

Chapitre 1

Rappels sur la télévision analogique

1.1. Histoire de la télévision

Depuis ses débuts modestes, il y a moins de 100 ans, l'industrie de la télévision est devenue une partie importante de la vie de la plupart des habitants du monde développé, fournissant sans doute la plus grande source d'information à ses téléspectateurs. Le premier véritable système de télévision a été démontré par John Logie Baird dans les années 1920. La BBC a lancé le premier service régulier de télévision (en noir et blanc) haute définition au monde le 2 novembre 1936 en utilisant un système entièrement électronique.

D'autres expériences ont été menées au cours de la décennie suivante, conduisant à des émissions d'essai en Europe et aux États-Unis, et finalement au service de télévision régulier que nous connaissons aujourd'hui. À l'origine, seules les images monochromes étaient prises en charge. La télévision couleur a été introduite aux États-Unis en 1954 et en Europe en 1967.

1.2. Normes colorimétriques pour la vidéo couleur

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 choisie : les couleurs primaires, celles que l'on ne peut pas obtenir par « le mélange des autres ».

1.2.1. 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 de deux couleurs primaires donne les couleurs secondaires :

- rouge + vert =jaune.
- rouge + bleu= magenta.
- bleu + vert=cyan.

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

1.1.1. Synthèse soustractive des couleurs

En synthèse soustractive, les couleurs primaires généralement utilisées sont : 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).

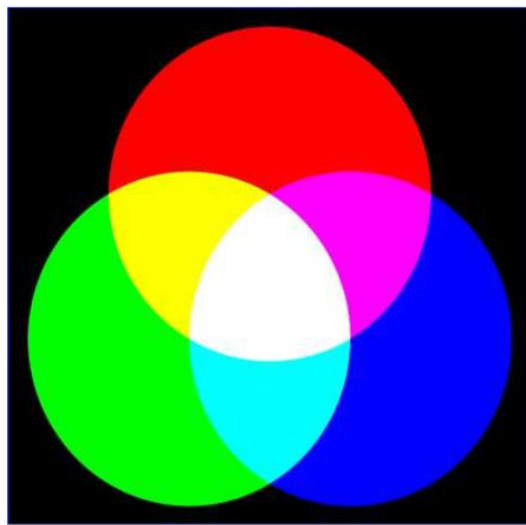


Figure 1.1 : (a) synthèse additive des couleurs (b) synthèse soustractive des couleurs

L'addition de deux couleurs primaires donne les couleurs secondaires :

- cyan + jaune = vert
- cyan + magenta = bleu (bleu-violet)
- jaune + magenta = rouge (rouge vermillon).

La synthèse soustractive est utilisée en imprimerie (cartouches des imprimantes). En pratique on y ajoute souvent le noir.

1.2. Le signal vidéo analogique

1.2.1. 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 qui lui est proportionnel.



Figure 1.2 : Image noir & blanc et son signal correspondant

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 (luminance maximale NG=255).
- Un signal à 50% = une représentation de pixel gris moyen (NG=128).
- Un signal à 0% = une représentation de pixel noir (NG=0).

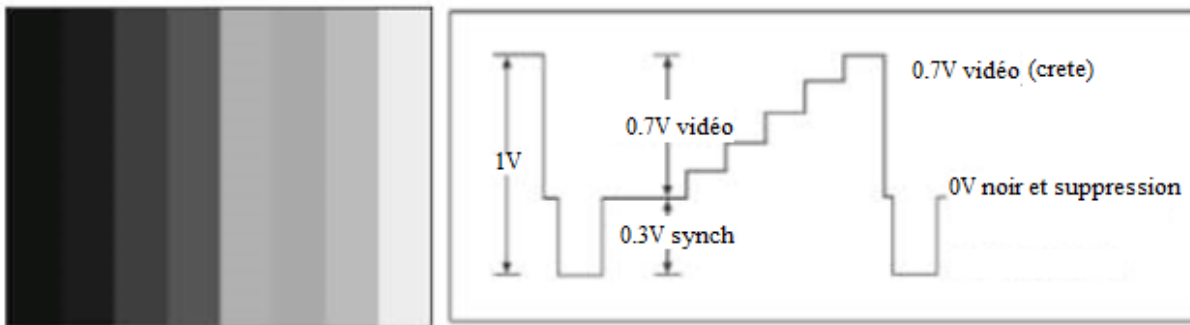


Figure 1.3 : Une mire à l'échelle du gris et son signal vidéo correspondant.

Le signal Noir & 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).

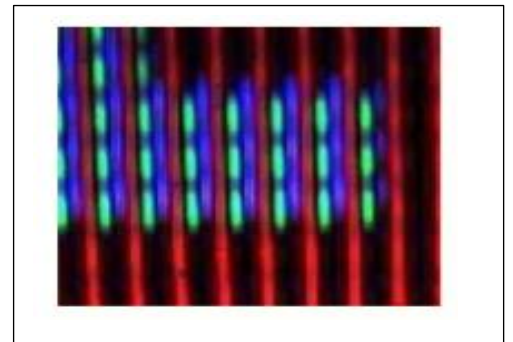


Figure 1.4 : Zoom sur un écran

Cela veut dire que l'image d'un système de télévision 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, bleus et vert.

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 spécifiques à l'image, sans la déformer. 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 synchronisation, et qui va synchroniser l'affichage des lignes et des images sur le dispositif d'affichage. Il est en effet primordial de reconstituer l'image convenablement au moment de la reconstitution.

