



Traitement, Synthèse, Technologie et Applications

BIARRITZ — Mai 1984 —

SOUS-ECHANTILLONNAGE DU SIGNAL COMPOSITE SECAM
SUB-SAMPLING THE COMPOSITE SECAM SIGNAL

M. HAGHIRI

Laboratoires d'Electronique et de Physique Appliquée - 3, avenue Descartes - 94450 Limeil-Brévannes (France)

RESUME

L'autocorrélation et le spectre bidimensionnels du signal SECAM sont calculés en utilisant le modèle markovien du premier ordre pour les composantes Y, U et V. On constate alors que l'étalement du spectre de chrominance est dû à la séquence de phase des sous-porteuses. Un filtrage adaptatif sur la partie haute fréquence du signal video permet de concentrer l'énergie du spectre autour des multiples de la demi-fréquence ligne.

Une nouvelle méthode de sous-échantillonnage est alors proposée. L'image composite est reconstituée par une interpolation verticale suivie d'un filtrage adaptatif dans la partie haute fréquence et d'une interpolation horizontale dans la partie basse fréquence.

Ces considérations théoriques ont été corroborées par simulations sur des images de télévision. Il semble ainsi possible d'appliquer à un signal composite SECAM une technique de sous-échantillonnage voisine de celle généralement réservée aux systèmes PAL et NTSC.

SUMMARY

The bi-dimensional autocorrelation function and the spectrum of the SECAM signal are calculated using a first order Markov model for the Y, U and V components. This shows that the expansion of the chrominance spectrum is due to the phase sequence of the color subcarriers. Nevertheless an adaptive filtering of the high frequency part of the composite video signal allows to concentrate the spectrum energy around the multiples of the half-line frequency.

An original sub-sampling method is then proposed. The composite video signal is reconstructed by a vertical interpolation followed by an adaptive filtering on the high frequency spectrum combined with an horizontal interpolation on the low frequency spectrum.

These theoretical considerations have been corroborated by computer simulations on real pictures. Therefore, it seems possible to apply to the SECAM composite signal a sub-sampling technique similar to the one already used with PAL and NTSC.



INTRODUCTION

Du fait de l'évolution des techniques de codage et de la technologie, l'enregistrement et la transmission des images de télévision semblent s'orienter vers une solution numérique. L'échantillonnage constitue la première étape en numérisation d'image. Si la fréquence d'échantillonnage respecte la limite de Shannon (c'est-à-dire supérieure à 12 MHz pour le signal vidéo composite) et si chaque échantillon est codé sur huit bits (MIC), le débit numérique que l'on obtient est voisin de la centaine de mégabits/seconde. La transmission et l'enregistrement d'un tel débit présentent de grandes difficultés, étant donné la capacité actuelle des canaux de transmission, la vitesse et la capacité des organes de mémorisation. Le sous-échantillonnage est une des premières méthodes permettant de réduire ce débit.

Bien que la fréquence minimale d'échantillonnage soit fixée par la théorie au double de la fréquence maximale du signal, on peut atteindre, compte tenu de la nature du spectre de ce signal, une fréquence d'échantillonnage horizontale inférieure à la fréquence de Shannon, à l'aide des structures spatiales quinconce trame (QT), quinconce ligne (QL) [1, 2].

L'application directe de ces techniques dans le cas des signaux composites (PAL, NTSC, ...) n'aboutit pas à un résultat satisfaisant. Toutefois, on peut démontrer que le spectre du signal PAL ou NTSC est concentré autour des multiples de la fréquence ligne [3]. L'énergie est minimale au voisinage de $(N + \frac{1}{2})f_l$. Elle peut être encore atténuée par un préfiltrage en peigne. Le choix d'une fréquence d'échantillonnage, égale à un multiple impair de la demi-fréquence ligne, permet de replier le spectre dans les zones d'énergie minimale. Au décodeur, un post-filtrage en peigne élimine les fréquences repliées et restitue l'image.

La structure particulière du signal composite SECAM ne permet pas l'application directe des techniques précédentes [2].

