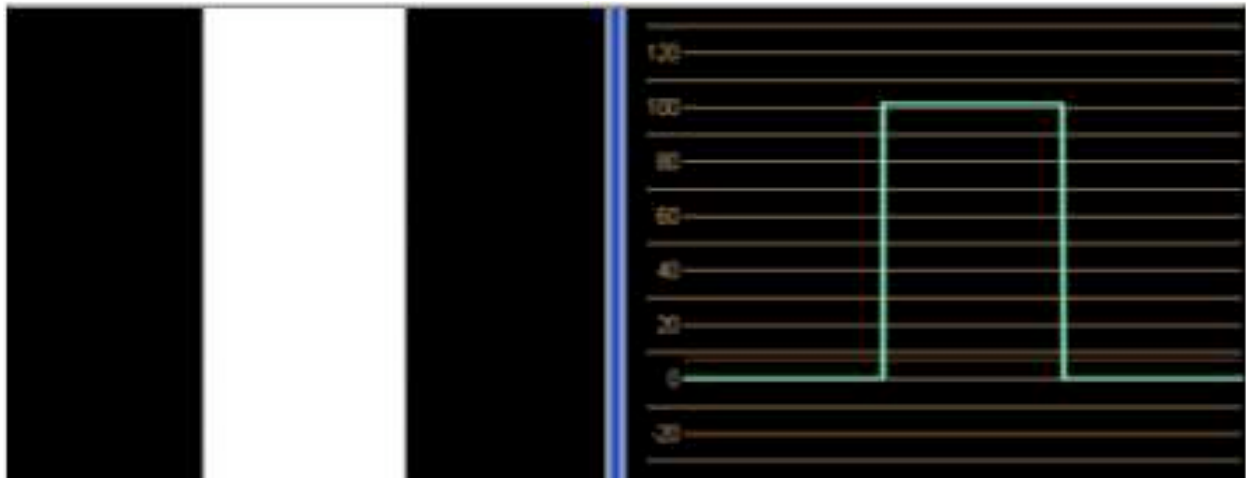
IV. Le signal vidéo analogique

1) Le signal noir et blanc

Pour bien comprendre les différentes évolutions qui ont permis d'arriver au signal vidéo d'aujourd'hui, il faut en fait revenir au format d'origine qu'était le signal noir et blanc.

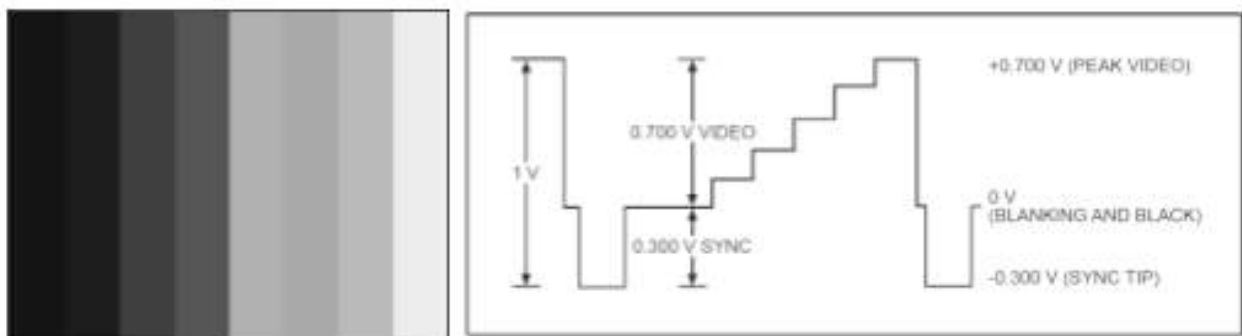
On utilisait un seul capteur qui réagissait uniquement à la luminance du signal, c'est à dire la quantité de lumière.

Un capteur reçoit un flux lumineux et le transforme de manière analogique en signal électrique : plus le flux lumineux est fort, plus le signal électrique est fort.



Nous utilisons alors une interprétation vidéo de l'image qui varie en fonction du niveau électrique :

- Un signal à 100% = une représentation de pixel blanc.
- Un signal à 50% = une représentation de pixel gris moyen.
- Un signal à 0% = une représentation de pixel noir.



Le signal Noir et Blanc (représenté par le symbole 'Y') est 'formaté' ligne après ligne pour pouvoir fonctionner selon deux standards :

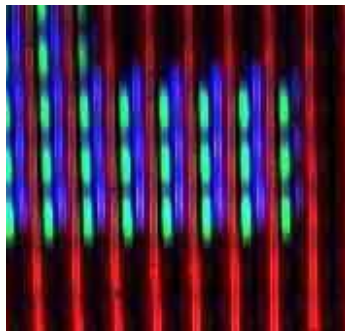
- le format 525 lignes (utilisé aux USA et au japon par exemple)
- le format 625 lignes (utilisé en Europe par exemple)

Cela veut dire que l'image du système télévisuel européen est véhiculée sur 625 lignes pour être affichée sur un écran à tube cathodique.

Ces valeurs découlent directement d'une des propriétés de l'œil : le pouvoir séparateur. Lorsque 2 points sont trop proches, l'œil les confond.

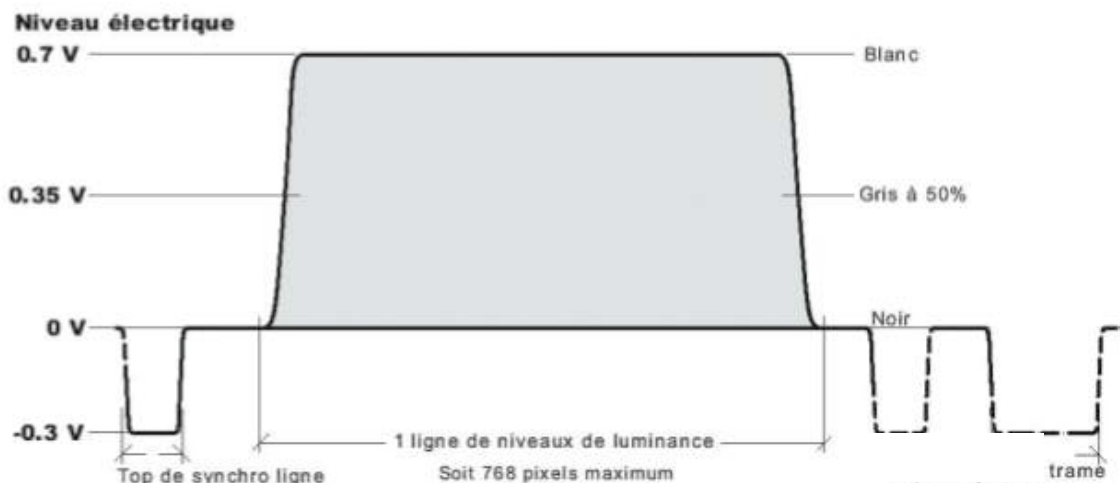
L'angle formé par ces 2 points et la distance à laquelle on doit observer l'image permet de déterminer la résolution à adopter pour que l'œil ait une impression de continuité (environ $1/60^{\text{ème}}$ de degré).

En dessous de cette valeur limite l'œil ne distinguera plus les lignes si la distance d'observation est suffisante. Pour s'en convaincre, il suffit de se rapprocher de l'écran et d'observer les points rouges verts et bleu.