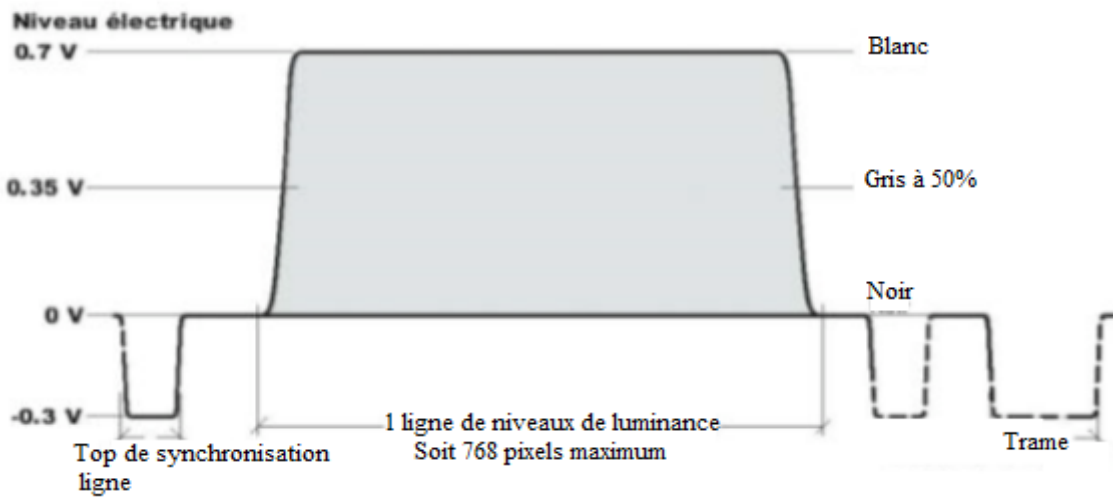


Figure 1.5 : Signal vidéo monochromatique

Les caractéristiques temporelles du signal vidéo N&B sont :

- durée totale d'une ligne 64 μ s .
- durée de la partie active (affichée) 52 μ s.

Exemples de signaux vidéo N&B visualisés par oscilloscope :

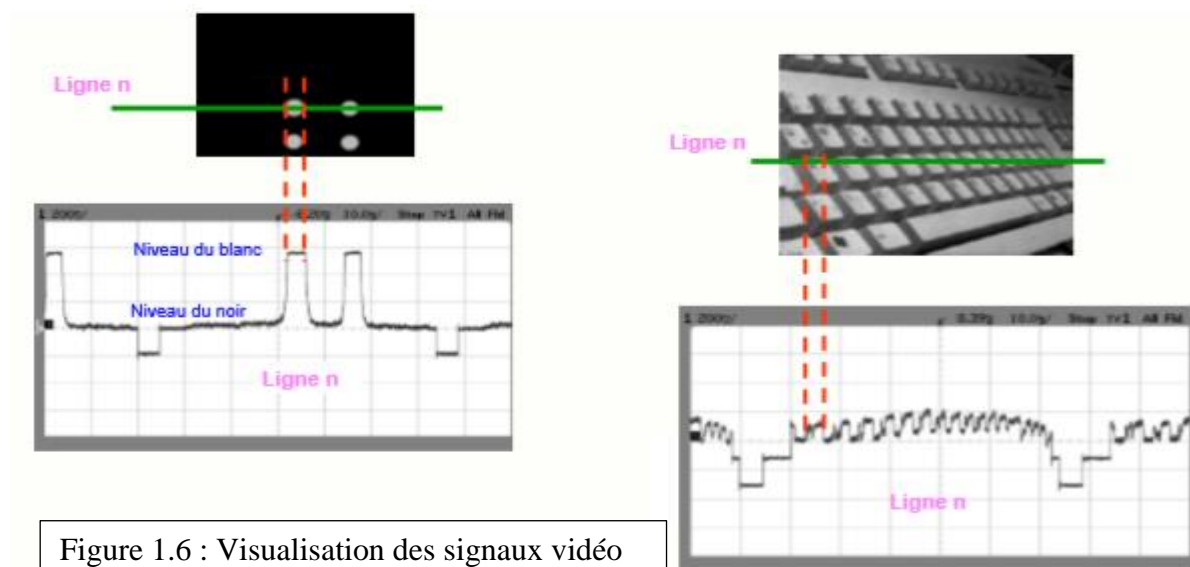
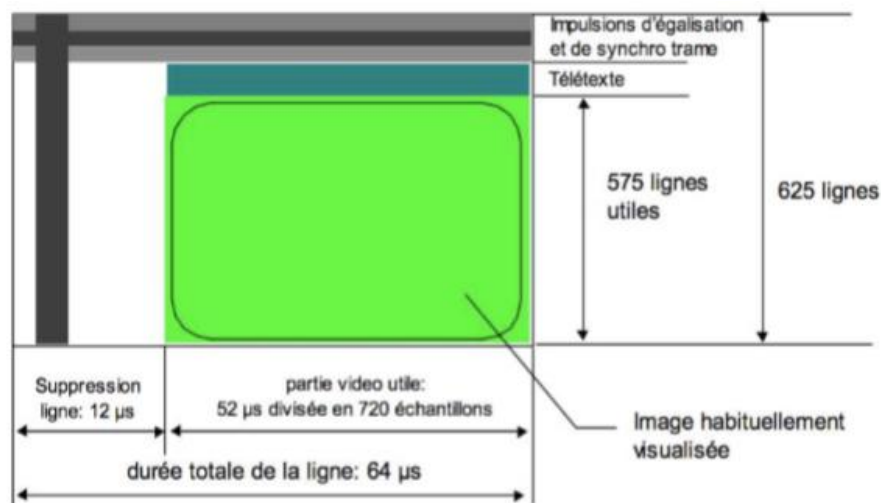


Figure 1.6 : Visualisation des signaux vidéo

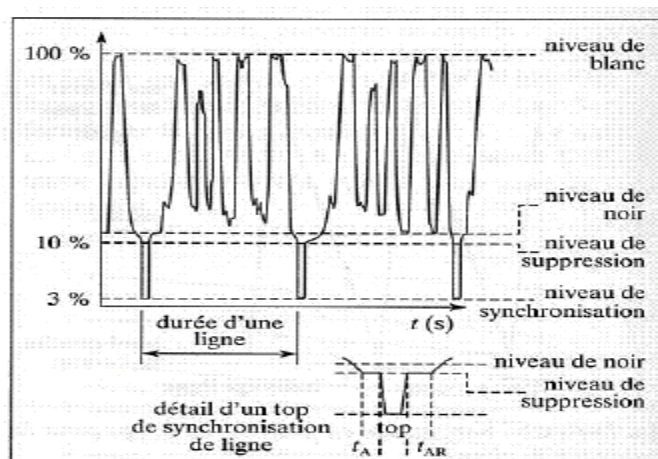
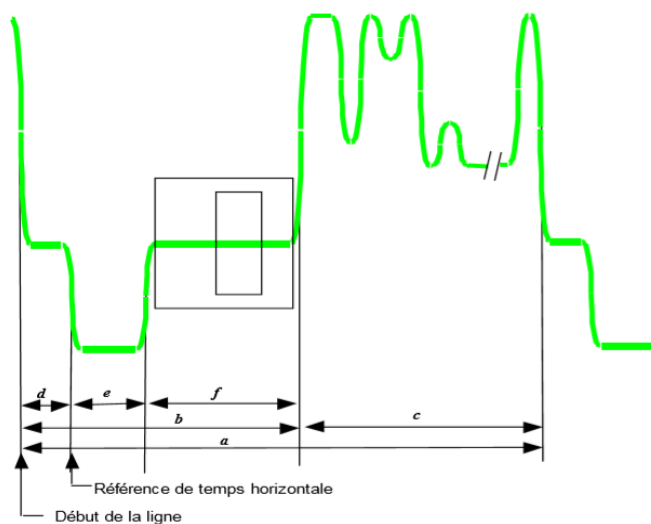
1.2.2. Synchronisation

Une partie du signal est ainsi « consommée » par des données de synchronisation (voir fig 1.7 et 1.8). On les insère durant les intervalles de suppression, lorsque le faisceau d'électron se positionne pour afficher la prochaine ligne.