La première partie de cet article est consacrée à l'étude du spectre des images codées en SECAM. On en déduit alors que les images composites correspondantes doivent subir un prétraitement avant de pouvoir être sous-échantillonnées. Le choix de la fréquence d'échantillonnage est ensuite discuté. On décrit alors les schémas de deux dispositifs, l'un permettant de sous-échantillonner le signal vidéo SECAM, l'autre de le reconstituer.

En conclusion, les résultats obtenus par simulations seront présentés.

I - GENERALITES ET MODELE MATHEMATIQUE DU SIGNAL SECAM

Contrairement aux procédés PAL et NTSC dans lesquels la chrominance est modulée en amplitude, le codage de type SECAM fait subir à la chrominance une modulation de fréquence. Les composantes de chrominance modulées U et V sont transmises alternativement de ligne à ligne ; il s'agit d'un multiplexage spatial vertical ou, dans un concept monodimensionnel, d'un multiplexage temporel.

De plus pour chaque composante U et V, la phase de la sous-porteuse change d'une ligne à la suivante ; la séquence de phase de chaque sous-porteuse est $\pi, 0, 0, \pi$. On distingue donc une période verticale de 6 lignes. Le signal composite SECAM peut être ainsi modélisé :

$$Y(x, y) + U(x, y) \text{ seg}(y) + V(x, y) \text{ seg}(y - y_0)$$

où : y_0 est la distance séparant deux lignes d'une même trame ;

Y est la luminance ;

U, V sont les composantes de chrominance.

$$\text{et : } P[-3y_0, 3y_0] = \begin{cases} 1, & -3y_0 < y < 3y_0 \\ 0, & \text{dehors} \end{cases}$$

$$\text{seg}(y, t) = \cos \frac{\pi y}{2y_0} \left\{ \sum_{-\infty}^{+\infty} P[-3y_0, 3y_0] * \delta(y - 6y_0) \right\}$$

correspond à la séquence de phase des sous-porteuses d'une même trame dans l'hypothèse où celle-ci comprend un nombre infini de lignes.

Supposons que chacun des signaux, luminance Y, différence de couleurs D_R et D_B , puisse être modélisé par un processus de Gauss-Markov du premier ordre, l'autocorrélation de la composante de luminance s'écrit alors :

$$R_Y(\Delta x, \Delta y) = A \cdot \exp(-\alpha |\Delta x| - \beta |\Delta y|) \quad [2]$$

Le cas des composantes de chrominance est plus complexe car U et V sont obtenues après modulation de fréquence. Les signaux D_R et D_B sont modélisés par des processus gaussiens et le calcul de la fonction d'autocorrélation donne :

$$R_U = R_V = B \cos \omega_c \Delta x e^{R_0(1 - \exp(-\alpha |\Delta x| - \beta |\Delta y|))} \cdot R_{\text{seg}}(\Delta y) \quad (\text{annexe I})$$

R_0 étant la variance de la composante D_R (ou D_B)

ω_c étant la fréquence de la sous-porteuse D_R (ou D_B).

En pratique, Y, U et V sont non-corrélées et le spectre bidimensionnel de l'image composite est la somme des spectres des différentes composantes. Comme il est établi dans l'annexe II, le spectre de chacune des composantes de chrominance peut s'écrire :

$$e^{-R_0} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{R_0^n}{n!} \frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + 2(f_x - f_y)^2} + \frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + 2(f_x + f_y)^2} \right] \times \frac{\beta n}{(\beta n)^2 + (2\pi f_y)^2} * W_{\text{seg}}(f_y) \quad (1)$$

$W_{\text{seg}}(f_y)$ étant la transformée bidimensionnelle de la séquence de phase.

La formule (1) montre que le spectre de la chrominance est plus étalé dans le sens vertical que dans le sens horizontal, alors que celui de la luminance est quasiment symétrique. La figure 1 présente le spectre bidimensionnel d'image SECAM.

Il est clair que le sous-échantillonnage d'image composite introduit un certain mélange des composantes de chrominance dû au repliement du spectre.

II - SPECTRE MONODIMENSIONNEL DU SIGNAL SECAM

L'image de télévision étant balayée ligne par ligne, on peut associer au signal composite un spectre monodimensionnel. Celui-ci peut être déterminé à partir du spectre bidimensionnel en tenant compte de la période ligne et du temps de retour du spot [4].

