

**ESEC-ÉCOLE SUPÉRIEURE
D'ÉTUDES
CINÉMATOGRAPHIQUES
PARIS**
Film & TV institute
21 rue de Cîteaux
F-75012 Paris
t.+33 (0)1 43 42 43 22
f.+33 (0)1 43 41 95 21
www.esec.edu

COURS DE TECHNOLOGIE VIDÉO

1^{re} Année

J V D U B A U
Octobre 2019

Cours Technologie Vidéo

I — Introduction

- *La lumière.*
- *L'œil.*
- *La perception.*
- *Notions de spectre.*
- *Température de couleur.*

II — Introduction Caméra

- *Les couleurs primaires.*
- *Le Spectrum Locus et les espaces couleurs.*
- *Principe de reproduction.*
- *Principe d'analyse d'une caméra vidéo.*
- *Le signal électrique vidéo*
- *Analyse de l'image TV*
- *Balayages progressif et entrelacé.*

III — Vidéo analogique

- *notion de résolution, ratio des formats d'image SD/HD/2K/4K/8K/Cinéma.*
- *conversions des ratios des formats d'images vidéo.*
- *Evolution de la famille des signaux analogiques.*
- *Signaux composantes RVB / Y (R-Y) (B-Y) / YUV*
- *Signaux composites NTSC-PAL-SECAM-YC*

IV — Introduction à la Vidéo numérique

- *Rappels sur les notions binaires*
- *La conversion numérique*
- *Echantillonnage et quantification*
- *Les ratios luminance/chrominance*

V — Les caméras numériques

- *Les familles de caméras.*
- *Les capteurs CCD,*
- *Les capteurs CMOS.*
- *Le traitement vidéo dans une caméra vidéo numérique.*

I-Introduction

La lumière

*Le rayonnement émis par le soleil se propage dans l'univers sous forme d'un **mouvement vibratoire**. Il est formé de **particules**, les **photons**, qui accompagnent une **onde électromagnétique**. Ce mouvement ondulatoire est caractérisé par l'existence d'une onde dont les composantes sont :*

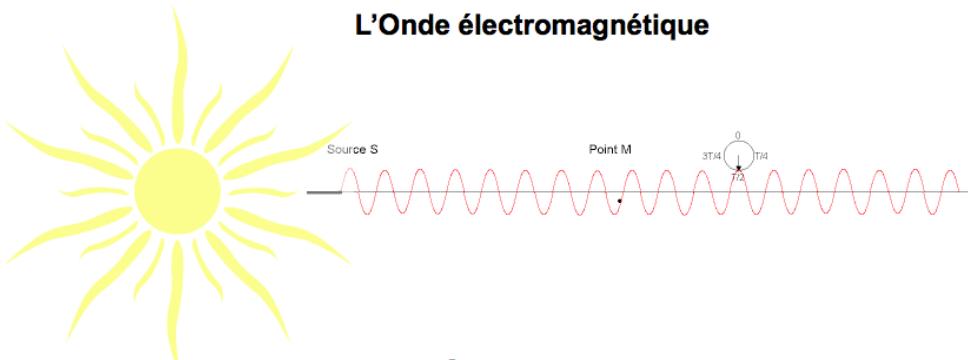
- **Sa longueur d'onde λ (Lambda) en mètre (m)** (*distance séparant 2 crêtes*)
- **Sa fréquence f en Hertz (Hz)** (*est le nombre de vibrations par seconde*)
- **Sa vitesse c en mètre par seconde (m/s)** (*env = 300 000 km/s*)

et Dont la relation est:
$$\lambda_{(m)} = \frac{c_{(m/s)}}{f_{(Hz)}}$$

*La période d'un signal sinusoïdal a pour relation: $T_{(s)} = \frac{1}{f_{(Hz)}}$
(temps mis par une crête pour parcourir sa longueur d'onde)*

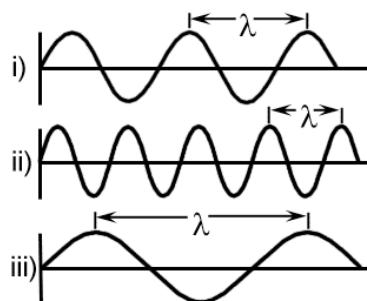
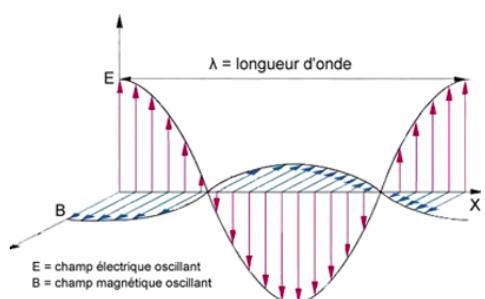
ainsi pour toute onde:
$$\lambda_{(m)} = v_{(m/s)} \cdot T_{(s)}$$

L'Onde électromagnétique



$$\lambda_{(m)} = \frac{c_{(m/s)}}{f_{(Hz)}}$$

λ= longueur d'onde (mètre)
c= vitesse de la lumière (m/s)
f= fréquence(hertz)



L'œil

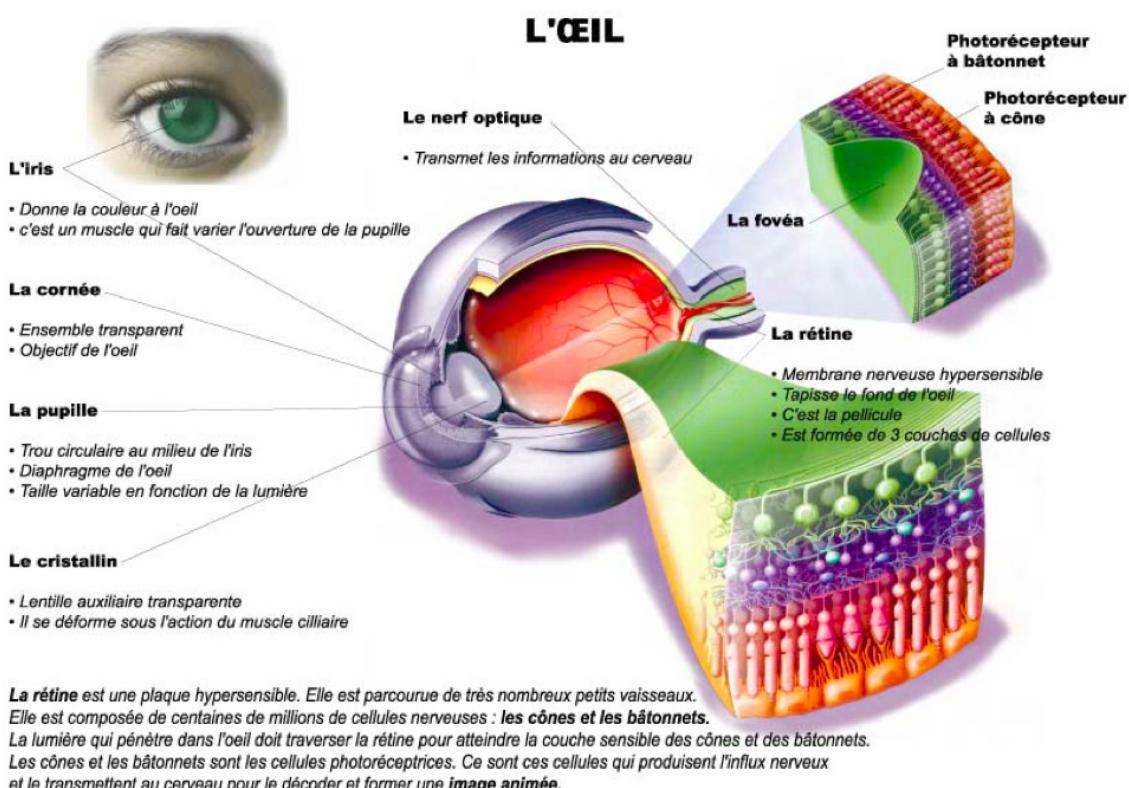
Les ondes électromagnétiques (**photons**) pénètrent l'œil :

certaines cellules de l'œil sont très sensibles à la quantité de lumière, aux très faibles lueurs et aux mouvements (**bâtonnets**) utilisés surtout pour la vision nocturne, tandis que les autres sont sensibles à la qualité chromatique de la lumière (**couleur**) et aux détails fins (**cônes**), vision diurne.

Ainsi, notre perception de l'image est divisée en trois types d'information qui sont analysés par le cerveau :

- **la luminance (noir, dégradé de gris, ou blanc ?)**
- **la chrominance (couleur) (cyan, rouge, jaune, bleu, vert ?...).**
- **le mouvement.**

Le cerveau va faire coïncider ces **trois types d'informations** pour ne former qu'**une seule image animée**, qui est celle de notre vision.

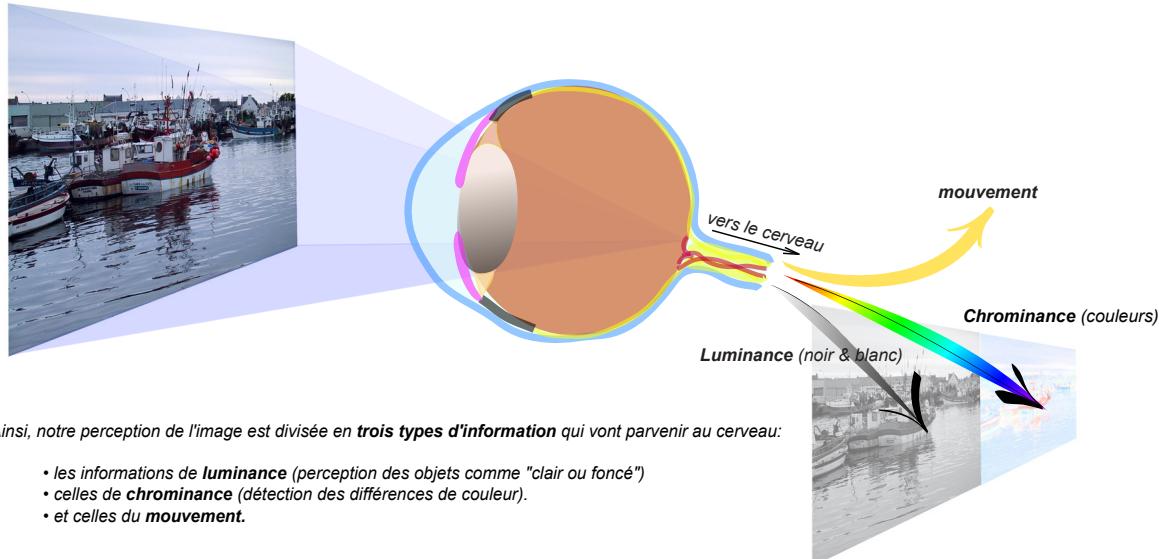


La perception

PERCEPTION

Le flux lumineux pénètre l'œil:

- les bâtonnets ont une grande sensibilité à la lumière, et aux mouvements
- les cônes vont être sensibles aux couleurs, et aux détails.



I'image colorée peut être définie par 3 grandeurs subjectives fondamentales :

- **la luminance :**

qui traduit la sensation d'intensité lumineuse, elle est fonction de l'amplitude du rayonnement reçu par l'œil, ainsi que la sensibilité de celui-ci en fonction de la longueur d'onde.

- **la Chrominance avec:**

- **la teinte :** est la **sensation colorée** qui est liée à la longueur d'onde dominante d'une radiation (rouge, jaune, vert, bleu etc.).

- **la saturation :** est le **niveau de pureté de la radiation**. Une couleur qui ne comporte pas de lumière blanche dans sa radiation est dite saturée. À l'inverse, une couleur comportant un taux élevé de lumière blanche est dé saturée, c'est le cas des teintes pastelées.

on dit d'une couleur qu'elle est:

vive, quand elle est claire et saturée.

profonde, quand elle est foncée et saturée.

pâle, quand elle est claire et dé saturée.

rabattue, quand elle est foncée et dé saturée.

*Une couleur est donc caractérisée par la **teinte et la saturation**:*

*c'est ce que l'on nomme la **chrominance**.*

D'autre part, on constate que l'œil:

- Est plus sensible à la luminance qu'à la chrominance

• le mouvement:

- L'œil reste marqué par les images qui le frappent, pendant environ 1/10e de seconde :

c'est ce que l'on appelle la persistance rétinienne.

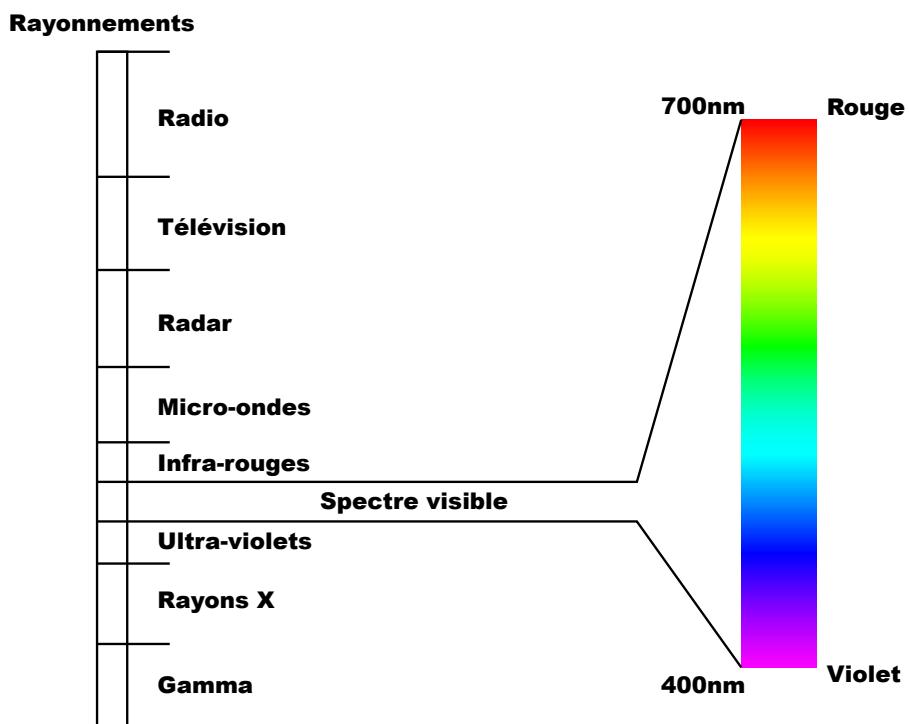
On se servira de ces 3 caractéristiques pour la reproduction d'images animées en vidéo.