Figure 1.7 : Affichage et synchronisation



Sur une ligne complète on retrouvera le découpage suivant :

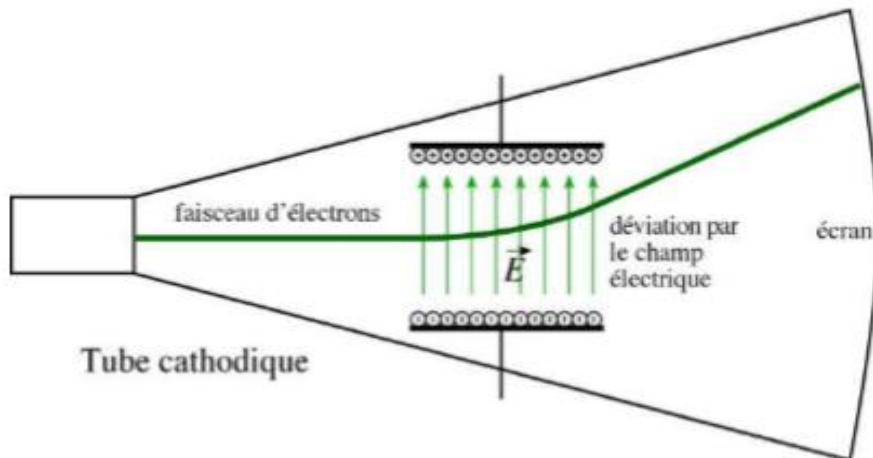


12. Signal vidéo composite de deux lignes successives. Dans le système standard français, $t_A = 1,4 \mu$ s, $t_{top} = 4,8 \mu$ s et $t_{AR} = 5,4$ à $6,4 \mu$ s.

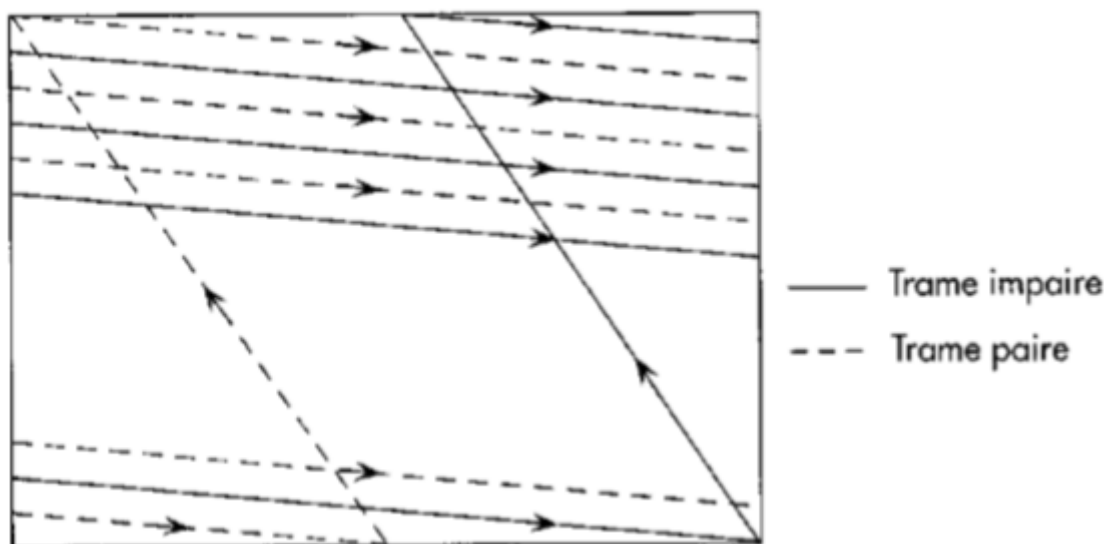
Repère	Paramètre	Europe	USA/Japon	Unité
1/a	Fréquence de ligne <i>Horizontal frequency</i>	15 625	15 750 (15 734,264)	Hz
a	Durée nominale de la ligne <i>Nominal horizontal duration</i>	64	63,5 (63,556)	μ s
c	Durée nominale de la ligne utile <i>Nominal active line duration</i>	52	52, 5	μ s
b	Durée nominale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

1.2.3. 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.

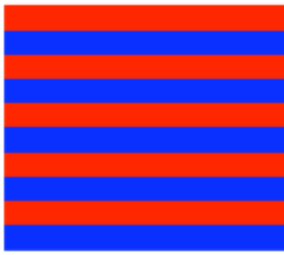
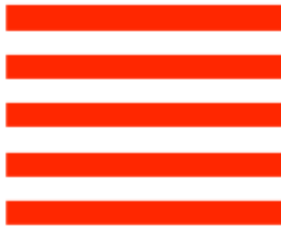


Image complète



Lignes impaires



Lignes paires

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.

1.2.4. La vidéo RVB(RGB)

Pour passer du moniteur noir & blanc au moniteur couleur, le système de télévision va s'appuyer sur les 3 couleurs primaires Rouge, Vert et 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 trois signaux distincts après analyse de l'image.

Pour l'image ci-dessous on a :

- 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 l'image).

Pour des raisons de commodité, on fait souvent référence à une image normalisée qui sert de référence appelée « la mire de barre »

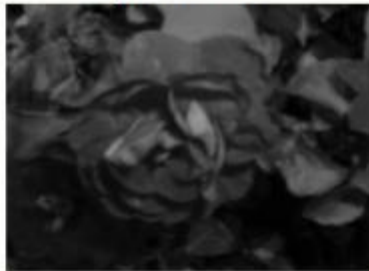
Soit une image couleur et ses 3 composantes primaires RGB



Composante rouge



Composante verte



Composante blue



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 RGB. On parle de luminance.