SOUS-ECHANTILLONNAGE DU SIGNAL COMPOSITE SECAM

SUB-SAMPLING THE COMPOSITE SECAM SIGNAL

M. HAGHIRI

$$W(f) = \frac{1}{T_d} \sum_{-\infty}^{+\infty} W(f, \frac{T_d}{T_d}(f - \frac{m}{T_d}))$$

$$= \frac{1}{T_d} e^{-R_0} \sum_{-\infty}^{+\infty} \sum_{n \neq 0} \frac{R_0^n}{n!} \left[\frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + [2\pi(f - f_c)]^2} + \frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + (2\pi(f + f_c))^2} \right] \frac{\beta n}{(\beta n)^2 + 2\pi^2(f - \frac{m}{T_d})^2} * W_{\text{seg}_b}(f)$$

Le terme $W_{\text{seg}_b}(f)$ correspond au spectre de la séquence de phase des sous-porteuses des signaux de chrominance (figure 2).

$$\text{seg}_b(t) = \sum_{i=1}^{\infty} C_i \cos \frac{2\pi t}{6T_d} i$$

avec :

$$C_i = \sin \frac{\pi i}{6} - \sin \frac{5\pi i}{6} + \sin \frac{3\pi i}{6} - \sin \frac{9\pi i}{6} + \sin \frac{7\pi i}{6}$$

On en déduit :

$$W_{\text{seg}_b}(f) = \sum_{-\infty}^{+\infty} C_i S(f - \frac{i}{6T_d})$$

Le spectre monodimensionnel comprend donc, aux multiples entiers de 1/6ème de la fréquence ligne, la translation du premier terme de la convolution. Cette fréquence 1/6 F_L provient de la périodicité de 6 lignes de la séquence de phase des sous-porteuses.

$$\text{Bien que le terme } \frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + (2\pi f)^2}$$

possède une largeur de bande relativement faible, il en résulte une densité d'énergie quasiment uniforme dans le spectre monodimensionnel. Autrement dit, le sous-échantillonnage du signal SECAM sous cette forme semble impossible [2].

Imaginons cependant un signal dont les sous-porteuses ont la même phase sur toutes les lignes. Il apparaît, dans la partie haute fréquence du spectre, des creux d'énergie correspondant aux multiples entiers de la demi-fréquence ligne. Ce phénomène se manifeste de façon identique dans le spectre bidimensionnel, comme illustré sur la figure 3.

Le sous-échantillonnage d'un signal composite paraît alors envisageable.

III - ECHANTILLONNAGE D'UNE IMAGE SECAM

On a vu qu'après la remise en phase des sous-porteuses en réception, le sous-échantillonnage du signal SECAM devient possible. Échantillonnée temporairement (trame/trame) et verticalement (ligne/ligne), l'image sera numérisée par échantillonnage horizontal.

Les structures d'échantillonnage dites OR-QT, QL [2] ne peuvent pas éviter le repliement du spectre d'image SECAM. Une nouvelle structure quinconce ligne composite (QLC) est alors proposée. Elle assure la séparation spectrale du signal et de son repliement. Comparativement à QL, cette méthode dégrade la définition verticale de la luminance.

Afin d'éviter tout effet de repliement spectral, une structure hybride d'échantillonnage est envisagée. La luminance et la chrominance sont échantillonnées séparément selon les structures QL (figure 4a), pour la luminance, et QLC (figure 4b), pour la chrominance.

Ces signaux sont ensuite additionnés. On obtient ainsi l'image sous-échantillonnée. Le spectre de cette image est représenté sur la figure 5.

En choisissant une fréquence d'échantillonnage égale à la somme des deux fréquences sous-porteuses, on peut entrelacer le spectre de chrominance et minimiser le "cross-color", car le spectre et son repliement coïncident en fréquence horizontale, tout en étant séparés verticalement.

Un filtrage bidimensionnel permet de reconstituer le spectre de l'image composite. Ce filtre est réalisable à l'aide de deux filtres en cascade (fig. 6).

La figure 7 représente le dispositif de sous-échantillonnage. La chrominance, séparée de la luminance à l'aide du filtre 1, sera échantillonnée en structure QLC. On additionne alors ce signal avec celui de la luminance échantillonnée en structure QL. Les deux mémoires (a) et (b) serviront à remettre en phase les signaux "luminance" et "chrominance" échantillonnés. Les retards θ ou τ selon la circonstance, τ étant la période d'échantillonnage.