Notions de spectre

Les rayonnements émis par le soleil se diffusent dans l'Univers sous forme d'ondes électromagnétiques, ce que l'on nomme la lumière n'est qu'une toute petite partie de ces rayonnements, c'est ce que l'on appelle le **spectre visible**.

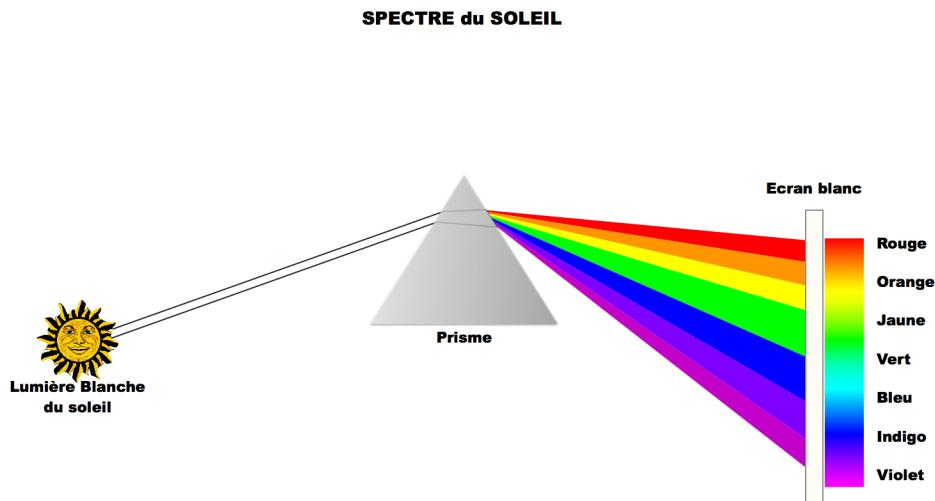
- L'œil ne perçoit que le spectre dont les **limites vont du rouge au violet**.
- En dessous du rouge (l'**infrarouge**) et au-dessus du violet (l'**ultraviolet**) ces **rayonnements deviennent invisibles**.

SPECTRE VISIBLE



l'œil ne perçoit qu'une **fenêtre**, dans tout le rayonnement solaire,
dont les limites vont du **rouge au violet**.
En dessous du rouge (l'**infrarouge**) et au-dessus du violet (l'**ultraviolet**)
ces rayonnements deviennent **invisibles**.

L'œil humain permet d'analyser seulement une **fraction des rayonnements** émis par le soleil, le **spectre**, que l'on peut observer sous certaines conditions : L'arc-en-ciel ou au travers d'un prisme qui décompose la lumière blanche en plusieurs couleurs.



La lumière que l'on perçoit blanche, est en fait composée de plusieurs couleurs dont la somme donne le blanc. L'absence totale des couleurs donne le noir

Grâce à cette expérience, on peut en déduire que :

- **la lumière blanche est composée de la somme de plusieurs couleurs.**

- **L'absence de rayonnement donne le noir.**

La température de couleur

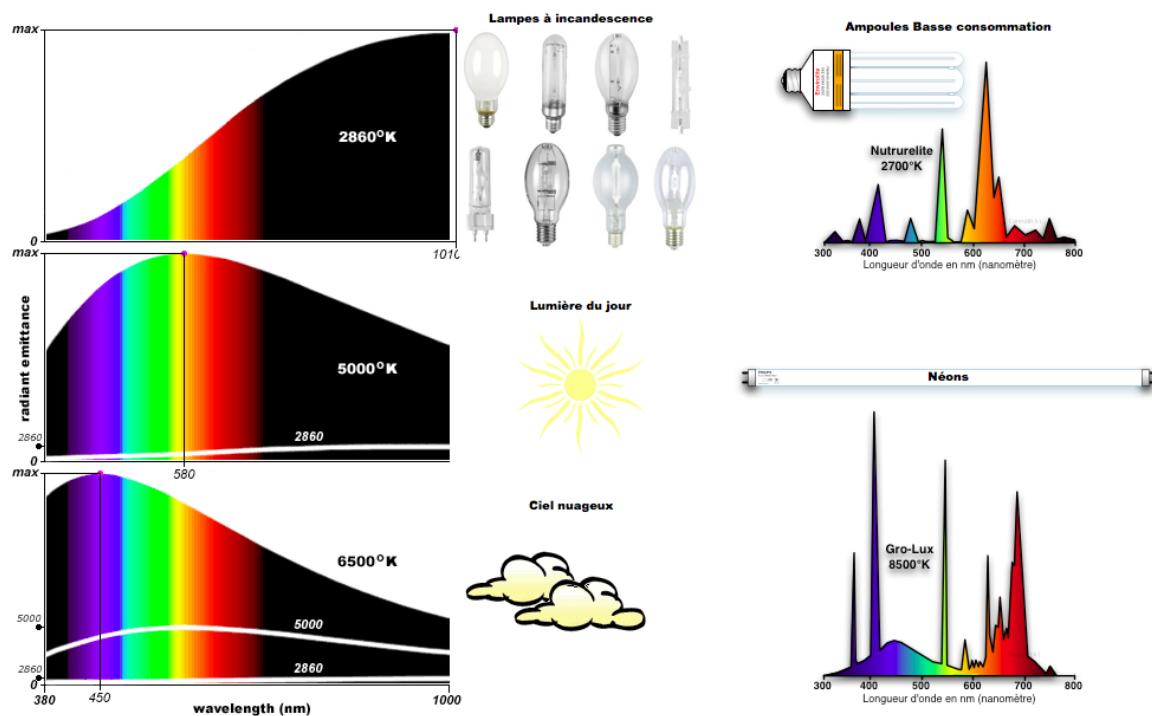
La couleur d'un objet apparaît à l'œil humain en fonction de la source lumineuse qui l'éclaire, il est important que celle-ci soit blanche, naturelle comme le soleil ou bien artificielle, lampe tungstène, bougie, néon etc. Toutes ces sources lumineuses ont en réalité des dominantes colorées, mais notre perception s'adapte et équilibre au bout de quelque temps les différents blancs d'une scène.

• *La température de couleur d'une source lumineuse traduit ainsi les dominantes colorées d'une image, elle correspond à la lumière émise par un corps noir chauffé à cette température. Elle se mesure en KELVIN (K) dont le zéro absolu est à -273°Celsius*

$$T_{(K)} = T^{\circ}c + 273$$

Un corps noir est un objet théorique opaque dont le spectre lumineux dépend uniquement de sa température.

SPECTRES DES SOURCES LUMINEUSES

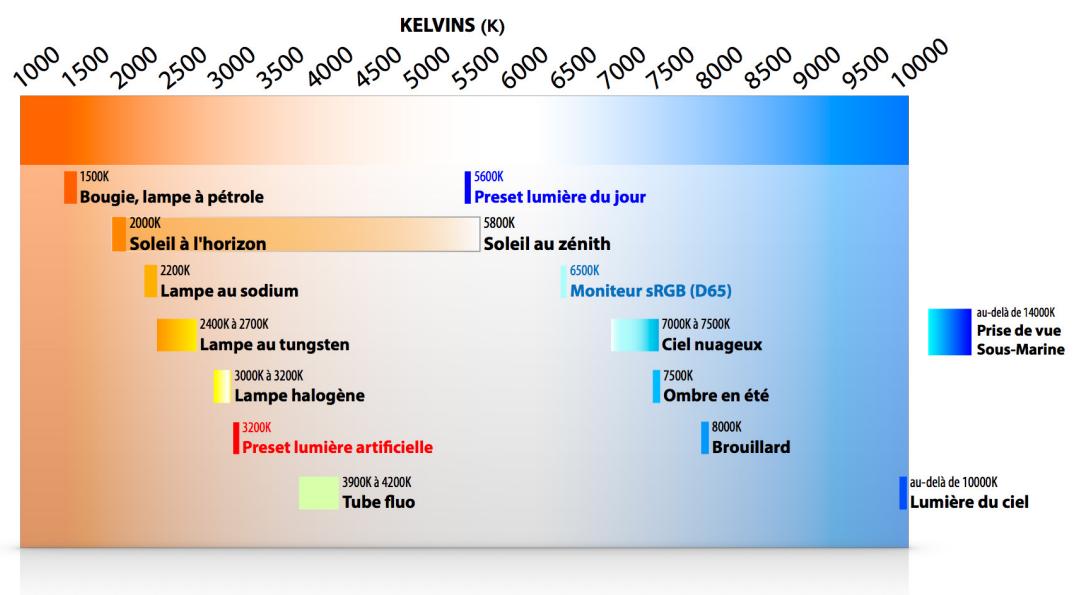


Pour créer des ambiances, les températures de couleur utilisées peuvent varier sur toute l'étendue disponible (de 1000K à 10000K et parfois au-delà).

Une scène éclairée par:

- une **bougie** a une forte **dominante rouge orangée (1 500K)**
- une **lampe au Tungstène-Halogène (TH)** a une **dominante jaune orangée (3 200K)**
- des **lampes fluos** ont une **dominante vert bleue (autour de 4 200K)**
- **Le soleil dans un ciel bleu** a une **dominante bleutée (5 600K)**
(caractérise une température de couleur élevée).
- **Un ciel nuageux produit une température de couleur très élevée (très bleue) (6 500K et au-delà)**

Echelle des températures de couleur

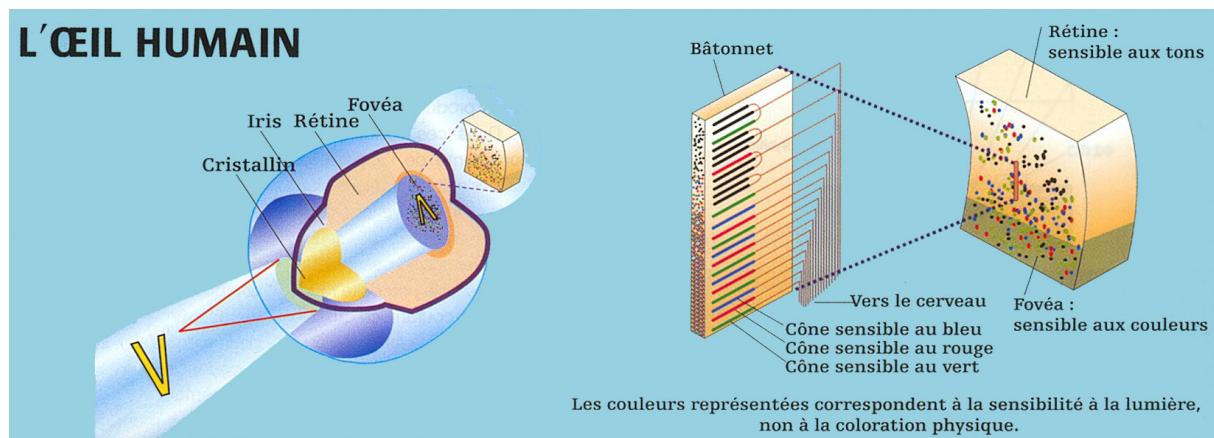


II-Introduction caméra

Les couleurs primaires

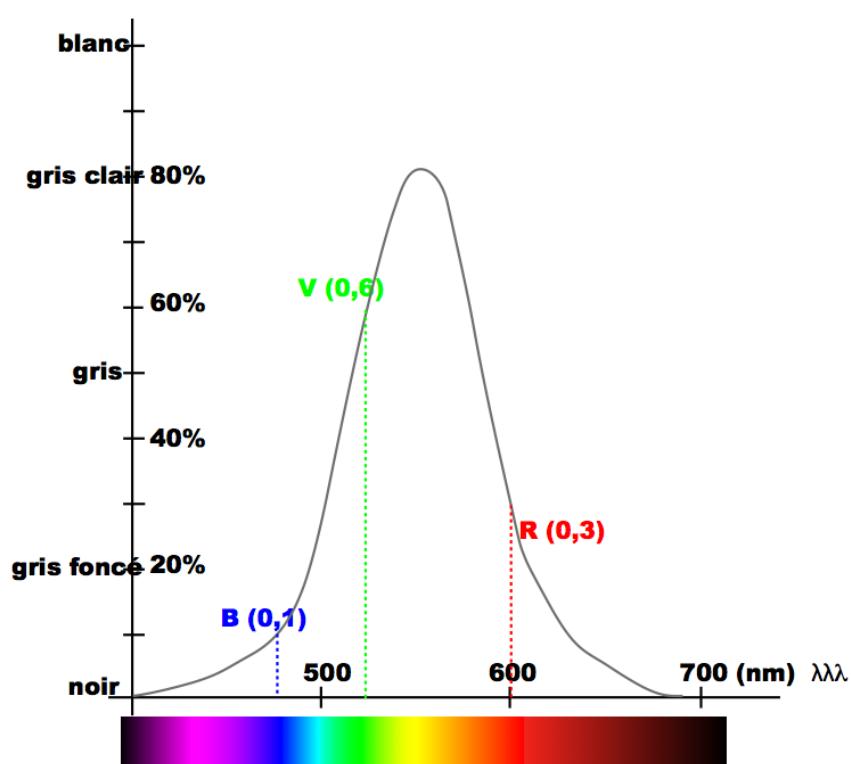
Les **cônes**, qui tapissent la **fovéa** (partie axiale de la rétine), sont constitués de **trois sortes de pigments**, chaque pigment absorbe une certaine couleur, ainsi il existe des **cônes sensibles au bleu**, d'autres au **vert**, et les troisièmes au **rouge**.

