



# Le signal vidéo et la télévision



---

Jean-Philippe MULLER

Décembre 2000

## Sommaire

### Le signal vidéo N et B

- 1) La prise de vue
- 2) La reproduction de l'image
- 3) Le principe du balayage entrelacé
- 4) Amélioration de l'image par balayage à 100 Hz
- 5) Les signaux de balayage
- 6) Les signaux de synchronisation ligne et trame
- 7) Allure des signaux de synchronisation
- 8) Bande passante du signal vidéo N&B
- 9) Spectre de la luminance pour une image fixe
- 10) Spectre de la luminance pour une image animée

### La couleur dans le signal vidéo

- 11) Introduction de la couleur et compatibilité N&B
- 12) Le tube TV couleur
- 13) Le procédé de codage couleur NTSC
- 14) Le décodeur NTSC
- 15) Le procédé de codage couleur PAL
- 16) Spectres de signaux codés PAL
- 17) Le décodeur couleur PAL
- 18) Le procédé de codage couleur SECAM
- 19) Spectre d'un signal codé SECAM
- 20) Les préaccentuations dans le standard SECAM
- 21) Le décodeur SECAM

### Les circuits de la télévision

- 22) Structure de l'émetteur TV
- 23) Structure du récepteur TV
- 24) L'émission TV en stéréophonie
- 25) Principe du codage de son NICAM
- 26) Ajout du son NICAM à une émission TV
- 27) Les différents standards TV dans le monde

### Annexe : la mire de couleurs PAL

## 1) La prise de vue en noir et blanc :

La structure actuelle du signal vidéo est étroitement lié à l'histoire de la télévision, en particulier aux dispositifs de prise de vue et d'affichage de l'image.

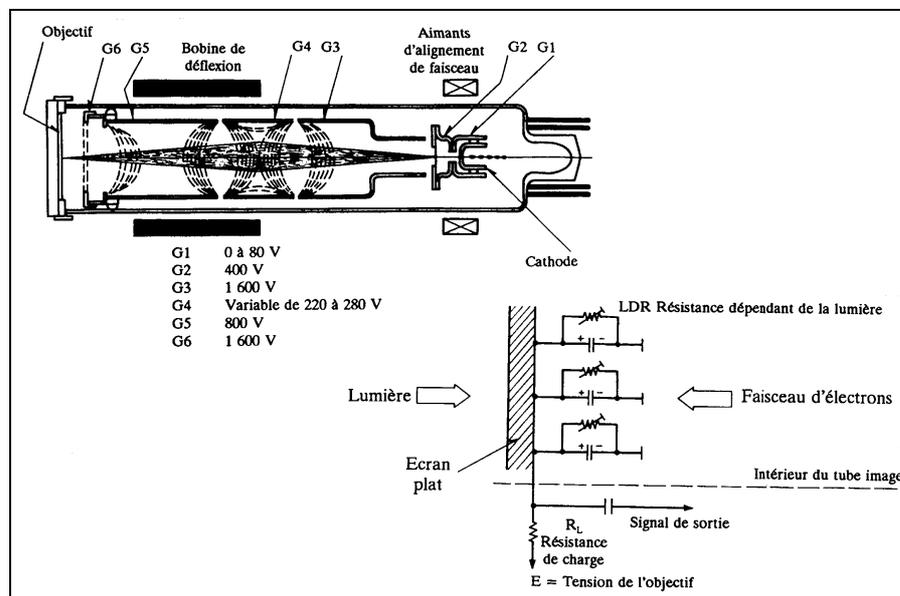
L'image noir et blanc est analysée en appréciant la luminance (caractère clair ou sombre) des différentes parties qui la composent.

Pour arriver à ce résultat, le traitement effectué dans le dispositif de prise de vue est le suivant :

- un système de lentilles projette l'image sur l'écran du tube d'analyse
- un faisceau d'électrons issu d'une cathode frappe la cible par l'arrière
- le spot est finement concentré et dimensionne ainsi un point d'analyse de luminance
- ce spot se déplace horizontalement et verticalement selon des lignes pour balayer toute l'image
- la face arrière du tube est recouverte d'un matériau photosensible
- ce matériau, au départ du ZnS ou Zn<sub>3</sub>Sb, a été remplacé par un réseau de photodiodes
- le courant qui sort de la cathode est proportionnel à cette luminance
- on recueille aux borne d'une résistance l'amplitude instantanée du signal vidéo

Un balayage linéaire déplace horizontalement le spot. A cette ligne correspond un signal électrique Y qui reflète, en fonction du temps, la variation de luminance constatée par le spot en se déplaçant.

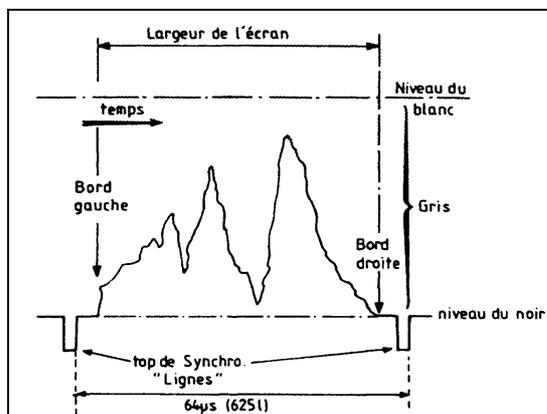
Figure 1.  
Structure du tube de prise de vues.



Arrivé à un bord de la cible, le balayage reprend à la ligne inférieure. Le nombre de lignes empilées est aujourd'hui quasiment un standard et vaut **625 lignes**.

A la sortie du tube de prise de vue, on dispose donc d'un signal qui retrace ligne par ligne l'évolution des gris d'une mince tranche d'image.

Figure 2.  
Allure du signal de luminance pour une ligne

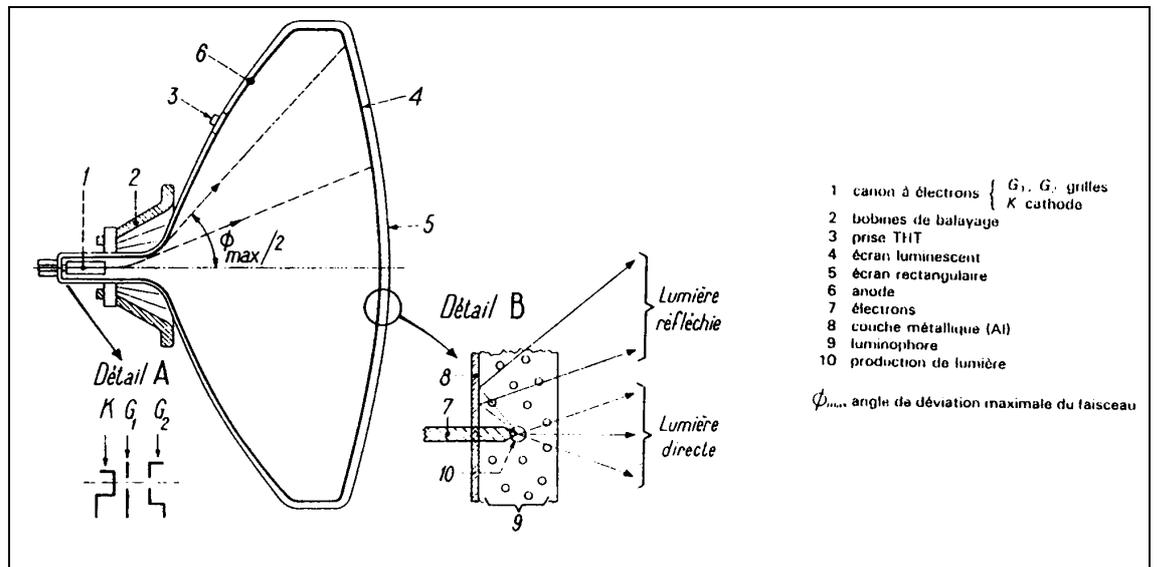


Ce signal est encadré de tops de synchronisation qui précisent la position des bords gauche et droite de l'écran.

## 2) La reproduction de l'image :

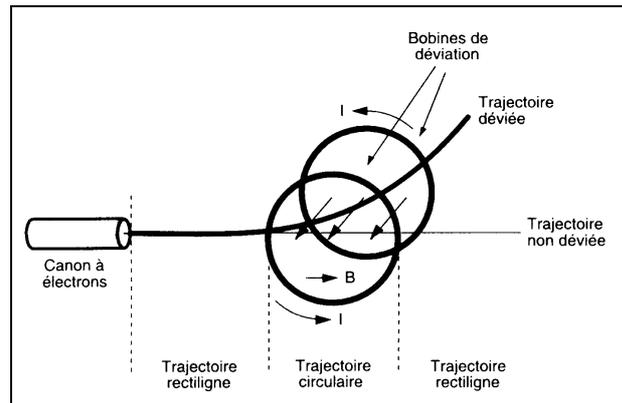
Une image de télévision est constituée par l'empilage des 625 lignes. Elle est créée par un tube cathodique dont l'écran est balayé régulièrement ligne par ligne par le faisceau.

Figure 3.  
Principe du tube cathodique noir et blanc



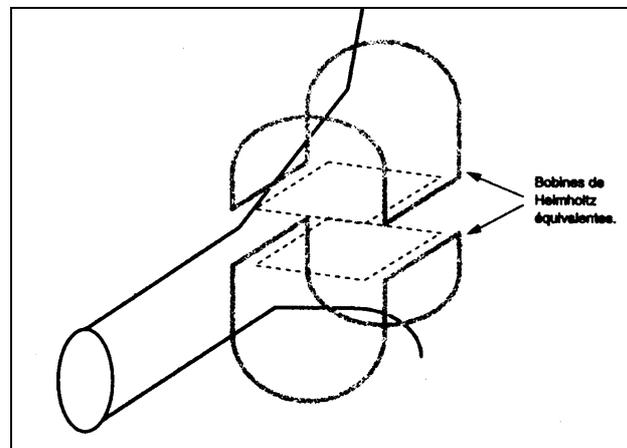
Le balayage de l'écran par le faisceau électronique est obtenu en déviant ce faisceau par un champ magnétique créé par les bobines de balayage.

Figure 4.  
Principe de la déviation du faisceau par un champ magnétique.



Ces bobines ne sont pas circulaires, mais de forme particulière appelée « selle-tore » et sont placées sur le col du tube cathodique.

Figure 5.  
Les bobines de déviation « selle-tore ».



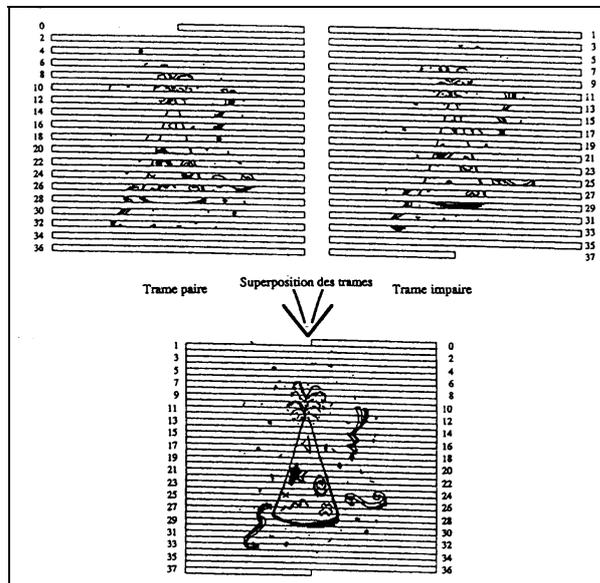
Le tube est équipé de deux bobines de déviation, l'une assurant la déviation du faisceau dans le sens horizontal et l'autre dans le sens vertical.

### 3) Le principe du balayage entrelacé :

Avec une image qui se compose ligne par ligne et non vue par vue comme au cinéma, un sentiment de gêne apparaît pour les zones non encore tramées par le faisceau cathodique qui se traduit par un scintillement.

Pour supprimer ce défaut, on divise l'image en deux trames, la trame paire composée par les lignes paires et la trame impaire composée par les lignes impaires et on dessine successivement sur l'écran les deux trames.

Figure 6.  
Exemple de balayage entrelacé avec deux fois 18,5 lignes

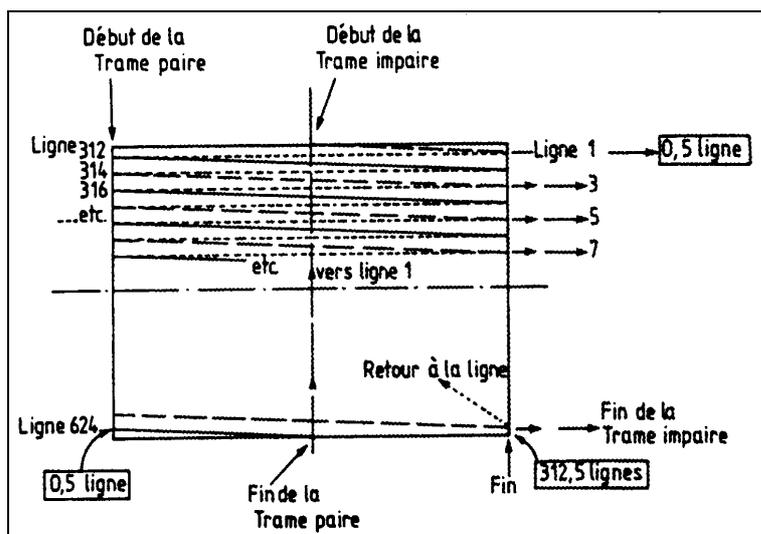


Quand l'image est entrelacée le bas de l'image est plus vite tramé et deux fois par image : le scintillement est très atténué sinon supprimé complètement.

