

Fiche signalétique de document :

Dispositifs à transfert de charges (CCD)

Application à la Télévision

Auteur : Régis Brugière

Editeur : Direction de la Formation Professionnelle de l'INA Institut National de l'Audiovisuel.

Date d'édition : 1988 (édition remaniée)

Document appartenant à la collection de l'ACONIT, Association pour un conservatoire de l'informatique et de la télématique, Grenoble. Mis à disposition sur la Base de Données PSTC-Rhône-Alpes-sud, fiche le n°675 (rubrique PSC).

Fiche versée sur la Base de Données de la mission nationale PATSTEC sous le n° ACONIT 675.

Résumé analytique : CCD est un acronyme provenant de l'anglais « Charge Coupled Device », un mode de fonctionnement sur des puces de silicium en technologie MOS, pour des applications de prises de vue en Télévision, ou éventuellement en photographie numérique. L'intérêt de ce document réside dans la présentation synthétique de l'apport technologique de CCD, dont le fonctionnement est abondamment décrit, schémas à l'appui, pour le matériel d'acquisition des images utilisés par les professionnels de ce secteur. Ces technologies ont ensuite, à partir des années 1990, irrigué le marché des caméras numériques proposées aux particuliers.

Ce pdf contient :

- Problèmes particuliers – pp.23 à 37

Pour utiliser cet article, mentionnez INA France, ainsi que BdD ACONIT-PSTC Rhône-Alpes-sud, n° 675. Il est rappelé que la loi sur les droits d'auteur n'autorise que les reproductions partielles de documents à titre individuel et pour des motifs de recherche.



Chapitre IV

PROBLEMES PARTICULIERS

1 . Intégration de sortie commutable (Image et Trame) :

Avec un réseau de photocapteurs une ligne de télévision correspond à une rangée de ces capteurs. Avec les systèmes vidéo conventionnels les lignes sont regroupées de manière entrelacée. On peut faire de même avec les C.C.D. de manière à ce que chaque élément possède les charges relatives à la durée d'une image (deux trames) avant de transférer et de lire ces charges. Nous présentons cette "intégration image" des charges sur la figure 16.

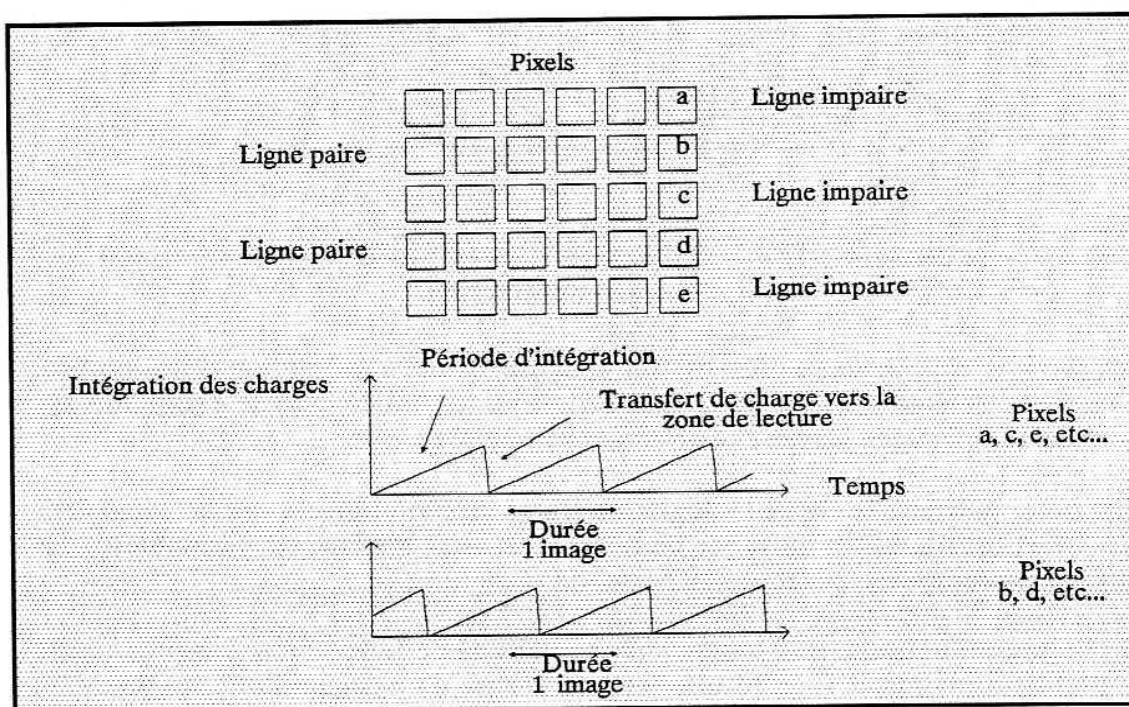


Fig 16 - Intégration Image



Sur la caméra BVP5 de SONY on peut passer d'une intégration à l'autre. Le système est alors dit d'intégration de sortie commutable.

En fait, en pratique on utilise l'intégration trame pour les scènes où il y a du mouvement et l'intégration image pour celles où il n'y en a pas (images fixes etc...). Et c'est l'opérateur de prise de vue qui choisit.

L'obturateur électronique permet de diminuer encore le temps de pose (voir annexe).

2. Différents types de phase :

Nous avons décrit dans le chapitre II le système de transfert à 3 phases en détail. C'est celui qu'utilisait la caméra CCD1 de RCA.

Nous comprenons qu'avec lui il est nécessaire qu'il y ait trois zones de potentiel dans un C.C.D. Sinon où iraient les charges lors d'un déplacement s'il n'y avait que deux zones de potentiel : en "avant" ou en "arrière" ? (figure 18).