La restitution, au niveau du récepteur, peut s'effectuer à l'aide du système représenté sur la figure 8. La chrominance et la luminance sont séparées par deux filtres respectivement passe-bande et passe-bas. Ces signaux subissent chacun une interpolation appropriée, c'est-à-dire que la luminance est interpolée linéairement à l'aide des échantillons voisins sur la même ligne, alors que la chrominance l'est verticalement (par des lignes voisines). Le repliement est ainsi diminué.

IV - SIMULATIONS ET CONCLUSIONS

Le système de sous-échantillonnage, décrit précédemment, a été simulé sur ordinateur VAX 750 + processeur vectoriel FPS 120. L'image de départ est échantillonnée à la somme des fréquences des sous-porteuses, $2(f_1+f_2) \approx 18$ MHz, ce qui a permis le sous-échantillonnage à (f_1+f_2) MHz. Le gabarit des filtres passe-bande correspondait à celui du filtre de séparation de couleur du procédé SECAM. L'estimation de la séquence de phase s'effectue alors en comparant la somme et la différence de la partie haute fréquence de deux lignes de même couleur. Si cette différence est inférieure à la somme, les deux lignes sont considérées en phase, sinon elles sont en opposition de phase. Dans ce dernier cas, on multiplie toutes les valeurs de la ligne courante par -1 (ce qui correspond à une remise en phase de la sous-porteuse de chrominance). Ensuite la chrominance, décimée un point sur deux (structure QLC), est additionnée à la luminance déjà échantillonnée en QL. Le signal résultant à la sortie de l'additionneur est une image sous-échantillonnée à f_1+f_2 .

En restitution, la chrominance et la luminance sont séparées par un filtre passe-bande. Un échantillon nul est inséré entre deux échantillons consécutifs de luminance. On opère de même pour la chrominance. Une interpolation verticale permet de restituer la chrominance. En pratique, on a constaté qu'un filtrage introduit une dégradation lors d'une transition verticale de couleur. Afin de minimiser un tel trainage de couleur, on a envisagé de restituer les points décimés par les points de la ligne voisine la plus vraisemblable. Celle-ci a été déterminée à l'émetteur en comparant la ligne courante aux lignes voisines et cette information est transmise pour le premier échantillon de chaque ligne. La luminance quant à elle a été interpolée horizontalement.

* défaut résultant de l'interprétation du signal luminance situé dans la bande du signal de chrominance.



SOUS-ECHANTILLONNAGE DU SIGNAL COMPOSITE SECAM
SUB-SAMPLING THE COMPOSITE SECAM SIGNAL
M. HAGHIRI

Les photos (n° 9) montrent deux images, une originale (9a) et une reconstituée après sous-échantillonnage (9b). On constate que les défauts sont concentrés dans la partie haute fréquence du signal composite. Ceci est dû à la structure QLC. Ces défauts se manifestent particulièrement sur les hautes fréquences diagonales de luminance (phénomène peu perceptible). En raison de sa forte corrélation (faible largeur de bande), ce phénomène n'existe pas pour la partie chrominance.

Compte tenu de la qualité d'image obtenue, cette technique de sous-échantillonnage peut constituer une première étape dans la compression des signaux de type SECAM.

ANNEXE I

CALCUL D'AUTOCORRELATION DES COMPOSANTES U,V

Supposons que les signaux différences de couleur soient des processus de Gauss-Markov non-corrélés entre eux ; l'autocorrélation de chacun de ces signaux s'écrit :

$$R_c(\Delta x, \Delta y) = R_0 \exp[-\alpha|\Delta x| - \beta|\Delta y|]$$

Calculons donc l'autocorrélation d'une des composantes de chrominance modulée en fréquence.

Si $\varphi(x,y)$ désigne le signal modulant, on a :

$$\text{chro} = A \cos[\omega_0 x + \varphi(x,y) + \Theta_1]. \text{Seg}(y) \quad (I)$$

où ω_0 est la fréquence de la sous-porteuse ;

Θ_0 est une variable aléatoire uniformément répartie sur $[0, 2\pi]$.