Le balayage de l'écran se fait - presque - horizontalement à partir du milieu de l'écran, pour la première trame dite impaire. Comme l'image est entrelacée le premier balayage décrit 312,5 lignes, la première demi-ligne constituant la première ligne impaire.

Quand le spot arrive au bord inférieur droit, il revient au bord supérieur gauche et la première ligne de la trame paire vient s'intercaler entre la première demi-ligne et la ligne 3. La trame paire se termine par une demi-ligne avant de passer à l'image suivante en commençant à nouveau par le milieu de l'écran et ainsi de suite, image par image.

Figure 7.  
Le balayage entrelacé en télévision.



Ce moyen met en œuvre une fréquence de composition de l'image égale à 50 Hz (conforme au réseau alternatif); mais grâce à l'entrelacement la répétition réelle de la trame a lieu à raison de 25 images par secondes ce qui correspond sensiblement au défilement des films cinématographiques 35 mm qui a lieu à 24 images/sec.

#### 4) Amélioration de l'image par balayage à 100 Hz :

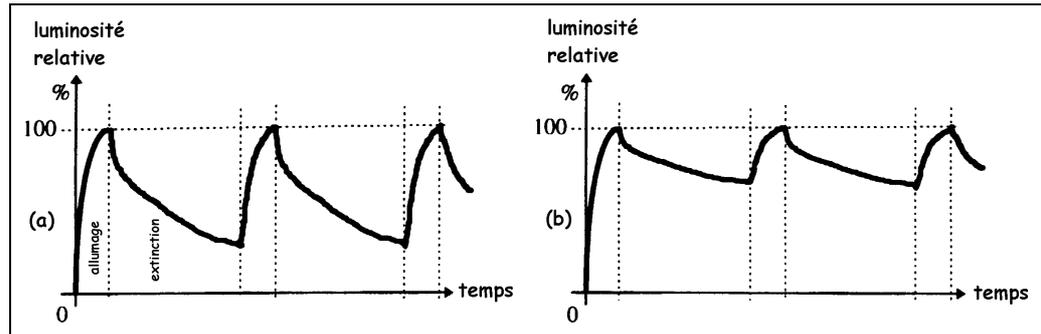
Avec le balayage standard décrit précédemment, chaque point de l'écran voit passer le faisceau électronique toutes les 40 ms.

Pour un écran de taille courante ( 51 cm ) l'écran est balayé à une vitesse de l'ordre de 10 000 m/s, soit 36 000 km/s, ce qui est considérable !

Les photophores doivent l'illuminer de façon quasi instantanée sous l'impact des électrons, et leur durée d'extinction naturelle doit être bien maîtrisée :

- si le photophore s'éteint trop vite après le passage du spot, l'image est peu lumineuse et « clignote », ce qui est assez désagréable à l'œil
- si le photophore s'éteint trop lentement, on a un effet de rémanence apparaissant lorsque les personnages ou les objets se déplacent rapidement sur l'écran

Figure 8.  
Photophores à rémanence courte (a) et longue (b).



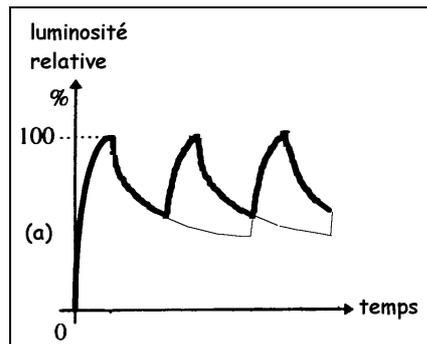
Le fabricant de tubes cathodiques doit donc trouver le bon compromis entre vitesse de balayage de l'écran ( imposée par le standard 625 lignes, 25 images /seconde ) et rémanence des photophores.

Pour améliorer le confort visuel en diminuant le papillotement et en augmentant la luminosité, une solution mise en œuvre dans les téléviseurs « haut de gamme » est le doublement de la fréquence de balayage trame qui passe de 50 Hz à 100 Hz :

- dans un téléviseur traditionnel, une image est composée de 2 trames et elle est dessinée sur l'écran en 40 ms.
- dans un téléviseur 100 Hz, on dessine durant le même temps 4 trames, soit deux images

Chaque photophore est donc excité deux fois plus souvent, ce qui permet d'utiliser des photophores à rémanence relativement courte et élimine tout effet de traînage. L'image est aussi plus lumineuse.

Figure 9.  
Excitation des photophores dans un téléviseur 100 Hz.



L'opération n'est pas simple , puisqu'elle implique les opérations suivantes :

- échantillonnage du signal vidéo
- mise en mémoire du signal vidéo correspondant à deux trames
- lecture de la mémoire à une vitesse deux fois plus élevée
- balayage horizontal et vertical deux fois plus rapides

Cela explique la différence de prix relativement importante( de l'ordre de 1000 F) entre un téléviseur classique et un téléviseur 100 Hz.

Les meilleurs téléviseurs 100 Hz actuels n'affichent pas deux fois les mêmes trames, mais font une interpolation entre les trames par calcul numérique , ce qui permet d'avoir des mouvement plus « fluides ».

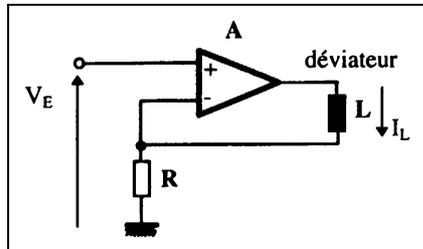
## 5) Les signaux de balayage :

L'alimentation des bobines de balayage nécessite des circuits particuliers à cause de l'intensité du courant nécessaire et de sa vitesse de variation.

Pour le **balayage frame**, il faut alimenter la bobine de balayage vertical par une rampe de courant de période relativement lente ( 20 ms ).

Le bobinage est alimenté par un amplificateur de puissance attaqué par un signal  $V_e(t)$  en rampe.

Figure 10.  
production du  
signal de  
balayage frame.

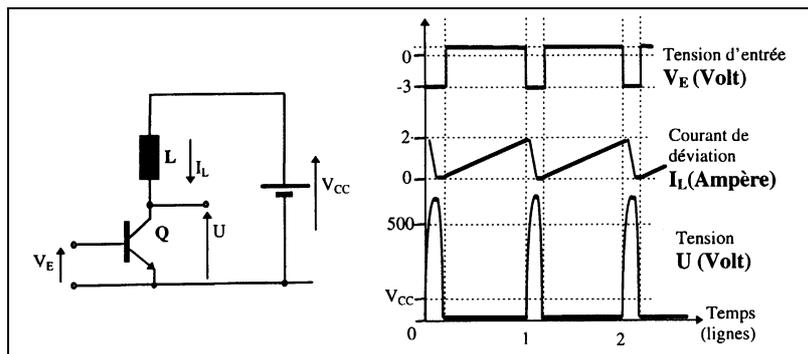


La production de la dent de scie du courant de **balayage ligne** est beaucoup plus délicate, car la période de la rampe est nettement plus faible ( 64µs ).

La production de la rampe utilise l'inductance L de la bobine de déviation. En effet, une bobine d'inductance L alimentée par une tension  $V_{cc}$  est traversée par un courant  $I_l$  tel que :

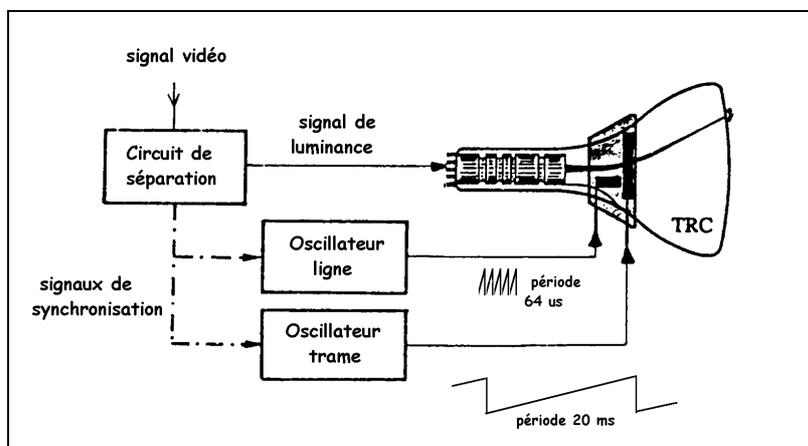
$$V_{cc} = L \frac{dI_l(t)}{dt} \quad \text{soit} \quad I_l(t) = \frac{V_{cc}}{L} t + I_0$$

Figure 11.  
Production du  
signal de  
balayage ligne.



Les pointes de tension apparaissant lors du blocage du transistor seront utilisées par le transformateur THT pour produire la très haute tension ( quelques 15 à 25 kV ) nécessaires pour accélérer les électrons.

Figure 12.  
Extraction des  
signaux de  
synchronisation  
du signal vidéo..



Les circuits produisant les rampes de balayage ligne et frame sont des oscillateurs qui fonctionnent en synchronisme avec le balayage de la caméra de prise de vue. C'est la raison pour laquelle le signal vidéo contient des **signaux de synchronisation ligne et frame**.

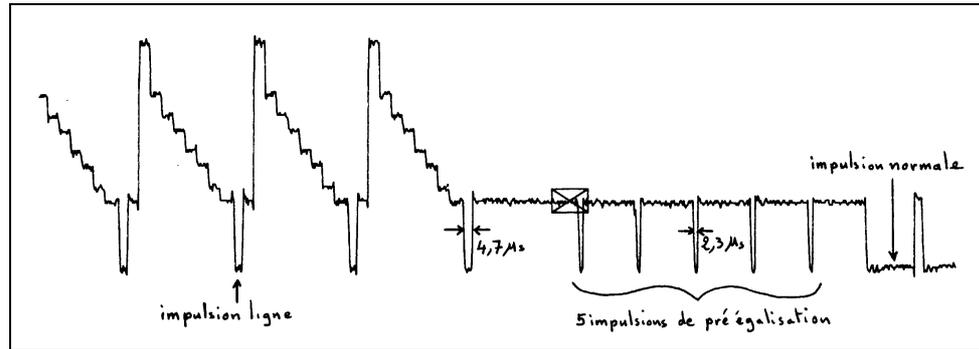
**Remarque :** dans un téléviseur 100 Hz, les rampes de balayage sont deux fois plus rapides.



## 7) Allure réelle des signaux de synchronisation :

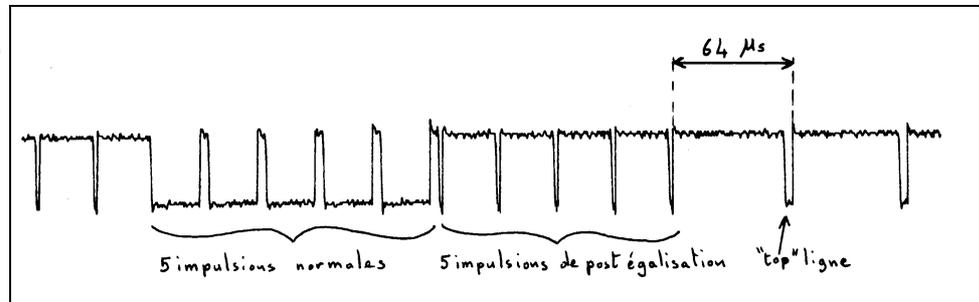
A la fin d'une trame paire, le signal vidéo comprend 5 impulsions de pré-égalisation de largeur 2,3  $\mu\text{s}$  avant la séquence correspondant au top trame proprement dit.

Figure 15.  
Signal vidéo à la fin de la trame paire.



Les 5 impulsions « normales » de largeur 27  $\mu\text{s}$  suivant les impulsions de pré-égalisation constituent la séquence du top trame et sont suivies de 5 impulsions de post-égalisation.

Figure 16.  
La séquence « top trame ».