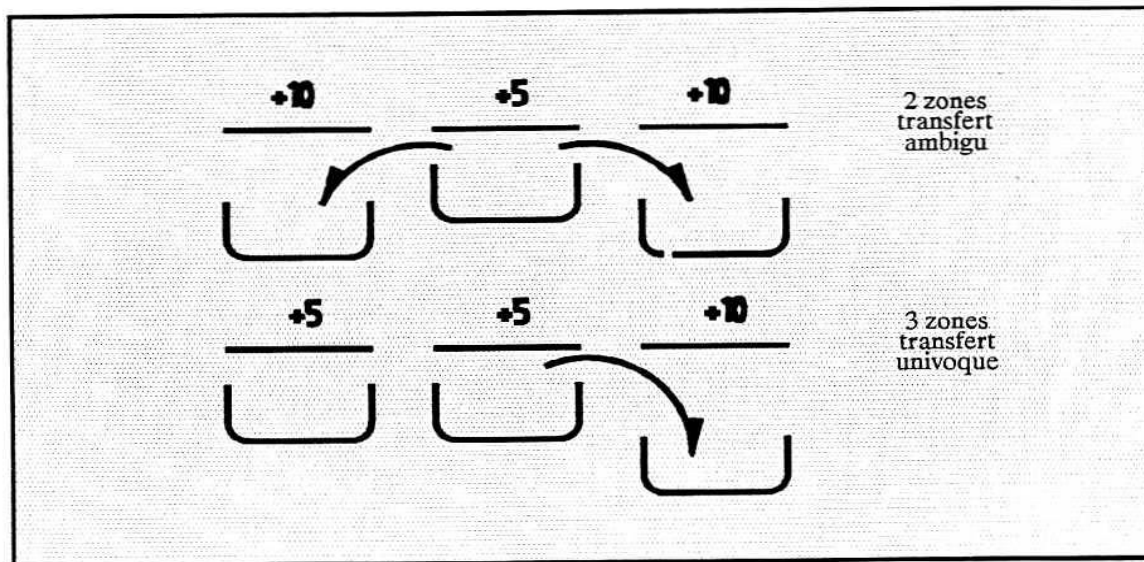


Fig 18

Avec deux zones de potentiel il faut pour "faire avancer les charges" désymétriser les cellules MOS et empêcher le passage dans un sens. C'est ce qui est très souvent fait (figure 19).

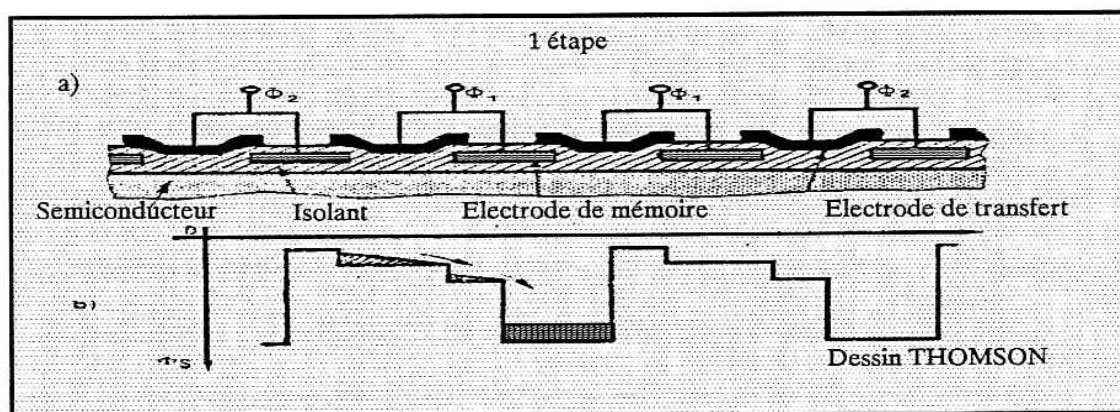


Fig 19

Dans la pratique avec l'existence de deux trames on a des systèmes de potentiel à deux phases qui deviennent des systèmes à quatre phases pour le transfert vertical. C'est le cas du dispositif PHILIPS présenté sur la figure 20, et du dispositif utilisé par SONY.

Le procédé PHILIPS est un système à transfert de trame et il a la particularité d'utiliser en sortie trois registres à décalage.

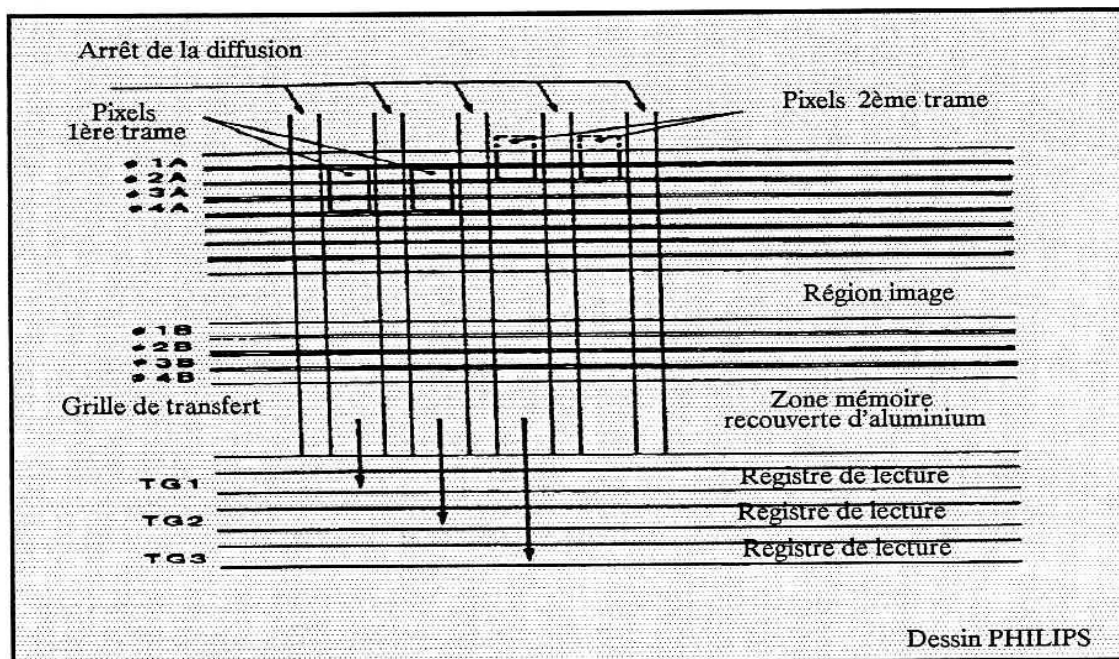


Fig 20

Dans le dispositif de SONY il y a deux phases pour le transfert horizontal et quatre pour le transfert vertical.



3 . Les problèmes de la couleur :

Ces problèmes sont analogues à ceux rencontrés dans les tubes couleurs et se posent de manière différente si on a un point de vue professionnel ou un point de vue "grand public".

Dans le premier cas on veut séparer en trois composantes la lumière qui entre dans l'objectif de la caméra pour l'envoyer sur trois puces différentes, une sensible au rouge, une sensible au bleu et une sensible au vert. On a une caméra tri C.C.D.

Pour cela, comme avec les tubes, on utilise des systèmes dichroïques : la différence comme le montre la figure 21 c'est la taille du séparateur, plus petite dans le cas des C.C.D.