Seg est une fonction périodique qui tient compte de la séquence de phase de la couleur en SECAM.

$$\text{Seg}(y) = \sum C_i \cos(i\omega_1 y + \Theta_2)$$

ω_1 est la fréquence du balayage vertical.

La formule (I) s'écrit alors :

$$\text{chro} = A \sum \text{Réal} e^{j(\omega_0 x + C(x,y) + \Theta_1)} \\ \sum C_i \text{Réal} e^{j(\omega_1 y)}$$

$$\text{et } R_{ch} = E[\cos(\omega_0 x_1 + \varphi(x_1, y_1) + \Theta) \cos(\omega_0 x_2 + \varphi(x_2, y_2) + \Theta) \\ \cdot E \text{seg}(y_1) \text{seg}(y_2)]$$

$$= \frac{A^2}{2} E[\cos(\omega_0 \Delta x + \varphi(x_1, y_1) - \varphi(x_2, y_2)) \\ \cos(\omega_0(x_1 + x_2) + \varphi(x_1, y_1) + \varphi(x_2, y_2) + 2\Theta)] \cdot R_{\text{seg}}(\Delta y)$$

La moyenne du deuxième terme, par rapport à Θ est nulle. On obtient :

$$\text{1er terme} = E[\cos \omega_0 \Delta x + \varphi(x_1, y_1) - \varphi(x_2, y_2)] = \\ = E[\text{Réal} e^{-j\omega_0 \Delta x} e^{j(\varphi(x_1, y_1) - \varphi(x_2, y_2))}] \\ = \text{Réal} e^{-j\omega_0 \Delta x} E[e^{j(\varphi(x_1, y_1) - \varphi(x_2, y_2))}]$$

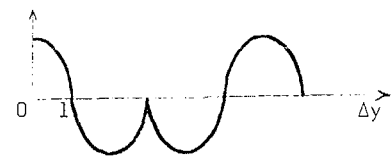
La variable $\varphi(x,y)$ est gaussienne et le deuxième terme est la fonction génératrice de $\varphi(x,y)$. On en déduit :

$$R_{ch}(\Delta x, \Delta y) = \frac{A^2}{2} \cos \omega_0 \Delta x e^{R_0(0)} e^{-R_0 \varphi(\Delta x, \Delta y)} R_{\text{seg}}(\Delta y)$$

En remplaçant R_φ par sa valeur, on obtient finalement, pour chaque composante, l'expression suivante :

$$R_{ch}(\Delta x, \Delta y) = \frac{A^2}{2} \cos \omega_0 \Delta x e^{R_0(1 - e^{-\alpha|\Delta x| - \beta|\Delta y|})} R_{\text{seg}}(\Delta y)$$

N.B. La séquence de phase peut être représentée par le signal :



dont l'autocorrélation est facilement calculable.

$$R_{\text{seg}}(\Delta y) = (1 - \frac{|\Delta y|}{6 y_0}) \cos \frac{\pi \Delta y}{2 y_0} * \sum S(y - 6 n y_0)$$

ANNEXE II

CALCUL DU SPECTRE

Le calcul du spectre bidimensionnel se ramène au calcul de l'intégrale suivante :

$$W(f_x, f_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \cos \omega_0 x e^{-R_0} e^{R_0 e^{-\alpha|x| - \beta|y|}} \\ R_{\text{seg}}(y) e^{-j2\pi(f_x x + f_y y)} dx dy$$

En remplaçant le terme exponentiel par sa décomposition polynomiale, soit :

$$e^{R_0 e^{-\alpha|x| - \beta|y|}} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{R_0^n}{n!} e^{(-\alpha|x| - \beta|y|)n}$$

on obtient alors :

$$W(f_x, f_y) = e^{-R_0} \sum_{n=0}^{\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \cos \omega_0 x \frac{R_0^n}{n!} e^{-n(\alpha|x| + \beta|y|)} \\ R_{\text{seg}}(y) e^{-j2\pi(f_x x + f_y y)} dx dy \\ = \{e^{-R_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{R_0^n}{n!} [\frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + (2\pi(f_x - f_0))^2} + \frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + (2\pi(f_x + f_0))^2}] \\ \frac{\beta n}{(\beta n)^2 + (2\pi f_y)^2} + \frac{1}{2} [S(f_x - f_0) + S(f_x + f_0)]\} * W_{\text{seg}}(f_y)$$