Zoom sur un écran

L'affichage de chaque ligne doit être synchronisé entre le capteur (la caméra par exemple) et le récepteur (le moniteur vidéo). Cette synchronisation doit se mélanger au signal des informations dédiées à l'image en elle-même, sans la parasiter. C'est pourquoi le signal vidéo est constitué de deux parties distinctes :

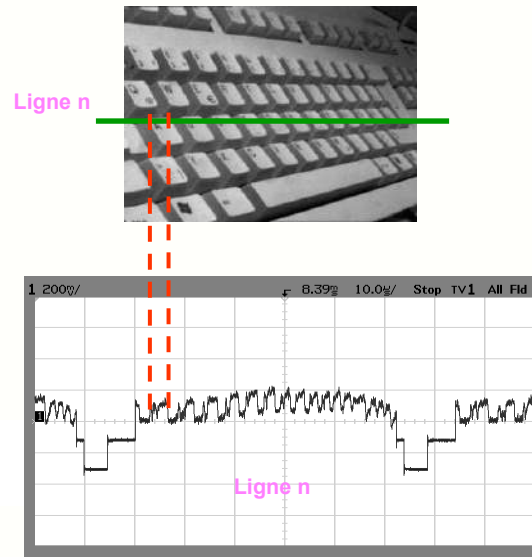
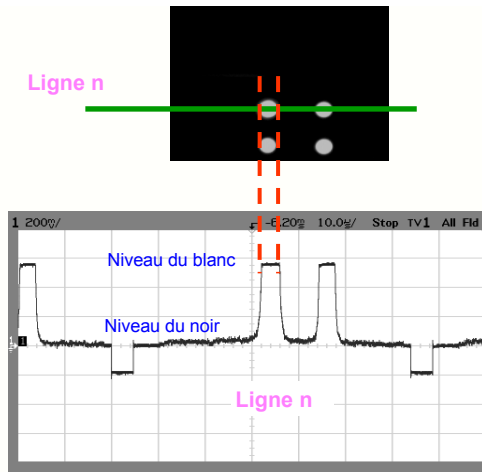


- La partie du signal située entre 0V et +0,7V (en positif) qui contient les informations utiles de l'image (les niveaux électrique correspondant aux pixels de l'image)
- La partie du signal située entre 0V et -0,3V (en négatif) qui contient les 'tops' de synchro, et qui va synchroniser l'affichage des lignes et des images sur le dispositifs d'affichage. Il est en effet primordial de reconstituer l'image convenablement au moment de la reconstitution.

Les caractéristiques temporelles du signal video N&B sont alors:

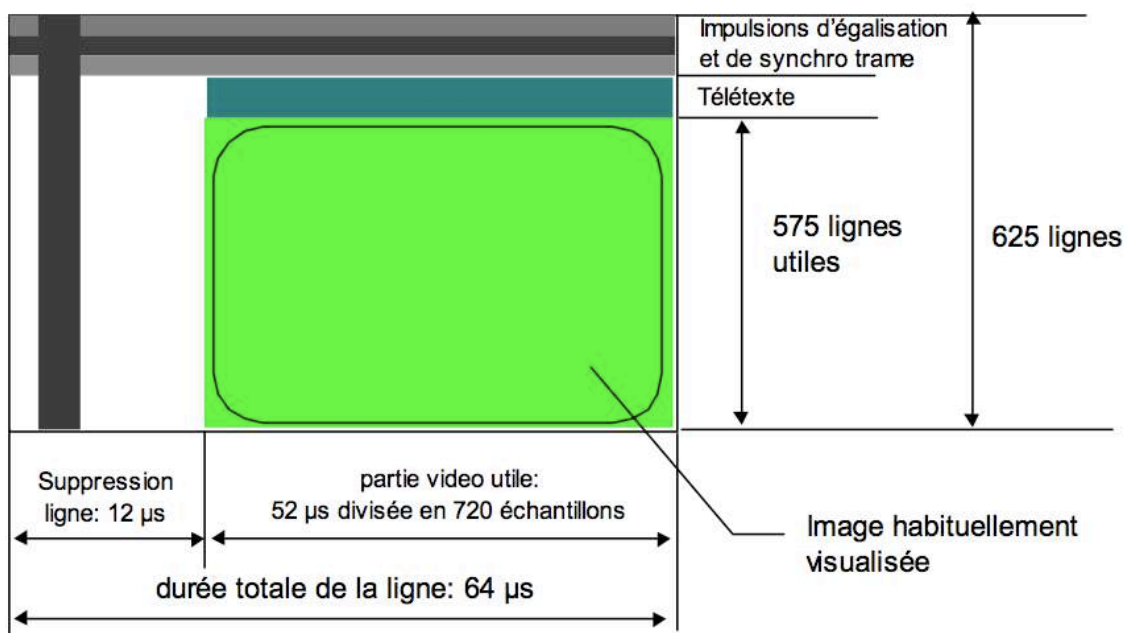
- durée totale d'une ligne 64 μ s
- durée de la partie active (affichée) 52 μ s
- largeur du top synchro ligne 4,7 μ s

Exemples de signaux vidéo noir et blanc représentés sur un oscilloscope :

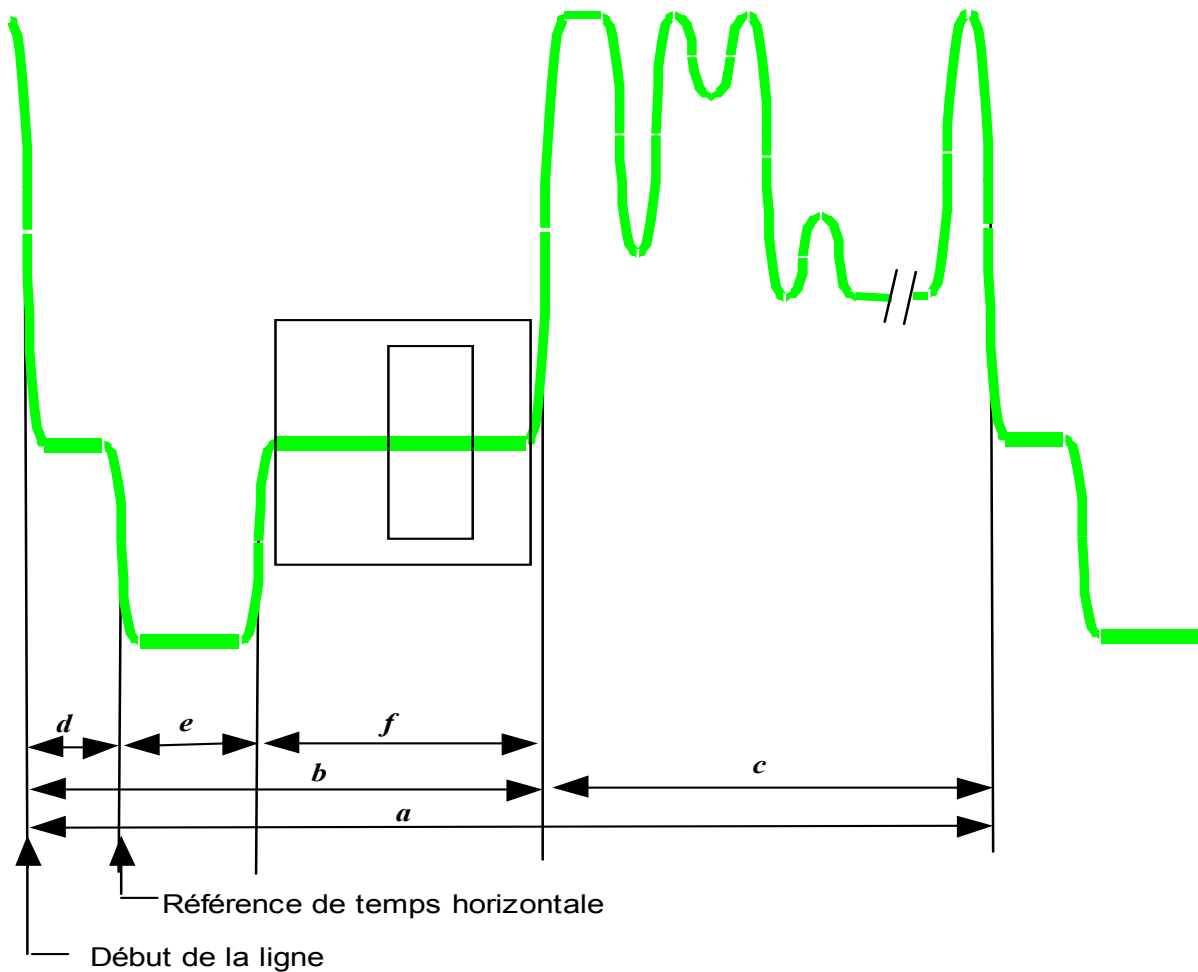


2) Synchronisation

Une partie du signal est ainsi “consommée” par des données de synchronisation. On les insère durant les intervalles de suppression, lorsque le faisceau d'électron se positionne pour afficher la prochaine ligne. Ces éléments de synchronisation sont aussi nécessaires que la ponctuation dans un texte...