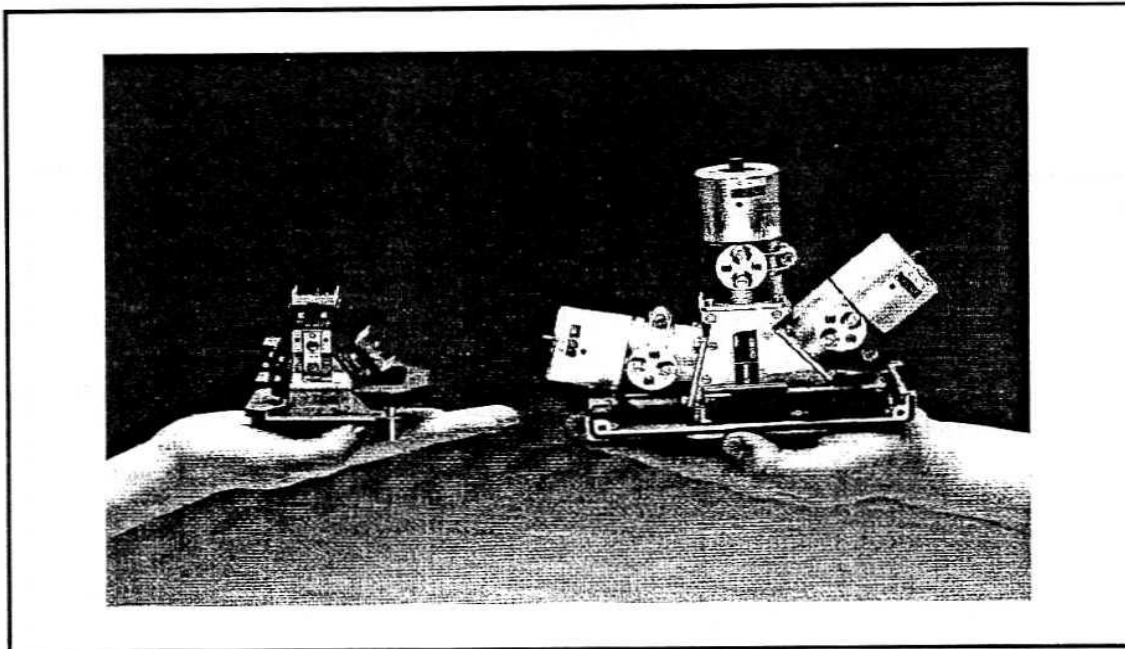


Fig 21

Dans le cas des caméras grand public il n'y a qu'une seule puce (caméra mono C.C.D.)

Il faut sélectionner par des filtres organisés en bandes ou en mosaïques les longueurs d'onde de la lumière qui arriveront sur un pixel capteur.

Chaque constructeur a mis au point un système qui lui est propre.



Nous en donnons deux exemples : un analyseur à transfert interligne (fig 22) où les filtres utilisés sont de type mosaïque et l'analyseur SONY (figure 23) où les éléments verts sont disposés en colonne (pour eux il y a une bande alors qu'il y a mosaïque dans les colonnes intermédiaires où alternent pixels sensibles au rouge et pixels sensibles au bleu).

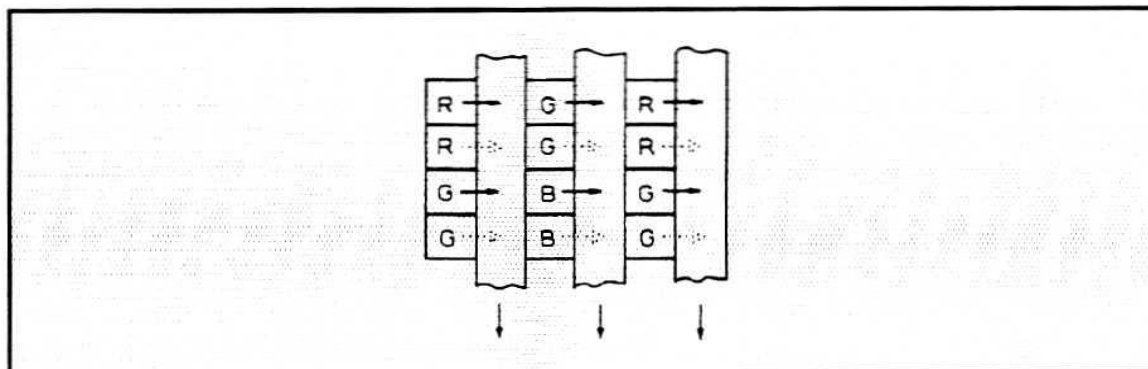


Fig 22

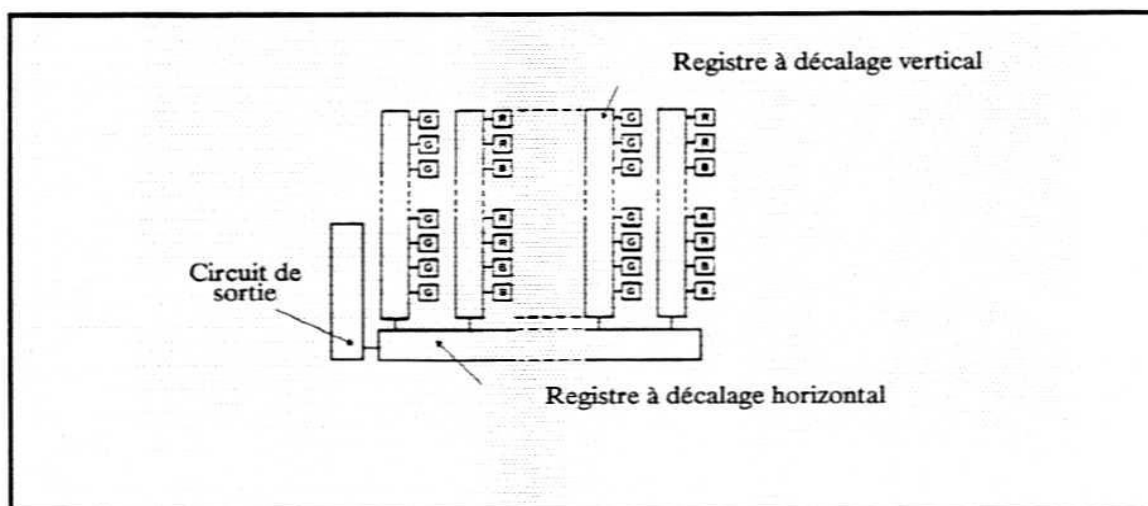


Fig 23 - Analyseur à transfert interligne

On peut noter que dans les deux dispositifs décrits le nombre de pixels sensibles au vert est égal au double du nombre de pixels sensibles au rouge ou au bleu. Il y a bien sûr autant de "pixels rouges", que de "pixels bleus". Ceci est assez général et montre que le vert, davantage présent dans l'information de luminance, est "mieux soigné".

