

Télévision

par René TOURNIER
Lycée Charles Coulomb - 16000 Angoulême

Dans la partie «Télécommunications» de l'Enseignement de Spécialités en Terminale Scientifique est prévue l'étude du principe de la télévision y compris de la télévision couleur ainsi que l'observation à l'oscilloscope d'un signal vidéo simple.

Nous proposons ici une approche essentiellement expérimentale. Quelques notions théoriques sur la colorimétrie appliquée à la télévision couleur seront succinctement présentées.

Ce document, comme celui sur les modulation d'amplitude et de fréquence, a été utilisé lors des stages de formation qui se sont déroulés dans l'Académie de Poitiers au mois de mai 1994 sous la responsabilité de Monsieur l'Inspecteur Pédagogique Régional R. VOGEL.

1. PRINCIPES DE BASE

a - Persistance des images rétinienne

C'est un «défaut» de l'œil qui peut s'expliquer par :

- les réactions biochimiques qui interviennent au niveau de la rétine et qui ne sont pas instantanées (0,1 ms). Voir B.U.P. n° 760 de janvier 1994 et Science et Vie numéro Hors Série de mars 1994 intitulé «Voyage au cœur de la lumière» ;
- la durée de transmission de l'influx nerveux par le nerf optique au cerveau.

La durée de la persistance des images rétinienne est de l'ordre du dixième de seconde dans les condition normales (pas d'éblouissement).

Toute succession d'images séparées par moins de 0,1 s sera perçue comme une observation continue. Ce sera le cas pour des images de fréquences égales à 24 Hz (cinéma, $T = 0,042$ s) ou à 25 Hz (télévision, $T' = 0,040$ s).

Pour mesurer l'ordre de grandeur de la durée τ de la persistance des images rétinienne on peut :

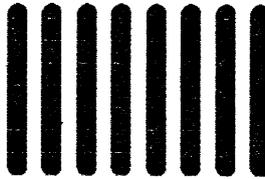
- utiliser un oscilloscope : augmenter la base de temps jusqu'à avoir l'impression d'une trace continue. On trouve que cela est réalisé, par exemple, pour un balayage de 0,01 s/div : soit pour 10 divisions $\tau = 0,1$ s ;
- utiliser une diode électroluminescente (DEL) à laquelle on applique un signal carré. Augmenter la fréquence du signal jusqu'à voir la DEL allumée en permanence. Noter alors la fréquence. Si l'on déplace rapidement la DEL devant le yeux, on retrouve les «papillotements».

b - Pouvoir séparateur de l'œil

C'est un autre «défaut» de l'œil. A partir d'une certaine distance X l'œil ne distingue plus l'alternance de raies blanches et noires. On dit que l'œil ne sépare plus les différentes raies.

Ceci peut s'expliquer par le fait que les capteurs de la rétine au niveau de la tache jaune sont distants de $2,5 \mu\text{m}$ en moyenne. Connaissant la distance focale moyenne du cristallin (2 cm), on peut en déduire l'angle d'acuité visuelle ou pouvoir séparateur de l'œil.

Pour mesurer l'ordre de grandeur du pouvoir séparateur de l'œil on utilise une mire de Foucault.



- mesurer la distance d d'axe à axe entre deux traits noirs consécutifs,
- s'éloigner de la mire jusqu'à ce que l'œil ne sépare plus les raies. Noter alors X. Le pouvoir séparateur de l'œil est :

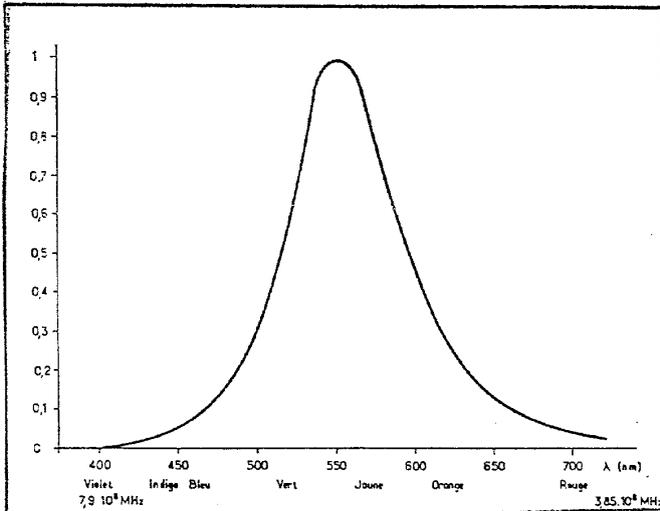
$$\varepsilon = d/X \quad (\text{en radian}).$$

L'ordre de grandeur de ε est la minute d'angle.