C'est pourquoi, à partir de ces **trois couleurs fondamentales** et en fonction de leurs intensités variables, l'œil peut reproduire n'importe quelle couleur dans le spectre visible.



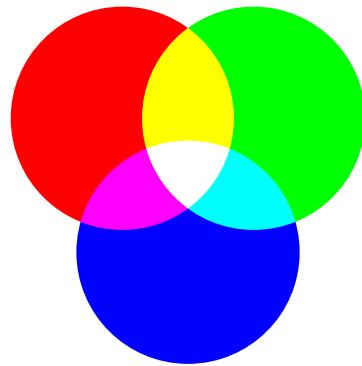
Mais cependant les trois types de **cônes** n'ont pas la même **sensibilité** pour les trois couleurs :

- C'est dans le jaune-vert qu'ils sont les plus sensibles = 60 %
- Puis vers le rouge = 30 %
- Et enfin les bleus = 10 %



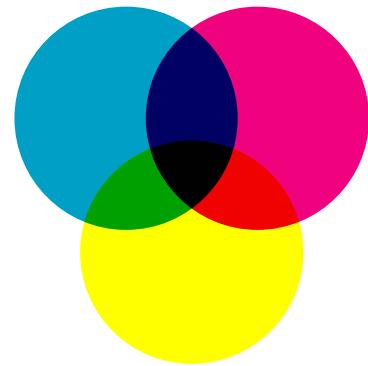
En projetant, trois cercles de couleur Rouge, vert et bleu on obtient aux intersections de chacun le jaune, le cyan et le magenta, puis aux intersections des trois, le blanc.

SYNTHESE ADDITIVE
(cas d'un projecteur vidéo)



En projetant 3 cercles de couleurs primaires: rouge, vert et bleu sur un écran, l'intersection des trois cercles donne le blanc, et chacune des autres intersections donne le jaune, le magenta et le cyan

SYNTHESE SOUSTRACTIVE
(cas d'une imprimante)



En utilisant 3 cercles de couleurs primaires (encre, peintures): jaune, le magenta et le cyan sur un écran, l'intersection des trois cercles donne le noir, et chacune des autres intersections donne le rouge, vert et bleu.

On appelle synthèse additive de la couleur:

- **les couleurs primaires : le rouge, le vert et le bleu.**

et par addition de ces couleurs fondamentales entre elles :

- **les couleurs complémentaires : le cyan, le magenta, et le jaune.**

ainsi, si nous ajoutons une couleur complémentaire à sa couleur primaire nous obtenons du blanc dans le système additif.

Les espaces couleurs

La CIE: La Commission Internationale de l'Eclairage à partir des années trente a étudié et déterminé auprès d'un grand nombre d'échantillon d'êtres humains les quantités de couleurs et les longueurs d'ondes associées aux trois primaires monochromatiques RVB: en fonction de la sensibilité moyenne de l'œil:

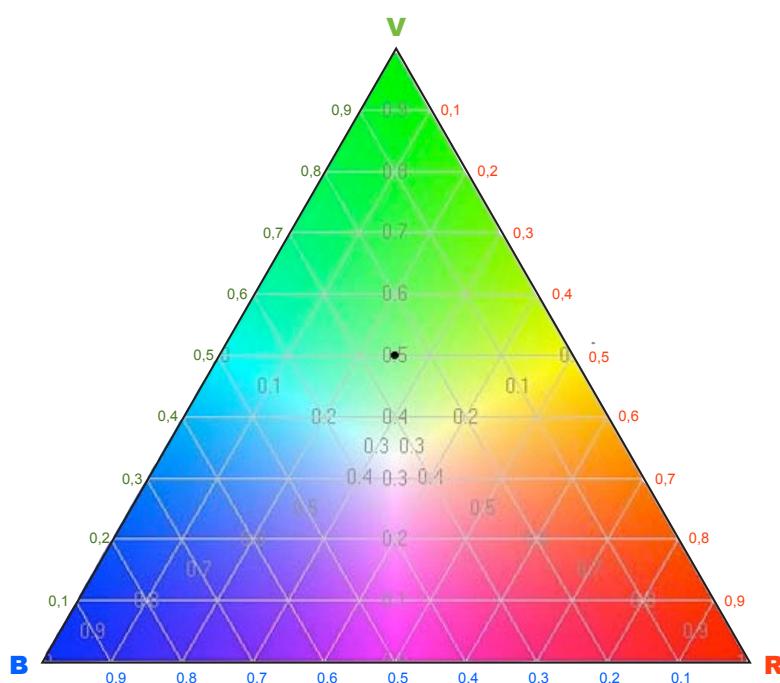
- **700,0 nanomètres pour le rouge, 30 % d'amplitude.**
- **546,1 nm pour le vert, 59 % d'amplitude.**
- **435,8 nm pour le bleu. 11 % d'amplitude.**

Elle a créé ce que l'on nomme l'espace RVB ou CIE RGB.

Triangle de Maxwell

*C'est une représentation en deux dimensions de la teinte et de la saturation des couleurs, issues d'un système de **primaires trichromes**, en ne tenant pas compte des valeurs de luminance. Ceci pour avoir une représentation graphique.*

*Il constitue une représentation sous forme d'un triangle d'un espace colorimétrique avec au sommet le **VERT** et à sa base le **BLEU** et le **ROUGE**.*



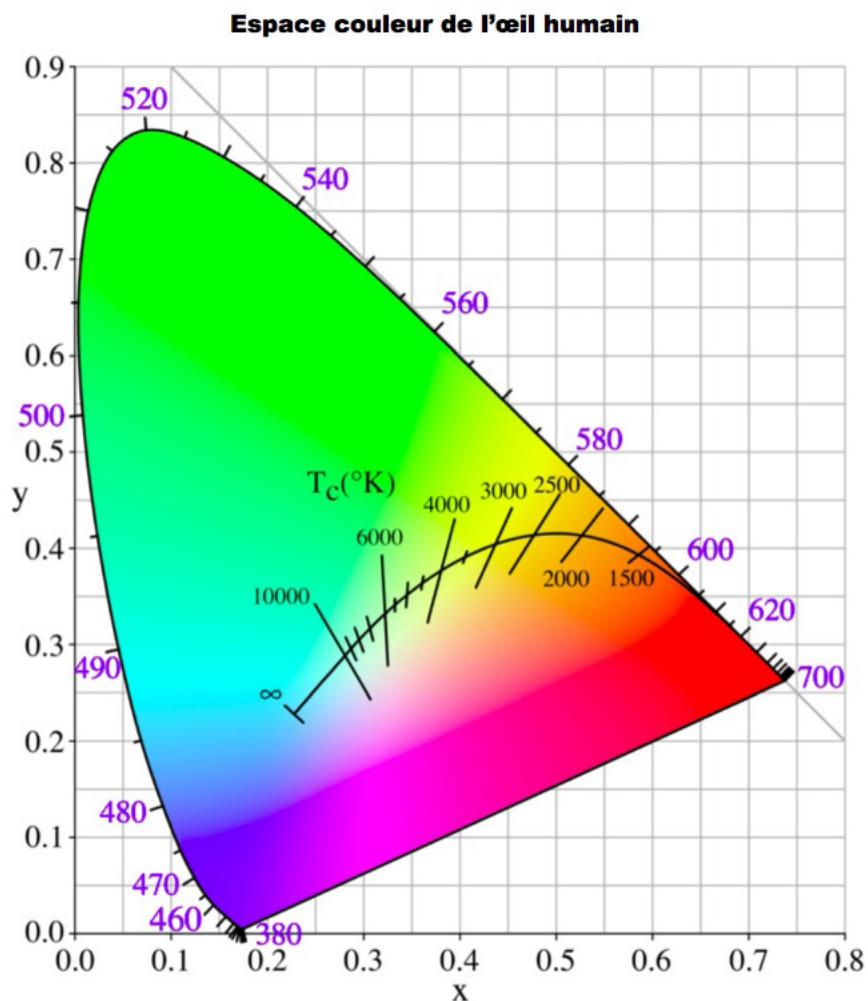
Le Spectrum Locus

On représente un diagramme dans un plan avec les coordonnées (x , y) reproduisant l'ensemble des couleurs vues par nos yeux. Ce diagramme est donc **l'espace visuel** que l'on nomme le **Spectrum Locus**.

Une couleur est définie par deux points, le segment qui les joint représente les mélanges de ces deux couleurs en proportions variables.

La courbe en forme de fer à cheval représente les couleurs saturées du rouge extrême au violet extrême. Le segment qui joint les deux extrémités correspond aux pourpres, mélanges du rouge et du violet.

Le point de coordonnées $x = 1/3$, $y = 1/3$ représente le **blanc**. ($D65 = 6500K$)

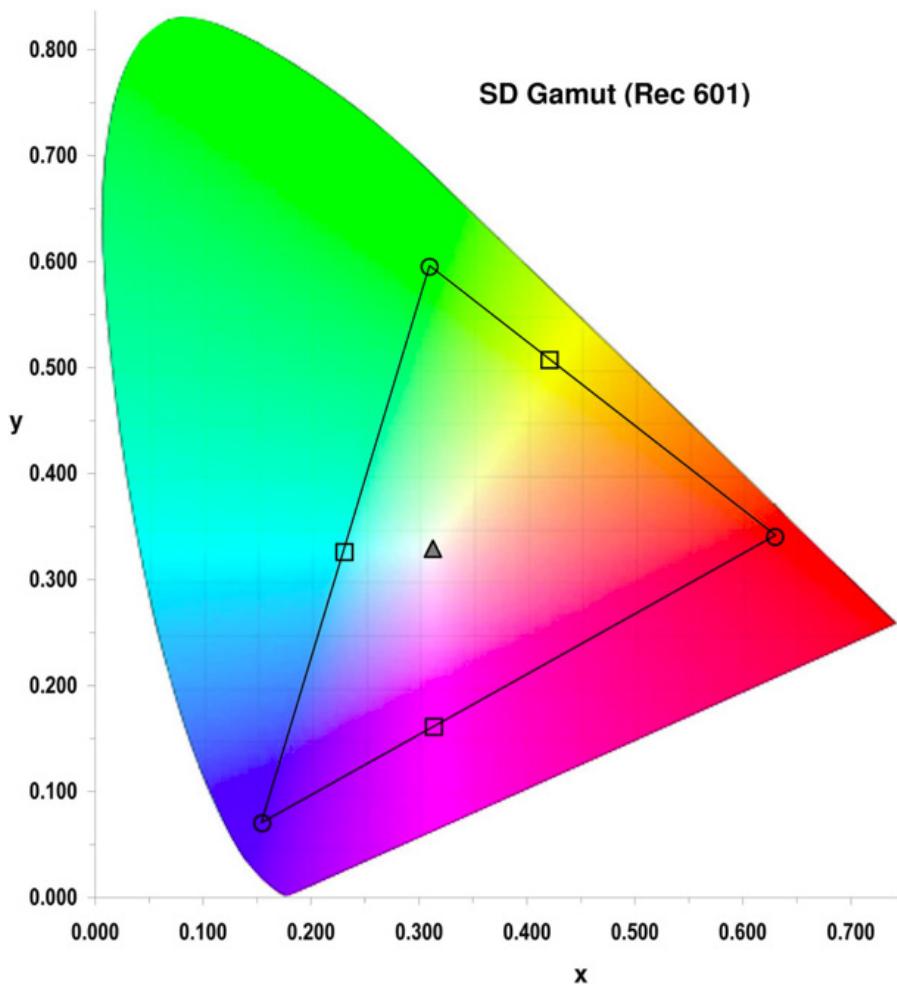


Standard REC.601 (SDTV)

ITU-R Recommandation BT.601 plus connu sous le nom de **REC.601 ou CCIR 601** est un **standard de profil couleur (GAMUT)** publié par l'**ITU** (International Telecommunication Union) qui gère internationalement le spectre des radiofréquences, les satellites (Genève) pour l'encodage **entrelacé** en numérique en **standard définition (SD)**.