Sur une ligne complète on retrouvera le découpage suivant :



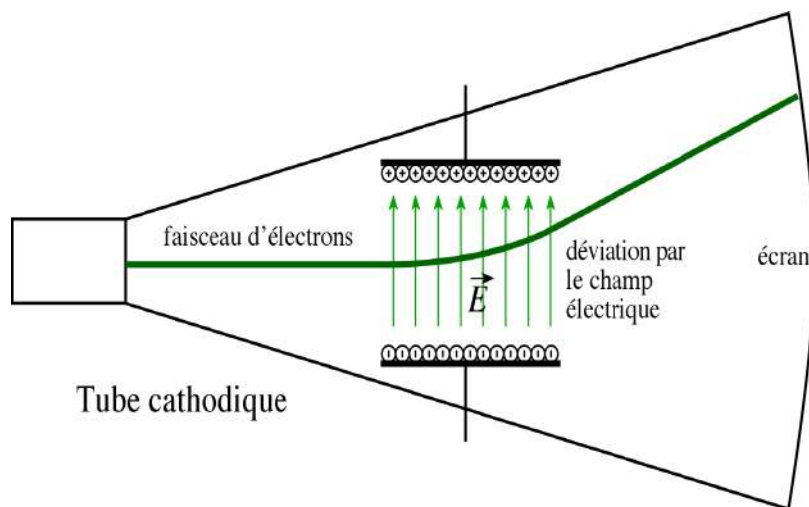
Repère	Paramètre	Europe	USA/Japon	Unité
1/a	Fréquence de ligne <i>Horizontal frequency</i>	15 625	15 750 (15 734,264)	Hz
a	Durée nominale de la ligne <i>Nominal horizontal duration</i>	64	63,5 (63,556)	µs
c	Durée nominale de la ligne utile <i>Nominal active line duration</i>	52	52, 5	µs
b	Durée nominale de la suppression ligne <i>Nominal horizontal blanking interval duration</i>	12	11	µs
d	Durée du palier avant de suppression <i>Front porch duration</i>	1,5	minimum 1,27	µs
e	Durée de l'impulsion de synchronisation ligne <i>Horizontal sync pulse duration</i>	4,7	4,2 à 5,1	µs
e+f	Palier arrière de suppression+ imp. de synchro <i>Back porch+ sync pulse duration</i>	10,5	8,06 à 10,3	µs

3) Le balayage

La persistance rétinienne permet de donner l'illusion du mouvement. Historiquement le cinéma fonctionne à 24 images par secondes.

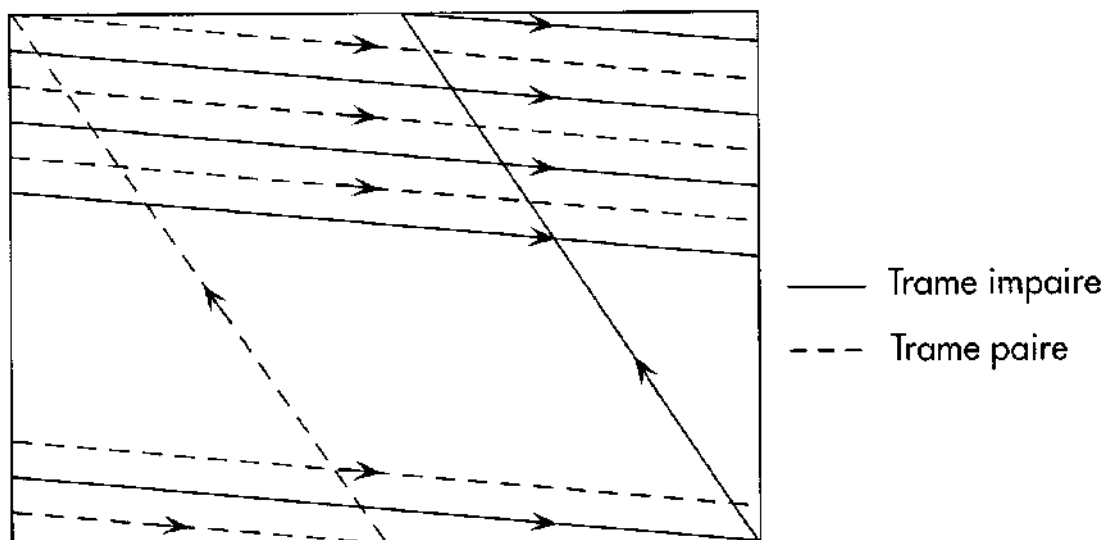
On a choisi une fréquence de 25 images par seconde pour la vidéo en Europe (et 30 aux USA) pour des raisons de commodité, compte tenu de la fréquence délivrée par le courant secteur. Une caméra vidéo prendra donc 25 (ou 30) prises de vues par secondes.

L'écran qui restitue l'image captée par la caméra fonctionnait le plus souvent grâce à un tube cathodique composé d'un canon à électron qui venait frapper un écran recouvert d'une matière qui émet de la lumière lorsqu'elle est excitée par le faisceau d'électron.



On dévie le faisceau dans le temps de manière à lui faire parcourir toute la surface de l'écran.

Il s'avère que la fréquence de 25 images par seconde n'est pas suffisamment élevée, on constate des effets désagréables de papillonnement sur l'image restituée. Pour éviter cela, on a modifié la manière dont les photos sont prises. On parle alors d'un balayage entrelacé :



On prendra alors 50 (60) photos par secondes. Chacune d'entre elles comporte 2 fois moins d'information, puisqu'elles ne contiennent qu'une ligne sur 2. On emploie le terme de trame pour désigner ces $\frac{1}{2}$ images.



La plupart des systèmes vidéo de télévision ayant pour destination un écran à tube cathodique utilisent un balayage entrelacé.

Les écrans informatiques n'utilisent pas le format entrelacé et affichent des images complètes à une cadence plus importante (de 70 à 100 Hz). Le mode de balayage non entrelacé est appelé le mode PROGRESSIF.

On notera ainsi les formats vidéo en fonction de leur cadence d'image et de leur mode de balayage :

- 50i signifie 50 trames par seconde en mode entrelacé
- 60i signifie 60 trames par seconde en mode entrelacé.

(le 'i' signifie 'interlaced' en anglais).

Ces modes sont les deux modes de fonctionnement standard des chaînes de télévision actuelles.

Par opposition, les formats utilisant un mode progressif utilisent la lettre 'P' :

- 25P signifie 25 images par seconde en mode Progressif .
- 30P signifie 30 images par seconde en mode Progressif.
- 24P signifie 24 images par seconde en mode Progressif.

Une ligne est traitée de manière continue, on ne parlera pas de pixels en vidéo analogique. En revanche il existe un échantillonnage vertical, les points entre les lignes ne sont pas captés ni manipulés.

4) La vidéo RVB

Pour passer du moniteur noir et blanc au moniteur couleur, le système de télévision va s'appuyer sur les 3 couleurs primaires Rouge, Vert, Bleu qui vont nous permettre de recomposer la palette de l'arc en ciel en fonction de leurs différents niveaux électriques.

De la même manière que le film 35mm utilise trois couches couleur pour reconstruire une image en couleur, la télévision va s'appuyer sur 3 capteurs R (Red), G (green), et B (Blue) qui vont nous fournir 3 signaux distincts après analyse de l'image.

Voici une image et ses 3 composantes primaires RVB :



Image originale



Composante rouge



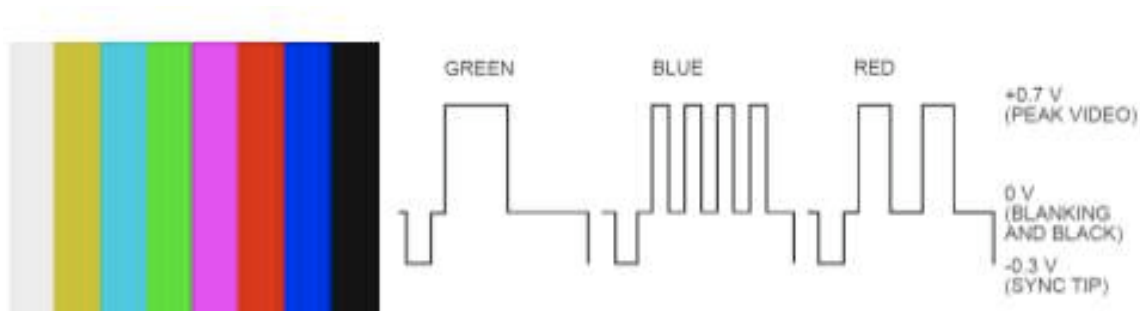
Composante verte



Composante bleue

- la luminance du rouge est élevée (gris clair) dans les zones rouges de l'image
- la luminance du vert est élevée (gris clair) dans les zones vertes de l'image
- la luminance du bleu reste faible (peu de couleur bleue dans l'image)

Pour des raisons de commodité, on fait souvent référence à une image normalisée qui sert de référence : la mire de barre.