Remarque : le pouvoir séparateur de l'œil dépend de la forme des détails observés, du contraste entre ces détails et du fond sur lequel ils se détachent.

c - Sensibilité de l'œil

Elle dépend de la fréquence des radiations reçues selon la courbe de sensibilité relative ci-dessous. Cette caractéristique de l'œil interviendra en télévision couleur.



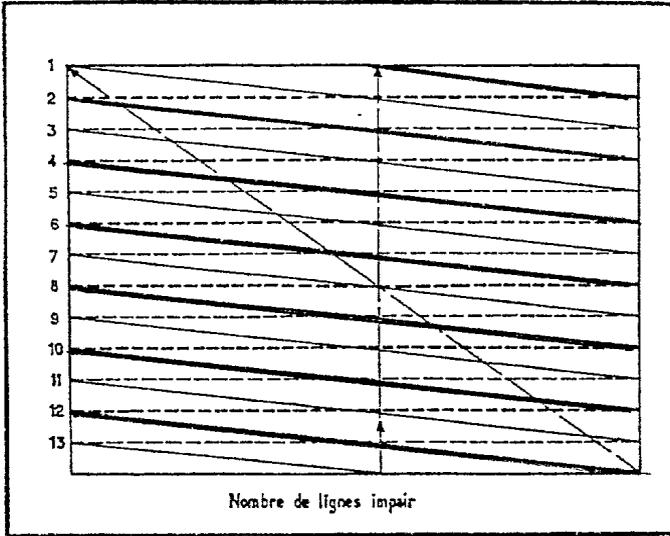
Source : R. BESSON

d - Principe de la télévision en noir et blanc

La télévision est la transmission à distance d'images animées. Les images peuvent être en noir et blanc ou en couleur. La transmission s'effectue par voie hertzienne (terrestre ou spatiale) ou sur câble, généralement accompagnée de la transmission du son.

Principe de la transmission hertzienne : voir le synoptique en annexe.

L'analyse et la restitution de l'image reposent sur les deux caractéristiques de l'œil décrites ci-dessus. On procède à une analyse séquentielle de l'image en trames composées de lignes : chaque seconde on aura vingt-cinq images et chaque image sera constituée de six cent vingt-cinq lignes réparties en deux trames entrelacées, l'une pour les lignes impaires, l'autre pour les lignes paires (pour éviter un effet de scintillement désagréable de l'image à la réception). On explore d'abord les lignes impaires puis les lignes paires.



Source : R. BESSON

Les lignes sont en traits pleins (fins pour les lignes impaires, plus épais pour les lignes paires).

Les retours de lignes sont en pointillés et les retours de trames en tirets.

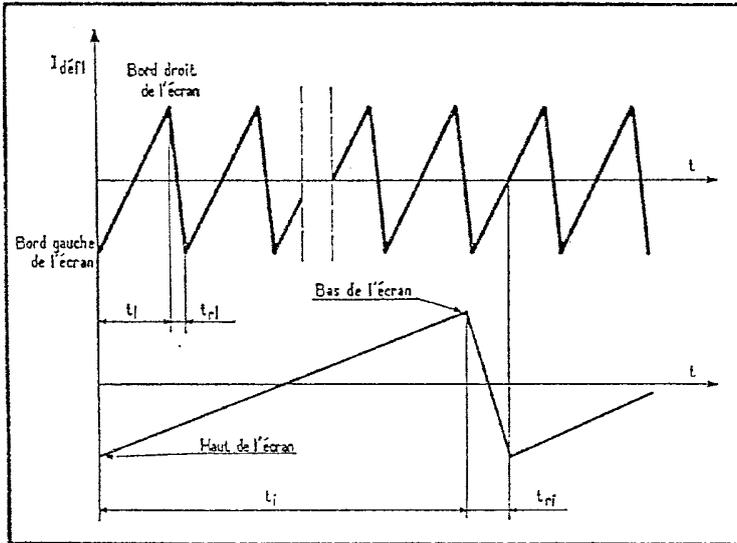
L'image est donc considérée comme une surface «balayée» par un signal généré par les bases de temps : «ligne» et «trame».