Cela pour les formats **625 lignes/50Hz et 525 lignes/60Hz, 59,94 Hz**

avec **720 échantillons de luminance et 360 échantillons de chrominance par ligne.**



Standard ITU.709 (HDTV)

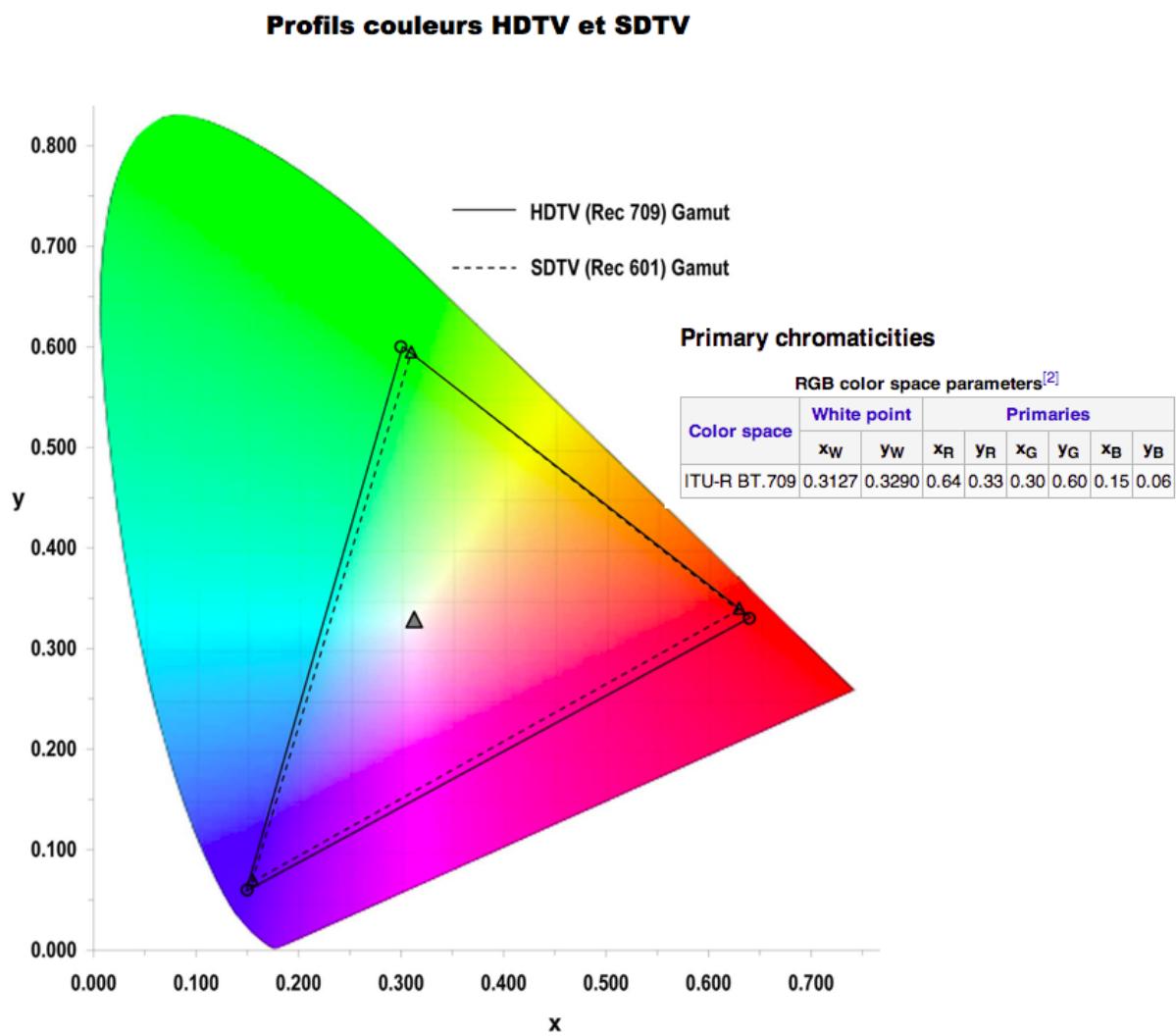
ITU-R Recommandation BT.709 appelé aussi REC.709 ou BT 709 standardise le profil couleur pour les formats hautes définitions (HD) pour l'Europe :

- **25p, 25PsF, 50p, 50i pour 50 Hz**

et aux USA, Japon etc.. :

- **23.976p, 23.976PsF, 24p, 24PsF, 29.97p, 29.97PsF, 30p, 30PsF, 59.94p, 59.94i, 60p, 60i pour 60 Hz**

Les primaires RVB ont des coordonnées différentes par rapport à REC601.



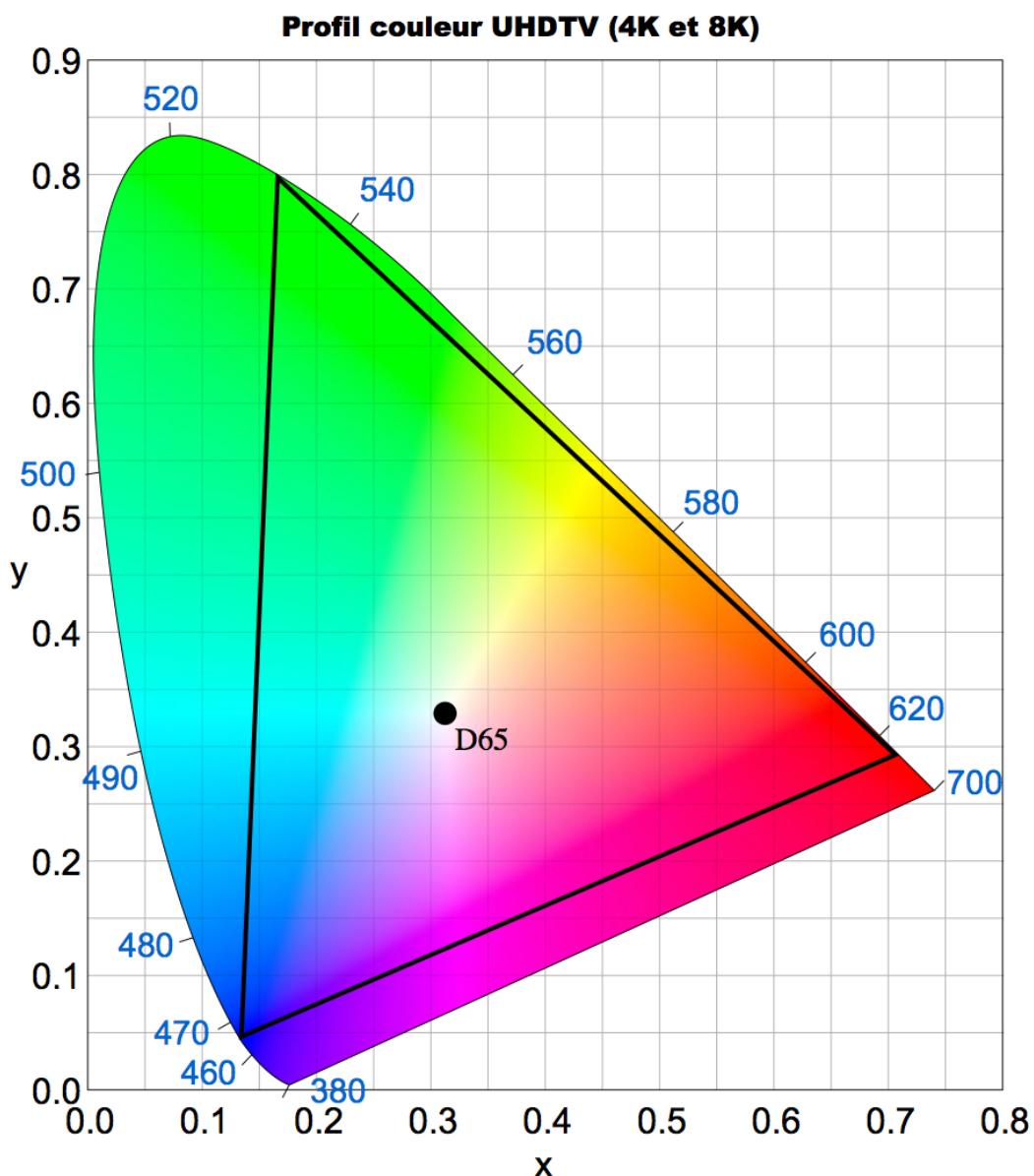
Standard REC.2020 (UHDTV)

ITU-R Recommandation **BT.2020** ou **Rec.2020** défini deux Ultra Hautes Résolutions (UHD) :

- **3840 × 2160 (4K)**
- **7680 × 4320 (8K).**

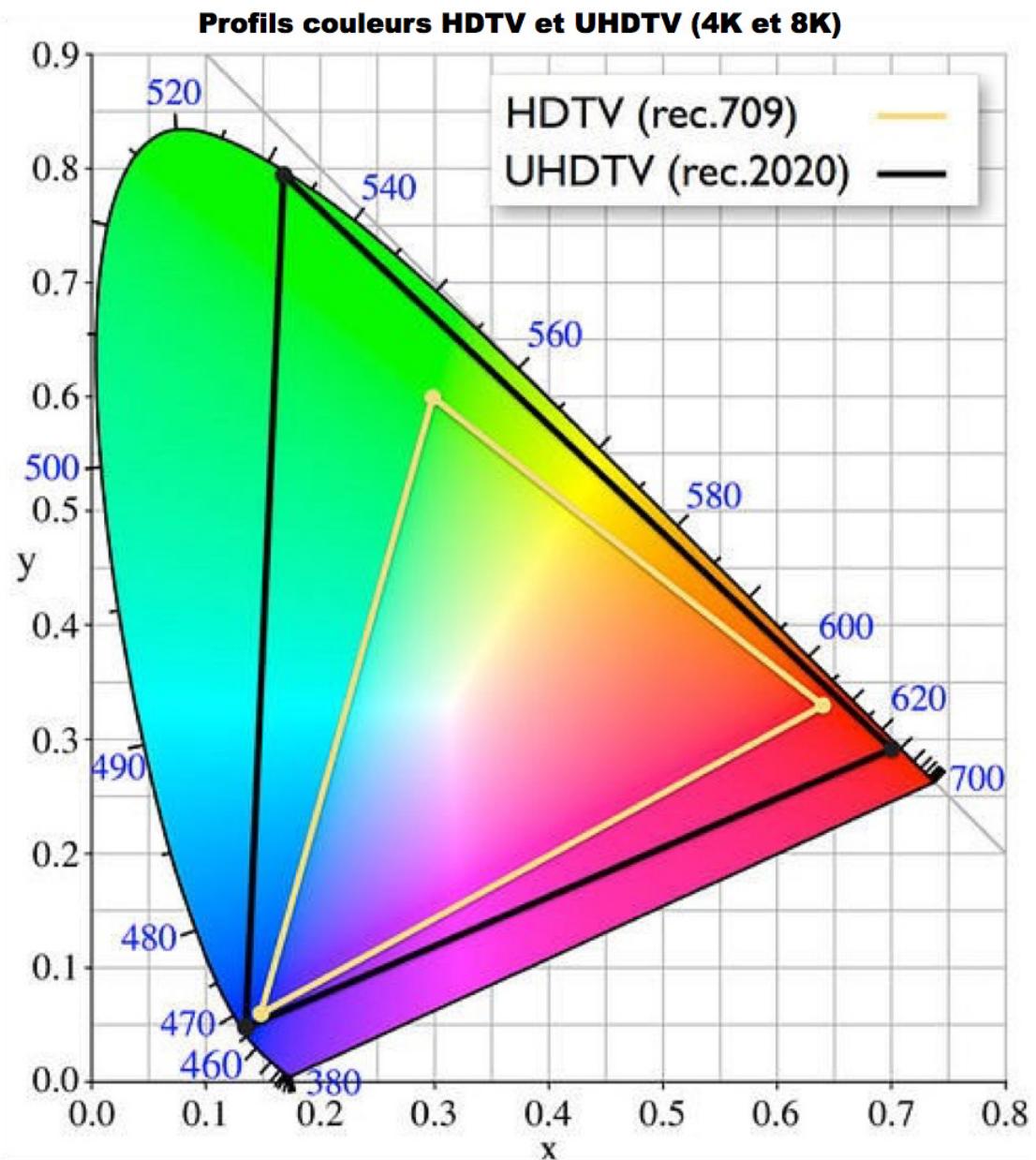
ces deux résolutions ont un aspect ratio de **16:9** et utilisent des pixels carrés.

Rec. 2020 définit ces cadences images: **120p, 119.88p, 100p, 60p, 59.94p, 50p, 30p, 29.97p, 25p, 24p, 23.976p**. Seulement en mode **progressif**.



Les coordonnées RVB déterminent un triangle très large et donc un espace couleur bien plus grand que la HD. Ceci a pour conséquence une meilleure reproduction des couleurs.

*L'espace couleur est mieux adapté aux écrans de type **OLED**.*



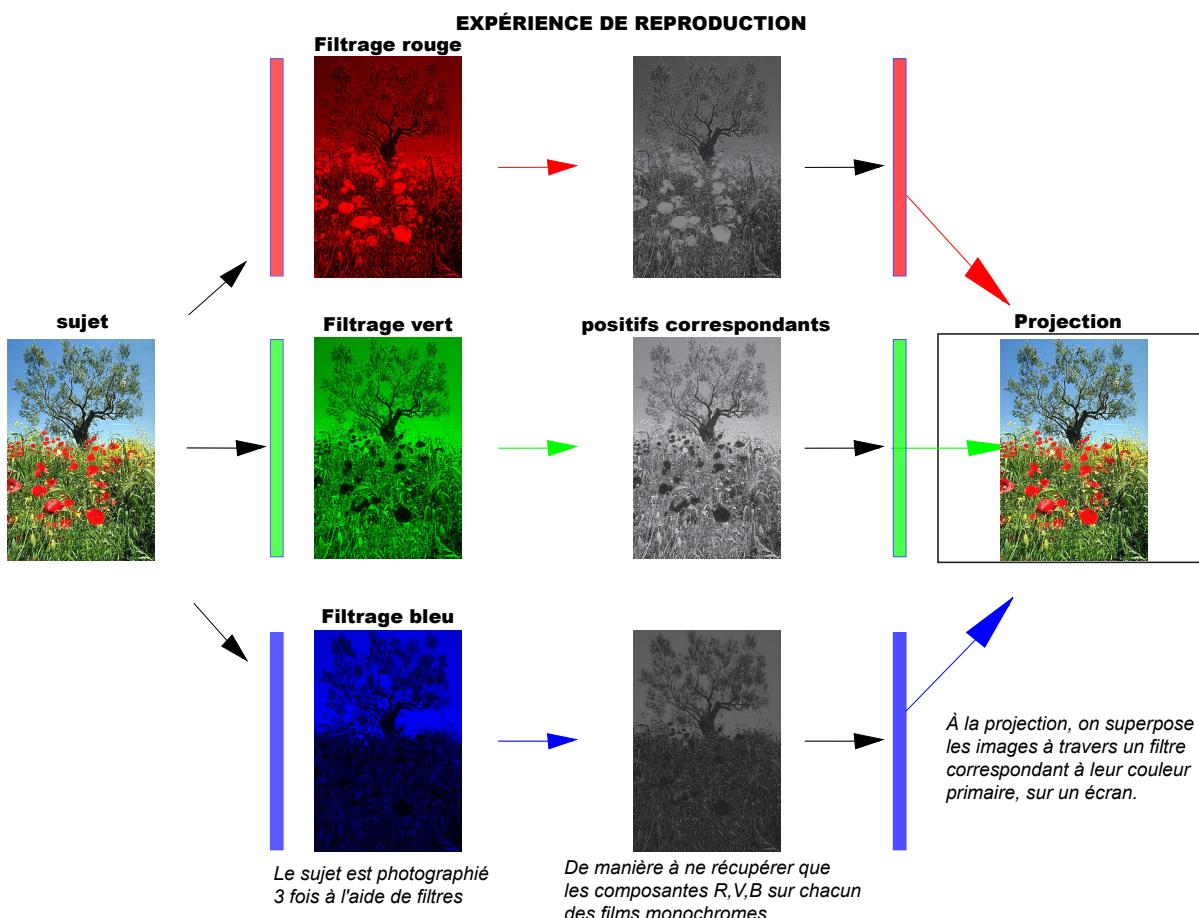
Principe de reproduction

Cette expérience est à l'origine des premières photos couleurs :

- Lors des prises de vues, nous utilisons **trois appareils photos** avec des **films positifs monochromes**, chaque appareil étant équipé d'un filtre **rouge, vert et bleu**.