Observation pratique : pour des valeurs faibles de R_0 ($R_0 < 2$, ce qui est le cas de l'image). Il suffit de retenir uniquement les 5 premiers termes de la décomposition, c'est-à-dire :

$$e^{R_0 e^{-\alpha|x| - \beta|y|}} \approx \sum_{n=0}^5 \frac{R_0^n}{n!} e^{-\alpha|x| - \beta|y|} \quad [5! = 120]$$

SOUS-ECHANTILLONNAGE DU SIGNAL COMPOSITE SECAM
 SUB-SAMPLING THE COMPOSITE SECAM SIGNAL
 M. HAGHIRI

En ce qui concerne le spectre monodimensionnel, le signal de la chrominance est analysé ligne par ligne. Le calcul du spectre monodimensionnel se déduit du spectre bidimensionnel d'image

$$S(f) = \frac{1}{T_d} \sum_{-\infty}^{+\infty} W(f, \frac{T_l}{T_d}(f - \frac{m}{T_l}))$$

où : T_d est la période de retour du spot ;
 T_l est la période de ligne.

Si l'on remplace $W(o,o)$ par sa formule, on obtient :

$$S(f) = \frac{1}{T_d} e^{-R_0} \left\{ \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{R_0^n}{n!} \left[\frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + (2\pi(f-f_0))^2} + \frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + (2\pi(f+f_0))^2} \right] \right. \\ \left. + \frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + (2\pi(f+f_0))^2} \left[\frac{\beta n}{(\beta n)^2 + 2\pi(\frac{T_l}{T_d}(f - \frac{m}{T_l}))^2} \right] \right\} * W_{seg}(f)$$

$$= \frac{1}{T_d} e^{-R_0} \left\{ \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{R_0^n}{n!} \left[\frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + (2\pi(f-f_0))^2} + \frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + (2\pi(f+f_0))^2} \right] \right. \\ \left. + \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \frac{\beta n}{(\beta n)^2 + 2\pi(\frac{T_l}{T_d}(f - \frac{m}{T_l}))^2} \right\} * W_{seg}(f)$$

$$S(f) = \frac{1}{T_d} e^{-R_0} \left\{ \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{R_0^n}{n!} \left[\frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + (2\pi(f-f_0))^2} + \frac{\alpha n}{(\alpha n)^2 + (2\pi(f+f_0))^2} \right] \right. \\ \left. + \frac{\text{sh}(\beta n)}{\text{ch}(\beta n) - \cos 2\pi f T_l} \right\} * W_{seg}(f)$$

BIBLIOGRAPHIE

- 1 G.J. Tongne, "The sampling of TV images", IBA-Rep. 112/81.
- 2 F. Kretz, "Echantillonnage des images de télévision", Ann. Télécom., 36, N 3-4, 1981.
- 3 V. Devreux, "Sub-Nyquist sampling of PAL colour signals", BBC 1975/4.
- 4 Ir. Franks, "A model for random video process", BSTJ, April 1966.

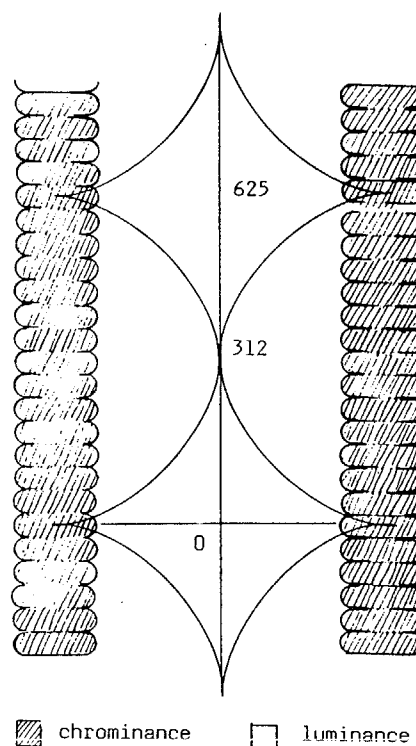


Figure 1 : spectre d'image composite avec la séquence de phase $\pi, 0, 0$ pour la sous-porteuse