Il y a 2 façons de distinguer une trame paire d'une trame impaire :

- la durée entre la dernière impulsion de post-égalisation et le premier top ligne ( 32 ou 64  $\mu\text{s}$  )
- la trame paire commence par une demi-ligne et la trame impaire par une ligne entière

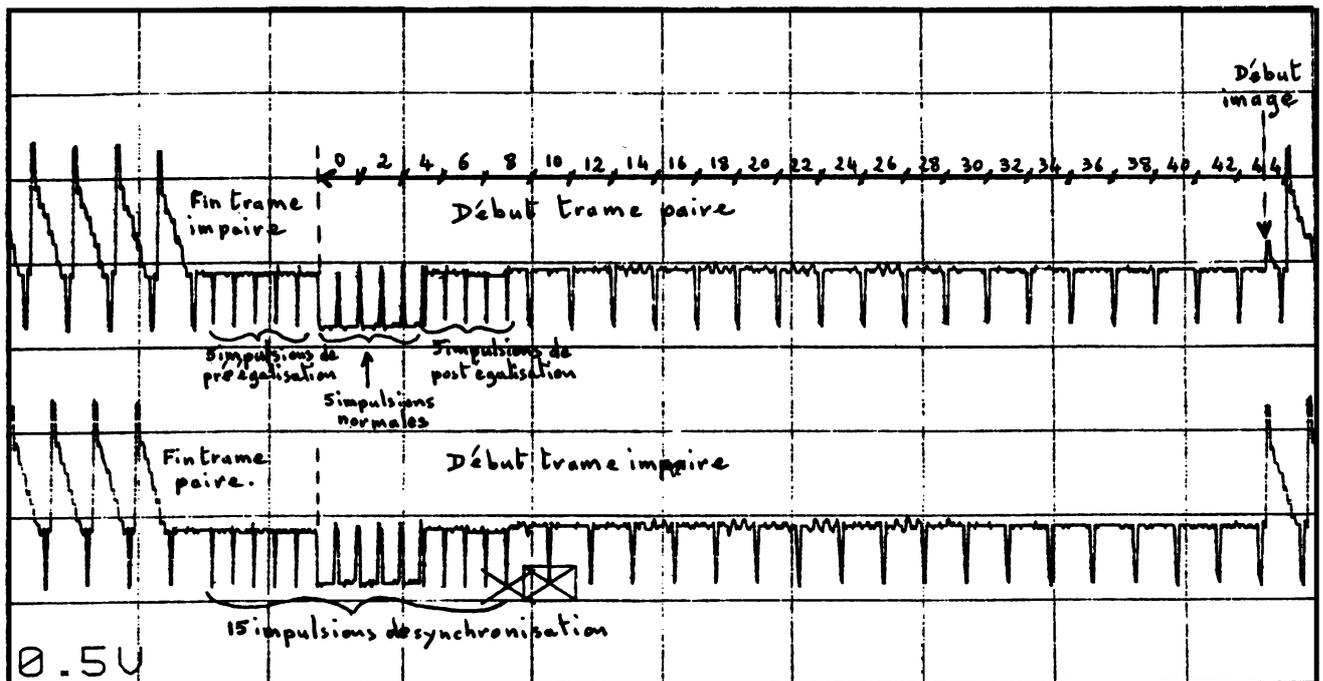


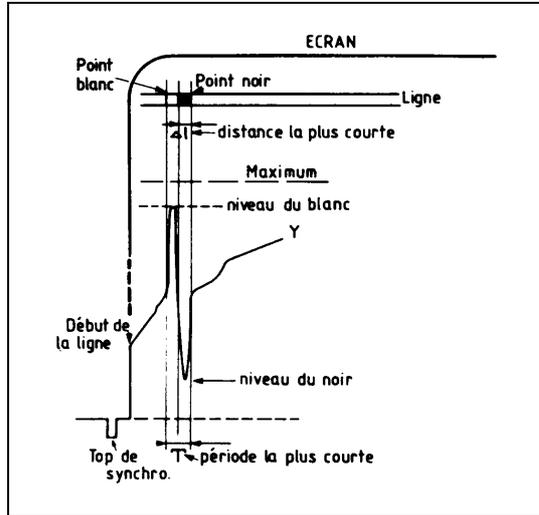
Figure 17. Allure du signal vidéo entre les trames.

## 8) Bande passante du signal vidéo N&B :

A chaque valeur du signal vidéo correspond une nuance de gris comprise entre le blanc et le noir. Il faut souligner que la valeur de cette luminance évolue le long d'une ligne comme s'il s'agissait d'une suite de points placés côte à côte.

Plus le point est fin, plus l'image a de définition : on peut rapprocher cette notion de celles développées en imprimerie pour reproduire les photographies. celles-ci sont constituées d'une juxtaposition de points plus ou moins gris.

Figure 18.  
Relation entre image à l'écran et forme du signal vidéo.



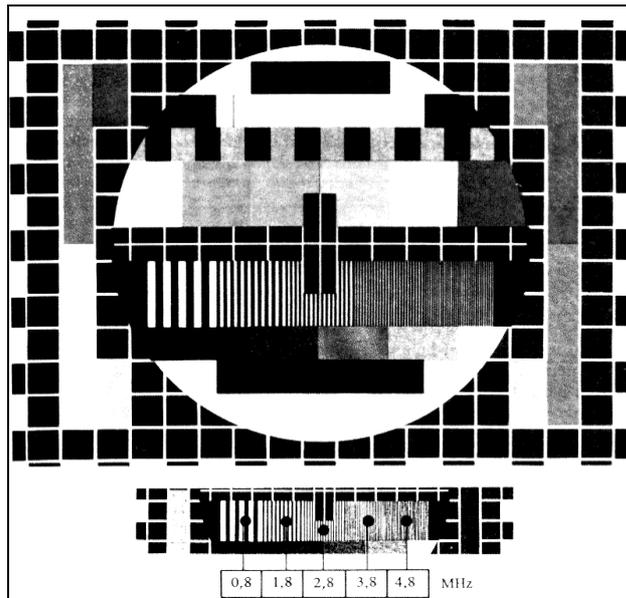
Ce rapprochement nous permet de définir la fréquence vidéo la plus forte - c'est-à-dire la période la plus courte - nécessaire pour « impressionner » sur l'écran le point le plus petit décelable par un observateur placé à une certaine distance d'un écran TV de dimensions connues .

Dans cette représentation sont vus côte à côte un point brillant puis un point noir, ce qui se traduit par un signal de luminance sinusoïdal de fréquence maximale :

$$f_{vmax} = 3,3 \text{ MHz}$$

Ce calcul simple donne la bande vidéo en dessous de laquelle il ne faut pas tomber pour que l'image soit visible. Mais, si elle est visible, elle n'est pas agréable car les contours ne sont pas tranchés.

Figure 19.  
Les composantes de fréquence élevée dans la mire.



Le **standard français** permet une largeur maximale de **6,5 MHz** pour le spectre vidéo.

Il faut toutefois reconnaître avec honnêteté que le téléspectateur moyen n'est pas affecté par 15 à 20 % de bande en moins, ce qui donne des largeurs de 5,1 à 5,4 MHz justifiant à la fois tous les standards à 5,5 MHz d'inter porteuses et le standard anglais de 6 MHz d'inter porteuses.

## 9) Spectre de la luminance pour une image fixe :

Un signal vidéo correspondant à une image fixe est caractérisé par une double périodicité :

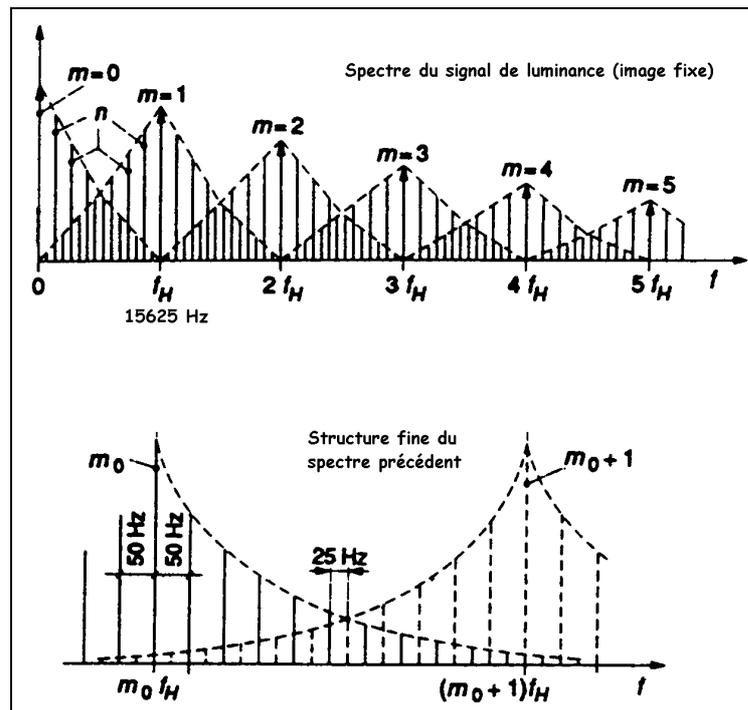
- les lignes se répètent toutes les 64  $\mu$ s, soit une fréquence de répétition de  $f_H = 15625$  Hz
- les trames se répètent toutes les 20 ms, soit une fréquence de répétition de  $f_V = 50$  Hz

Cette périodicité se retrouve dans le spectre du signal vidéo par l'apparition de raies caractéristiques des signaux périodiques.

Ce spectre est constitué par :

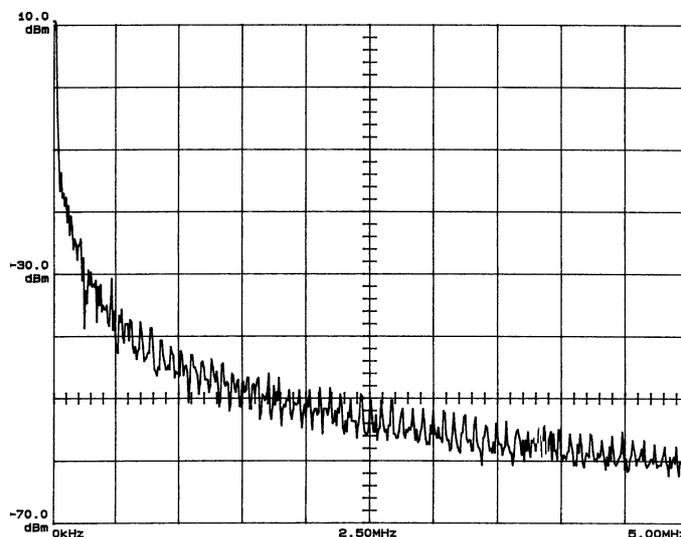
- une série de raies principales (liées aux lignes) aux multiples de  $f_H$  qui décroissent et deviennent négligeables au-delà de l'harmonique 300 environ ( $f_{vmax} = 5$  MHz)
- des raies secondaires (liées aux trames) entourant chaque raie principale écartées de  $f_V = 50$  Hz et décroissant rapidement

Figure 20.  
Structure de raies théorique du spectre de luminance.



En général la résolution de l'analyseur n'est pas suffisante pour séparer les raies écartées de 50 Hz et le spectre d'un signal vidéo noir et blanc, visualisé sur la gamme 0-5 MHz, a simplement une allure décroissante.

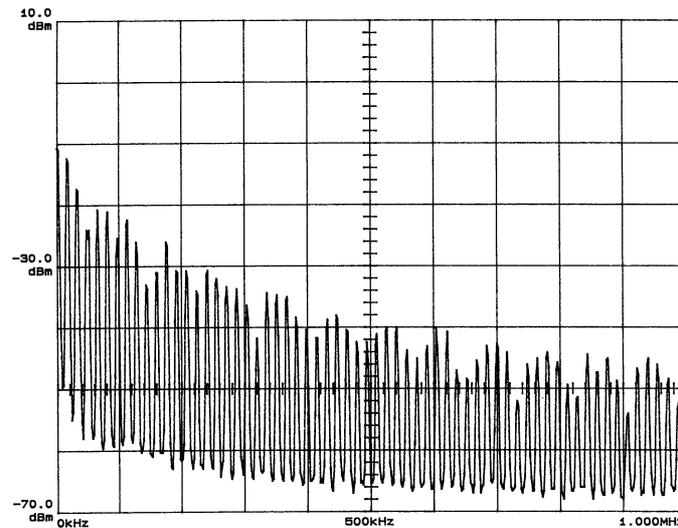
Figure 21.  
Allure réelle du spectre d'un signal vidéo issu d'une caméra N&B.



## 10) Spectre de la luminance pour une image animée :

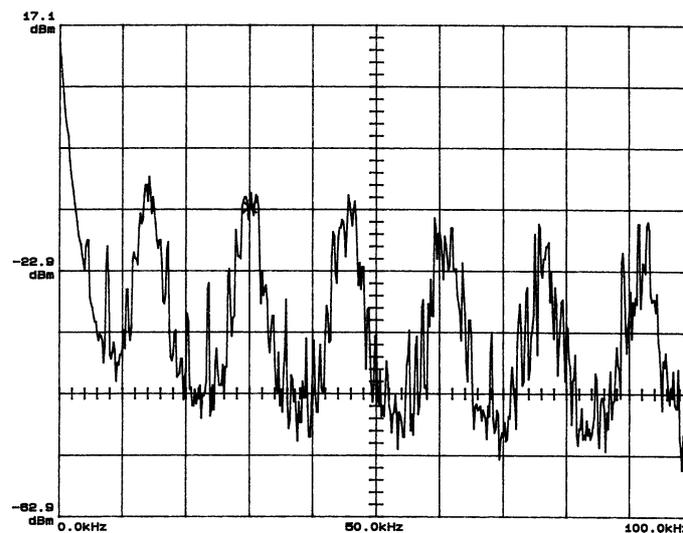
Si on observe plus finement le spectre du signal vidéo précédent, on peut mettre en évidence les raies liées à la fréquence ligne espacées de 15625 Hz .

Figure 22.  
Zoom sur le spectre de la figure 21.



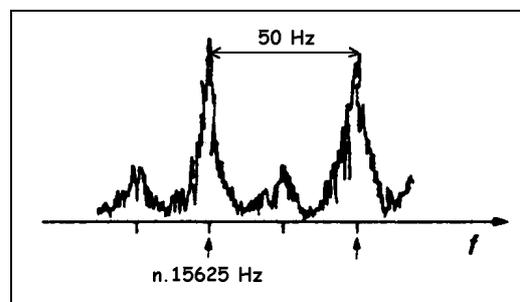
Si on se concentre sur l'allure du spectre autour d'une de ces raies, on arrive à deviner la structure des raies liées à la fréquence trame.

Figure 23.  
Zoom sur le spectre de la figure 22.



Lorsque l'image est une **image animée**, les raies précédentes s'élargissent légèrement, mais l'ensemble du spectre garde une structure de raies.

Figure 24.  
Elargissement des raies si l'image est animée.