Il faut noter enfin que dans les caméras professionnelles ayant trois puces on peut avoir des systèmes qui "panachent" les dispositifs.



NEC présente une caméra où il y a 3 puces. Deux sont sensibles au vert et il n'y a pas de filtre à leur niveau. La troisième puce est sensible au bleu et au rouge (figure 24).

Les "pixels bleus" et les "pixels rouges" reçoivent une lumière filtrée comme dans un dispositif tout public.

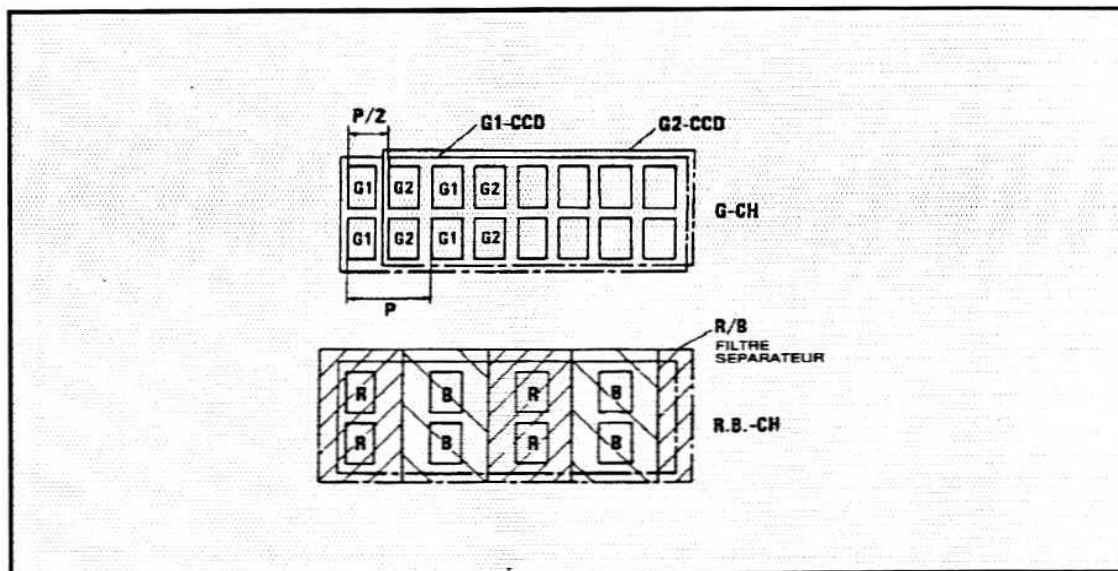


Fig 24 - Disposition du système à 2 verts de NEC

4 . Résolution et repliement de spectre :

4 . 1 . Problèmes dus à l'échantillonnage :

Les analyseurs à C.C.D. échantillonnent horizontalement et verticalement les scènes prises par les caméras. Il y a donc pour ces analyseurs tous les problèmes qui se posent lors d'un échantillonnage.

Si la fréquence spatiale de l'échantillonnage est insuffisante, il se produit des phénomènes de repliement de spectre. Des fréquences basses (fausses informations dues au repliement des fréquences élevées) apparaissent dans le spectre et se manifestent sous forme de moiré dans l'image. Ce phénomène porte aussi le nom d'aliasing.

Nous savons que pour éviter l'aliasing il va falloir filtrer et supprimer toutes les fréquences supérieures à la fréquence de NYQUIST (demi fréquence de l'échantillonnage).

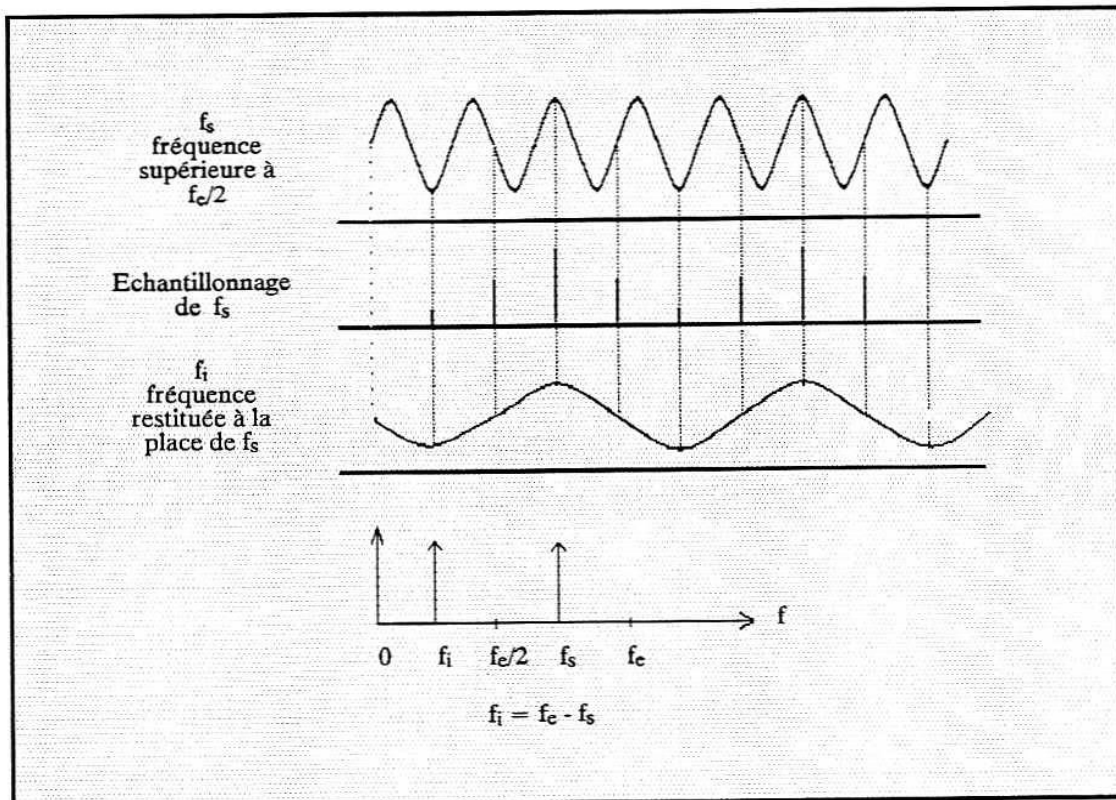


Fig 25 - Exemple de repliement de spectre

Ce filtrage concerne les fréquences spatiales et le signal d'entrée qui est la lumière. Le filtre passe bas utilisé est un filtre optique appelé préfiltre. Il est formé en gravant chimiquement une structure de diffraction sur une plaque de quartz.