Expériences :

– On peut simuler ces différents balayages à l'aide de deux G.B.F. délivrant chacun un signal triangulaire et reliés aux voies X et Y d'un oscilloscope. Le G.B.F. relié à la voie X sera réglé sur la fréquence de ligne (15 625 Hz), celui relié à la voie Y sur la fréquence de trame (50 Hz). Régler les calibres des voies en fonction des niveaux de sorties des G.B.F.

– Si l'on dispose d'un oscilloscope (type Metrix 725) dont on peut moduler le wehnelt on peut simuler une «image télévision» sur son écran : appliquer sur une voie de l'oscilloscope (1 V/div) un signal triangulaire, d'amplitude 5 V, de rapport cyclique minimal (front montant raide), de fréquence 15 625 Hz, et sur l'entrée du wehnelt

(Mod Z) un signal sinusoïdal d'amplitude 3 V, de fréquence $f = 50$ Hz environ. Jouer sur f et sur la vitesse de balayage de l'oscilloscope pour simuler le mieux possible «l'image».



t_l : durée de balayage de ligne.
 t_{rl} : durée de retour de ligne.
 t_i : durée de balayage de trame.
 t_{ri} : durée de retour de trame.

Source : R. BESSON

Le point élémentaire de l'image (pixel) transmet sa luminance lors de la prise de vue (traducteur lumière-courant) ; cette luminance est ensuite utilisée pour «éclairer» l'écran lors de la restitution (traducteur courant-lumière) à un emplacement homologue sur la surface recomposée.

La persistance des images rétinienne permet de voir un écran illuminé en permanence ; le pouvoir séparateur évite de distinguer les lignes si le téléspectateur se situe à distance suffisante.

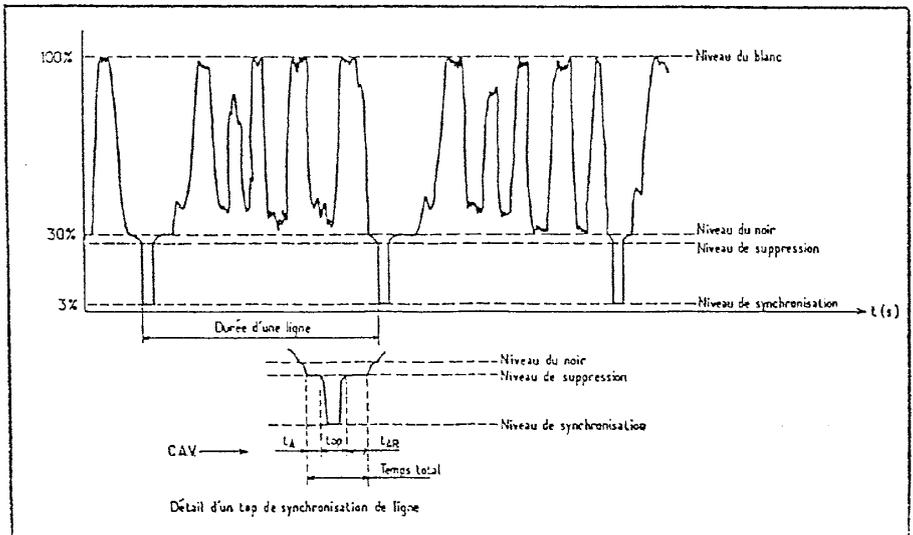
Pour que l'image restituée soit cohérente et semblable à l'originale, il est nécessaire que le balayage de la caméra et celui du téléviseur soient rigoureusement calés en phase. Il est donc indispensable de transmettre des informations de synchronisation de balayage en lignes et en trames.