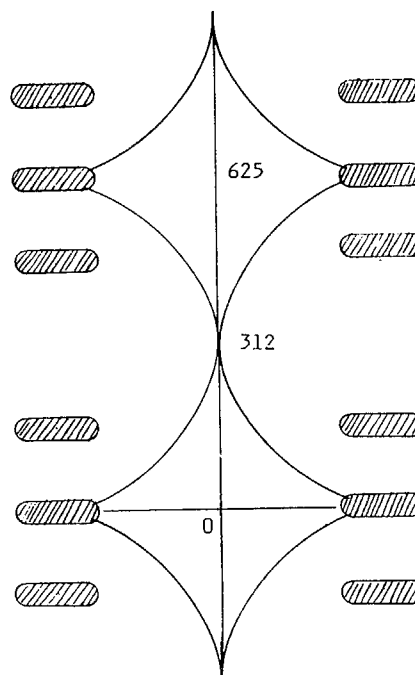


Figure 3 : spectre d'image composite avec les sous-porteuses remises en phase



SOUS-ECHANTILLONNAGE DU SIGNAL COMPOSITE SECAM
SUB-SAMPLING THE COMPOSITE SECAM SIGNAL
M. HAGHIRI

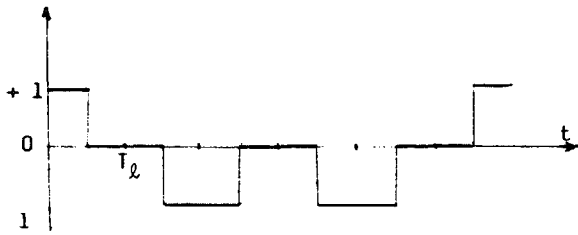
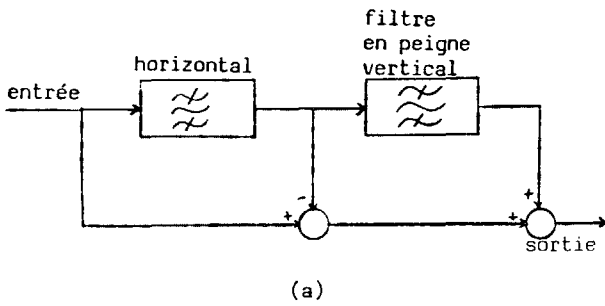


Figure 2 : Séquence de phase des sous-porteuses du procédé SECAM



(a)

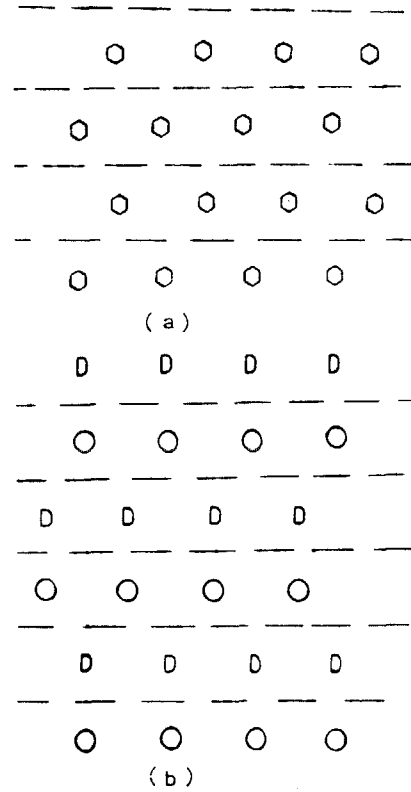
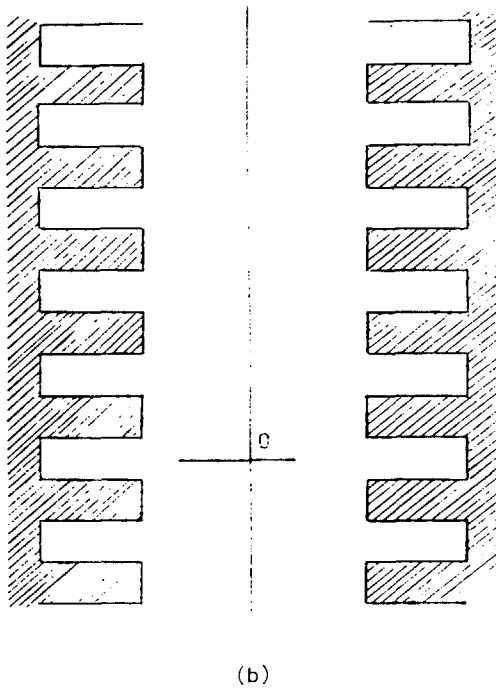