Ainsi, nous obtenons trois positifs monochromes.

- Lors de la projection, on **superpose** ces trois images monochromes à travers leurs **filtrages respectifs** pour obtenir une **image couleur**.



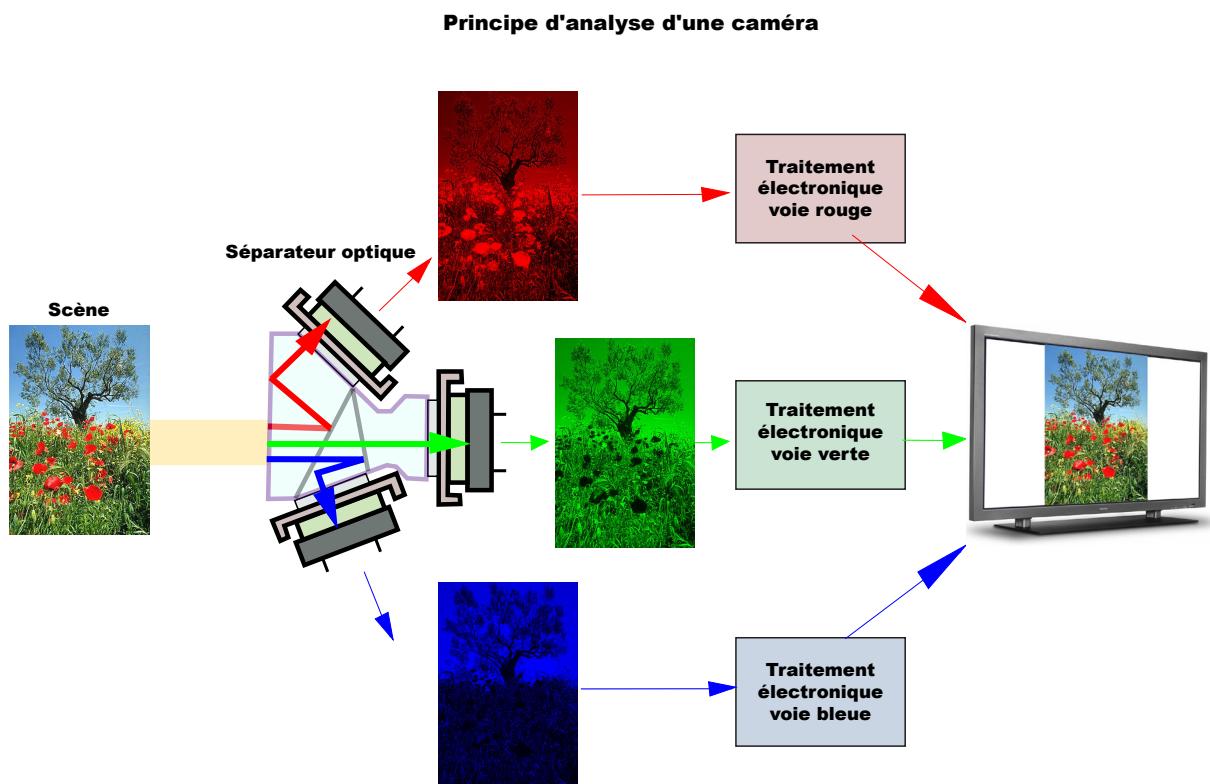
Principe d'analyse d'une caméra

Une **caméra vidéo** utilise le même principe que l'expérience précédente, grâce à un **prisme** qui décompose la scène en **trois images rouge, verte et bleue**, (**RVB** en français ou **RGB** en anglais).

La transformation des trois images **RVB** en **signaux électriques** se fait par l'intermédiaire de capteurs de types **CCD** (Charged Coupled Device) ou **CMOS** (Complementary Metal Oxide Semi-conductor).

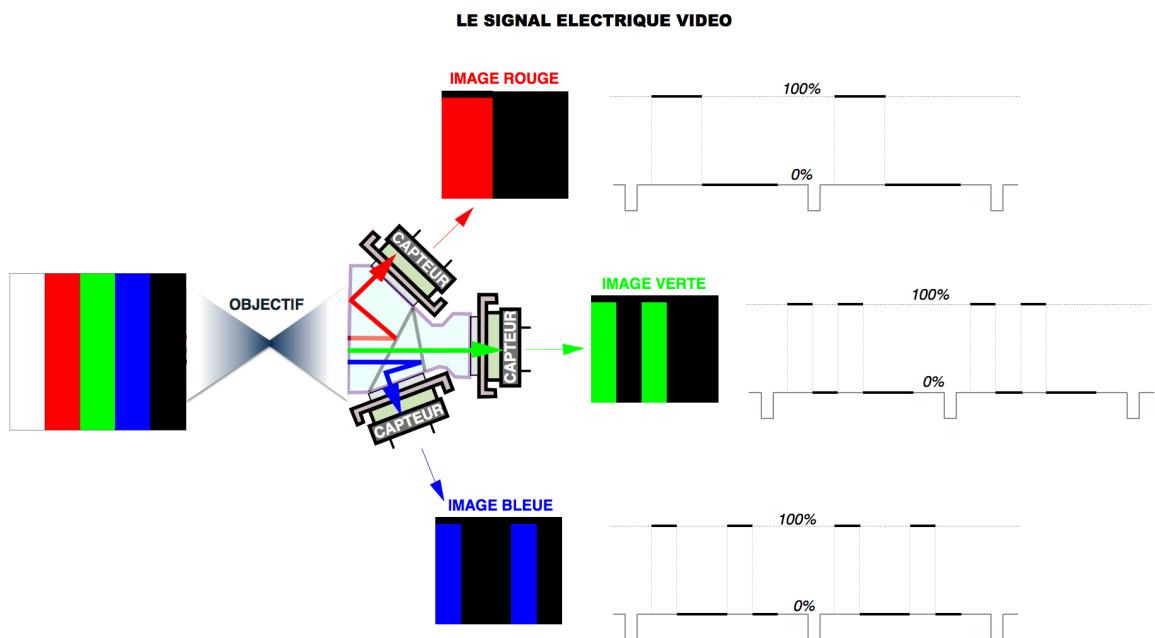
Le capteur transmet les informations de **haute lumière** par un **niveau électrique élevé** et celles de **basse lumière** par un **niveau électrique faible**. Les différents niveaux électriques correspondants chacun à un **pixel** apparaissent les uns après les autres en variant au rythme de la lumière sur les cellules du capteur.

- **Le plus petit élément électrique composant l'image s'appelle un **PIXEL** (Picture Element).**



Le signal électrique vidéo

Les capteurs **CCD** ou **CMOS** à travers l'objectif puis un système que l'on nomme séparateur optique, vont procéder à la transformation de l'énergie lumineuse en énergie électrique (signal électrique vidéo) en le construisant **pixels après pixels, pour former des lignes et construire des images.**



La valeur du signal électrique est d'environ 1 Volt crête à crête :

- **Avec un pic positif à 700 mV et pic négatif à 300 mV.**

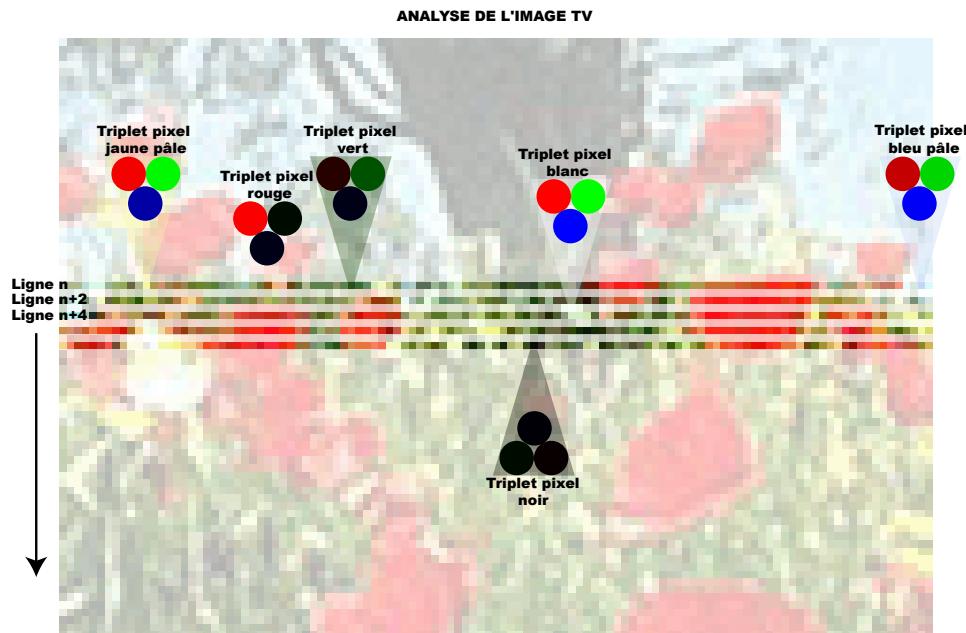
ce qui correspond à :

- 700 mV pour le blanc ou les valeurs RVB à 100 %
- 0 V pour le noir ou les valeurs RVB à 0 %
- -300mV pour les tops de synchronisations.lignes ou trames ou images.

Analyse de l'image TV- balayages

l'image vidéo est constituée par :

- ***trois composantes Rouge, verte et bleue,***
- ***un pixel par un triplet RVB,***
- ***une ligne vidéo par des pixels les uns à la suite des autres,***
- ***une image par un certain nombre de lignes***



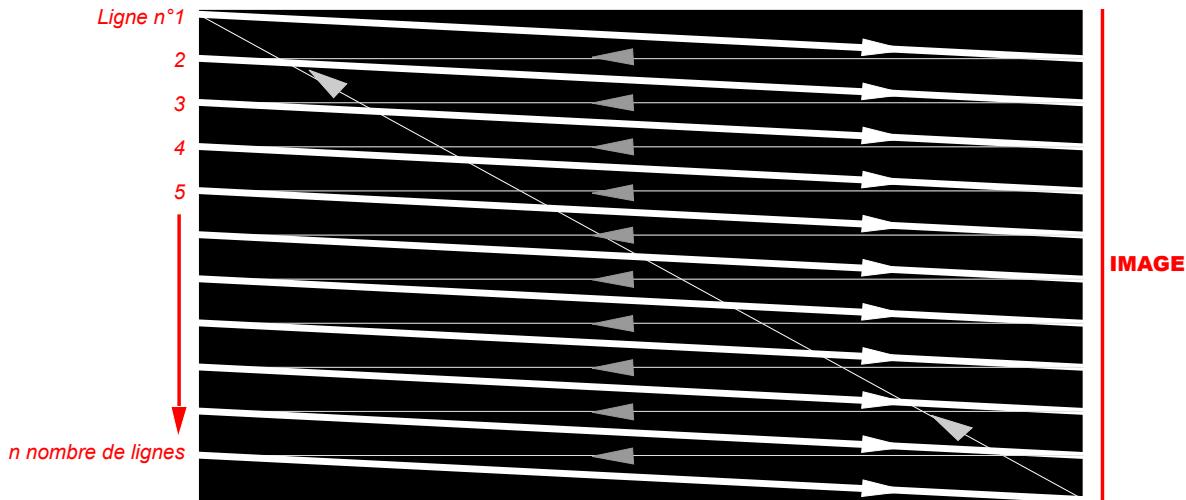
*Chacune des lignes est composée d'un certain nombre de pixels
un ensemble de lignes horizontales va recomposer l'image sur un moniteur vidéo ou sur
un écran de télévision c'est ce que l'on appelle le balayage.*

- ***Ce balayage ligne par ligne commence en haut à gauche, et fini en bas à droite, pour former une image.***
- ***Il faudra insérer des codes de fin de lignes, ainsi que des codes de fin d'images. C'est ce que l'on appelle des tops de synchronisation.***

Le balayage progressif (p).

Chaque ligne successive compose une image.

BALAYAGE TV PROGRESSIF



Pour éviter les interférences sur une diffusion TV avec la fréquence du secteur (50 Hz, EDF en France ou 60 Hz en Amérique du nord, en réalité 59,94 Hz) on a choisi un multiple proche de la cadence image du cinéma :

- **24 Images/s pour une diffusion en salle de cinéma.**
- **25 Images/s (Europe) ou 30 images/s (29,97) (USA, Canada, Japon)**

Mais à cette cadence, l'œil perçoit un effet de papillotement (flicker), car le balayage n'a pas terminé les dernières lignes que les premières sont déjà effacées.