On utilise parfois ces signaux RGB associé à un signal de synchronisation à part. C'est le cas du signal RGBS.

En pratique on utilisera une variante qui permet de conserver une compatibilité avec les anciens systèmes noir et blanc. Un téléviseur noir et blanc ne « comprend » pas les informations de couleurs RVB. On parle alors de luminance.

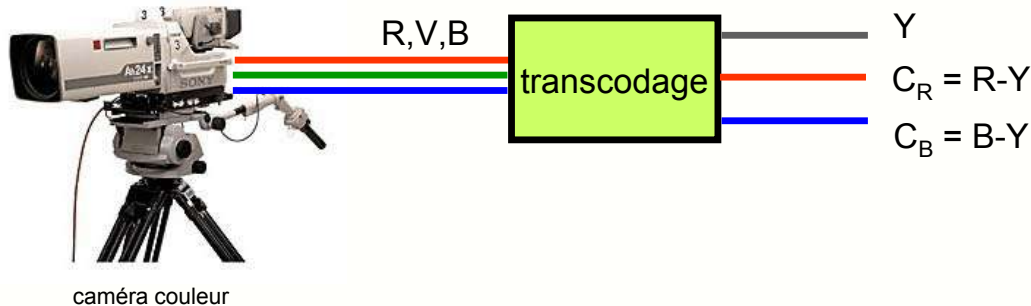
5) Le signal YUV

En partant des signaux RGB issus des capteurs, on les combine de la manière suivante :

- $Y = 0,6 G + 0,3 R + 0,1 B$
- $U = B - Y = 0,9 B - 0,6 G - 0,3 R$
- $V = R - Y = 0,7 R - 0,6 G - 0,1 B$

Y représente le signal Noir et Blanc de l'image vidéo. C'est la luminance. Les coefficients ont été fixés pour tenir compte de la sensibilité de l'œil en fonction de chaque couleur.

U et V sont deux signaux électriques véhiculant la couleur (respectivement la composante Bleue et Rouge du signal complet). C'est la chrominance.



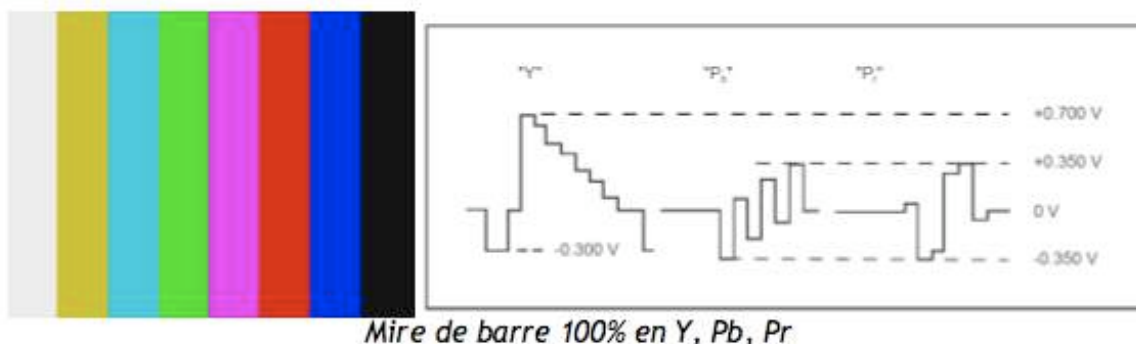
Le signal Vert n'est pas véhiculé durant le transport et l'enregistrement, car il est récupérable par simple recombinaison mathématique grâce à Y, B et R pour ensuite être affiché au final en R, G, B.

Le format YUV est le format privilégié de transport et de stockage de la vidéo broadcast pour les raisons suivantes :

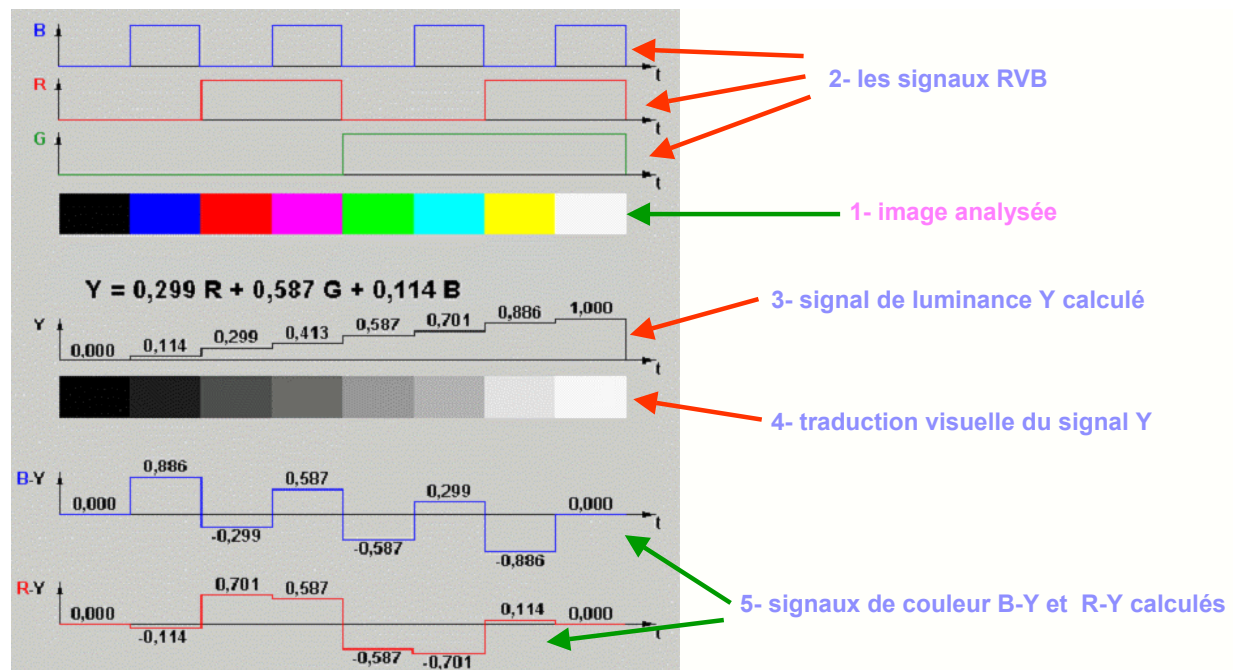
- il conserve une compatibilité avec les postes Noir et Blanc (signal Y seul).
- il sépare le noir et blanc (Y, appelé luma) de la couleur (C, appelé Chroma), et permet ainsi de travailler sur ces deux paramètres séparément.

Le codage YUV est également à la base du signal vidéo numérique.

Il existe une variante appelée YPbPr qui normalise la valeur des coefficients pour la chrominance, on trouvera ainsi différentes appellations YUV, YDrDb, YCbCr... pour représenter un codage colorimétrique de ce type.



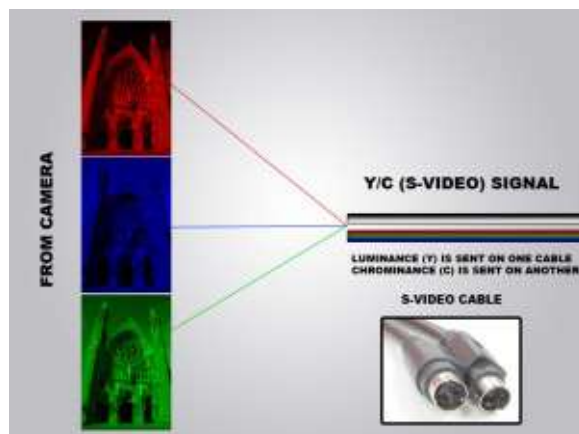
Les signaux YUV et RGB comportent la même information, elle est simplement mise en forme différemment. On peut aisément passer de l'un à l'autre par l'intermédiaire de circuit de matriçage dédiés qui convertissent les signaux d'un mode à l'autre en tenant compte des coefficients associés.