En conclusion, nous pouvons dire que le spectre de la luminance :

- a assez nettement un caractère de spectre de raies
- contient des composantes jusqu'à 5 ou 6 MHz
- ces composantes décroissent assez régulièrement

## 11) Introduction de la « couleur » et compatibilité N&B :

La technique de la télévision couleur repose sur un grand nombre de travaux scientifiques dont on peut citer les plus importants :

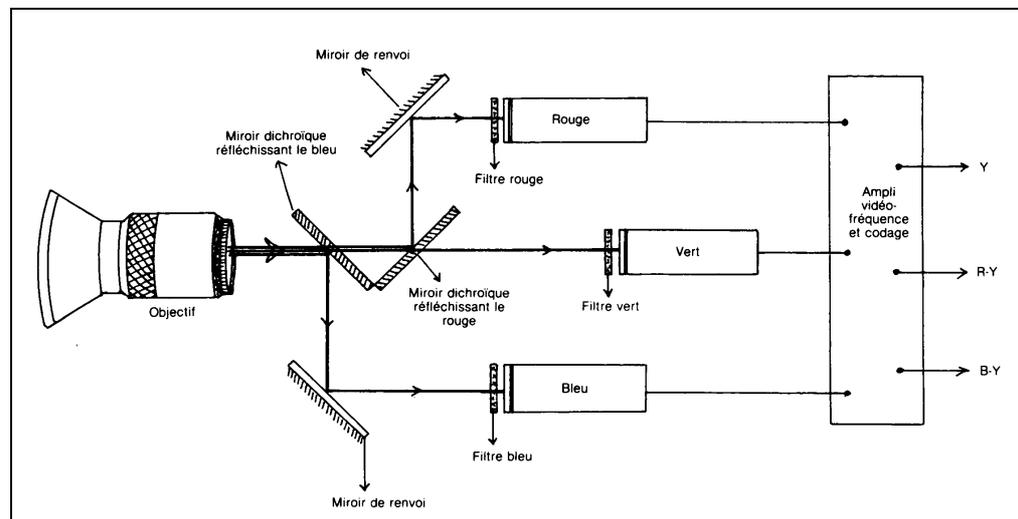
- le médecin et physicien anglais Thomas Young ( 1773-1829 ) met en évidence le fait que la rétine de l'œil perçoit les couleurs par une multitude de petits groupes de trois cellules en forme de « cônes » sensibles à la lumière rouge, bleue ou verte
- le physicien James Clark Maxwell (1831–1879 ), en utilisant 3 rayons rouge, bleu et vert avec des intensités variables, réussit du blanc et les couleurs complémentaires (magenta, cyan et jaune) : c'est la synthèse additive des couleurs
- le physicien allemand Hermann von Helmholtz ( 1821 – 1894 ) met en évidence le fait que chaque couleur est déterminée par 3 paramètres : la luminance, la saturation et la teinte

Toutes ces découvertes ont conduit à choisir, pour la télévision couleur, d'analyser l'image en fonction des 3 couleurs rouge, vert et bleu .

C'est aussi ces 3 couleurs qui seront transmises, avec des standards différents, vers le récepteur TV et affichés sur le tube cathodique.

Le dispositif de prise de vue est donc équipé de 3 tubes d'analyse et de filtres permettant de séparer les 3 couleurs RVB.

Figure 25.  
Structure du tube de prise de vue couleur.



Ajouter de la couleur à une image TV suppose la possibilité de recevoir celle-ci en noir et blanc sur les postes qui ne peuvent pas capter la couleur. Cela s'appelle la **compatibilité**.

Or en dosant judicieusement les lumières, on peut obtenir à peu toutes les nuances de couleurs avec l'intensité désirée, et même un blanc très acceptable par la combinaison :

$$Y = 0,3 R + 0,11 B + 0,59 V$$

En conséquence, il suffit de composer les signaux délivrés par trois tubes de prise de vue munis des filtres rouge, vert et bleu pour reconstituer le signal Y qui n'est rien d'autre que le signal de luminance de la télévision noir et blanc.

Dans une émission de TV couleur, on transmet donc le signal de luminance Y, un signal lié à la couleur rouge : R - Y, et un signal lié au bleu : B - Y.

On peut facilement retrouver, à la réception, les composantes R, V et B nécessaires au tube cathodique :

$$R = (R - Y) + Y \quad B = (B - Y) + Y \quad V = 1,695 Y - 0,5 R - 0,186 B$$

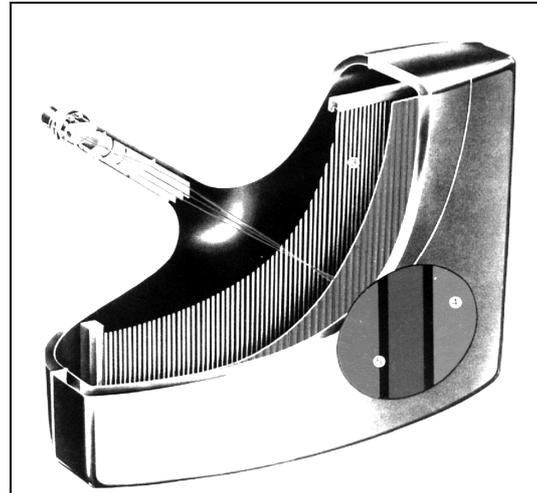
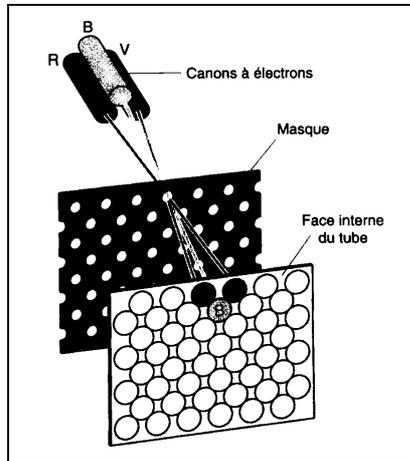
On n'insère pas directement les signaux de chrominance R et B, mais la différence entre la luminance et le signal couleur. Ainsi l'amplitude du résultat est faible devant celle de la luminance et cet aspect contribue encore à protéger cette dernière des moirages quand il s'agit d'observer l'image en noir et blanc.

## 12) Le tube TV couleur :

Partant du principe qu'il faut trois couleurs d'intensité lumineuse variable pour reconstituer toutes les nuances du spectre visible, il paraît justifié de placer trois canons à électrons dans un même tube cathodique.

Chaque canon doit s'intéresser à une couleur fondamentale et à une seule et le faisceau correspondant doit frapper l'écran en des endroits précis où la luminescence est à la même couleur.

Figure 26.  
Principe du tube à 3 canons : canons en triangle et masque à trous, canons en ligne et masque à fentes



Une unité de convergence concentre les trois faisceaux de telle sorte qu'ils se croisent exactement dans des trous ou fentes pratiqués sur un masque séparateur.

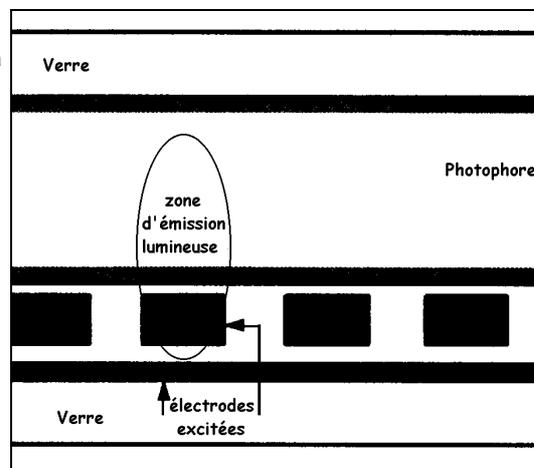
En se croisant les faisceaux vont frapper des pastilles de luminophore disposées verticalement en ligne, les vertes étant légèrement décalées dans certaines technologies.

Actuellement la solution des canons coplanaires à présentation en ligne des faisceaux (technique PIL ou « Précision IN LINE ») semblerait retenue le plus souvent.

A côté de ce tube cathodique de structure classique, on voit apparaître peu à peu des écrans dits « à **plasma** » qui ont l'avantage d'être beaucoup moins encombrants.

L'application d'une tension élevée entre deux électrodes placées dans une enceinte contenant un gaz sous faible pression crée une ionisation du gaz et permet la circulation des électrons et des ions. Il est possible d'utiliser ces électrons pour exciter des photophores

Figure 27.  
Principe du tube à plasma monochrome.



Pour un écran couleur, on peut mettre des photophores R, V et B en bandes verticales en triplant les lignes d'adressage vertical.

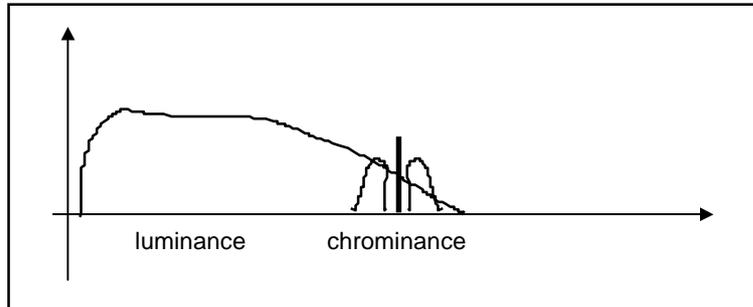
### 13) Le procédé de codage couleur NTSC :

Comme il faut rajouter les deux signaux de couleur rouge R-Y et bleue B-Y et qu'il n'y a qu'une seule voie chrominance, un codage doit être entrepris. C'est là qu'intervient le « système » et son originalité propre.

Dans tous les systèmes de télévision couleur, le signal de chrominance est placé dans le haut du spectre de luminance pour éviter d'augmenter l'encombrement spectral par rapport au signal N&B.

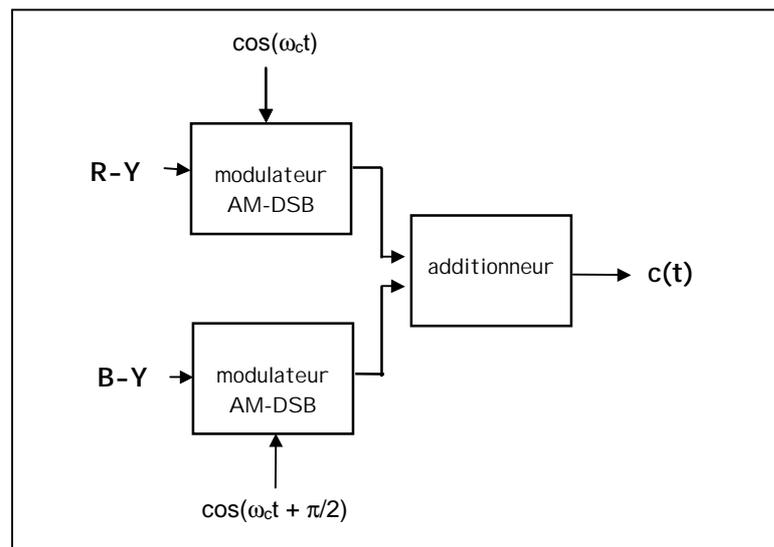
L'information de chrominance est portée par une sous-porteuse « chroma » modulée par le signal de couleur.

Figure 28.  
Allure générale du spectre du signal vidéo couleur.



Dans le **système américain NTSC** ( National Television System Comitee ), les signaux rouge et bleu modulent (en modulation d'amplitude sans porteuse) deux sous-porteuses chrominance de même fréquence  $f_c = 3,579545$  MHz et déphasées de 90 degrés.

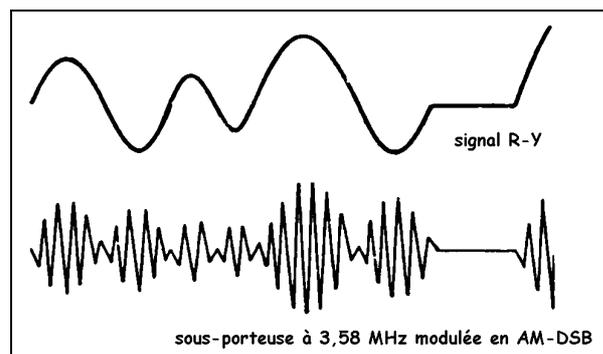
Figure 29.  
Production de la sous-porteuse couleur NTSC.



La porteuse couleur modulée en amplitude par les signaux R et B s'écrit :

$$c(t) = E.(R-Y) \cos(\omega_c t) + E.(B-Y) \cos(\omega_c t + \pi/2)$$

Figure 30.  
Allure de la sous-porteuse couleur NTSC modulée.

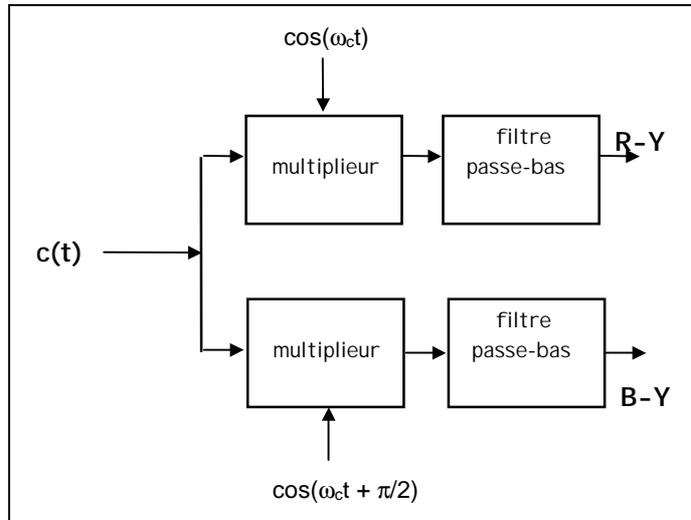


Le signal  $c(t)$  complet est la superposition de 2 sous-porteuses de ce type, l'une modulée par R-Y et l'autre par B-Y.

## 14) Le décodeur NTSC :

Pour extraire les couleurs de la sous-porteuse modulée, on utilise deux démodulateurs synchrones avec des réinjections de porteuse décalées de 90 degrés pour séparer les deux composantes R et B.

Figure 31.  
Structure du  
décodeur NTSC.



Après multiplication par les signaux synchrones et en quadrature, on obtient:

$$E.(R-Y) \cos(\omega_c t) \cdot \cos(\omega_c t) = 0,5 E.(R-Y) (1 + \cos(2\omega_c t))$$

et après filtrage passe-bas :  $0,5.E.(R-Y)$

De la même façon on pourra extraire le signal B-Y.