1.2.5. Le signal YUV

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

$$Y = 0,30 R + 0,59 G + 0,11 B \cong 0,30 R + 0,6 G + 0,1 B$$

$$U = B - Y = 0,9B - 0,6G - 0,3R$$

$$V = R - Y = 0,7R - 0,6G - 0,1B$$

Ou ;
$$\begin{aligned} Cb &= 0.564 (B - Y) \\ Cr &= 0.713 (R - Y) \end{aligned}$$

La luminance (Y) représente le signal Noir & Blanc de l'image vidéo. 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 recomposition mathématique grâce à Y, B et R pour ensuite être afficher au final en R, G, B. Le format YUV est le format privilégié de transport et de stockage de la vidéo pour les raisons suivantes :

- Il conserve une compatibilité avec les postes Noir & 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.

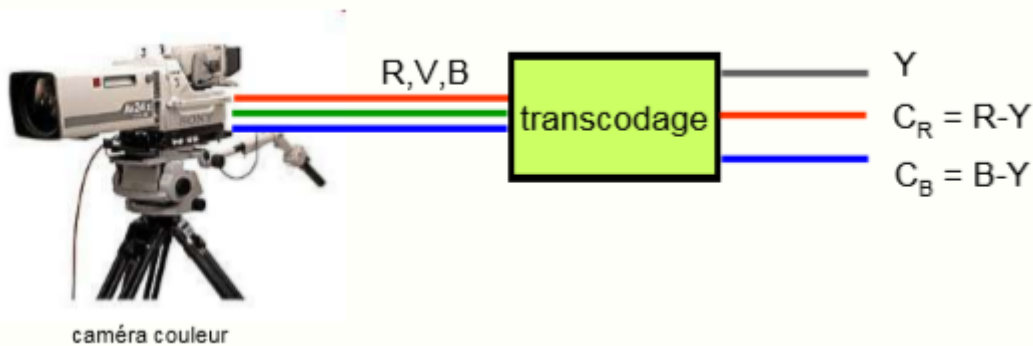


Figure : Transcodage des 3 signaux primaires de la chrominance

Il existe une variante appelée Y Pb Pr qui normalise la valeur des coefficients pour la chrominance, on trouvera ainsi différente appellation YUV, YDrDb, YCbCr... pour représenter un codage colorimétrique de ce type.

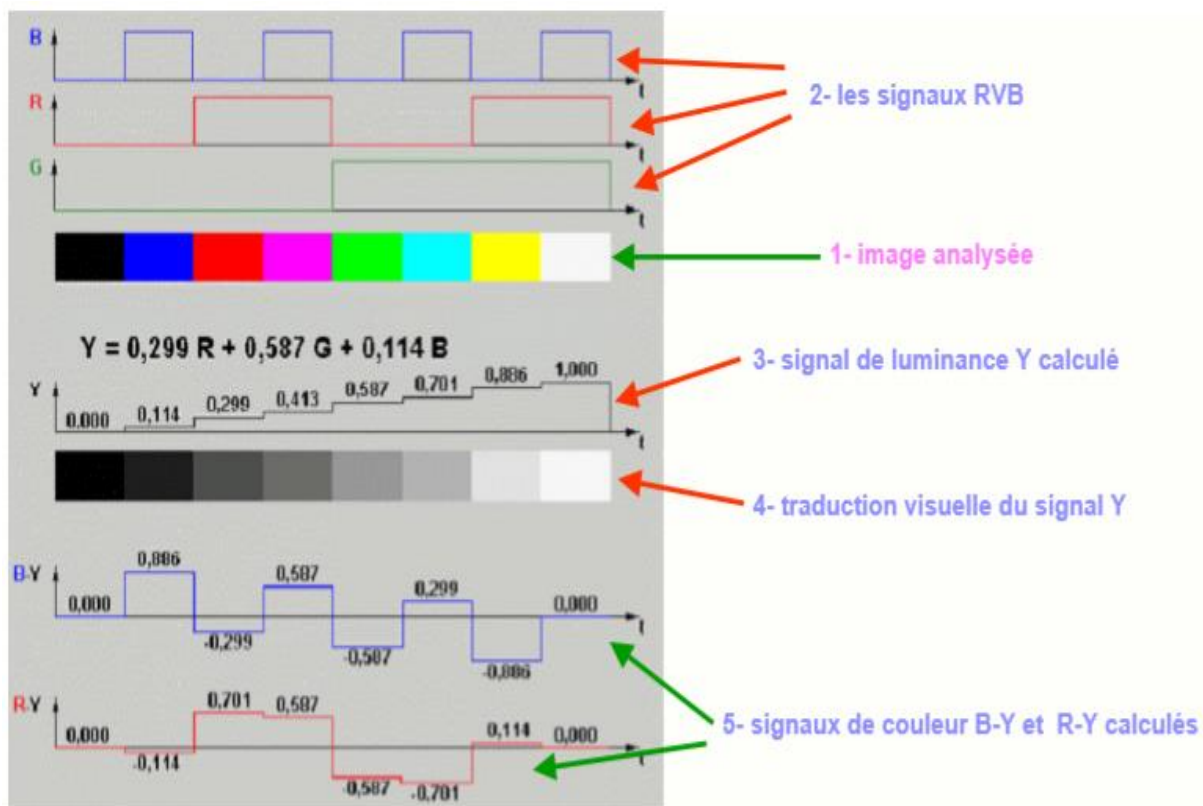
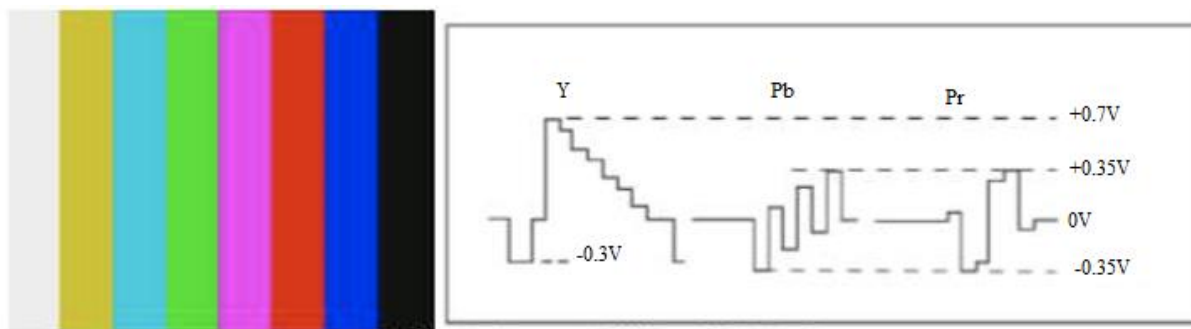