4.2. Prise en compte de la dimension des pixels d'analyse :

Pour étudier plus profondément ces problèmes on a introduit la notion de fonction de transfert de modulation (F.T.M.).

Cette fonction est liée à deux paramètres spatiaux :

- la largeur du pixel ou ouverture spectrale d'analyse.
- la variable fréquence spatiale, f , dans les scènes analysées.

La fonction de transfert de modulation ou réponse fréquentielle de l'ouverture spatiale (c'est-à-dire la transformée de FOURIER) fournit la profondeur de modulation du signal de sortie en fonction de la fréquence spatiale.



Si nous supposons que la largeur du pixel est x et que sa sensibilité est constante nous l'assimilons à une "porte de sensibilité lumineuse".

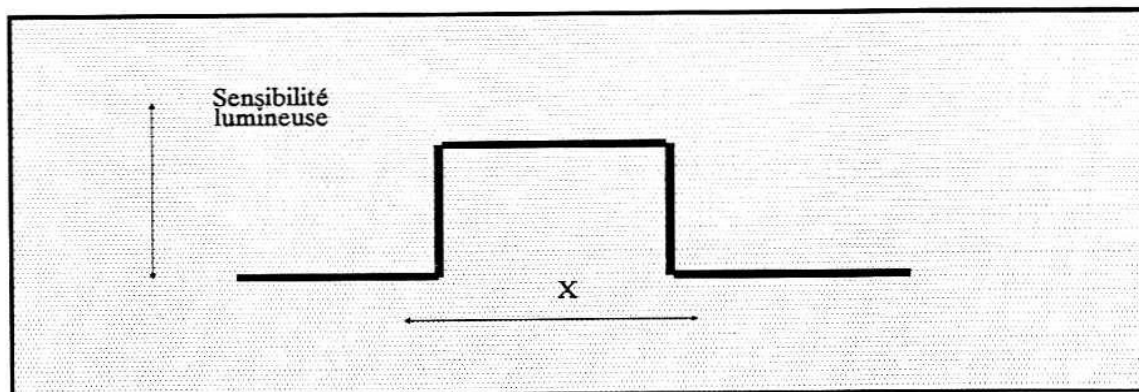


Fig 26

La F.T.M. dans ce cas est :

$$F.T.M. = \frac{\sin \pi f x}{\pi f x}$$

Dans la pratique il est plus intéressant d'avoir en abscisse les fréquences temporelles que les fréquences spatiales et on peut passer de l'une à l'autre en tenant compte de la durée utile d'une ligne (qui est 52 microsecondes).

La figure 27 donne deux exemples de F.T.M. pour deux analyseurs particuliers IL400 et FT 600.

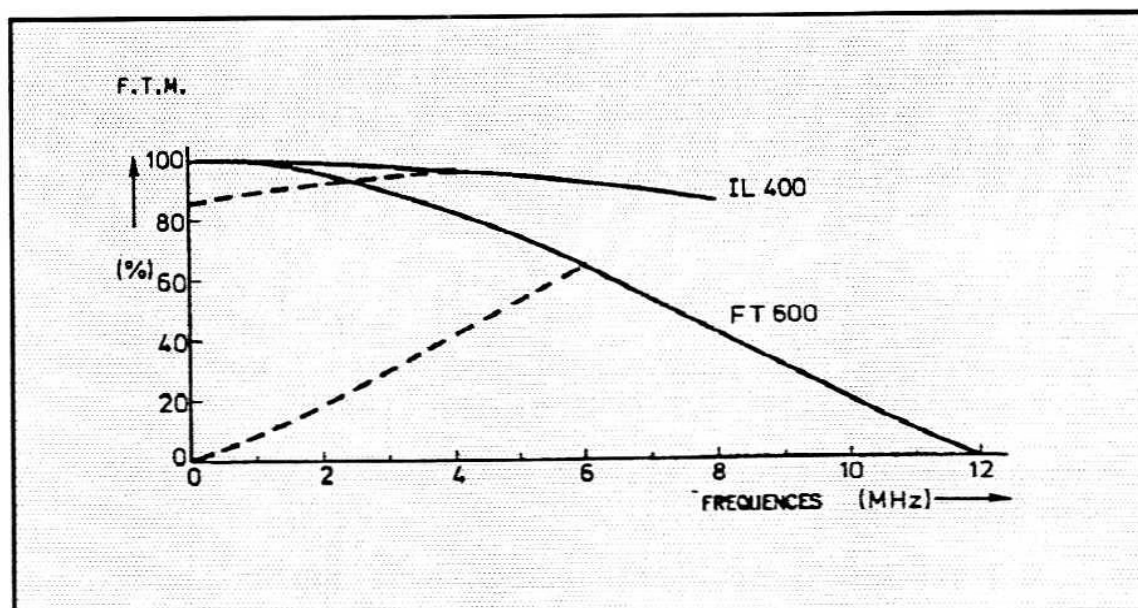


Fig 27



Pour les tubes il existe aussi des courbes donnant une F.T.M. Nous en donnons un exemple sur la figure 28 (pour les tubes on suppose que l'ouverture est circulaire et qu'il y a une répartition grossière des densités de charges créées autour d'un point).