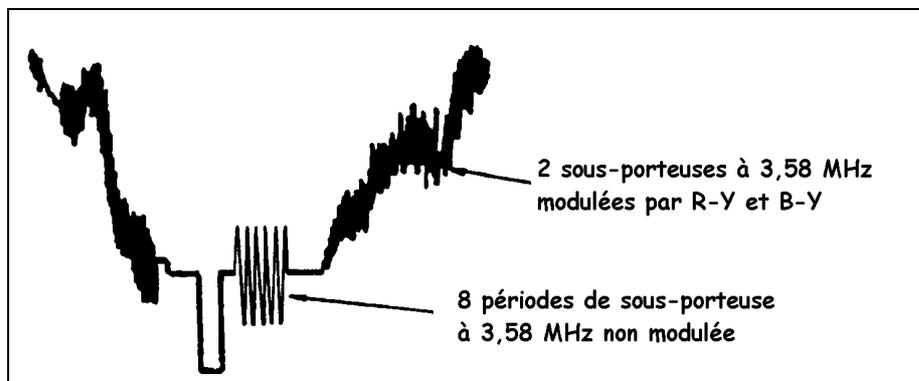
Dans le système NTSC, les deux couleurs R-Y et B-Y sont présentes simultanément dans le signal vidéo et donc transmises simultanément par voie hertzienne dans le cas d'une diffusion TV.

Malheureusement des déphasages parasites peuvent s'introduire au cours de la transmission radio, ce qui rend plus délicat la démodulation synchrone.

Ce système - qui a le mérite d'exister depuis fort longtemps - présente donc le défaut de dériver en teinte si un déphasage intempestif se produit, d'où l'appellation humoristique **Never The Same Color!**

D'un point de vue pratique, la démodulation synchrone des deux sous-porteuses nécessite un signal synchrone avec la sous-porteuse. Celui-ci est obtenu en synchronisant un oscillateur présent dans le récepteur à l'aide de salves à la fréquence  $f_c$  et placées sur le palier arrière du top ligne :

Figure 32.  
Burst ou salve de  
synchronisation  
en NTSC.



C'est en détectant la fréquence de cette salve d'identification à 3,58 MHz que les dispositifs audiovisuels (téléviseur, magnétoscope ...) reconnaissent que le signal vidéo est au standard NTSC.

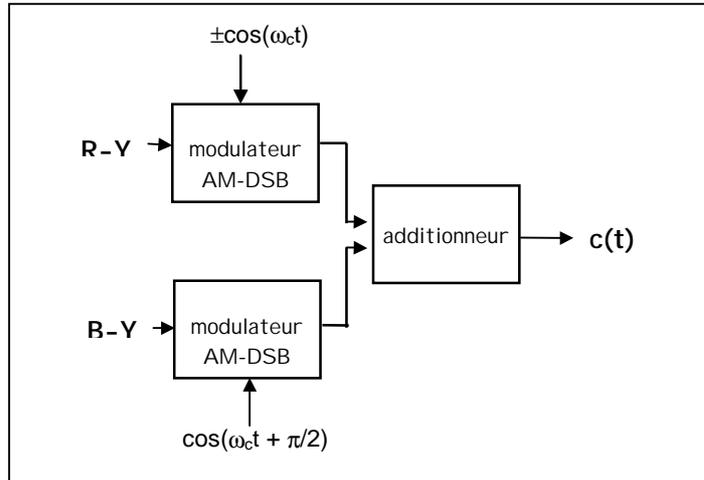
## 15) Le procédé de codage couleur PAL :

L'amélioration du procédé PAL ( Phase Alternation by Line) développé en Europe par rapport au NTSC réside dans la compensation de phase : elle consiste à inverser une ligne sur deux la phase de la porteuse Rouge.

Si un décalage de phase intempestif se produit on constate que la porteuse est un peu en avance sur sa position normale sur une ligne et symétriquement en retard la ligne suivante.

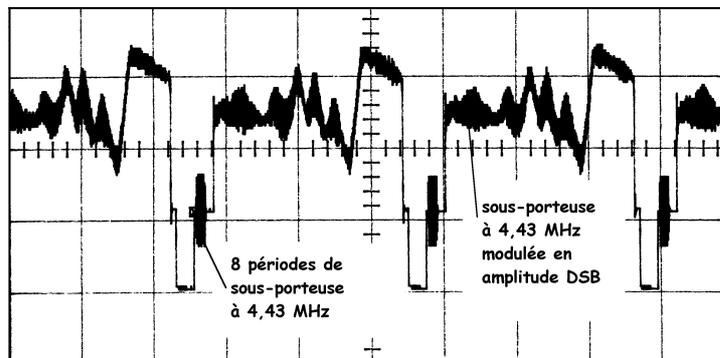
La fréquence de la sous-porteuse PAL est de  $f_c = 4,43361875$  MHz.

Figure 33.  
Production de la sous-porteuse couleur PAL.



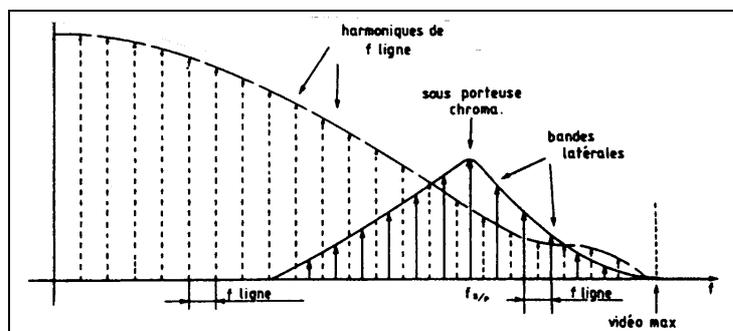
L'oscillogramme d'un signal PAL ressemble très fortement à celui d'un signal NTSC, simplement la salve d'identification est à 4,43 MHz.

Figure 34.  
Oscillogramme d'un signal vidéo couleur PAL.



D'un point de vue spectral, le spectre de la luminance est en gros une succession de raies espacées de la fréquence lignes et la fréquence de la sous-porteuse couleur est choisie à une valeur telle que les raies du spectre « couleur » tombent entre les raies du spectre « luminance ».

Figure 35.  
Positions des raies de luminance et de chrominance.

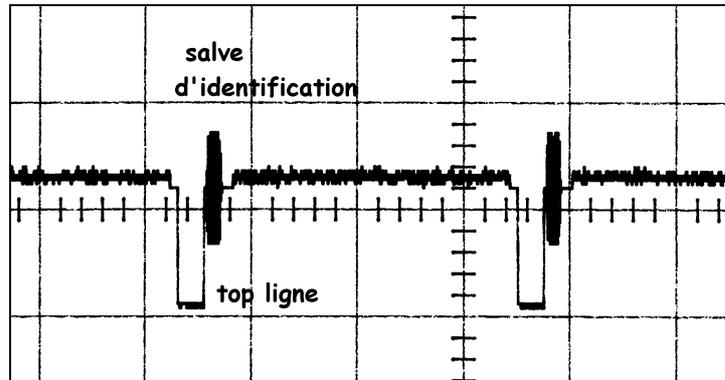


On y parvient aisément avec les systèmes de télévision NTSC (USA) et PAL (RFA) car les sous-porteuses chrominance y sont modulées en amplitude par l'information couleur ; les bandes latérales sont immuables et restent intercalées entre les harmoniques du spectre vidéo sans se gêner les unes les autres.

## 16) Spectre de signaux codés PAL :

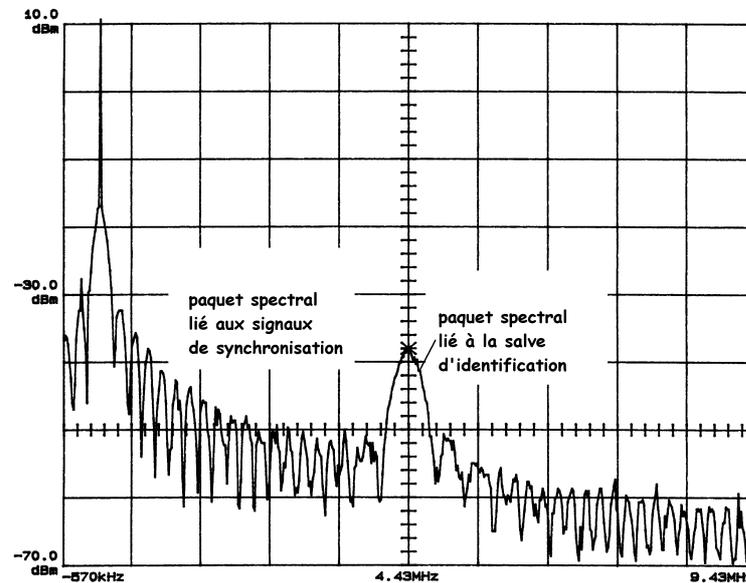
Le signal vidéo PAL correspondant à une image entièrement noire ne contient plus que les signaux de synchronisation et les salves d'identification.

Figure 36.  
Oscillogramme d'un signal vidéo correspondant à une image noire.



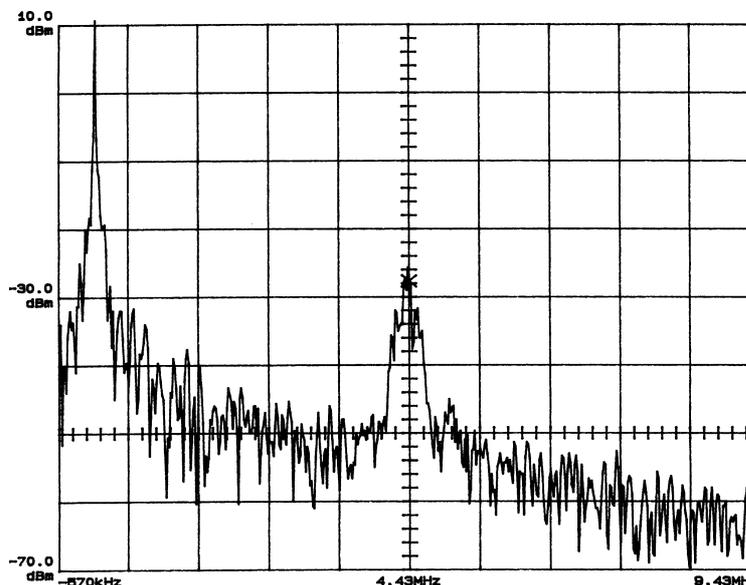
Sur le spectre, on voit alors apparaître la contribution de la salve à 4,43 MHz.

Figure 37.  
Spectre du signal correspondant à une image noire.



Pour un signal vidéo correspondant à une image animée, le paquet spectral de chrominance se déforme, comme les raies correspondant au signal de luminance.

Figure 38.  
Spectre du signal correspondant à une image normale.





## 18) Le procédé de codage couleur SECAM :

Le **système français SECAM** ( Séquentiel A MEMOire ) paraît plus simple, les informations se succédant au lieu d'exister simultanément comme dans les autres procédés de codage.

Ainsi, sur une ligne on adresse le signal rouge, sur la suivante on place le bleu, la prochaine ligne voit revenir le signal rouge et ainsi de suite une ligne sur deux.

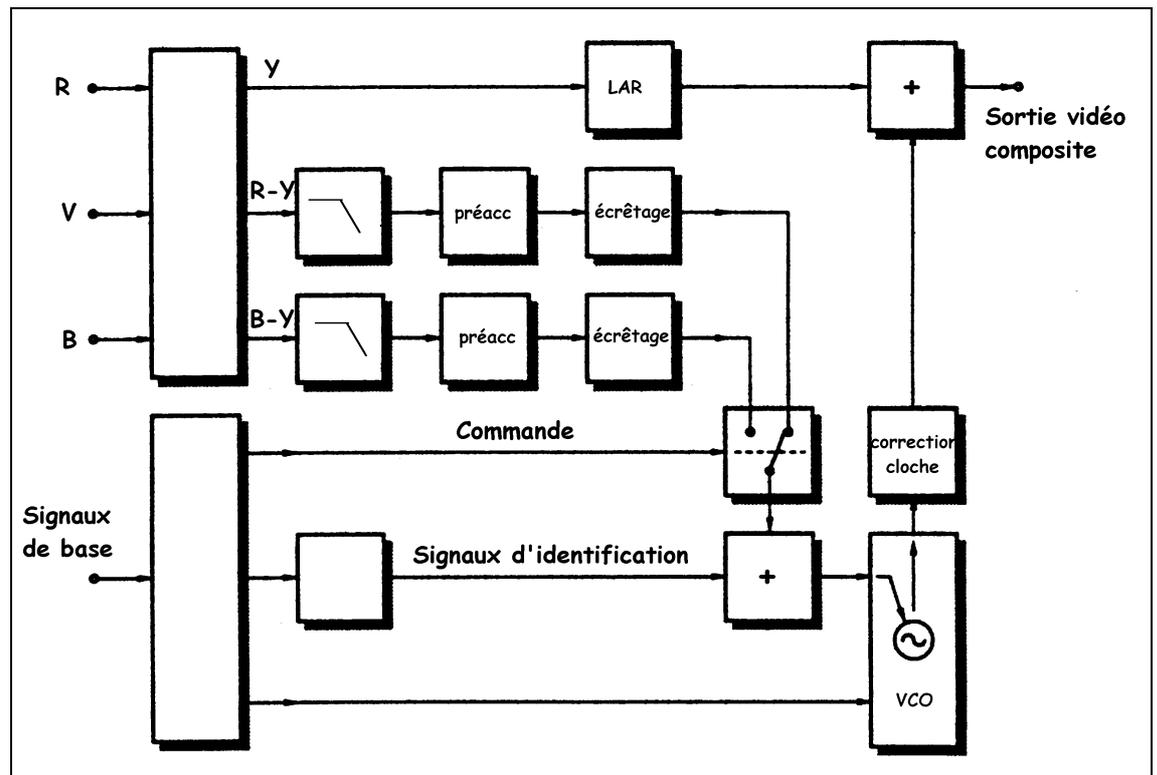
Ces signaux apparaissent dans le signal vidéo sous la forme de deux porteuses différentes, modulées en fréquence sur une plage assez large :  $\pm 1,2$  MHz environ, à cause de la préaccentuation subie par les signaux couleurs.