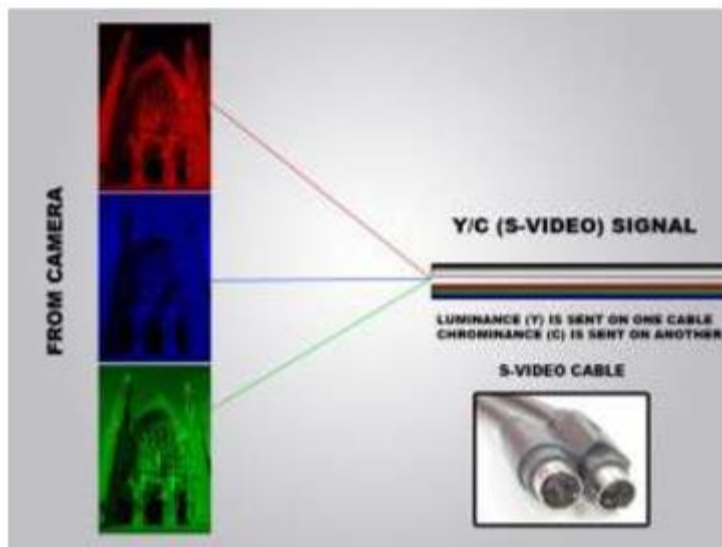
Figure : Signaux Y,Pb et Pr correspondant aux lignes d'une mire de barre de couleur

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 dédié qui convertit les signaux d'un mode à l'autre en tenant compte des coefficients associés.

1.2.6. 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...



1.2.7. Le signal vidéo 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 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...

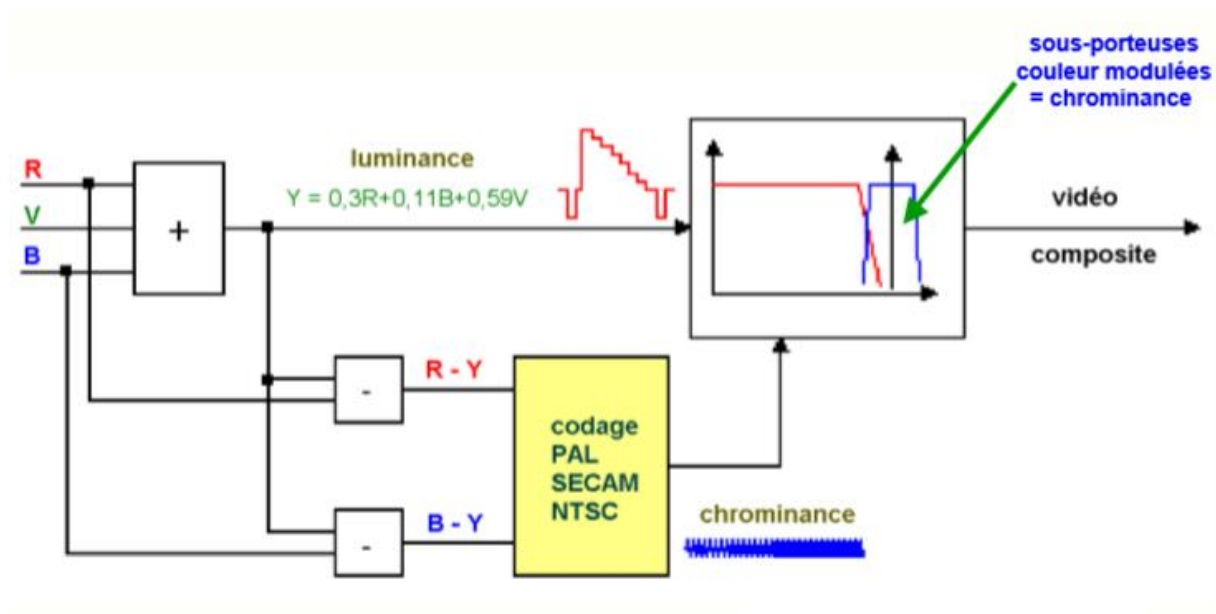
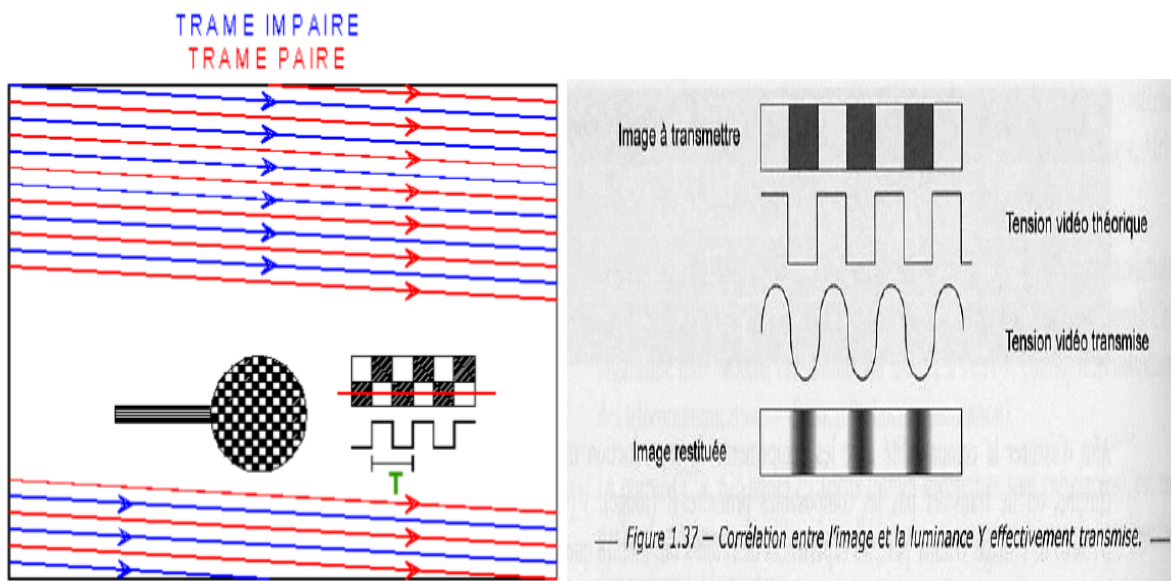


Figure : Génération du signal vidéo composite

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 alternés noir blanc noir blanc....etc.