Ces modes de codage sont d'une grande qualité mais ils sont peut aisés à transmettre dans la mesure où ils sont constitués de plusieurs signaux.

6) Le signal Y/C

Une autre idée consiste à utiliser séparément les signaux de luminance et de chrominance, sur des liaisons séparées. C'est le principe retenu pour le signal Y/C. On transmet d'une part la luminance et sur un autre câble la chrominance. Les 2 signaux de chrominances sont modulés sur une sous porteuse comme dans le cas du composite que nous détaillerons par la suite. Il en résulte une qualité moindre qu'en YUV, on a en effet dégradé la qualité des informations de chrominance. En revanche ce signal ne nécessite que 2 liaisons au lieu de 3. On retrouve ce système dans le S-Vidéo, le Hi-8, le format S-Vidéo...



7) Le signal composite

C'est pour faciliter la transmission des données que l'on a inventé le signal composite. Il s'agit d'un signal regroupant Y, B-Y et R-Y sur un seul et même câble, offrant ainsi un usage simplifié du transport et de la connectique, avec néanmoins une image de moins bonne qualité.

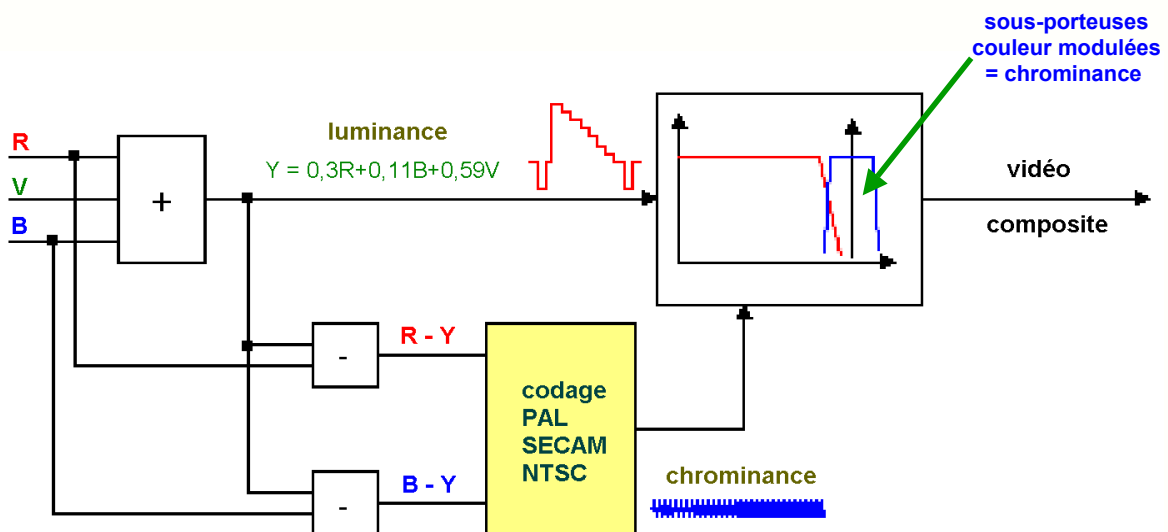
3 standards de transport couleur composite cohabitent sur la planète :

- Le format NTSC (USA)
- Le format SECAM (France)
- Le format PAL (Allemagne)

Il ne s'agit là que de standards de diffusion qui ne sont que très rarement utilisés lors de des étapes de production du fait de leur faible qualité.

Le connecteur Composite peut porter plusieurs appellations : CVBS (Composite Vidéo Burst Synchro), VBS, Vidéo... Le plus souvent on utilise un câble coaxial doté d'une connectique BNC ou Cinch.

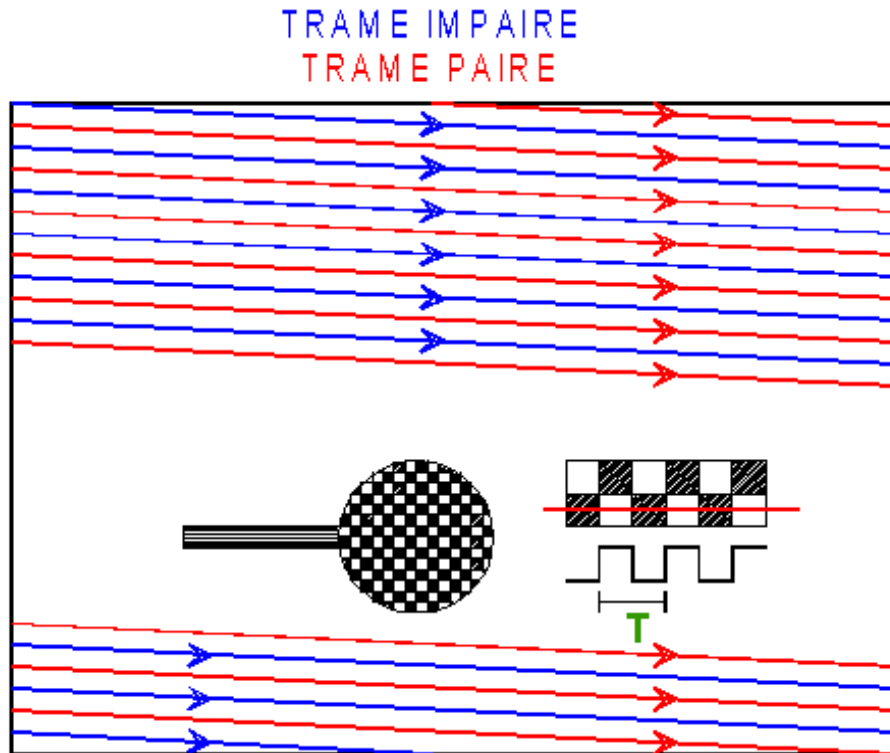
Le principe consiste à multiplexer les données du point de vue fréquentiel en réduisant l'importance de la chrominance (l'œil étant moins sensible à la couleur) tout en conservant la compatibilité avec le signal noir et blanc...



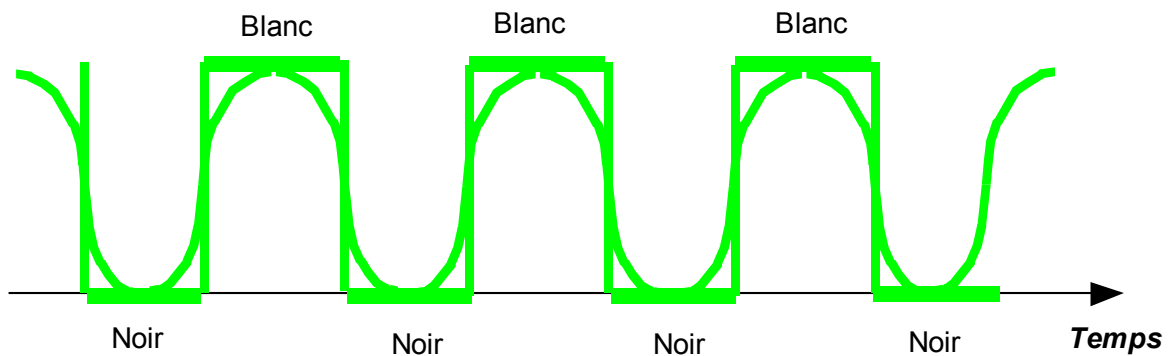
Avant de détailler les différents moyens d'effectuer ce multiplexage, il faut définir la notion de spectre d'un signal.

Considérons une image 625 lignes au format 4/3. On a $625 \times 625 \times 4/3 \times 25 = 13$ millions de points par seconde.

Le cas le plus exigeant est celui où les points sont alternativement noir-blanc-noir-blanc... etc.