Les valeurs de sous-porteuses chrominance choisies sont:

$$f_r = 4,40625 \text{ MHz} \quad \text{et} \quad f_b = 4,2500 \text{ MHz}$$

sur lesquelles vont s'accorder les discriminateurs du récepteur.

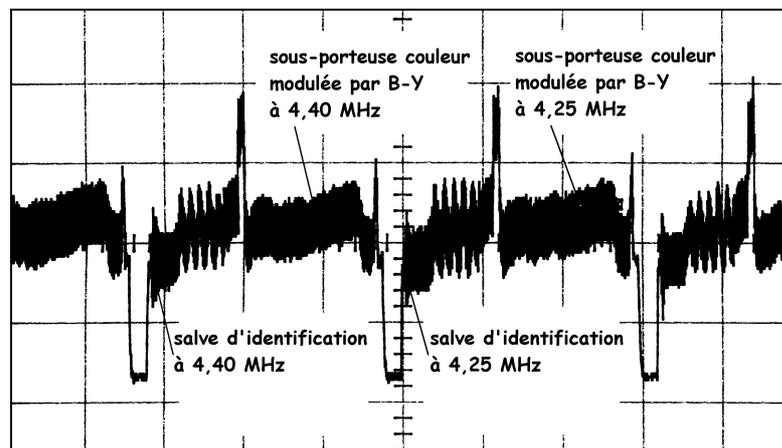
Figure 40.  
Structure du  
codeur SECAM.



L'oscillogramme du signal vidéo SECAM montre deux différences par rapport à un signal PAL :

- la sous-porteuse couleur est modulée en fréquence, son amplitude reste donc constante
- les fréquences de la salve d'identification et de la sous-porteuse, changent d'une ligne à l'autre

Figure 41.  
Oscillogramme  
d'un signal vidéo  
SECAM.



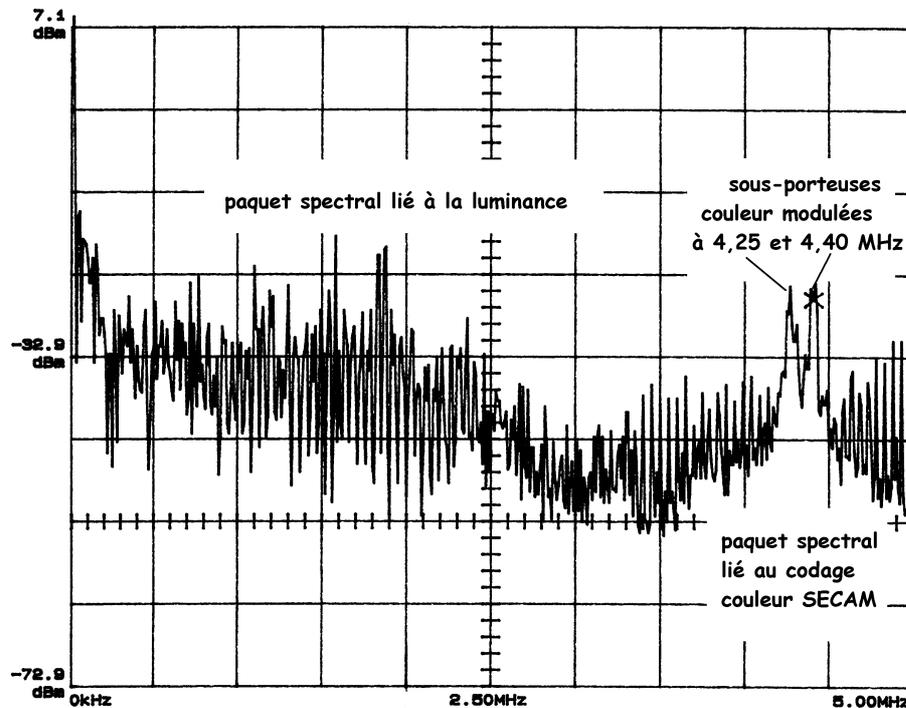
## 19) Spectre d'un signal codé SECAM :

Dans le procédé SECAM, l'interpénétration des spectres des signaux de luminance et de chrominance n'est plus possible car la sous-porteuse est modulée en fréquence par l'information couleur.

Or le spectre du signal FM modulé par les signaux de couleur R-Y ou B-Y n'est plus un spectre de raies mais un spectre continu et de ce fait interfère avec les raies du spectre de luminance.

Pour laisser la place à la chrominance, la bande passante du signal de luminance a donc été réduite à 3,8 MHz au lieu des 6 MHz.

Figure 42.  
Spectre d'un  
signal vidéo  
SECAM.



Du fait qu'une ligne utilise une des 2 couleurs de la ligne précédente, une image couleur possède, a priori, une définition deux fois plus faible qu'une image émise en noir et blanc mais l'agrément de la couleur rattrape ce défaut.

Il faut aussi reconnaître que la majeure partie des téléspectateurs ne constate pas de gêne quelconque quand on réduit à moins de 5 MHz la trame colorée à 625 lignes, gêne qui se remarque par contre quand on ôte la couleur et laisse l'image en noir et blanc.

Par ailleurs, on limite volontairement l'excursion de fréquence des deux sous-porteuses puis on décale celles-ci différemment selon la couleur et ce, assez haut dans la bande vidéo et en choisissant des relations de phase et de fréquence telles que l'on minimise au maximum le moirage.

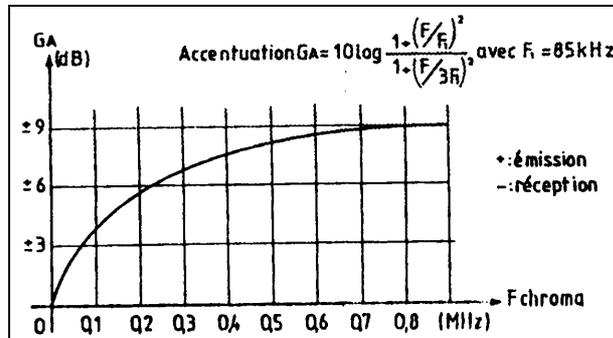
## 20) Les préaccentuations dans le standard SECAM :

Pour optimiser la transmission des informations de couleur, le signal chrominance est soumis à une double correction :

- une **préaccentuation des signaux R-Y et B-Y** avant la modulation FM pour favoriser le haut du spectre chrominance comme pour toute émission radiophonique en modulation de fréquence.

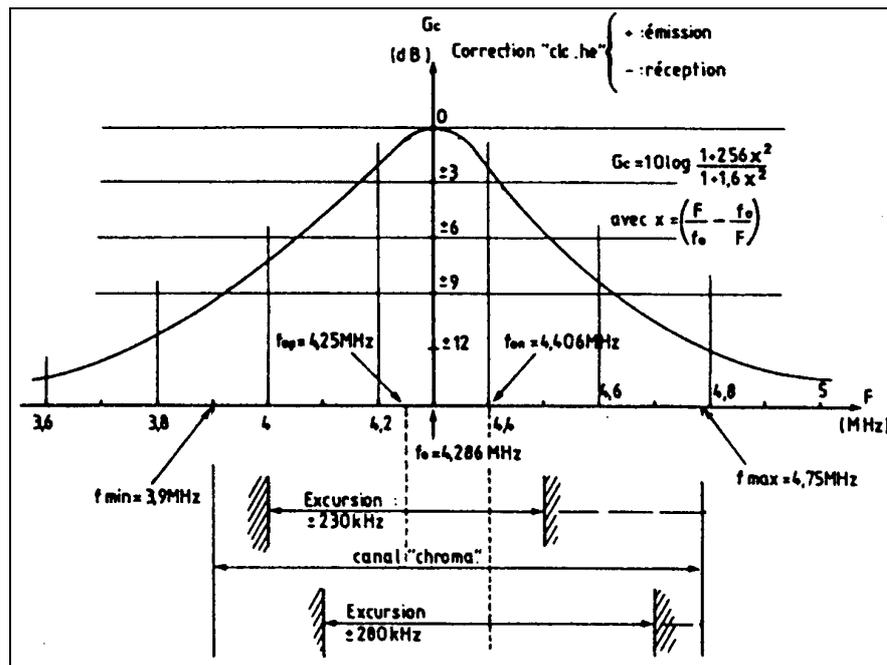
Ceci favorise les détails de la trame colorée, et améliore le rapport signal/bruit au décodage.

Figure 43.  
Courbe de préaccentuation de la chrominance.



- une **compensation en cloche appliquée aux sous-porteuse couleur modulées** dont la correction inverse atténue le souffle ou bruit thermique qu'engendre le type de modulation de fréquence

Figure 44.  
Courbe de préaccentuation en cloche.



On retrouve bien-sûr au décodage les filtres de désaccentuation et anti-cloche inverses de ceux utilisés au codage.

## 21) Le décodeur SECAM :

Pour récupérer les trois couleurs R, V et B nécessaires au tube cathodique, on utilise le signal de chrominance qui arrive directement sur un discriminateur ( démodulateur FM ) et celui qui a été transmis la ligne précédente et que l'on a conservé en mémoire pendant la durée d'une ligne.

Pour ce faire, on utilise une ligne à retard de  $64 \mu\text{s}$  stockant l'information qui arrive alors que la voie directe l'applique sans retard sur un circuit appelé "permutateur".

Ce circuit est placé avant les discriminateurs afin de toujours orienter un signal de même couleur vers le bon discriminateur.

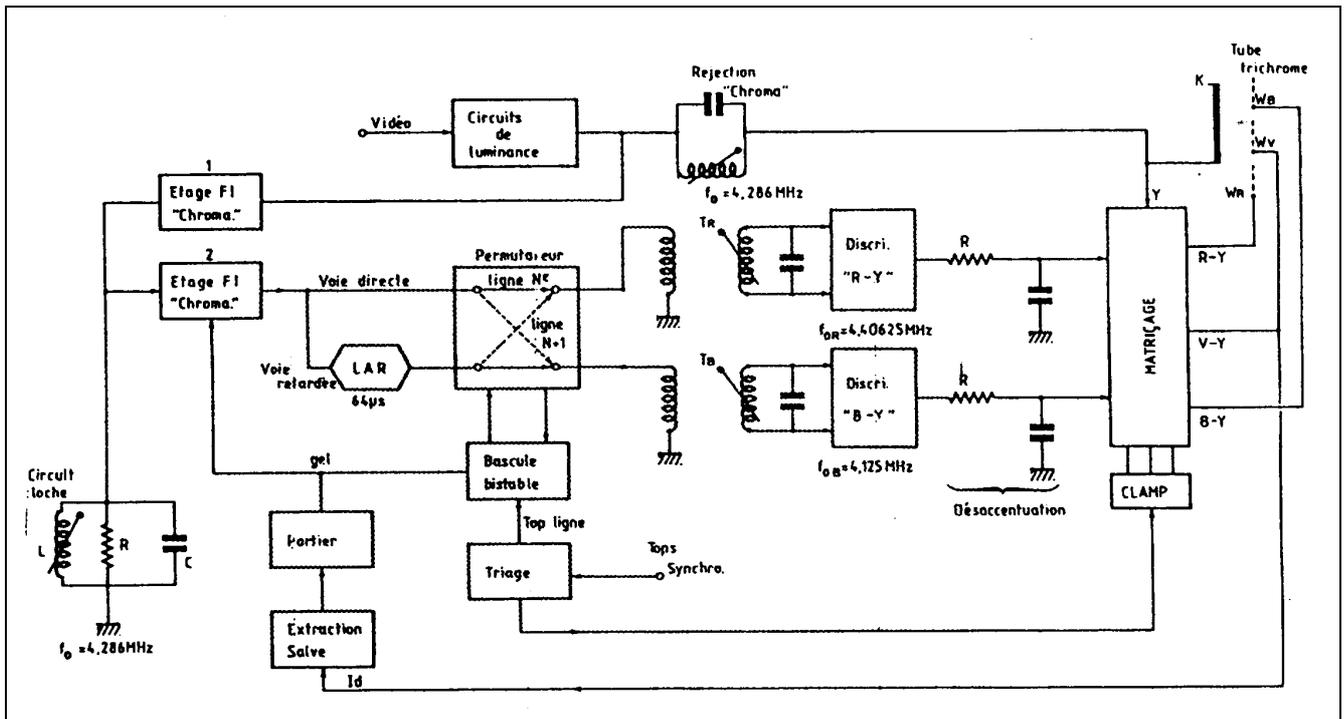


Figure 45. Structure du démodulateur PAL.

Les liaisons internes du permutateur s'inversent donc à chaque ligne, grâce au commutateur électronique déclenché par la fréquence ligne et qui fonctionne comme une bascule bistable.

Après les limiteur-discriminateurs on retrouve le matricage qui recompose le signal vert à partir de la luminance Y.