— Figure 1.37 — Corrélation entre l'image et la luminance Y effectivement transmise. —

Sachant qu'à chaque période on commande 2 pixels, et qu'une ligne est parcourue en $64\mu s$, la période la plus petite possible est de :

$$T = 64 / (833/2) = 0,154\mu s$$

$$F = 1 / T = 1 / 0,154 = 6,5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

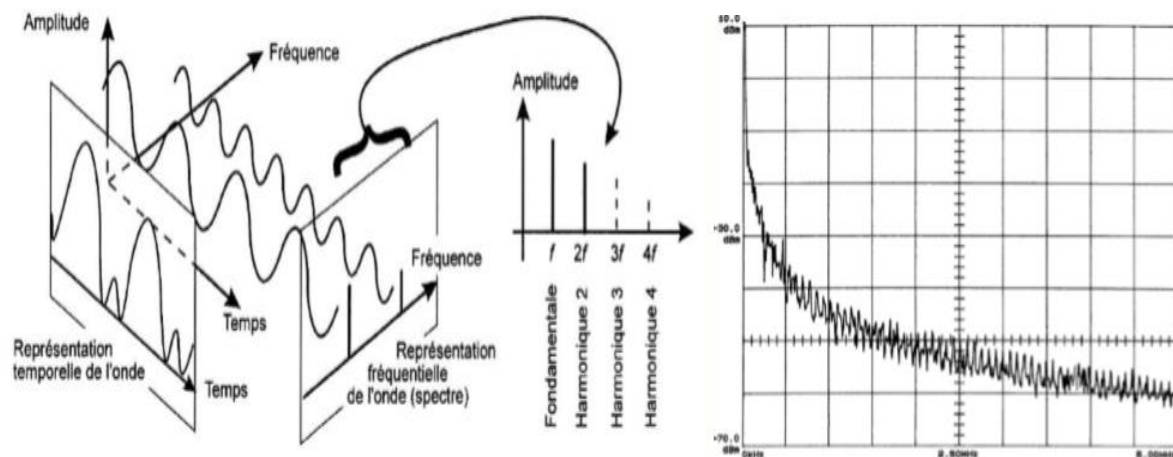
Avec le standard 625 lignes, la fréquence maximale à transmettre est de 6MHz. Cela signifie que la fréquence du signal pourra varier, mais sans dépasser la valeur de 6MHz. En fait cette valeur peut être légèrement corrigée et ramenée à 6MHz, pour les normes françaises

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 $13/2=6,5\text{Mhz}$.

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 Fourier.

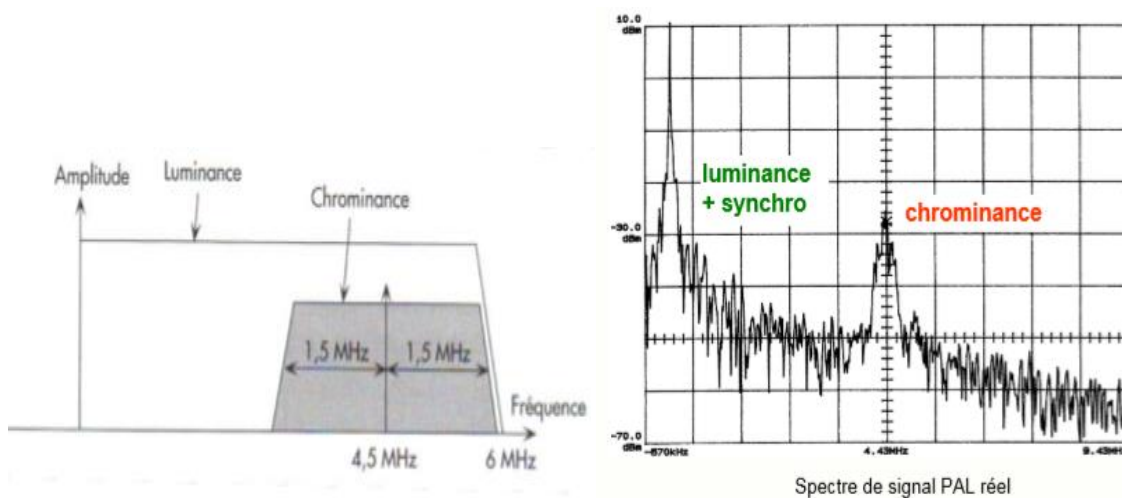


Voici une représentation du spectre réel d'un signal N&B réel.

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...

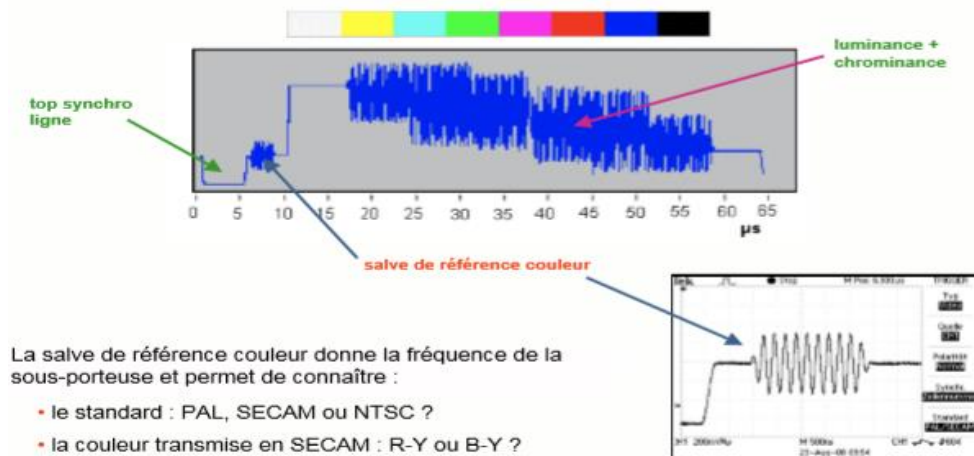
On sait en effet que l'œil est beaucoup moins sensible à la couleur qu'à la lumière. Il ne reste plus qu'à insérer les informations de chrominance dans le signal de luminance en passant par une modulation sur une **sous porteuse**.