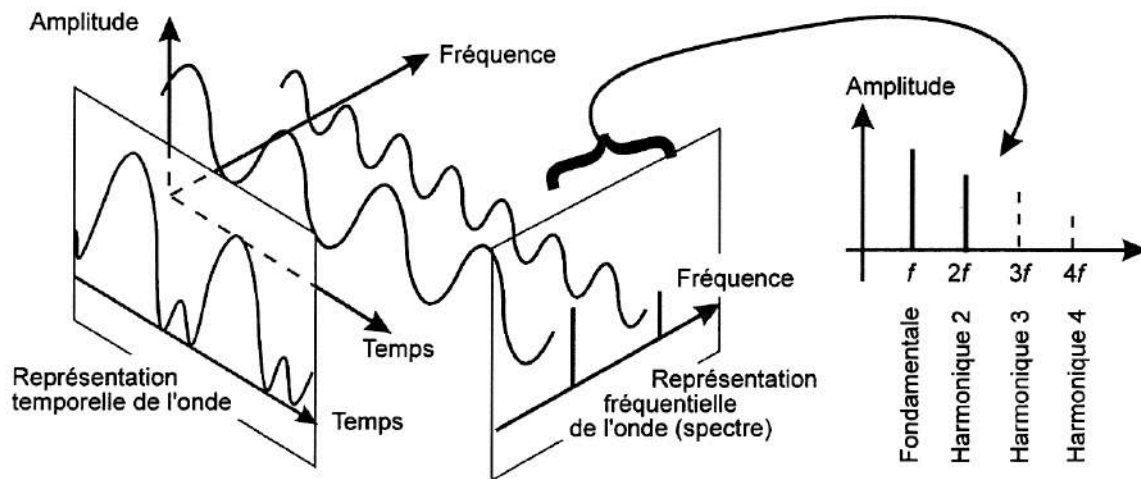


On peut admettre à la limite que les transitions ne soient pas transmises raides, mais adoucies (transitions sinusoïdales).

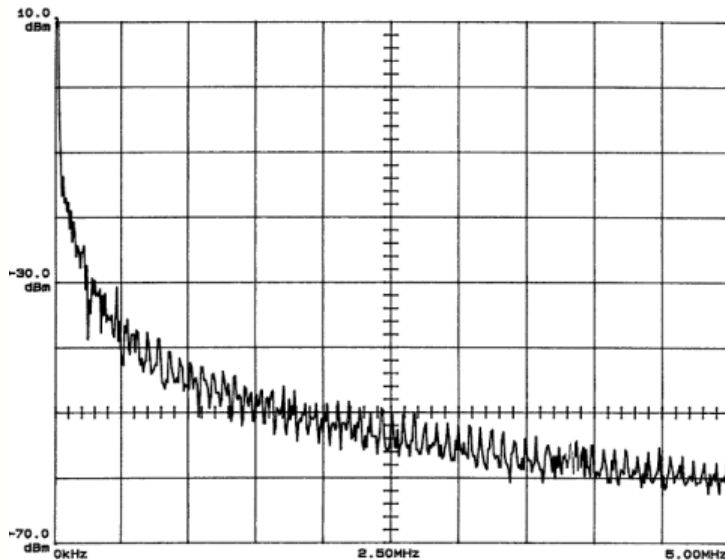


On trouve une sinusoïdale dont la période est 2 fois la durée d'un point
Soit une bande passante de $13/2 = 6,5$ Mhz.

On peut souhaiter représenter ce signal différent en fonction de la fréquence et non du temps. Une transformation mathématique permet de faire ce passage du domaine temporel au domaine fréquentiel. C'est la transformée de fourrier.



Voici une représentation du spectre réel d'un signal N&B réel.

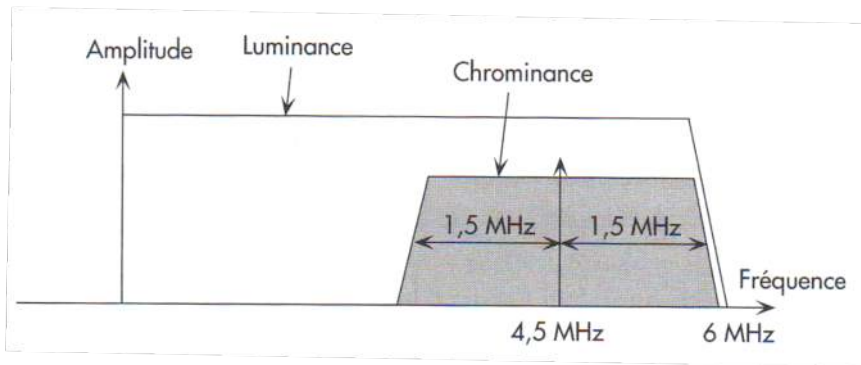


On retient en général 6 Mhz comme valeur maximale pour la luminance. Dans le cas d'un signal composite, on va supprimer les hautes fréquences, c'est à dire que l'on va réduire la précision des détails qui décrivent l'image.

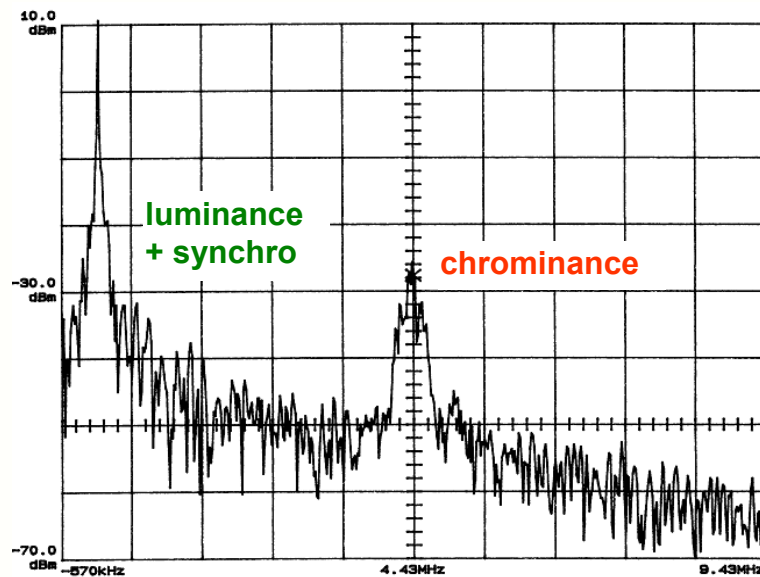
On réduit également la bande passante de la chrominance, de moitié. Cela se traduit par une perte de qualité visible sur les détails colorés, par exemple les rayures d'une chemise... On sait en effet que l'œil est beaucoup moins sensible à la couleur qu'à la lumière.

Il ne reste plus qu'à insérer les informations de chrominance dans le signal de luminance en passant par une modulation sur une sous-porteuse.

On retrouve alors une représentation fréquentielle schématique telle que celle-ci :

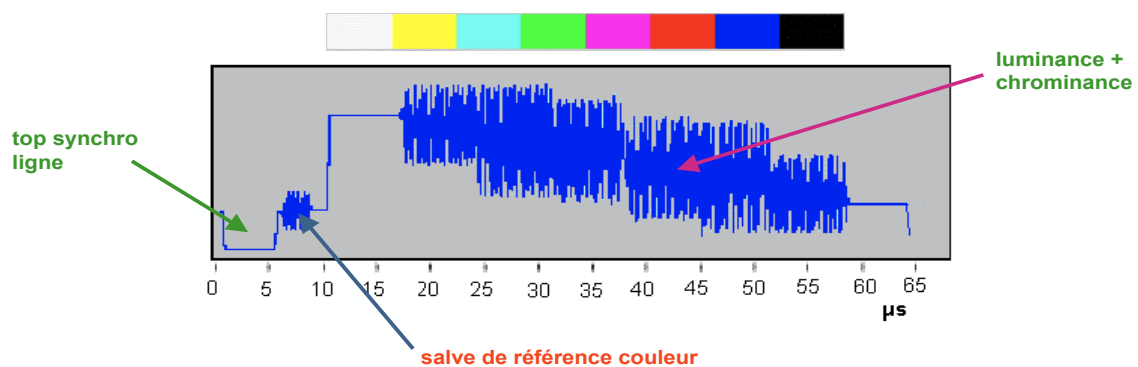


Pour dissocier les signaux lors de la restitution, on utilisera un filtre.