Le signal supportant l'image doit donc transporter les informations suivantes :

- luminance du pixel,
- synchronisation de la base de temps «lignes»,
- synchronisation de la base de temps «trames».

Remarques :

- Le son est en général transmis sur un canal à part.
- Les procédés de codage de toutes ces informations, destinés à les transmettre toutes sur le même support, sont multiples et sont définis par des standards nationaux. En France, le standard actuel s'intitule «L'» et le codage est défini par le procédé SECAM. Le standard «L'» utilise vingt-cinq images par seconde composées chacune de six cent vingt-cinq lignes réparties en deux trames entrelacées. La fréquence de balayage des trames est donc de 50 Hz ($T_t = 20$ ms). La fréquence de balayage des lignes est de 15 625 Hz ($T_l = 64$ μ s).
- Chaque ligne est artificiellement divisée en 833 points ; l'image est donc constituée de près d'environ 520 000 points. Par seconde (vingt-cinq images) il faut donc traiter 13 000 000 de points et comme un point est soit éclairé soit éteint on obtient une fréquence de 6,5 MHz. Ce résultat est utilisé pour définir les bandes passantes des amplificateurs et des différents organes de traitement vidéo.



Source : R. BESSON

Le contenu de l'image est un signal analogique d'amplitude correspondant à la luminance. Le «noir» est le niveau de référence. L'amplitude maximale séparant le «blanc» du «noir» représente 70 % du signal complet.

Les informations de début de ligne et de début de trame sont des impulsions placées négativement représentant 30 % d'un «blanc» pur.

Elles sont disposées respectivement toutes les 64 μs et toutes les 20 ms et sont destinées à la synchronisation des bases de temps lignes et trames.

Les impulsions de synchronisation lignes et trames sont différenciées par leurs durées relatives.

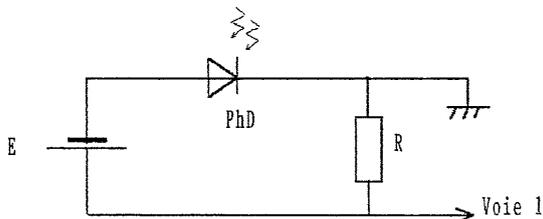
e - Mise en évidence du balayage des trames

On peut mettre en œuvre les deux expériences ci-dessous :

– Expérience de stroboscopie : pour vérifier que la fréquence de balayage des trames est de 50 Hz on peut utiliser le téléviseur comme un stroboscope : placer proche de l'écran un disque marqué d'un secteur et entraîné par un moteur à courant continu à aimant permanent dont on connaît la caractéristique électromécanique ($a = 1/600 \text{ V/tr/min}$). Le moteur est alimenté par une alimentation continue réglable. On règle la tension **minimale** U_{\min} d'alimentation de façon à observer le secteur du disque apparemment immobile.

Si : $U_{\min} = 4.8 \text{ V}$ on en déduit $\omega_{\min} = 4.8 \times 600/60 \text{ (tr/s)} = 48 \text{ Hz}$

– Utilisation d'un capteur opto-électronique : on utilise une photodiode montée en inverse. Dans ces conditions le courant inverse est une fonction affine de l'éclairement. L'image de ce courant est obtenue tout simplement par la tension au borne d'une résistance et visualisée sur un oscilloscope.



PhD : photodiode BPW34.

E = pile de 4,5 V.

R = 1 M Ω .

On place la photodiode au voisinage d'un écran de téléviseur : sur l'écran de l'oscilloscope la distance d entre deux pics consécutifs peut être mesurée.

Si $d = 4$ div, avec un balayage de 5 ms/div, on a bien une période de 50 Hz.

2. L'IMAGE EN COULEUR

a - Les grandeurs fondamentales en colorimétrie

La couleur est une sensation physiologique et par suite relève du subjectif :

- «c'est un bleu plutôt vert»,
- «c'est un rouge vif»,
- «c'est un jaune brillant»,
- «...».

Peut-on quantifier une couleur ?

La colorimétrie consiste à «mesurer» les couleurs dans des référentiels bien définis.