Quand on choisi un balayage progressif pour une diffusion TV on utilise plutôt :

- **50 Images/s (Europe) ou 60 images/s (59,94) (USA, Canada, Japon)**

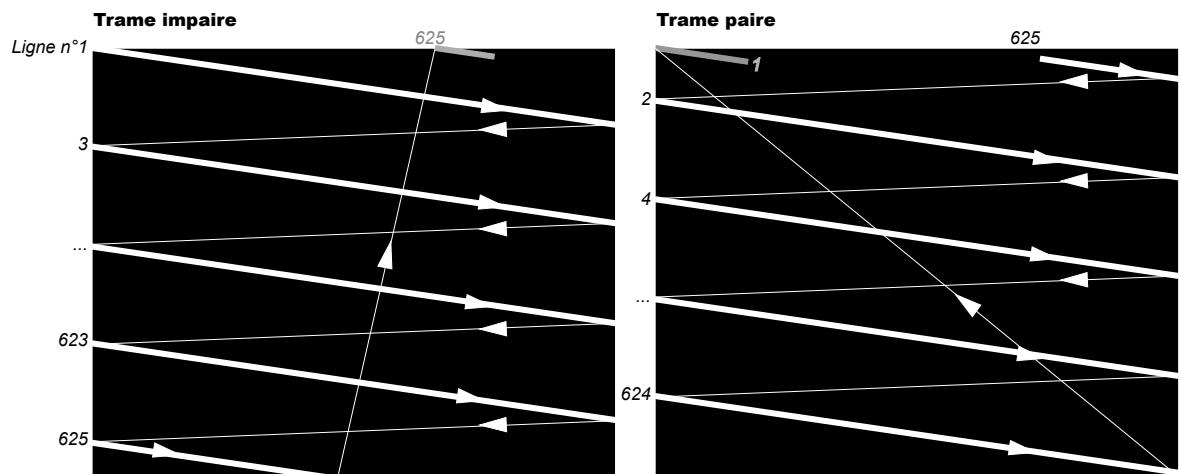
Le balayage entrelacé (i) (interlace).

L'astuce utilisée est de lire uniquement lors du premier balayage les **lignes impaires**, qui décrivent la **trame dites impaire** puis lors d'un deuxième passage les **lignes paires** pour la **trame paire**. Ainsi nous obtenons :

- **1 image = 1 trame paire + 1 trame impaire = 2 trames**

Ce procédé améliore considérablement la fluidité (sur les panoramiques ou les évènements sportifs), au prix d'une perte de définition verticale bien tolérée par l'œil.

BALAYAGE TV STANDARD DEFINITION (SD) en EUROPE

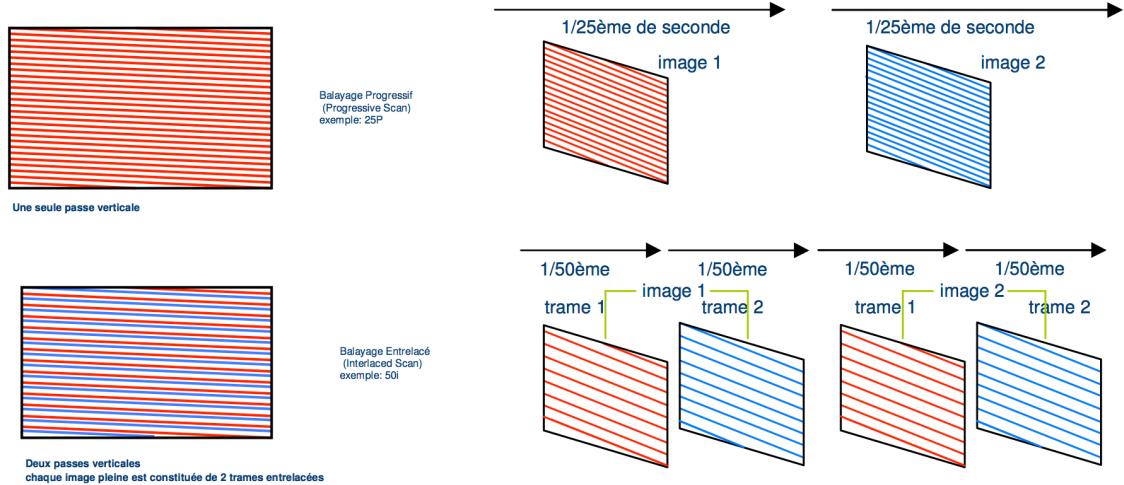


Les cadences images pour le mode entrelacé sont :

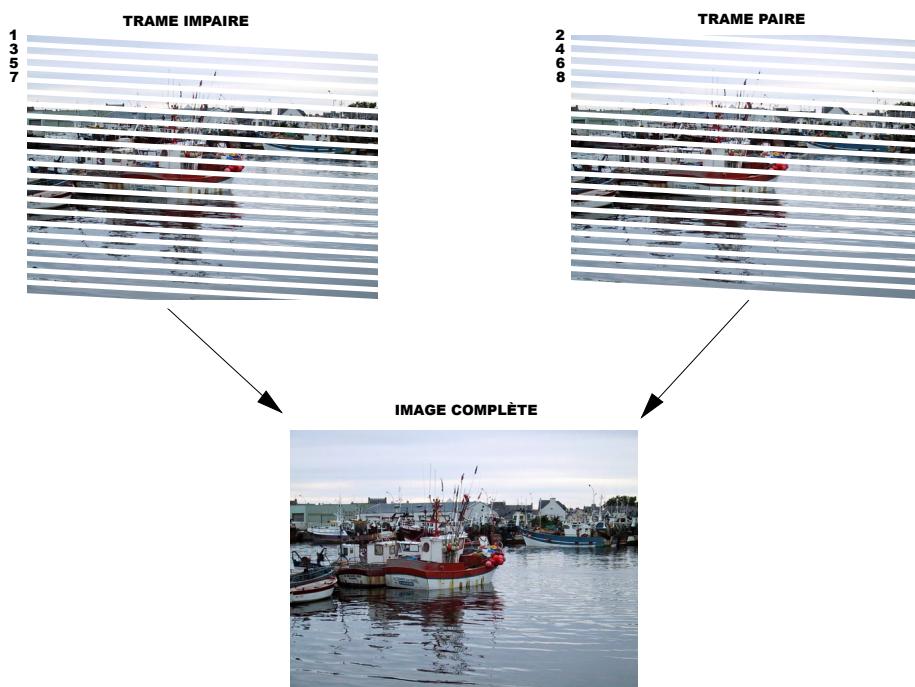
- **25 Images/s ou 50 trames/s (Europe).**
- **30 Images/s (29,97) ou 50 trames/s (59,94) (USA, Canada, Japon).**

Le balayage entrelacé est la norme de diffusion des chaines de télévision européennes

BALAYAGES PROGRESSIF / ENTRELACÉ



ENTRELACEMENT



Une image vidéo résulte de l'entrelacement d'une trame impaire et d'une trame paire.

Cependant le balayage entrelacé pose problème quand on lit une vidéo sur un micro-ordinateur qui ne fonctionne qu'en mode progressif, pour l'édition le trucage et le montage on peut être perturbé par des dysfonctionnements visibles dans l'image de type «effets en peigne».

Pour éviter ce phénomène des options de «de-interlaced» sont proposées dans les applications

IMAGES DESENTRELACEES



IMAGES VIDEO ENTRELACÉES LUES SUR UN ECRAN INFORMATIQUE (balayage progressif)

III-Vidéo analogique

Notions de résolution et de format.

La résolution désigne la densité de lignes (résolution verticale) ou de pixels (résolution horizontale) pour une image affichée. Elle peut s'exprimer aussi par le produit :

du **nombre de lignes x nombre de pixels**.

Exemple d'une image capturée avec une basse résolution : $320 \times 272 = 87\,040$ pixels

Soit environ 87 000 pixels.

STRUCTURE D'UNE IMAGE



En Europe en **Standard définition (SD)**, le nombre de lignes pour la diffusion numérique (SDI) est de **625 en entrelacé (i)**.

Seulement une partie de ces lignes servira à l'affichage des pixels, certaines lignes porteront des signaux tels que les pistes audio, pilotage de périphériques, les décodeurs, etc...

- Soit **576 lignes qui portent des pixels**

*En Europe en **Haute définition**, le nombre de lignes est de **1125** :*

La résolution verticale effective sera de :

- **1080 lignes visibles** soit 2 fois 540 lignes en entrelacé (i)..

Amériques, Canada, Japon...

- **720 lignes visibles**

La résolution horizontale (pixels) peut varier en fonction de la qualité des équipements (caméra, l'enregistrement. et le format de l'image), contrairement au balayage qui est une norme.

*Cependant pour obtenir une qualité homogène, **la résolution horizontale doit être de même qualité que la résolution verticale**, il est ainsi possible de la calculer, sachant en effet que l'image vidéo est inscrite dans un **FORMAT**.*

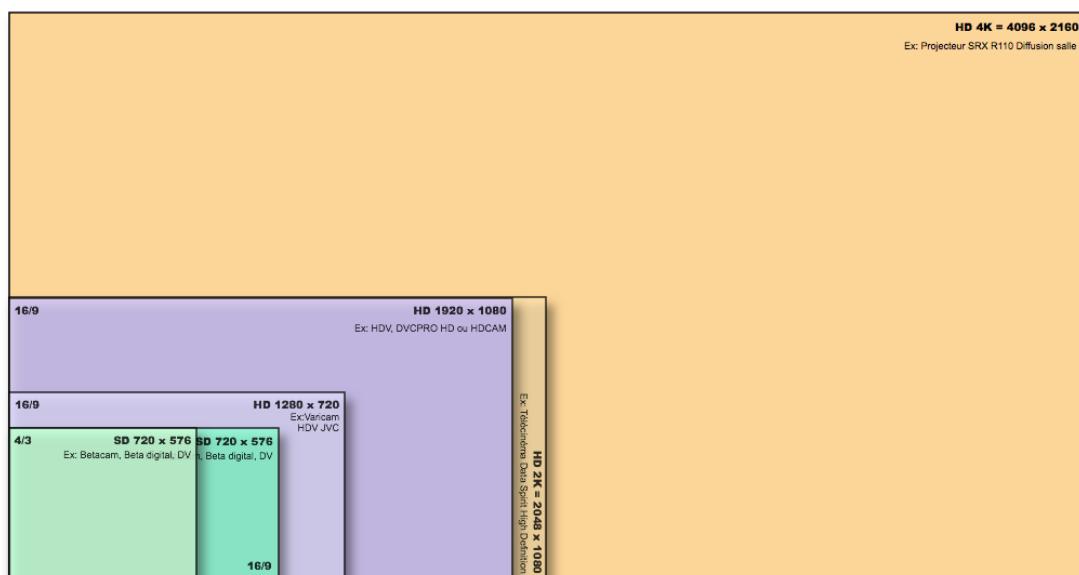
*Le format d'une image est exprimé en fonction de son **rapport Largeur/Hauteur**:*

*c'est ce que l'on appelle **l'Aspect ratio** :*

- **2 aspects ratios en vidéo : 4/3, ou 16/9**

ou bien par le résultat de ce rapport :

- **4/3 = 1,33 (1,33 : 1)** ou en **16/9 = 1,78 (1,78 : 1)** pour les deux formats en vidéo.

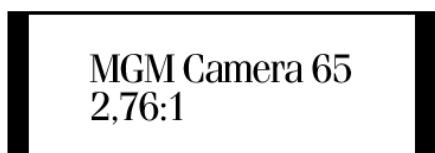
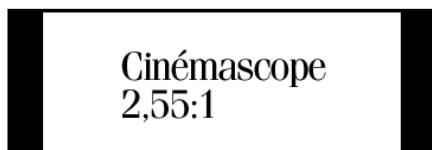
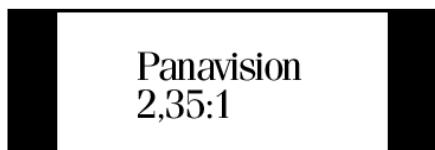
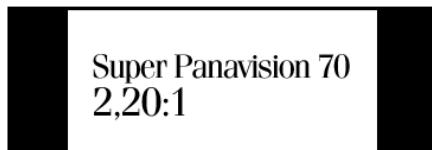
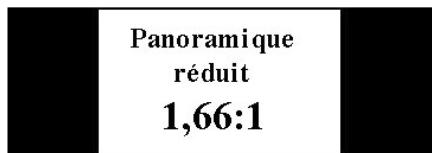


*Les deux aspects ratios les plus communs pour le **cinéma (film)** sont les :*

1,85 : 1 Flat (STANDARD) 35mm

2,35 : 1 Scope (Panavision) ou 2,39 : 1 (en numérique) parfois appelé **2,40 : 1**

FORMATS IMAGES CINÉMA



*Une **anamorphose** est une déformation réversible d'une image à l'aide d'un système optique — tel un miroir courbe — ou un procédé mathématique en enregistrant un fichier ou sur bande. L'anamorphose désigne également la déformation de l'image d'un film ou d'une émission de télévision à l'aide d'un système optique ou électronique afin de l'adapter à un écran informatique ou de télévision (Format large anamorphosé, 4/3 ou 16/9).*

FORMATS IMAGES ANAMORPHOSÉES



Résolutions SD (Standard Définition)

Notre image **SD en Europe** possède une résolution verticale de 576 lignes, il est simple de calculer sa **résolution horizontale** (pixels) en faisant une **règle de proportionnalité**:

En 4/3 :

- **576 x 4/3 = 768 pixels (pixels carrés)**

Ainsi nous pouvons calculer le **nombre de pixels** de cette image vidéo:

- **576 x 768 = 442 368 pixels**

La résolution d'une image vidéo **SD 4/3** en Europe est donc:

- **576 x 768 pixels à 25 images/s (frames/s) ou 50 trames/s (fields/s)**

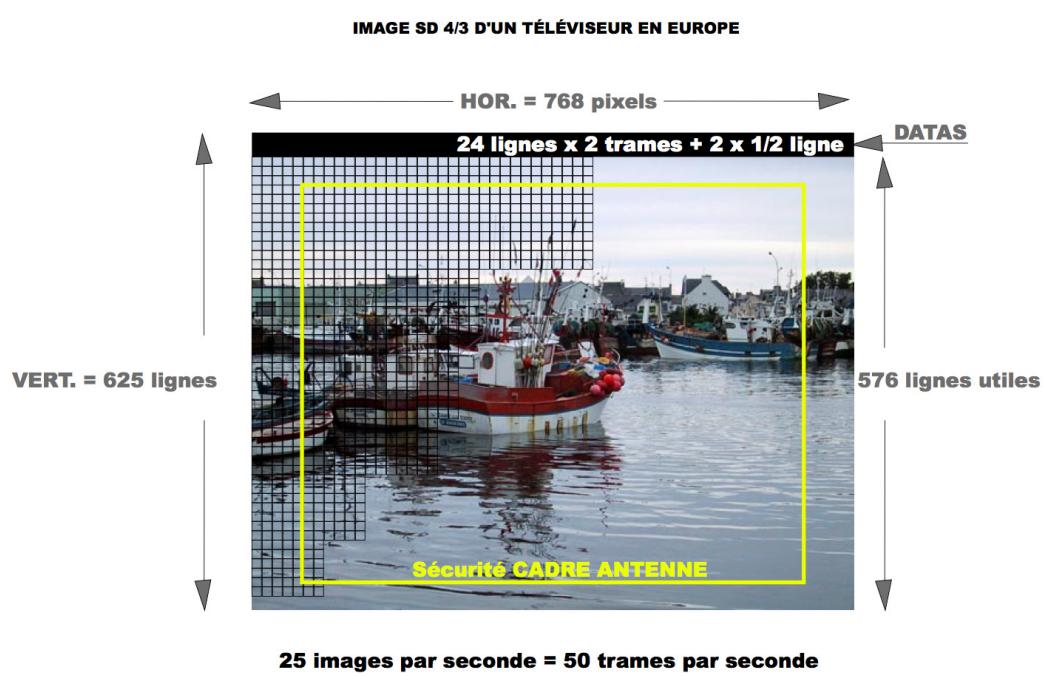
En numérique (SDI) on réduit la résolution horizontale voir (**ITU-R BT.601-4**):

- **576 x 720 pixels à 25 images/s (fps) ou 50 trames/s**

donc en **SD en Europe (50 Hz)**:

- **768 (720 en numérique) pixels x 576 lignes @ 25 i/s = 50 tr/s**

En tout 625 lignes (entrelacées) : 576i50.



Pour les pays 60 Hz (USA, Canada, Japon....) en analogique :

En 4/3 :

- $480 \times 4/3 = 640$ pixels

La résolution d'une image vidéo SD 4/3 en 60 Hz (59,94 Hz) :

- 480×640 à 30 frames/s ou 60 fields/s en analogique (NTSC).
29,97 Fps (60. 1000/1001)

En 16/9 ou 4/3 pays 60 Hz (59,94 Hz) en numérique :

- 480×720 à 30 images/s (en numérique, DV...)

29,97 Fps

SD Amériques, Canada, Japon etc (60 Hz) ou (59,94 Hz):

- **640 (720 en numérique) pixels x 480 lignes @ 30 i/s = 60 tr/s**

En tout 525 lignes (entrelacées) : 480i60.



Résolutions HD (Haute Définition)

En Haute définition le PAR (Pixel Aspect Ratio) est toujours carré.

en Europe :

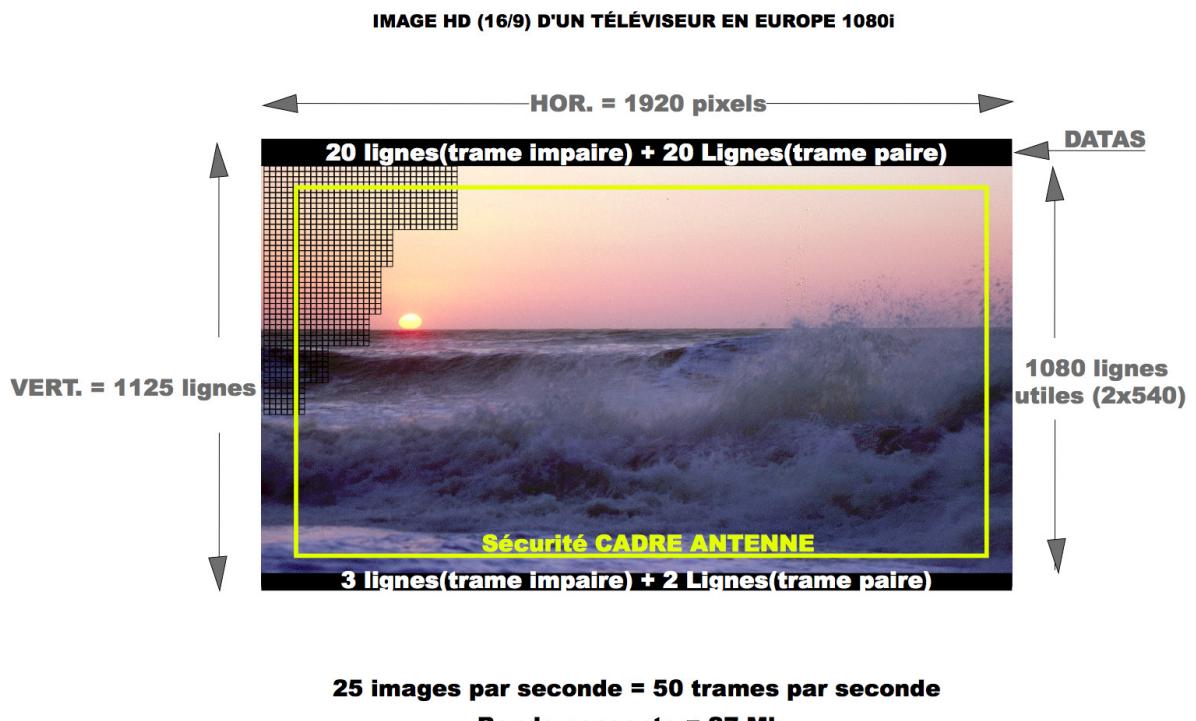
- **$1080 \times 16/9 = 1920$ pixels (carrés)**

La résolution d'une image vidéo **HD en Europe** est donc :

- **1080×1920 à 25 images/s ou 50 trames/s
(1080 i 50) FULL HD.**

HD en Europe (50 Hz) :

- **1920 pixels x 1080 lignes @ 25 Images/s = 50 trames/s
1125 lignes (entrelacées) en totalité : 1080i50**



En Haute définition aux US et pays 60 Hz

- $720 \times 16/9 = 1280$ pixels (carrés)
- $1080 \times 16/9 = 1920$ pixels (carrés)

Les résolutions vidéo HD aux US et pays 60 Hz (720p) et (1080i) :

- **720 x 1280 à 60 images/s ou 59,94 Hz balayage progressif.**

(720 p 60) HD ready.

- **1080 x 1920 à 29,97 images/s ou 59,94 trames/s entrelacées.**

(1080 i 60) FULL HD.

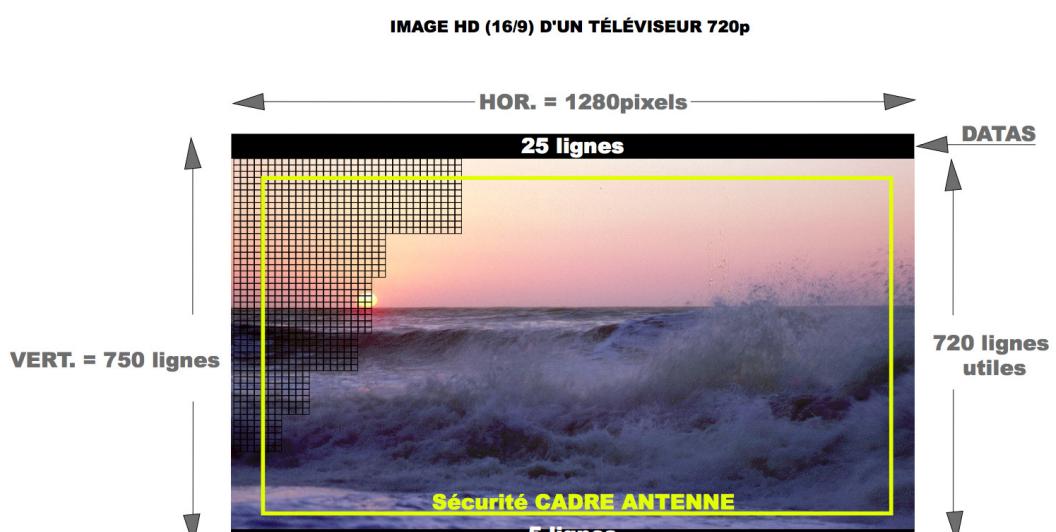
HD Amériques, Canada, Japon etc (60 Hz) ou (59,94 Hz):

- **1280 pixels x 720 lignes @ 60 images/s**

750 lignes (mode progressif) en totalité : 720p60

- **1920 pixels x 1080 lignes @ 30 i/s = 60 tr/s**

1125 lignes (mode entrelacé) en totalité : 1080i60



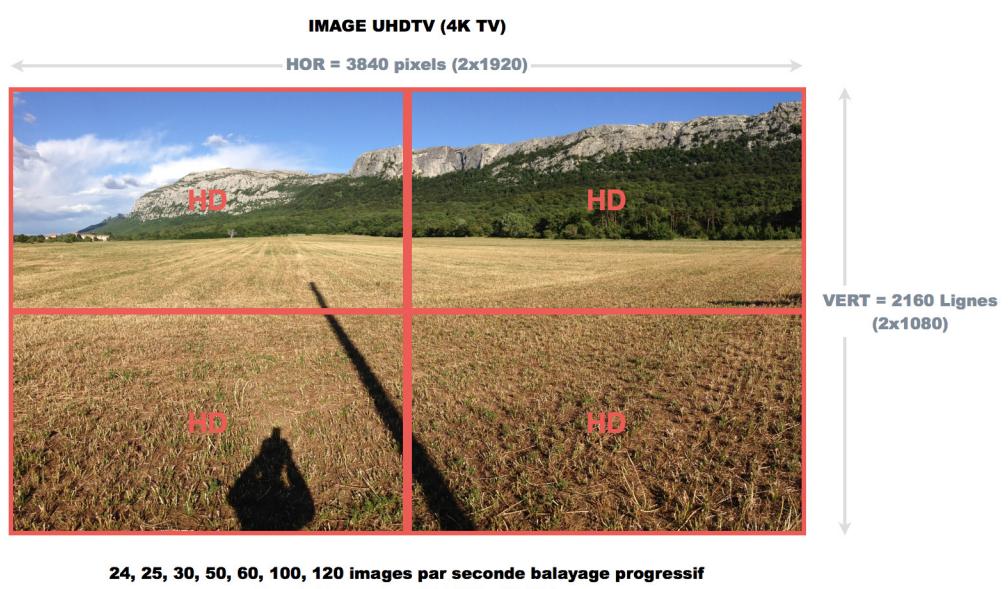
Résolutions 4K UHDTV (Ultra Haute Définition TV)

En vidéo les résolutions sont des multiples de la HD pour la 4K:

- **2 x 1920 en horizontal = 3840 et 2 x 1080 en vertical = 2160**

UHDTV (Ultra HD) Europe (50Hz):

- **3840 pixels x 2160 lignes @ 50 images/s**
- **2160 lignes (mode progressif) en totalité : 2160p50**



Résolutions 2K, 4K Cinéma

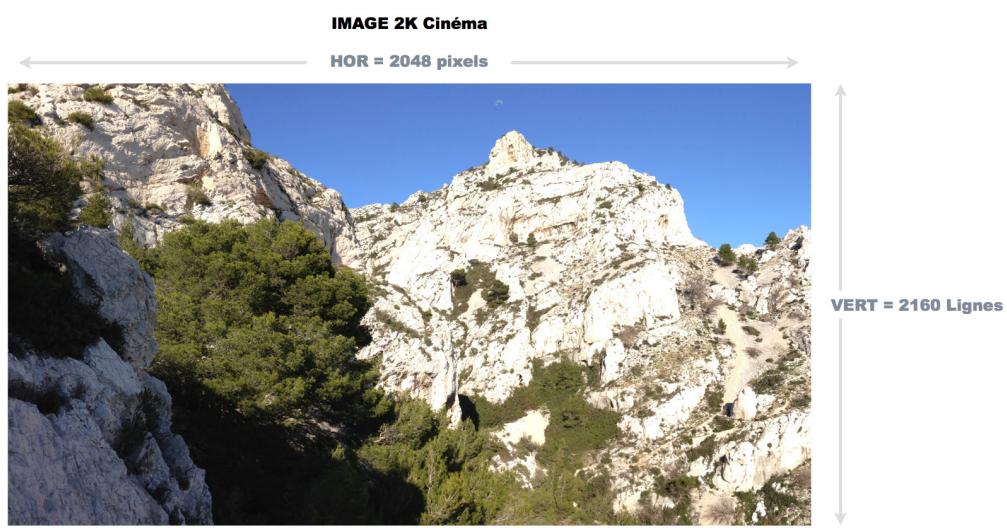
Les résolutions 2K et 4K sont utilisées dans le monde numérique du cinéma, le *Digital Cinema Initiatives DCI 2K ou D-cinema* (acquisition et diffusion) :

- **2048 x 1080 (2K) à 24p (i/s) ou 48p (i/s),**
 - **4096 x 2160 (4K) à 24p (i/s) ou 48p (i/s).**
-
- en 2K, **format Scope (2.39 : 1) 2048x858 pixels de résolution**
 - en 2K, **format (1.85 : 1) 1998x1080 pixels de résolution**

2K (Cinéma):