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

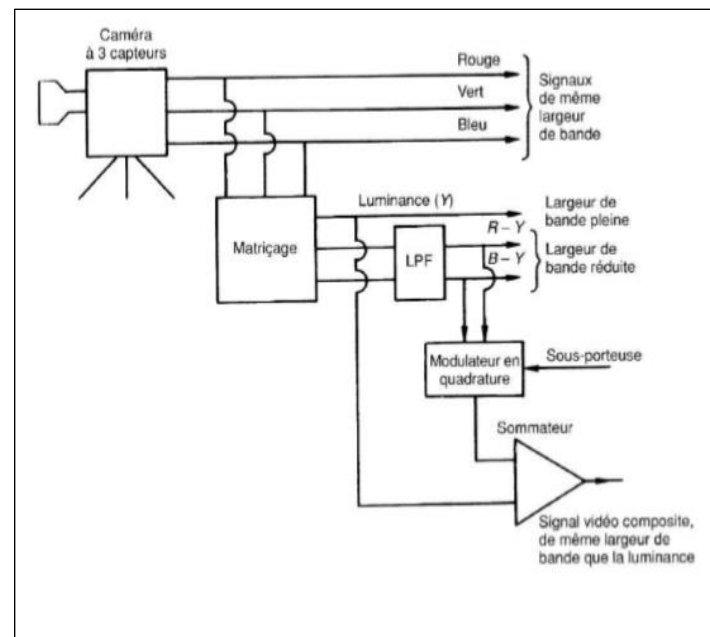
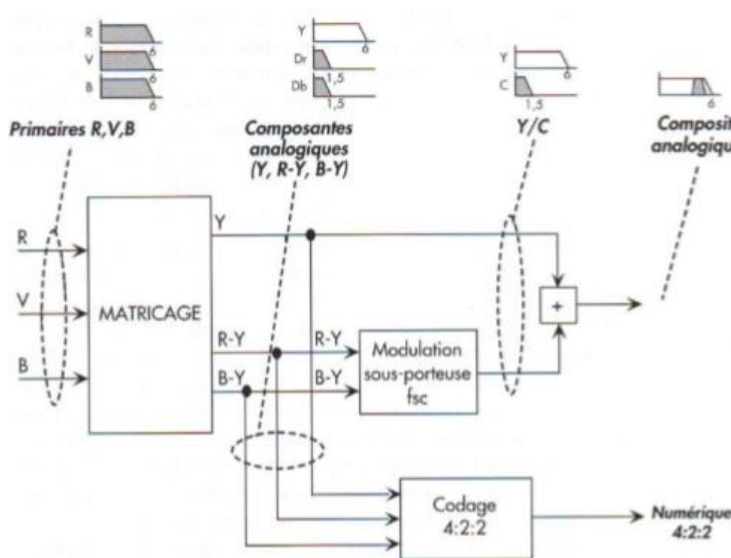


Pour dissocier les signaux lors de la restitution, on utilisera un filtre.

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



1.2.8. Schémas récapitulatifs



1.3. Les différents standards de diffusion en télévision

1.3.1. Le NTSC

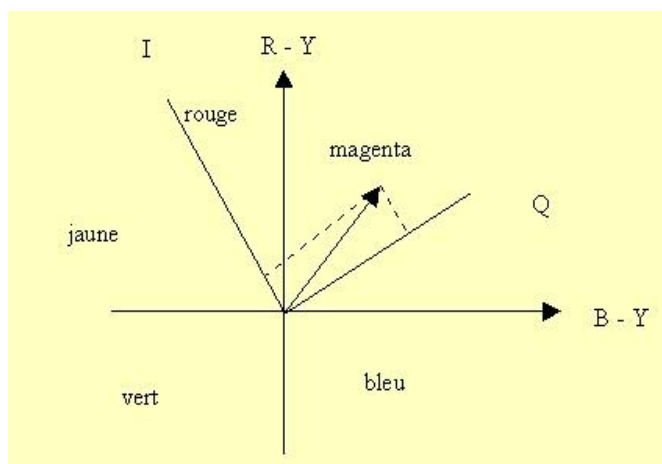
Historiquement, ce sont les américains qui sont à l'origine du premier système de TV couleur : c'est en effet dès 1954 que sont apparus les premiers équipements de prise de vues, transmission et réception basés sur un principe extrêmement ingénieux mais fort complexe édicté par le National Television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

Caractéristiques : 30 images par secondes, 525 lignes.
Largeur du canal 6MHz. Bande passante vidéo 4,2MHz.

Il utilise une sous porteuse à 3,579MHz ($455 * \text{fréquence ligne}/2$) ; elle est modulée en amplitude avec suppression de porteuse par le signal B-Y ; la sous porteuse en quadrature (déphasée de 90°) module quant à elle le signal différence R-Y. (équivalence à une modulation QAM par deux signaux I et Q).

En réalité les signaux modulant sont des combinaisons linéaires de R- Y et B- Y et correspondent à une rotation des axes de modulation de 33° par rapport à la phase de la salve de référence (axe B – Y).

Il en résulte un vecteur dont la phase représente la teinte et l'amplitude la saturation de la couleur. Cette sous porteuse est reconstituée au niveau du récepteur grâce à la salve (ou burst) – cf. Signal vidéo ci-dessus.



Ce principe de modulation est très sensible aux écarts de gain et de phase dans la chaîne de traitement et de transmission. Ces écarts se répercutent irrémédiablement sur la couleur transmise. (d'où l'appellation Never Twice Same Color)

1.3.2. 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 $-180^\circ + 45^\circ = -135^\circ$.