Pour cela on utilise trois grandeurs fondamentales :

- **la teinte** : elle est définie par la longueur d'onde (ou la fréquence) ;
- **la luminance** (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$) ou le niveau de l'intensité lumineuse (en pourcentage d'une intensité maximale) ;
- **la saturation** ou degré de pureté : une couleur saturée (ou pure) présente une bande de fréquence extrêmement étroite ; une couleur désaturée (ou lavée) présente une bande de fréquence large.

b - Notions de colorimétrie appliquée à la télévision couleur

En télévision couleur (TVC) une couleur est définie par sa chrominance :

- sa teinte (sa longueur d'onde),
- et sa saturation (degré de pureté qui correspond à un mélange avec du «blanc»).

En prenant trois couleurs fondamentales : le Rouge (700,0 nm), le Vert (546,1 nm), le Bleu (435,8 nm) et en les composant en synthèse additive en faisant varier leur saturation et leur luminance, on peut reconstituer pratiquement toutes les couleurs de la nature. C'est le principe de la trichromie démontré par MAXWELL. Le «blanc» obtenu en mélangeant les trois couleurs fondamentales à luminance égale, est le «blanc W».

Plusieurs logiciels traitent de ce problème : «Synthèse» et «Couleurs» par exemple.

Remarques :

- Pour tenir compte des possibilités des produits chimiques utilisés pour la fabrication des luminophores sur l'écran du tube cathodique, les couleurs fondamentales utilisées en TVC sont le Rouge (610,0 nm), le Vert (535,0 nm) et le Bleu (470,0 nm). Le «blanc» obtenu en mélangeant les trois couleurs fondamentales à luminance égale, est le «blanc C».
- On peut observer à l'aide d'une loupe les luminophores de l'écran qui reçoit l'image d'un fond de couleur enregistrée au caméscope.

c - Analyse et reconstitution de la couleur

En télévision couleur, pour caractériser l'état d'un point de l'écran il faut connaître les luminances des trois couleurs fondamentales (E_R , E_V et E_B). Or en télévision noir et blanc on transmet la luminance générale du point Y (E_Y). Pour que les deux procédés soient compatibles il faudrait transmettre ces quatre grandeurs. Pour simplifier on transmet E_Y , E_R et E_B . La quatrième luminance E_V est déduite de la relation :

$$E_Y = 0,30 E_R + 0,59 E_V + 0,11 E_B$$

Le signal vidéo doit donc contenir deux informations supplémentaires (E_R et E_B) qu'il convient de coder pour que leur contenu ne vienne pas perturber l'information déjà présente et pour qu'elles soient reconnues à la réception.

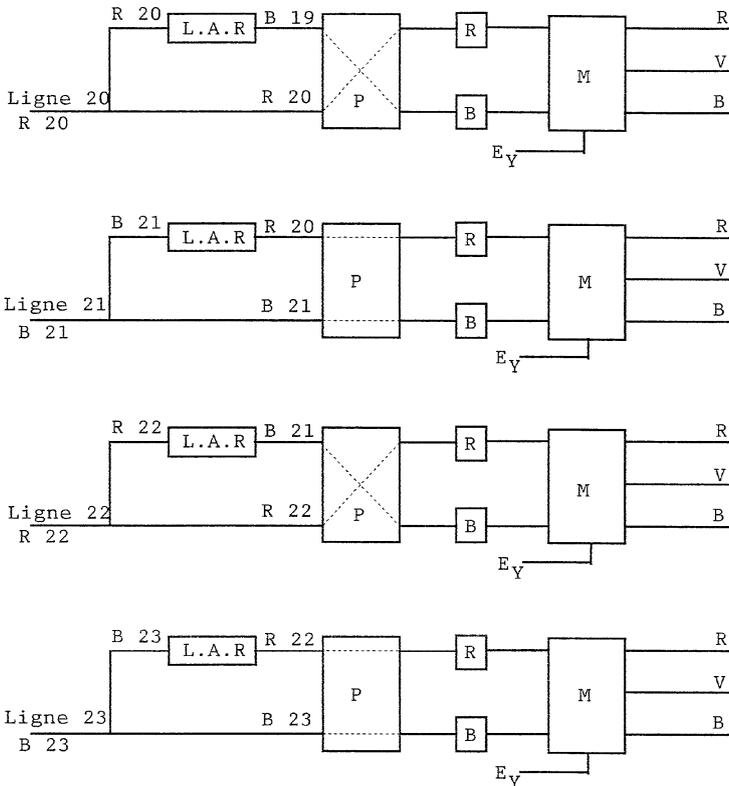
Finalement, le signal vidéo contiendra les informations suivantes :