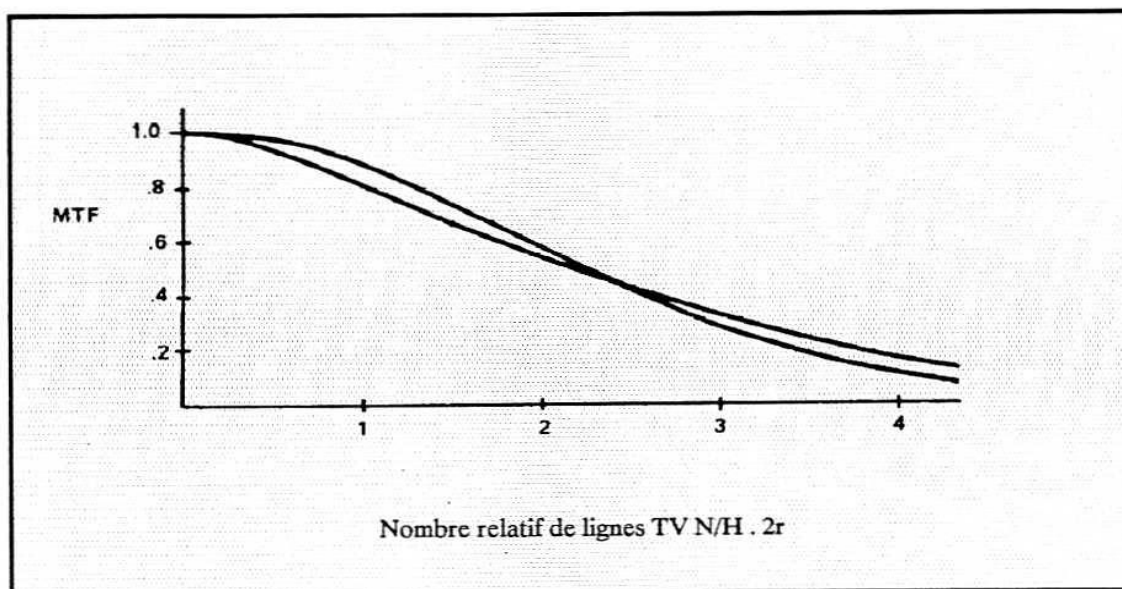


Fig 28 - Courbe MTF théorique pour tubes

4.3. Prise en compte du passage signal échantillonné signal continu (en sortie du système d'analyse) Effet S:H :

Le signal qui sort de la caméra doit être continu. Il est reconstitué à partir d'un signal capté échantillonné. Ce processus de reconstitution entraîne une déformation du signal analogue à celle que donne un échantillonneur bloqueur, dont la durée de blocage est la période d'échantillonnage. Son influence est représentée par les courbes que les Constructeurs appellent S:H. Elles sont de type $\sin x/x$ avec un premier zéro de la fonction à F_e (fréquence d'échantillonnage) (figure 29).

4.4. - Exemple du C.C.D. ICX 018 :

Pour poursuivre l'étude il faut placer maintenant la fréquence d'échantillonnage et la fréquence de NYQUIST sur nos graphiques et discuter à partir de là.

Nous allons le faire sur un exemple le senseur : ICX 018 C.C.D. utilisé dans la caméra BVP 5 de SONY.

Dans sa version européenne il possède les caractéristiques suivantes :

- Dimension d'image en analyse 8,8 x 6,6mm
- Nombre de pixels 500H x 582V



- Dimension des pixels $17\ \mu\text{m}$ et $11\ \mu\text{m}$
- Durée active de ligne $52\ \mu\text{s}$

La fréquence équivalente d'échantillonnage est : $9,6\ \text{MHz}$

Nous donnons dans la figure 29 la courbe de réponse de ce C.C.D. en ne tenant compte que de l'effet S:H plus important que l'effet du à la dimension des pixels d'analyse. et celle d'un tube ordinaire de 18mm de diamètre (courbes tracées dans les mêmes conditions).

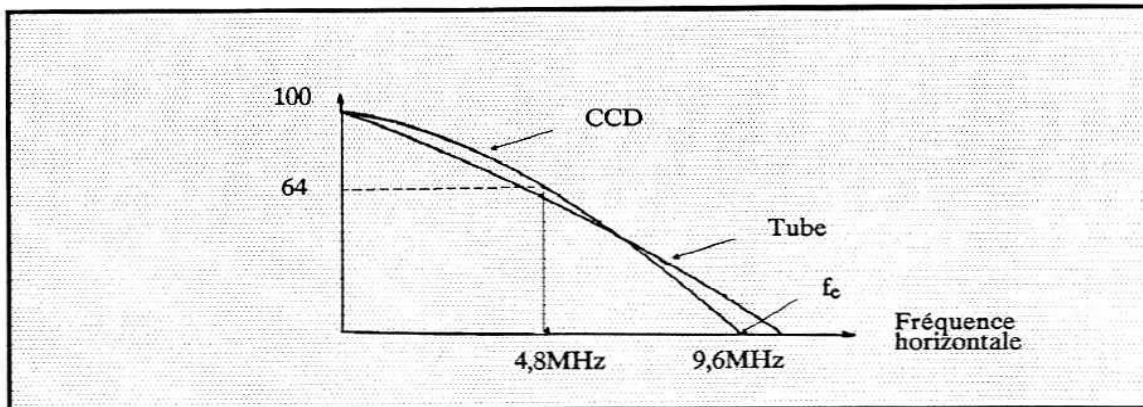


Fig 29

Nous voyons sur ces courbes que pour la fréquence de NYQUIST ($4,8\text{MHz}$) le C.C.D. a une profondeur de modulation un peu plus importante que le tube (64%, soit $-3,8\text{dB}$)

Pour éviter l'aliasing dont nous avons parlé au début de ce chapitre, il faudrait utiliser un préfiltre optique qui éliminerait toutes les informations se trouvant au-dessus de $f_e/2$ (qui dans notre exemple a pour équivalent $4,8\text{MHz}$ en fréquence temporelle).

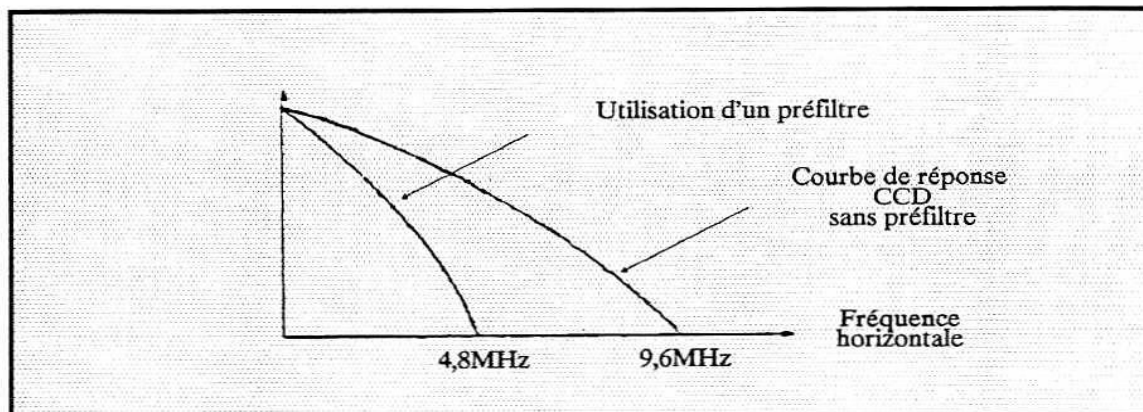


Fig 30

Nous voyons l'effet du préfiltre sur la figure 30. Il diminue fortement la résolution et il faut donc envisager d'améliorer les choses.



4.5. - Augmentation de la résolution :

Nous voyons qu'une des solutions pour augmenter la résolution c'est tout simplement d'augmenter la fréquence d'échantillonnage.

Pour cela on peut d'abord augmenter le nombre de pixels par ligne. Mais cela entraîne une diminution de leur taille car la surface de la puce doit rester constante (compatibilité avec les optiques des caméras à tube).