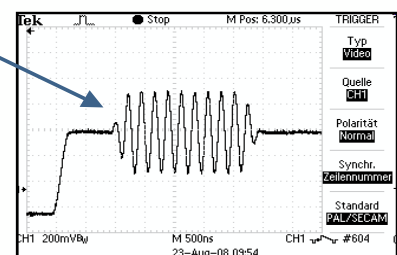
Spectre de signal PAL réel

Allure d'une ligne du signal vidéo correspondant à 8 bandes verticales colorées :

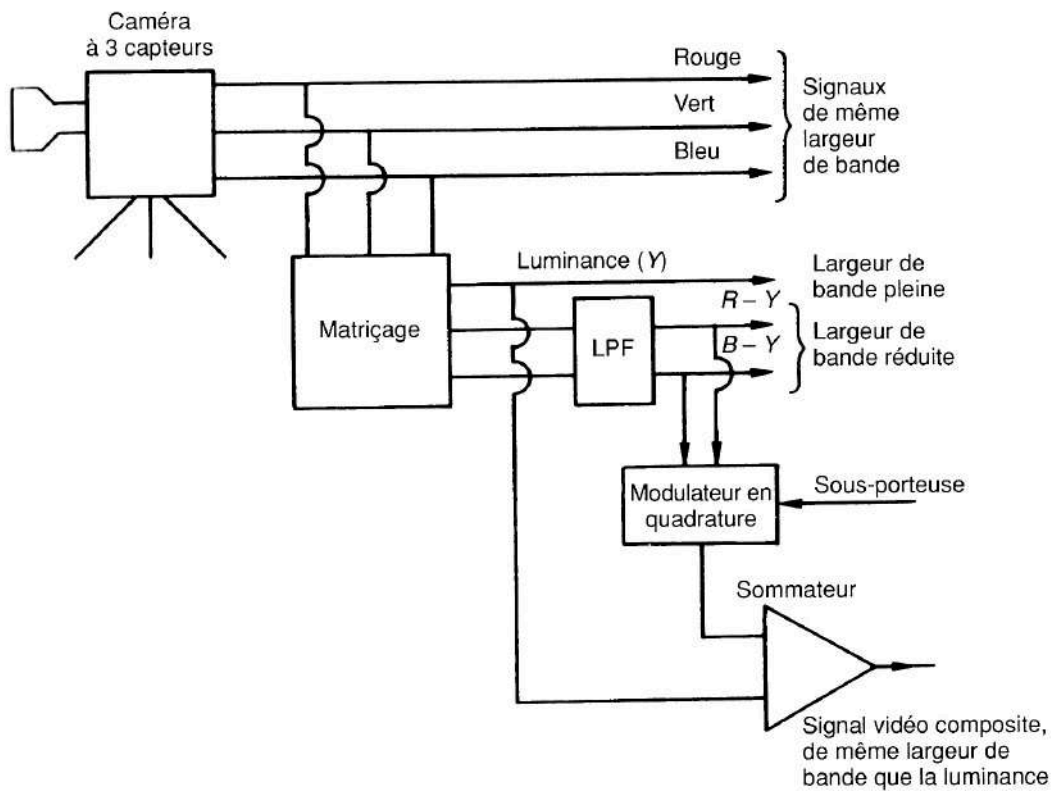
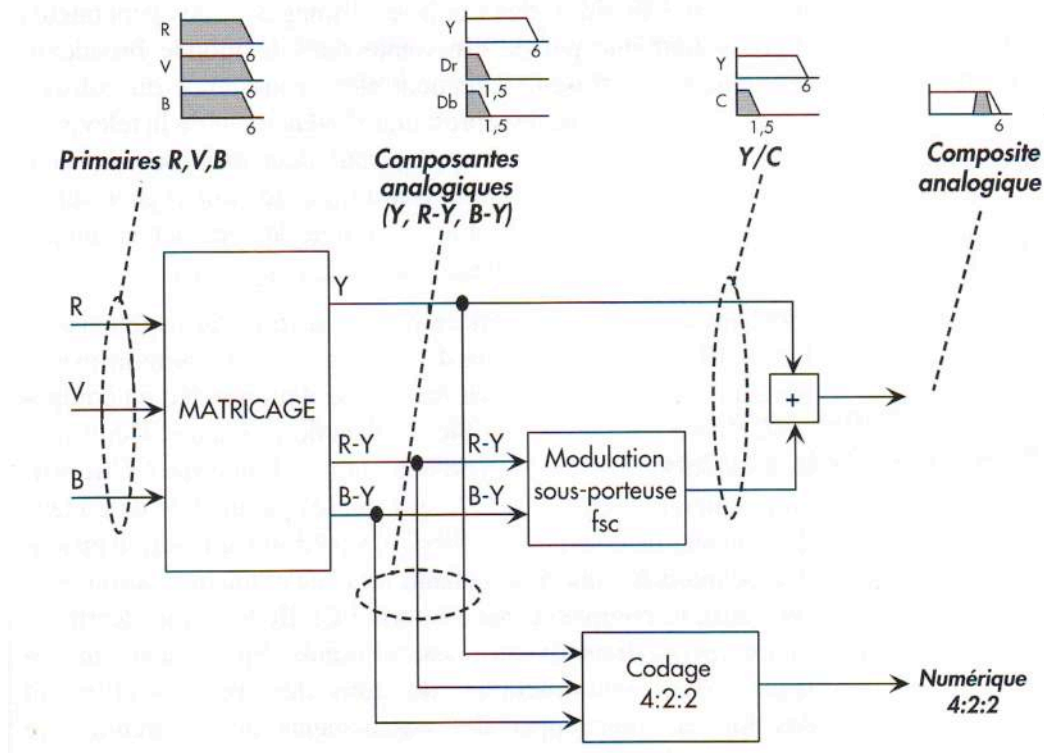


La salve de référence couleur donne la fréquence de la sous-porteuse et permet de connaître :

- le standard : PAL, SECAM ou NTSC ?
- la couleur transmise en SECAM : R-Y ou B-Y ?



8) Schémas récapitulatifs



V. Les différents standards de diffusion en télévision

1) Quelques dates

avril 1935 : première émission officielle de télévision en **60 lignes** depuis le ministère des PTT, rue de Grenelle à Paris

novembre 1935 : émission à la définition de **180 lignes** par un émetteur un émetteur installé au sommet de la tour Eiffel.

mai 1943 : première émission de **Fernsehsender Paris** émise depuis la rue Cognacq-Jay. En français et allemand, ces émissions en **441 lignes** dureront jusqu'en août 1944 (1000 récepteurs en France environ)

novembre 1948 : le standard français est fixé à **819 lignes** pour la première chaîne. Les autres pays choisissent le **625 lignes**.

avril 1950 : Lille est la première ville de province équipée d'une station émettrice de télévision (3500 téléviseurs en France)

avril 1964 : inauguration de la deuxième chaîne en noir et blanc (en **625 lignes**)

octobre 1967 : passage de la deuxième chaîne à la couleur, la France ayant choisi le SECAM IIIB (standard d'encodage de la couleur, inventé par Henri de France, en **625 lignes**). Depuis toutes les émissions en couleur se font en 625 lignes.

2) Le NTSC

Historiquement, ce sont les américains qui sont à l'origine du premier système de TV couleur : c'est en effet dès 1954 que sont apparus les premiers équipements de prise de vues, transmission et réception basés sur un principe extrêmement ingénieux mais fort complexe édicté par le National Television System Committee qui lui a donné son nom: NTSC.

Les mauvaises langues, qui oublient trop vite que le NTSC est le père de tous les autres procédés, racontent que ce sigle signifie, en réalité, "Never Twice the Same Color" (jamais deux fois la même couleur) ce système ayant été desservi par un défaut inhérent à son concept : la dérive de la teinte des couleurs qui fait que, trop souvent, les présentateurs ressemblent à des martiens.

Pour transmettre les deux signaux de chrominance (la teinte et la saturation), on utilise deux ondes secondaires (dites sous-porteuses par opposition à l'onde porteuse qui véhicule le signal TV) de même fréquence (3,58 MHz) mais décalées (déphasées de 90°). Chaque sous-porteuse est modulée en amplitude (très exactement modulation d'amplitude double en quadrature à porteuse supprimée) par l'un des signaux de chrominance avant d'être mélangée. La modulation totale est représentée par un vecteur modulé à la fois en phase et en amplitude et variant en permanence selon les couleurs. Le signal ainsi obtenu est ensuite tout simplement ajouté au signal de luminance.