- la luminance du pixel,
- la chrominance de la composante bleue du pixel,
- la chrominance de la composante rouge du pixel,

- synchronisation de la base de temps «lignes»,
- synchronisation de la base de temps «trames».

Remarque :

L'œil ayant un très faible pouvoir séparateur des couleurs, il est tout à fait possible de ne transmettre les informations de chrominance qu'un point sur deux. Les composantes de la couleur ne sont nécessaires que toutes les deux lignes. Le procédé séquentiel à mémoire (procédé SECAM) diffuse les composantes Rouge et Bleue de la couleur alternativement une ligne sur deux, selon le synoptique suivant (pour les lignes 19 à 22 par exemple) :



R : Rouge,
B : Bleu,
V : Vert,

P : permutateur,
M : matricage,
E_Y : luminance du point Y

L.A.R. : ligne à retard de 64 μs,

3. OBSERVATION A L'OSCILLOSCOPE D'UN SIGNAL VIDÉO SIMPLE

a - Utilisation d'un caméscope

La sortie vidéo du caméscope reliée à la prise PÉRITEL du téléviseur est également reliée à la voie 1 d'un oscilloscope : utilisation d'un té BNC-BNC de dérivation au niveau du caméscope. On peut également effectuer un «repiquage» des bornes 19 (sortie vidéo) et 17 (masse vidéo) de la prise PÉRITEL pour les relier à la voie 1 de l'oscilloscope.

On filme des mires en barres réalisées à l'aide :

- de différentes bandes de papier de couleur (pochette CANSON),
- de différentes bandes de papier de tons de gris différents (magasins spécialisés dans le dessin et la peinture),
- de différentes bandes de papier blanc et noir en alternance.

Il est bon que chaque mire réalisée commence par une bande blanche et se termine par une bande noire pour avoir à l'oscilloscope le niveau du blanc et le niveau du noir comme références.

Sur l'écran du téléviseur on peut observer ces mires et, simultanément sur l'oscilloscope, le signal vidéo.

Remarque :

On peut enregistrer les mires sur cassette vidéo pour faire une observation ultérieure des signaux.

b - Utilisation d'un générateur de mire

On utilise un dispositif électronique (mire Noir et Blanc, vidéo positive) qui génère une «mire en barre».

Sur le téléviseur, en utilisant :

- soit le canal auxiliaire AU (téléviseur relié à la mire par l'intermédiaire d'un cordon BNC-prise PÉRITEL),
- soit le canal 30 correspondant à la mire utilisée (sortie UHF de la mire reliée à la prise antenne du téléviseur).

On observe une série de barres dont la teinte va du blanc au noir en passant par des gris plus ou moins foncés.

On observe simultanément le signal délivré par la mire (sortie signal vidéo) sur l'écran d'un oscilloscope.