## 22) Structure de l'émetteur de TV :

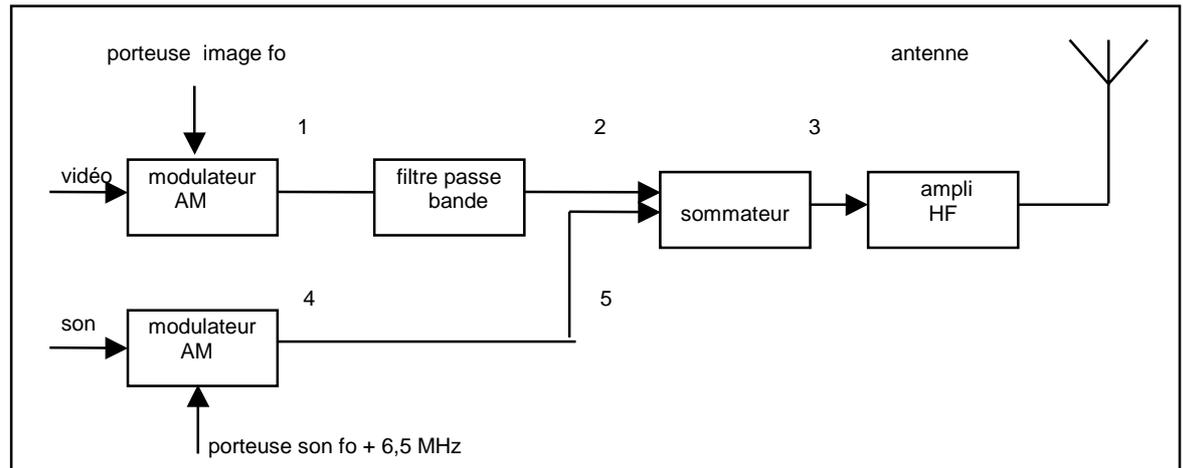
Pour une émission de TV , il est nécessaire de transmettre deux informations différentes:

- le signal vidéo ( luminance Y, chrominance PAL ou SECAM et tops de synchro ) occupant une bande de 0 à 6 MHz
- le son allant de 20Hz à 15 kHz

Pour transmettre ces deux signaux on utilise deux porteuses décalées de 6,5 MHz dans le standard français ( 5,5 MHz dans le standard B/G ).

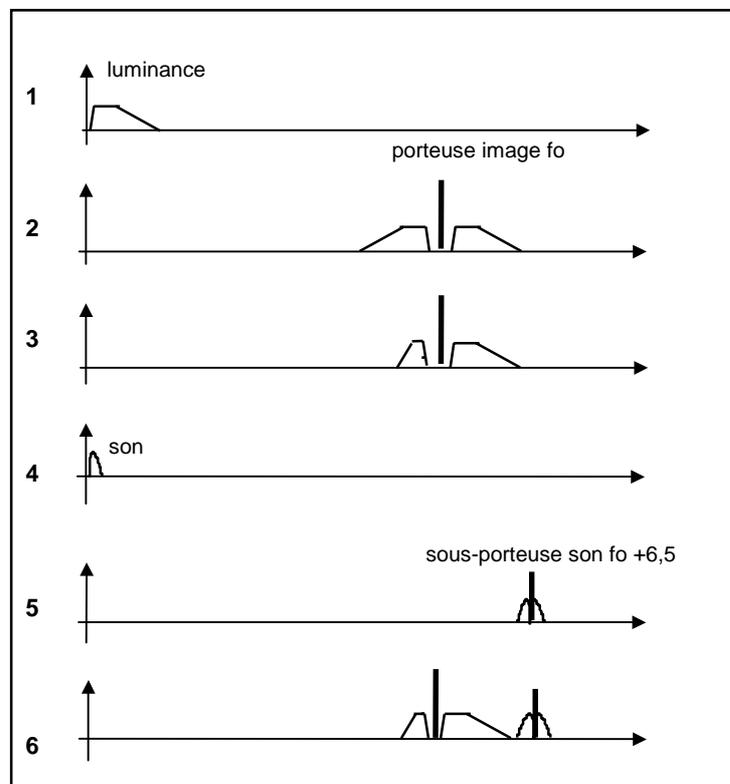
Le signal vidéo module en amplitude la porteuse de l'émetteur de fréquence  $f_0$ . Ce signal modulé est ensuite filtré pour limiter la bande latérale inférieure à 1,25 MHz ( modulation en bande latérale résiduelle), puis on ajoute la sous-porteuse son ( fréquence  $f_0 + 6,5$  ) modulée en amplitude par le son.

Figure 46.  
Structure d'un émetteur de télévision.



Dans les autres pays, on trouve des écarts entre porteuse image et porteuse son pouvant varier entre 5,5 et 6,5 MHz.

Figure 47.  
Spectre aux différents points de l'émetteur TV.



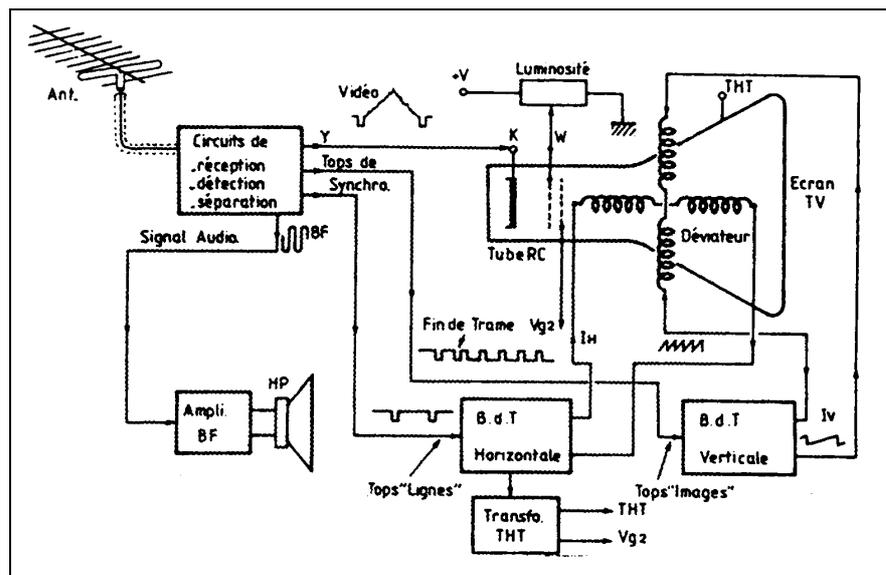
L'encombrement spectral d'une émission de TV atteint donc les 8 MHz.

## 23) Structure du récepteur TV :

Il peut se décomposer en quelques parties fondamentales :

- au pied de l'antenne, se trouve le **bloc de réception** ou **tuner** qui sélectionne l'onde VHF ou UHF, l'amplifie et la démodule pour fournir le signal vidéo d'une part et le son d'autre part
- une électronique appropriée d'**extraction des tops de synchronisations ligne et trame** qui vont rythmer les oscillateurs de balayage correspondants
- les **bases de temps horizontale et verticale** créent dans un déviateur magnétique la combinaison des dents de scie parfaitement linéaires pour la déviation verticale et horizontale.
- la partie « image » du signal vidéo est ensuite exploitée par le **démodulateur PAL ou SECAM** pour fournir les signaux R,V et B au tube trichrome
- le **tube cathodique** traduit en lumière plus ou moins vive le balayage du faisceau sur l'écran luminescent, grâce au champ magnétique créé par le déviateur (bobines de déflexion). La cathode reçoit le signal de luminance tandis que le wehnelt (ou grille de commande) sert à doser à la main la luminosité moyenne de la trame.
- le circuit de **génération d'une très haute tension** (THT) que l'on dispose sur l'anode tapissée à l'intérieur du globe. Cette THT est créée par l'étage de puissance de la base de temps lignes, en utilisant l'énergie récupérée par le retour vers la gauche des lignes. Ce retour s'effectuant dans un temps très court l'énergie engendre des impulsions de très grande amplitude, suffisamment grande pour permettre grâce à un transformateur élévateur de créer une THT.

Figure 48.  
Structure d'un récepteur de télévision.

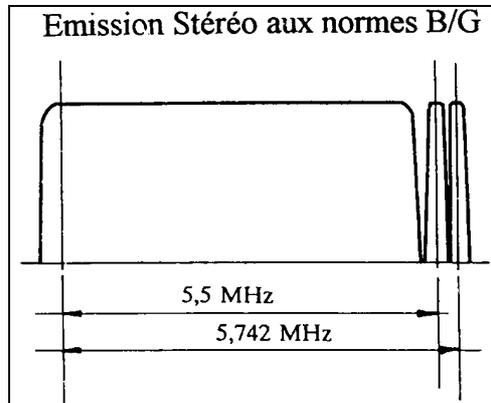


## 24) L'émission de TV en stéréophonie :

Si on veut avoir un son en stéréophonie, il faut transmettre les informations concernant les voies droites et gauches, c'est-à-dire qu'il faudra transmettre deux signaux audio : la voie droite D et la voie gauche G.

Beaucoup de pays hormis la France ont introduit depuis longtemps un son stéréophonique en rajoutant une deuxième sous-porteuse son légèrement décalée

Figure 49.  
Son stéréophonique à deux porteuses.

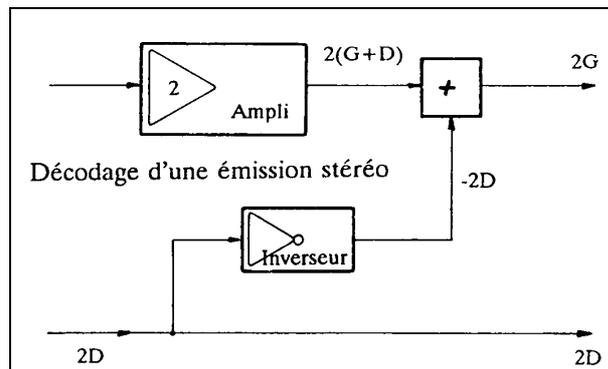


Toutefois pour rester compatible avec un récepteur monophonique et lui permettre de recevoir les deux informations, on utilise le standard suivant :

- la porteuse à 5,5 MHz (voie 1) sera modulée en fréquence par le signal G+D
- la porteuse à 5,742 MHz (voie 2) sera modulée en fréquence par le signal 2D

A la réception il sera facile d'obtenir D et G à partir de G+D et 2D :

Figure 50.  
Principe du décodage d'une émission stéréophonique TV.



Certains pays utilisent aussi la voie 2 pour émettre en une autre langue ( mode bilingue).

La reconnaissance du mode de transmission ( mono, stéréo ou bilingue) se fait grâce à une porteuse à 54,6875 kHz ajoutée au son de la voie 2 modulée en fréquence par une tonalité basse-fréquence :

- 0 Hz pour la mono
- 117,5 Hz pour la stéréo
- 274,1 Hz pour le mode bilingue

## 25) Principe du codage de son NICAM :

Le NICAM est un procédé de **transmission numérique du son stéréophonique** destiné à être inclus dans les systèmes de télévision terrestre.

Ses caractéristiques sont les suivantes :

- il a une robustesse similaire au son analogique. En particulier, lorsque le signal à l'antenne faiblit, le son NICAM ne disparaît qu'après la disparition de l'image
- il est compatible avec le parc existant dont il ne perturbe pas la réception
- le codage du signal est identique pour tous les standards de télévision : B, G, H, I et L
- les différences dans les paramètres de modulation entre les différents standards ont été minimisés autant que possible.

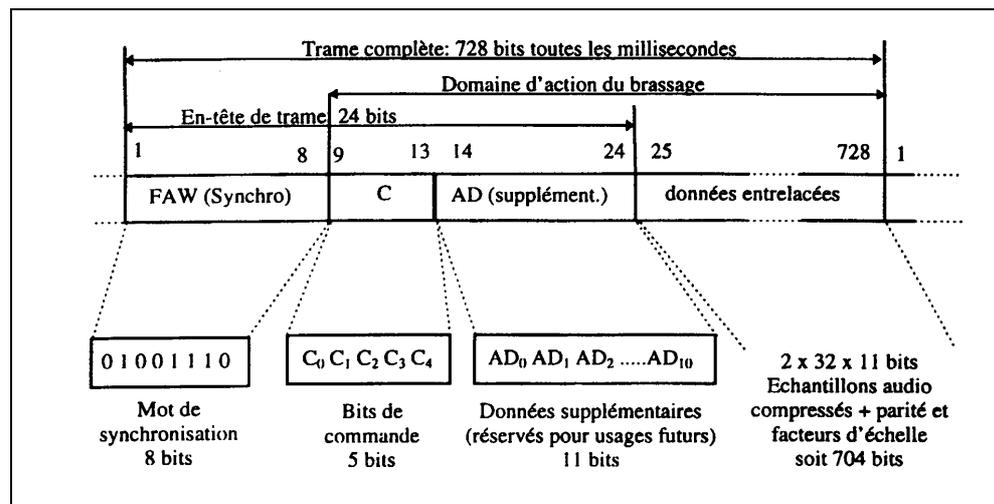
Le signal audio de base est un signal analogique stéréophonique. Une préaccentuation lui est appliquée, puis il est échantillonné à 32 kHz et converti linéairement en signal numérique sur 14 bits .

La succession des opérations est la suivante :

- le signal est découpé temporellement en " blocs " correspondant à 1 milliseconde de programme
- la compression quasi instantanée permet de transformer les mots de 14 bits en mots de 10 bits et des bits de « facteur d'échelle » valable pour l'ensemble du bloc
- l'ensemble est entrelacé pour former un bloc de  $64 \times 11 = 704$  bits
- on ajoute l'indispensable en-tête comprenant : un mot de synchronisation, des bits de contrôle, des bits de données additionnelles
- enfin, les bits sont " brassés " afin de répartir l'énergie d'une manière uniforme dans la bande allouée

L'ensemble obtenu comporte 728 bits transmis toutes les millisecondes, d'où le débit résultant de 728 kbits/s et l'appellation complète de NICAM 728 donnée à ce procédé.

Figure 51.  
Allure d'une  
trame NICAM.



Ce signal numérique module une porteuse qui se trouve dans les standards B/G et L à 5,85 MHz.