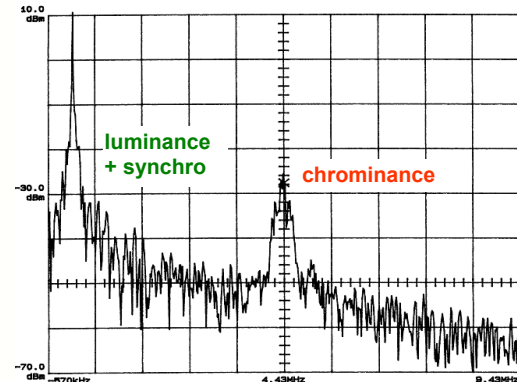
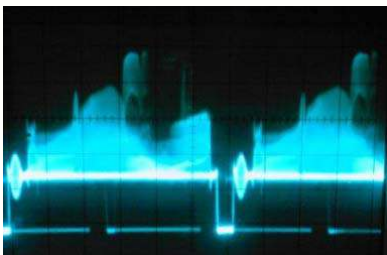
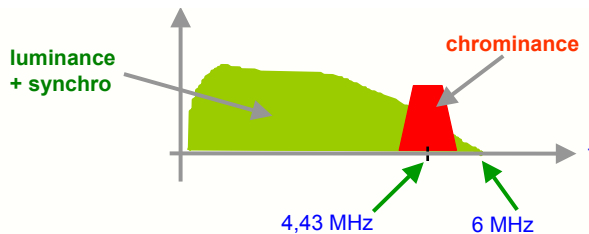
Le système NTSC ne compte que 525 lignes mais 30 images par seconde (la fréquence du courant électrique aux USA étant de 60 Hz). Il a été adopté par tous les pays qui utilisent cette fréquence du secteur, autrement dit le Canada, le Japon et le Mexique.

La version couleur est cadencée à 29,97 images par secondes au lieu de 30 de manière à réduire les interférences liées au multiplexage de la couleur.

3) Le PAL

Évolution du NTSC, le système PAL (pour Phase Alternation Line) a été mis au point, en faisant très largement appel à la ligne à retard du SECAM. Le PAL ne diffère du NTSC, mis à part, comme pour le SECAM, le nombre de lignes qui est de 625 et celui des images transmises qui est de 25 par seconde, que par un seul détail : les deux sous-porteuses I (in phase) et Q (quadrature) du système originel sont modulées avec une phase d'origine constante et avec une phase qui change de 180° à chaque ligne, alternativement. Pour qu'à la réception, le décodeur du téléviseur connaisse la polarité (négative ou positive) de la porteuse, on transmet une salve de référence (burst, en anglais) dont la phase est, alternativement $180^\circ - 45^\circ = 135^\circ$ et $-180^\circ + 45^\circ = -135^\circ$. Le PAL est un excellent système de codage, particulièrement bien adapté aux trucages et autres manipulations d'images pour lesquels les équipements grand public ou professionnels sont d'une mise au point plus simple que pour le SECAM. Le système PAL, outre qu'il a été adopté par tous les autres pays qui n'ont opté ni pour le NTSC ni pour le SECAM, s'est affirmé chez nous, comme le standard de production et de post-production, en raison de la faiblesse de l'offre en matériels SECAM, malheureusement. Reste que, dans le domaine de l'enregistrement vidéo, l'apparition des technologies dites "à composantes" (Y/C séparés, Betacam, M, numérique 4:2:2 ou D2 Mac Paquet pour la diffusion), est en train de bouleverser le paysage de la production audiovisuelle sans d'ailleurs le simplifier réellement.

Spectre du signal composite PAL



Spectre de signal PAL réel

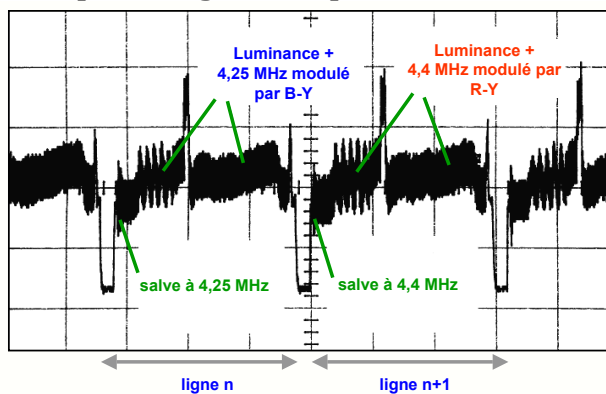
4) Le SECAM

Chez nous, chacun le sait, c'est le système SECAM qui a été adopté. Le SECAM, après le développement de plusieurs variantes, dans les années 1955 à 1960, a été le premier à se présenter comme un système compatible, opposable au NTSC. Le SECAM (pour SEquence de Couleurs Avec Mémoire) est basé sur le même principe que le NTSC. Il en diffère cependant par le fait qu'il utilise une ligne à retard pour ne transmettre, à chaque instant, qu'un seul des deux signaux de chrominance, en alternant séquentiellement l'un et l'autre signal de ligne à ligne.

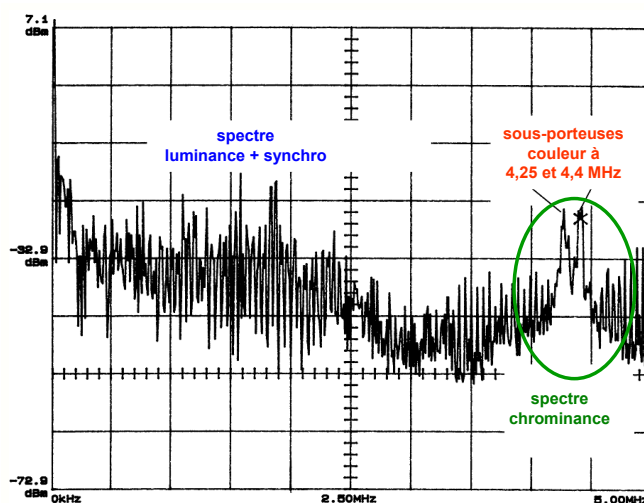
Cela est obtenu en modulant, en fréquence, une onde sous-porteuse. Afin d'éviter tout risque d'erreur, une fréquence de sous-porteuse différente est attribuée à chaque couleur (4,40 MHz et 4,25 MHz).

Le SECAM est un procédé remarquable, sans aucun doute plus solide et moins exigeant que ses concurrents mais qui souffre, cependant, de certains inconvénients, notamment, pour la manipulation des images. Il n'a été adopté (certainement pour des raisons politiques) que par les pays d'Afrique francophone, les pays de l'Est et ceux du Moyen Orient.

Exemple de signal composite SECAM



Spectre associé



Depuis l'extinction de la diffusion hertzienne, remplacée par la TNT, le SECAM a été abandonné au profit du PAL.

5) Tableau récapitulatif

standard	fréquence des sous-porteuses couleur	modulation	remarques
NTSC	B-Y : $f_c = 3,579545 \text{ MHz}$ R-Y : $f_c = 3,579545 \text{ MHz}$ (déphasée de $+90^\circ$)	AM sans porteuse	- on transmet simultanément R-Y et B-Y - les deux sous-porteuses sont de même fréquence mais déphasées - des déphasages parasites durant la transmission faussent souvent les couleurs à l'arrivée - d'où l'appellation humoristique Never The Same Color !
PAL	B-Y : $f_c = 4,433619 \text{ MHz}$ R-Y : $f_c = 4,433619 \text{ MHz}$ (déphasée de $\pm 90^\circ$)	AM sans porteuse	- le PAL est une amélioration du NTSC (sous-porteuse de R-Y déphasée de $+ \text{ ou } - 90^\circ$ une ligne sur deux) - on transmet simultanément R-Y et B-Y - meilleur rendu des couleurs
SECAM	B-Y : $f_{B-Y} = 4,2500 \text{ MHz}$ R-Y : $f_{R-Y} = 4,40625 \text{ MHz}$	FM	- SECAM = Séquentiel à mémoire - on ne transmet qu'une couleur par ligne (l'autre couleur est prise de la ligne précédente) $\Rightarrow$ pas de mélange des couleurs - bon rendu des couleurs