Plus les éléments de la structure d'analyse seront petits, plus ils poseront des problèmes technologiques de réalisation. A l'heure actuelle la qualité broadcast a pour limite 500x600 éléments par puce. (type de géométrie voisine d'une Dynamic RAM de 256K). Pour aller au-delà, il faudra des techniques de fabrication submicroniques et pour le moment les constructeurs de caméras semblent plutôt s'orienter vers des procédés indirects d'augmentation de la résolution.

Nous donnons l'exemple du procédé de l'offset spatial de SONY. Cette technique augmente le rendu des détails en noir et blanc.

Le C.C.D. vert est décalé d'un demi pixel par rapport au rouge et au bleu (figure 31a et b). Les horloges tiennent compte de ce décalage. Pour la luminance qui est la somme pondérée des trois informations, la fréquence d'échantillonnage spatial est doublée. Nous avons 1000 pixels pour cette information et donc $f_e = 19,2\text{MHz}$ en horizontal

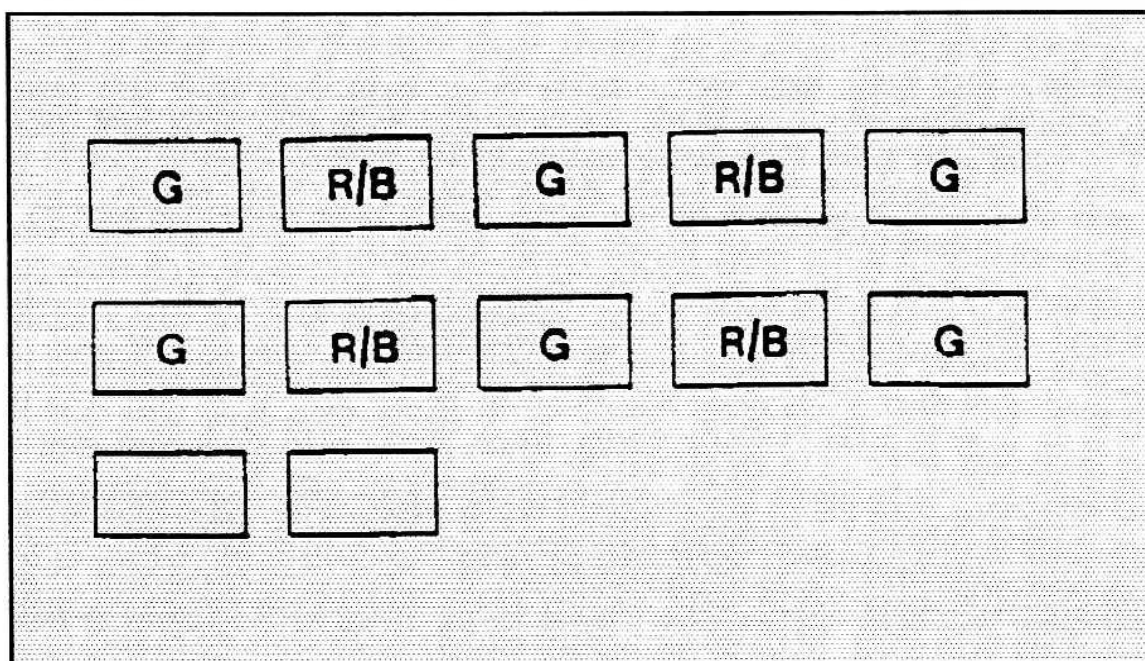


Fig 31a - Offset spatial

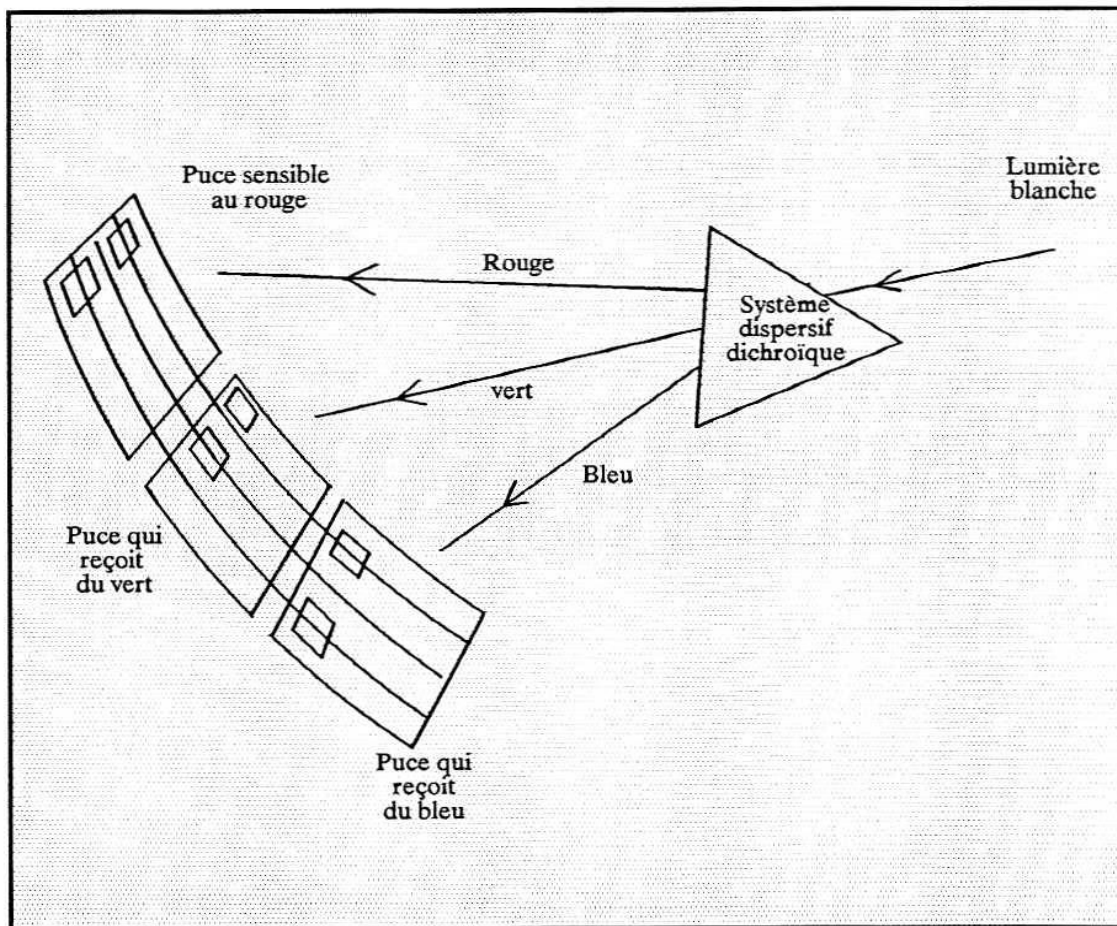


Fig 31b - Dessin éclaté (donc faux) des 3 puces

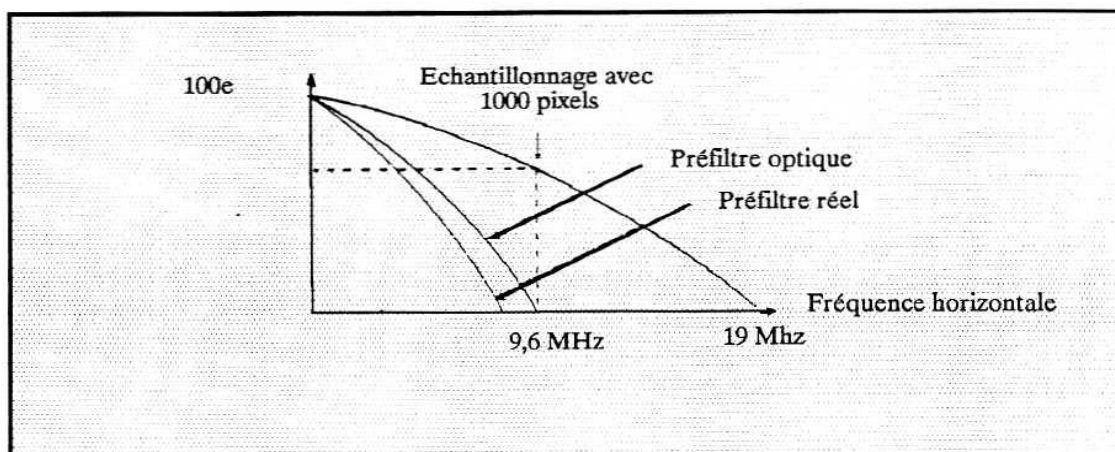


Fig 32

Le préfiltre optique pourra être déplacé vers des fréquences plus élevées (figure 32).



Notons cependant que les signaux individuels de couleur conservent leur repliement de spectre et que le filtre réel choisi a une fréquence limite quelque peu inférieure à la valeur théorique.

REMARQUES :

1) - Nous avons raisonné jusqu'à présent sans tenir compte d'un "instrument" qui ajoute son filtrage à ceux dont nous avons parlé : l'oeil du téléspectateur.

Il semble que les images regardées sont subjectivement meilleures s'il y a un peu d'aliasing et si de ce fait on réalise le filtrage un peu au-dessus de la fréquence de NYQUIST. Nous donnons dans la figure 33 la courbe de réponse du filtre recommandée par le SMPTE.

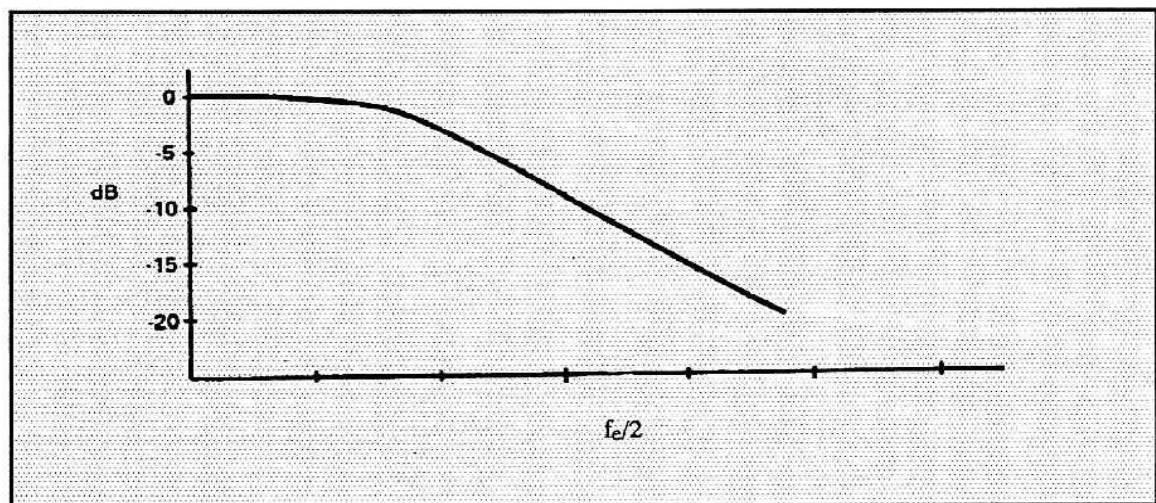


Fig 33 - Filtre antialiasing recommandé par la SMPTE