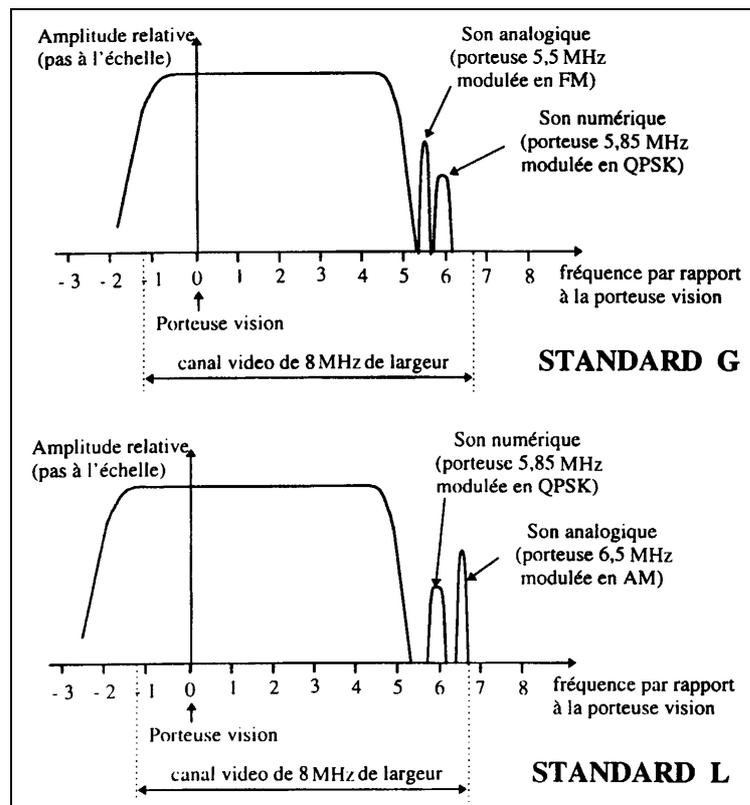
Les opérations effectuées sont les suivantes :

- séparation du train de bits en deux trains à 364 kbits/s
- limitation du spectre par filtrage
- modulation de la porteuse numérique par saut de phase à quatre états
- création du signal vidéo par ajout des porteuses image et (éventuellement) son analogique

## 26) Ajout du son NICAM à une émission TV :

Les figures ci-dessous montrent comment la sous-porteuse NICAM est incorporée au signal de TV classique :

Figure 52.  
Position de la sous-porteuse NICAM..



Le tableau ci-dessous précise les caractéristiques des émissions TV-NICAM dans les différents systèmes :

Figure 53.  
Les différents systèmes NICAM

Standard TV	B	G	I	L
Largeur de canal (MHz)	7	8	8	8
Talon (MHz) à -3 dB	1,25	1,25	1,5	1,5
Modulation image -MABLR (1)	négative	négative	négative	positive
Couleur	PAL	PAL	PAL	SECAM
Modulation audio-analogique	FM	FM	FM	AM
Intervalle porteuse son analogique/porteuse vision (MHz)	5,5	5,5	6	6,5
Rapport de puissance son analogique/porteuse vision	1/20	1/20	1/10	environ 1/10 ou 1/40
Intervalle porteuse numérique/porteuse vision (MHz)	(2) 5,85 ± 1 ppm	(2) 5,85 ± 1 ppm	(2) 6,552 ± 1 ppm	(2) 5,85 ± 1 ppm
Largeur de spectre porteuse numérique (kHz)	± 250	± 250	± 364	± 250
Puissance porteuse numérique/porteuse vision	environ 1/100	environ 1/100	environ 1/100 1/300 sur câble	environ 1/500

## 27) Les différents standards TV dans le monde :

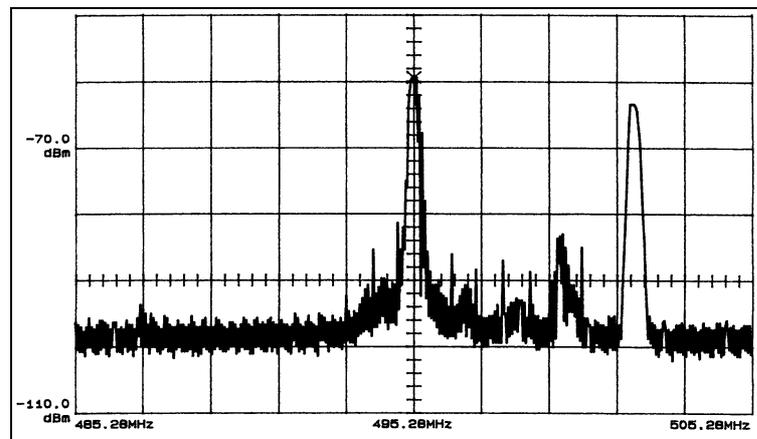
Si nous observons les largeurs de bande vidéo utilisées dans les différents standards, on peut remarquer qu'elles s'étendent sur plusieurs mégahertz. Comme la modulation image se fait en amplitude, il faut prévoir une porteuse à fréquence beaucoup plus élevée que celle du haut du spectre vidéo. Ceci explique la nécessité de réserver à la télévision des bandes de fréquences supérieures de dix fois la plus forte fréquence vidéo.

On distingue, en Europe, quatre bandes TV :

**Bande I** : 46 à 68 MHz  
**Bande III** : 162 à 216 MHz  
**Bande IV** : 470 à 606 MHz  
**Bande V** : 614 à 890 MHz ou 960 MHz

La bande II de 87,5 à 108 MHz n'est pas utilisée, en France, pour la télévision mais pour la modulation de fréquence. Toutefois, ce domaine est entamé largement dans certains pays comme le Japon l'Australie ou l'URSS.

Figure 54.  
Spectre du signal émis par un émetteur de TV français..



Les émissions TV couleur à partir d'émetteurs terrestres se font en modulation d'amplitude à bande latérale résiduelle dans tous les pays du monde.

Les pays ne se sont jamais accordés pour un système unique... Aujourd'hui seuls subsistent les standards à 625 lignes tout au moins en Europe.

Néanmoins, on constate encore des écarts nuancés dans les modes de modulation image (positive ou négative) et son MA ou MF et même dans le principe de la réduction de bande latérale inférieure 0,75 ou 1,25 MHz. Dans l'ensemble, nous retiendrons trois zones d'influence, liées aux situations géographiques.

⇒ Le **continent américain** adopte un canal à bande étroite de 6 MHz et une vidéo de 4,2 MHz normes M et N, respectivement à 525 et à 625 lignes fréquence trame égale à 60 ou 50 Hz. Le son MF est utilisé et la stéréophonie y est souvent ajoutée. Une partie de l'Asie a suivi cet exemple. La couleur est du type NTSC.

⇒ Le **continent européen** qui regroupe des individualités réhibitoires :

- La France :
  - canal de 8 MHz
  - son MA
  - 6,5 MHz d'inter porteuses
  - vidéo de 6 MHz
  - couleur SECAM
- La Grande-Bretagne :
  - canal de 8 MHz
  - son M F
  - 6 MHz d'inter porteuses
  - vidéo de 5,5 MHz
  - couleur PAL

- Le groupement CCIR couvrant le reste des pays occidentaux:

- canaux de 7 ou 8 MHz selon la gamme d'ondes
- son MF (exception faite pour la Belgique son MA)
- vidéo de 8 MHz
- couleur PAL

- Le groupement OIRT qui couvre les pays de l'Est :

- canaux de 8 MHz
- son MF
- 6,5 MHz d'inter porteuses
- vidéo de 6 MHz
- couleur SECAM

Signalons que l'Allemagne de l'Est se rattache aux normes CCIR. Mais le système de TV couleur est en SECAM.

⇒ Le **continent africain**, subissant les influences directes des pays qui les aident ou qui les ont aidés à sortir de la colonisation les normes CCIR et OIRT se partagent donc la mosaïque d'états en voie de développement. Les pays francophones adoptent les normes K ou K1 où le son est toujours en FM (départements d'Outre-mer).

Figure 55.  
Les différents standards de TV dans le monde.

- Caractères essentiels des systèmes de télévision radiodiffusés dans les bandes des ondes métriques et décimétriques								
Désignation	Norme vidéo			Norme de radiodiffusion (fig. 36)				
	Définition du système	Fréquence trame Hz	Bande vidéo MHz	Écart entre porteuses B MHz	Talon A MHz	Largeur du canal d' MHz	Polarité image	Modulation son
B	625	50	5	5,5	0,75	7	-	MF
D	625	50	6	6,5	0,75	8	-	MF
G	625	50	5	5,5	0,75	8	-	MF
H	625	50	5	5,5	1,25	8	-	MF
I	625	50	5,5	6	1,25	8	-	MF
K	625	50	6	6,5	0,75	8	-	MF
K1	625	50	6	6,5	1,25	8	-	MF
L	625	50	6	6,5	1,25	8	+	MA
M	525	60	4,2	4,5	0,75	6	-	MF
N	625	50	4,2	4,5	0,75	6	-	MF

Standard B/G

Standard L

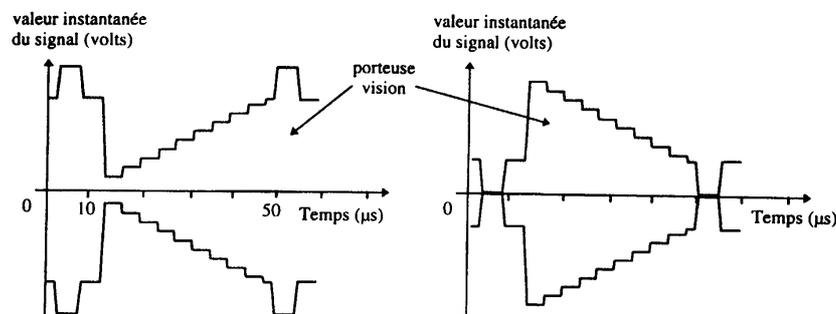
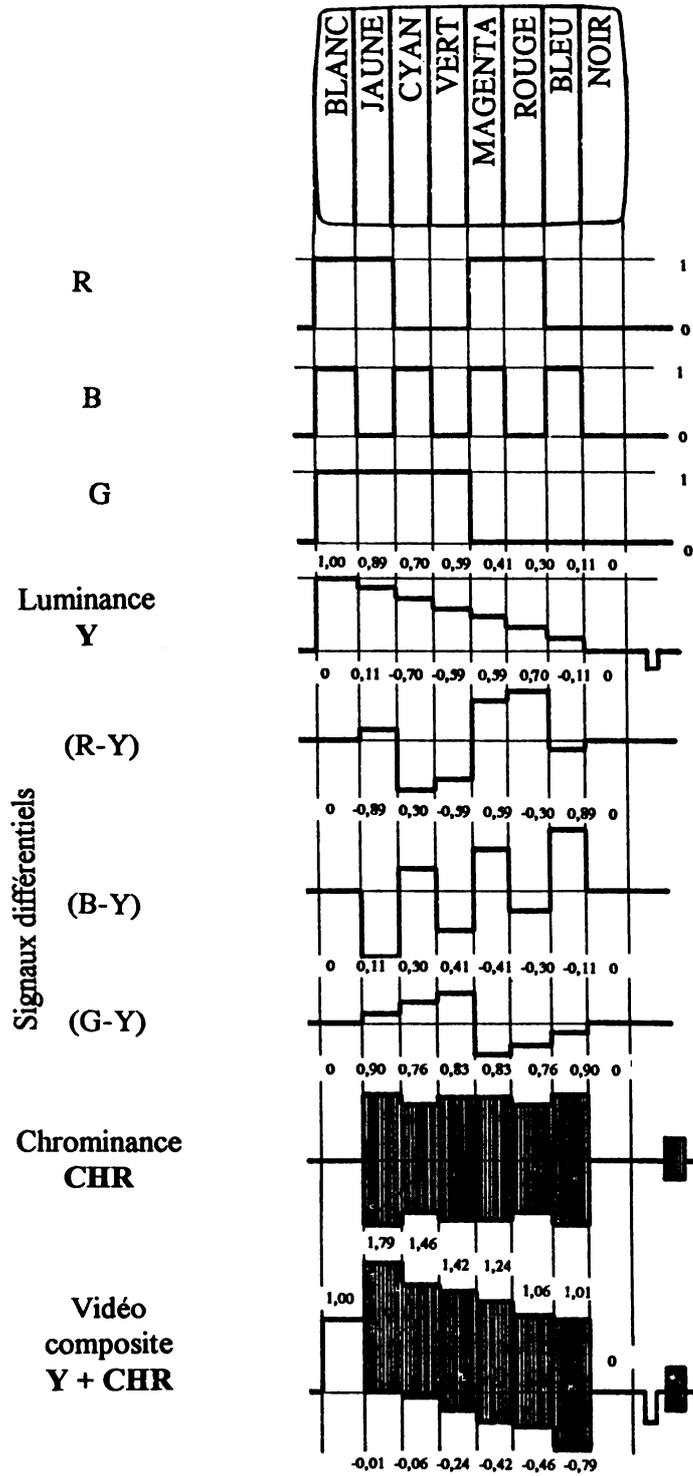


Figure 56.  
Les modulations positives et négatives.

Annexe : la mire standard de couleurs PAL





Merci pour l'intérêt que vous portez à mon travail. J'espère que le cours que vous avez téléchargé répond à votre attente.

Si, malgré le soin qui a été apporté à la rédaction de ce document, vous constatez l'existence d'erreurs, merci de me les signaler par Email à [jean-philippe.muller1@wanadoo.fr](mailto:jean-philippe.muller1@wanadoo.fr)

Comme toute œuvre intellectuelle, ce document est protégé par le Copyright et son usage est réservé à une utilisation personnelle.

## **Techno Assistance Formation**

1, rue du Capitaine Pilleux

68720 ZILLI SHEIM

Site : <http://www.ta-formation.com>