Figure 4

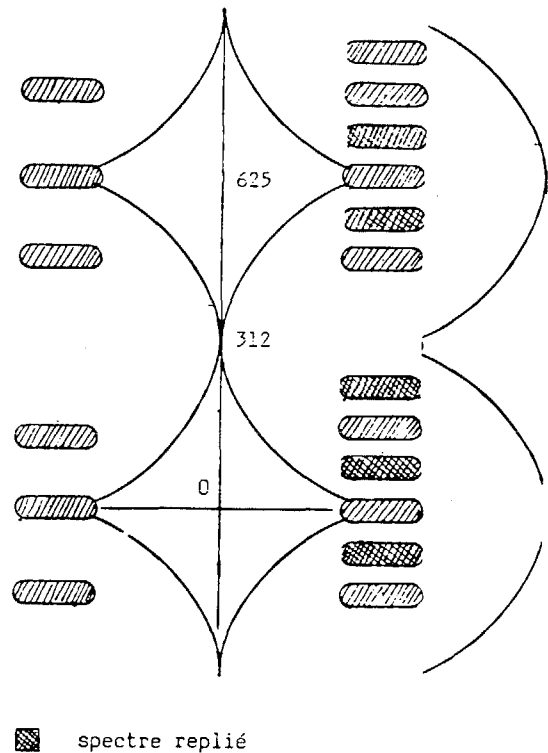
- (a) QL, structure d'échantillonnage utilisée pour la luminance
- (b) QLC, structure d'échantillonnage utilisée pour la chrominance



(b)

Figure 5

- (a) filtre permettant l'élimination du repliement
- (b) spectre bidimensionnel du filtre (a)



■ spectre replié

Figure 6 : spectre d'image sous-échantillonnée

SOUS-ECHANTILLONNAGE DU SIGNAL COMPOSITE SECAM
 SUB-SAMPLING THE COMPOSITE SECAM SIGNAL
 M. HAGHIRI

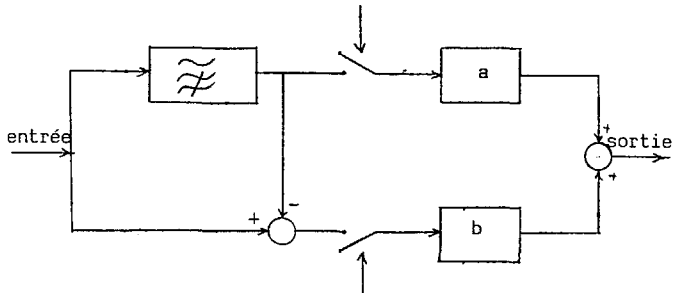


Figure 7 : Dispositif de sous-échantillonnage d'image à 8,6 MHz à partir d'une image échantillonnée à 17,2 MHz



9(a)

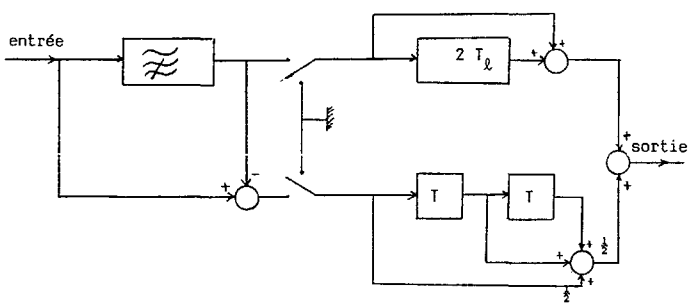


Figure 8 : Dispositif de reconstitution d'image à 17,2 MHz à partir de l'image sous-échantillonnée



9(b)

- (a) image originale
- (b) image traitée