Ce filtre réalise un compromis entre le moiré dû à l'aliasing et la conservation de traits de séparation nets dans l'image (ce que le filtrage à $f_c/2$ supprimerait).

2) - Nous nous sommes limités à présenter les problèmes de résolution statique mais la plupart des images de télévision sont animées et il faut s'intéresser à la résolution dynamique (qui tient compte de la durée de prise de vue d'une image). Dans ce cas on fait intervenir une F.T.M. dynamique et on doit encore plus tenir compte de l'oeil (Les essais subjectifs sont plus importants dans ce cas).

Nous renvoyons ceux qui veulent mieux connaître ce problème au SMPTE tutorial paper du SMPTE journal de septembre 1985 : Résolution Considerations in Using C.C.D. Imager in Broadcast Quality Caméras par T. GURLEY et C. HASLETT.

Rappelons ici que nous avons parlé dans un paragraphe précédent de l'intégration de sortie commutable image ou trame qui tient déjà compte de la durée de prise de vue.



Une "nouveau" SONY, l'obturateur électronique améliore encore la résolution dynamique (voir annexe).

3) - La procédé d'offset spatial est utilisé par NEC avec deux puces sensibles à la lumière verte décalées d'un demi pixel. La troisième puce est partagée entre les "pixels bleus" et les "pixels rouges".

1.3.3. Les puces sensibles à la lumière verte

La puce sensible à la lumière verte est la plus petite des trois. Elle est utilisée pour la couleur verte. Elle est décalée d'un demi pixel par rapport aux autres puces. Elle est partagée entre les pixels bleus et les pixels rouges.

La puce sensible à la lumière verte est la plus petite des trois. Elle est utilisée pour la couleur verte. Elle est décalée d'un demi pixel par rapport aux autres puces. Elle est partagée entre les pixels bleus et les pixels rouges.

2.1.1. La puce sensible à la lumière verte

La puce sensible à la lumière verte est la plus petite des trois. Elle est utilisée pour la couleur verte. Elle est décalée d'un demi pixel par rapport aux autres puces. Elle est partagée entre les pixels bleus et les pixels rouges.