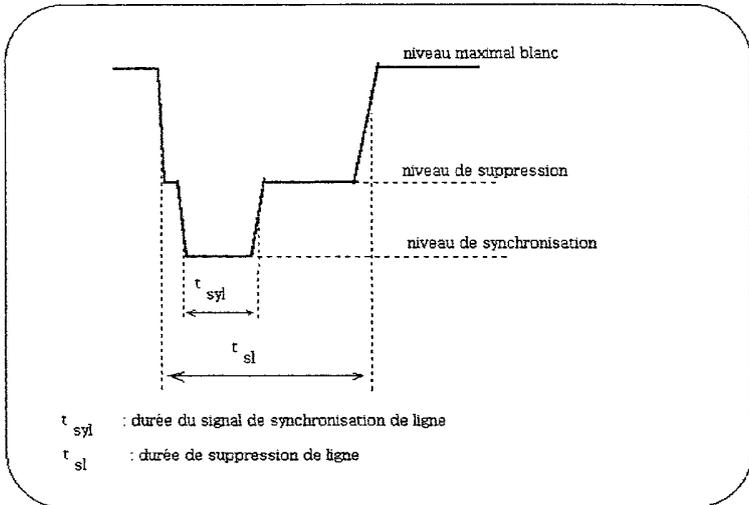
c - Observations - Mesures

Il faut disposer d'un oscilloscope ayant les synchros TV-V et TV-H (type Metrix 720-722-725 ou Hameg HM 203, ...).

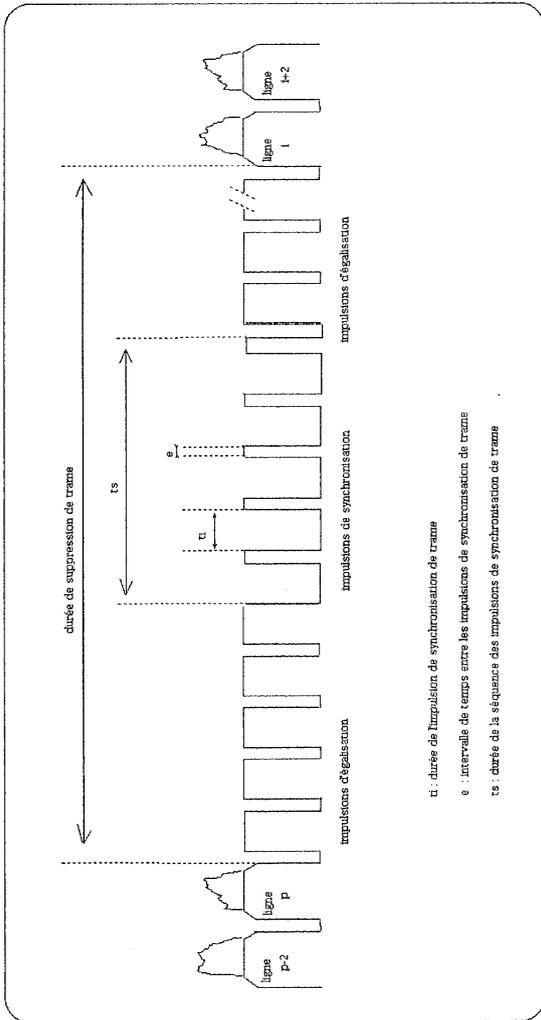
Pour une vitesse de balayage (5 ms/div, synchro TV-V, front descendant) faible on observera les trames avec leur «tops» de synchronisation et pour une vitesse de balayage élevée (20 μ s/div, synchro TV-H, front montant) on obtiendra le détail des lignes avec également leurs «tops» de synchronisation. On choisira un calibre de la voie d'entrée de l'oscilloscope de 0,5 V/div, la référence étant réglée en bas de l'écran.

On peut alors interpréter les différents oscillogrammes des trames et des lignes, mesurer la période de trame (20 ms), la période de ligne (64 μ s), la durée de suppression de trame (1,4 ms - 1,5 ms), la durée de suppression de ligne ($t_{sl} = 12 \mu$ s), la durée de la séquence des impulsions de synchronisation de trame ($t_s = 160 \mu$ s), la durée du signal de synchronisation de ligne ($t_{syl} = 5 \mu$ s), la durée de l'impulsion de synchronisation de trame ($t_i = 27 \mu$ s), l'intervalle de temps entre les impulsions de synchronisation de trame ($e = 5 \mu$ s).

On trouvera ci-dessous l'allure des synchro «lignes» et des synchro «trames» délivrées par un générateur de mire.



Synchro ligne



Synchro frame

BIBLIOGRAPHIE

- R. BESSON - Cours élémentaire de télévision moderne, Éditions Radio.
- R. Ch. HOUZÉ - Cours de base de TV couleur, Éditions Chiron.
- Document de travail : Enseignement de Spécialité - classe Terminale - GTD de Physique - Mars 1994.

Annexe

Principe de la transmission hertzienne