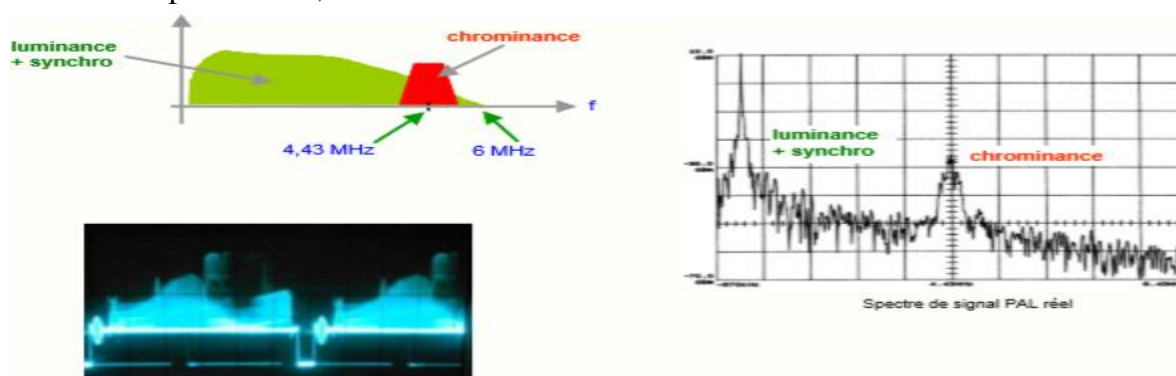


Figure : Spectre du signal composite PAL

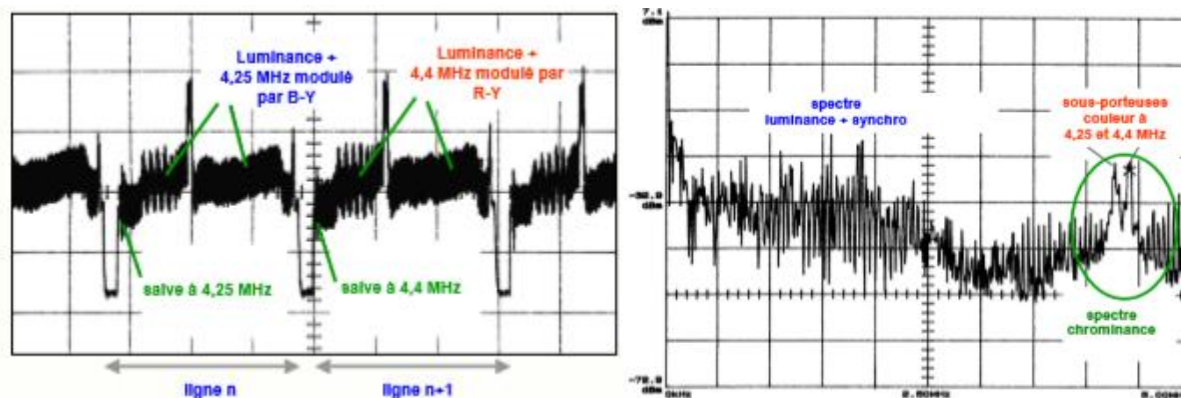
Le PAL est un excellent système de codage, particulièrement bien adapté aux truccages et autres manipulations d'images pour lesquels les équipements grand public ou professionnels sont d'une mise au point plus simple que pour le SECAM. Le système PAL, outre qu'il a été adopté par tous les autres pays 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.

1.3.3. Le SECAM

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.

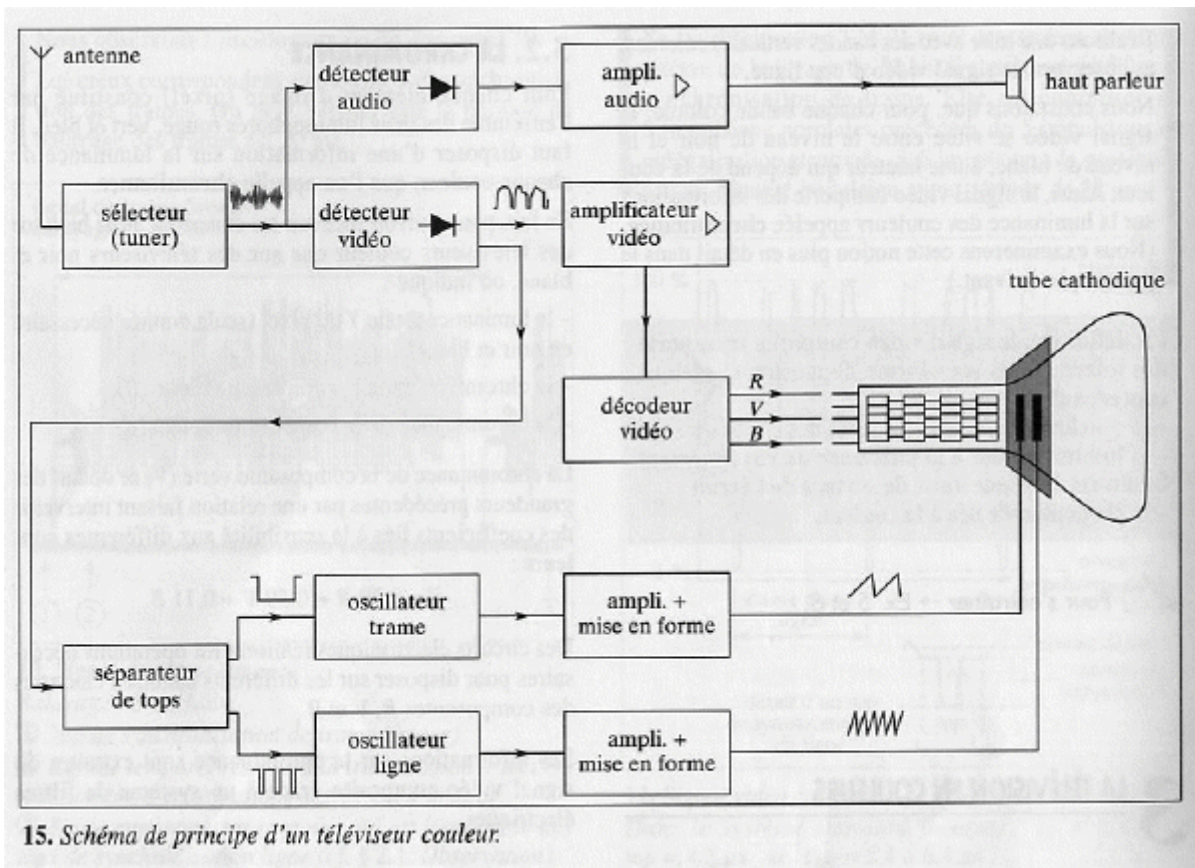
Exemple de signal composite SECAM et son spectre associé



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

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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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



Travail à envoyer sous forme d'un exposé personnel :

Citer les bandes et canaux de transmission pour la télévision analogique.

Remarque : en cas où le travail, est une copie d'un document , d'un site web ou d'un autre travail de vos collègues, il ne sera pas corrigé.