- **2048 pixels x 1080 lignes @ 24, 25, 30, 48, 50, 60 images/s**
- 1080 lignes (mode progressif) en totalité : DCI 2K**

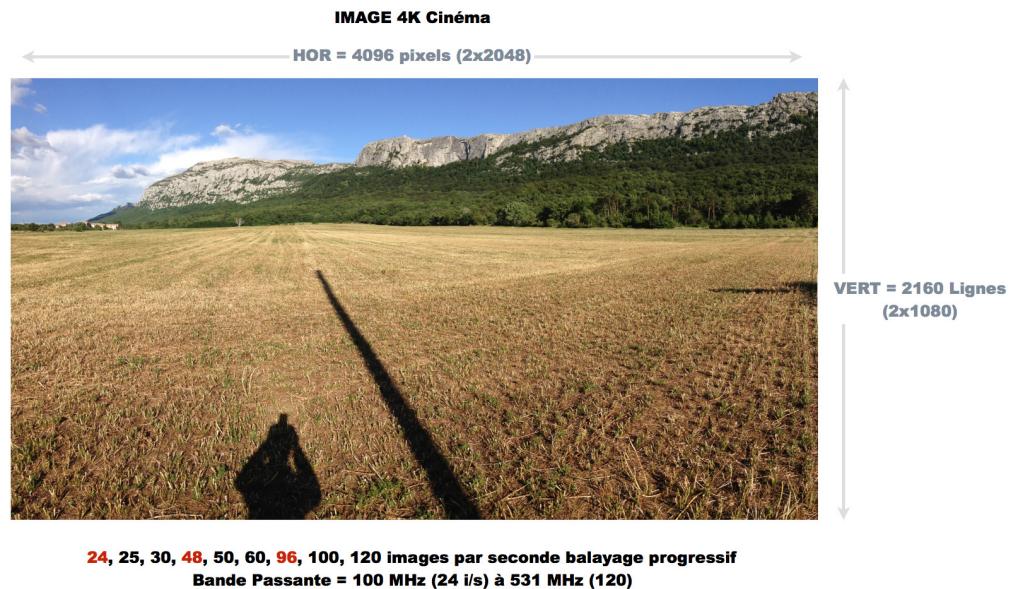
(Digital Cinema Initiatives)



24, 25, 30, 48, 50, 60 images par seconde balayage progressif
Bandé Passante = 26 MHz (24 i/s) à 66 MHz (60 i/s)

UHD 4K (Cinéma):

- **4096 pixels x 2160 lignes @ 24, 25, 30, 48, 50, 60, 100, 120 images/s**
- 2160 lignes (mode progressif) en totalité : DCI 4K**



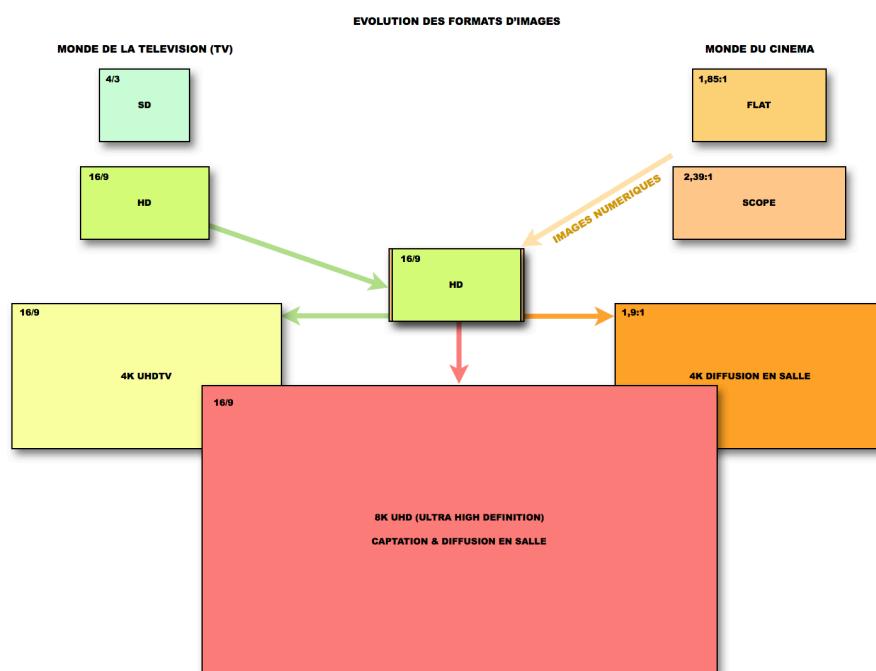
Résolution 8K Ultra High Definition

Le Super Hi Vision (SHV) ou Ultra High Definition (UHD)

Conçu par la NHK et Fujitsu est approuvé par l'ITU en acquisition et diffusion (2020) :

- **7680 x 4320 (8K) à 48p (i/s), 50p ou 60p avec un ratio 16/9.**

qui pourrait être une norme commune entre la vidéo et le cinéma.



Le Psf (Progressive Segmented frame) :

*L'image est de type **balayage progressif** mais séparée en **2 trames identiques IMPAIRE et PAIRE** comme dans un format entrelacé, pour assurer la compatibilité du balayage progressif vers un mode entrelacé (diffuseurs TV).*

- **23,98 psf** ce format est utilisé lorsqu'il doit être diffusé à la fois pour une **salle de projection et en diffusion TV en i60.**
- **24p uniquement projection salle.**
- **25psf diffusion TV PAL 50hz à partir du 24p.**
- **le mode 29,97** permet une compatibilité directe avec le **480i 60 américain et 59,94 i qui est adapté au NTSC en SDTV.**

TABLEAU RECAPITULATIF DES NORMES DANS LE MONDE

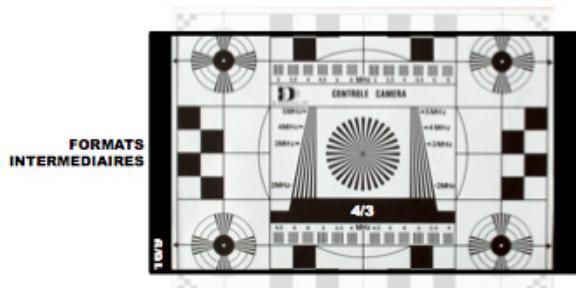
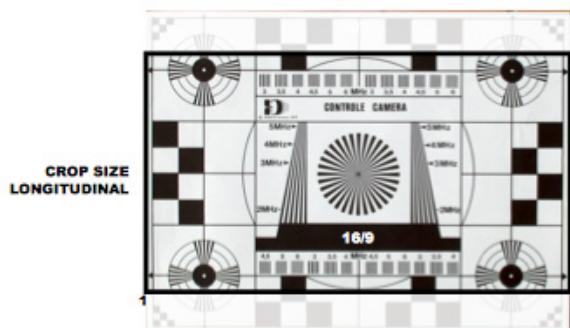
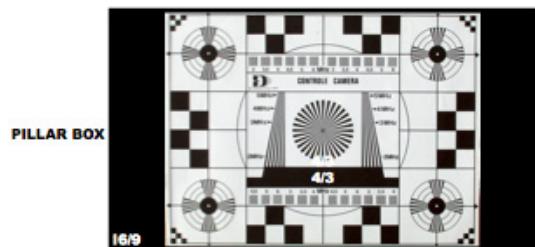
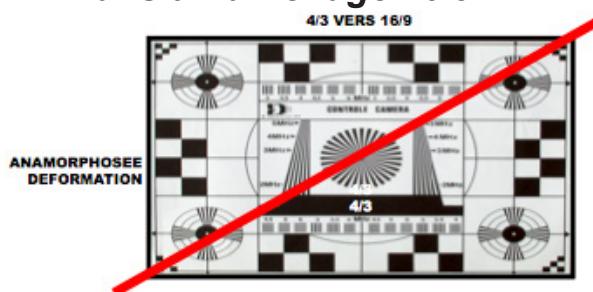
Cible	Résolution horizontale	Résolution verticale	Ratio L/H	Nbre d'images/s	Nbre de trames/s	Type de balayage	Mode d'acquisition
TVSD Europe (PAL)	720 768 (analog.)	576	4/3	25 i/s	50 tr/s	Entrelacé (i)	576i50
TVSD USA,Canada,Japon... (NTSC)	720 640 (analog.)	480	4/3	30 i/s (29,97)	60 tr/s (59,94)	Entrelacé (i)	480i60
TVHD Europe	1920	1080	16/9	25 i/s	50 tr/s	Entrelacé (i)	1080i50
TVHD USA,Canada,Japon...	1280	720	16/9	60 i/s (59,94)	—	Progressif (p)	720p60
TVHD USA,Canada,Japon...	1920	1080	16/9	30 i/s (29,97)	60 tr/s (59,94)	Entrelacé (i)	1080i60
2K Cinéma	2048	1080	1,90:1	24 i/s 48 i/s	—	Progressif (p)	24p 48p
4K Cinéma	4096	2160	1,90:1	24 i/s 48 i/s	—	Progressif (p)	24p 48p
UltraHD (4K)	3840	2160	16/9	48 i/s 50 i/s 60 i/s (59,94)	—	Progressif (p)	2160p
UHDTV 8K	7680	4320	16/9	48 i/s 50 i/s 60 i/s (59,94)	—	Progressif (p)	4320p

Conversions des formats vidéo.

Pour respecter l'aspect ratio d'une image, des **conversions** sont nécessaires pour afficher correctement une image 16/9 dans un écran 4/3 ou inversement une image 4/3 dans un écran 16/9 et cela en utilisant deux procédés :

- **La conversion des résolutions HD vers SD (Downconverter)**
ou **SD vers HD (Upconverter)**
- **La conversion de format (4/3 vers 16/9 ou 16/9 vers 4/3).**

Dans un affichage 16/9 :



• **La fonction SQUEEZE** ne modifie pas le ratio de l'image, ainsi une séquence tournée en 16/9 ou en 4/3 est affichée en 16/9, d'où possible déformation.

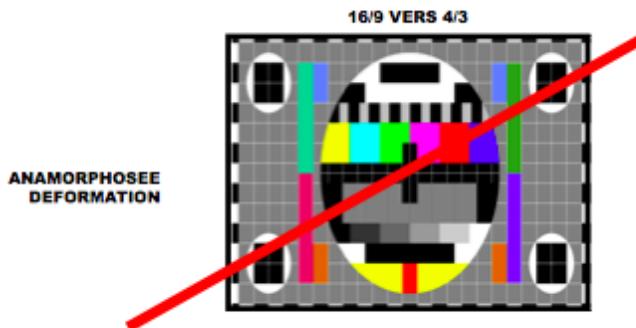
• **La fonction PILLAR BOX** converti 4/3 en 16/9 avec des bandes latérales.

• **La fonction CROP SIZE LONGITUDINAL**

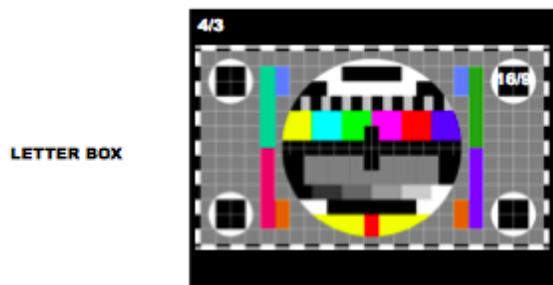
élimine le haut et le bas de l'image 4/3 pour l'affichage en 16/9

• **La fonction FORMATS INTERMEDIAIRES** mélange le PILLAR BOX avec le CROP SIZE en différentes combinaisons (**13/9, 14/9, 15/9**) avec des bandes latérales.

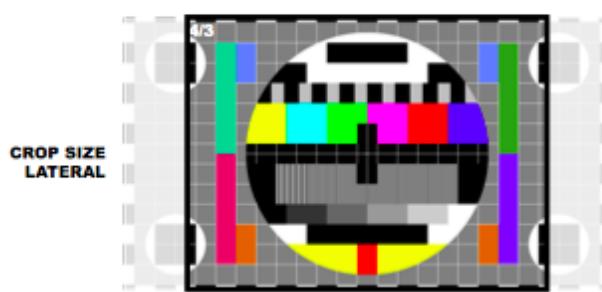
Dans un affichage 4/3 :



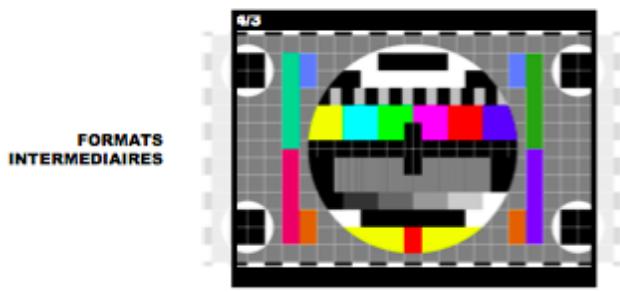
- **La fonction SQUEEZE** ne modifie pas le ratio de l'image, ainsi une séquence tournée en 16/9 ou en 4/3 est affichée en 4/3, d'où possible déformation.



- **La fonction LETTER BOX** converti 16/9 en 4/3 avec des bandes en haut et en bas.



- **La fonction CROP SIZE LATERAL ou PAN & SCAN** élimine le côté gauche et droit de l'image 16/9 pour un affichage en 4/3. Avec possibilité d'avoir un déplacement de l'image de gauche à droite en fonction de la composition du plan.



- **La fonction FORMATS INTERMEDIAIRES** mélange le LETTER BOX avec le CROP SIZE en différentes combinaisons (13/9, 14/9, 15/9) avec des bandes longitudinales.

Evolution de la famille analogique

Dans l'évolution de la famille des signaux vidéo analogiques, nous pouvons considérer qu'il faut au départ utiliser grâce au système trichromatique :

- Les signaux **RVB + Synchronisations horizontales et verticales** qui nécessitent l'utilisation de 5 câbles, cela a été utilisé dans la liaison de type VGA (prise 15 broches).

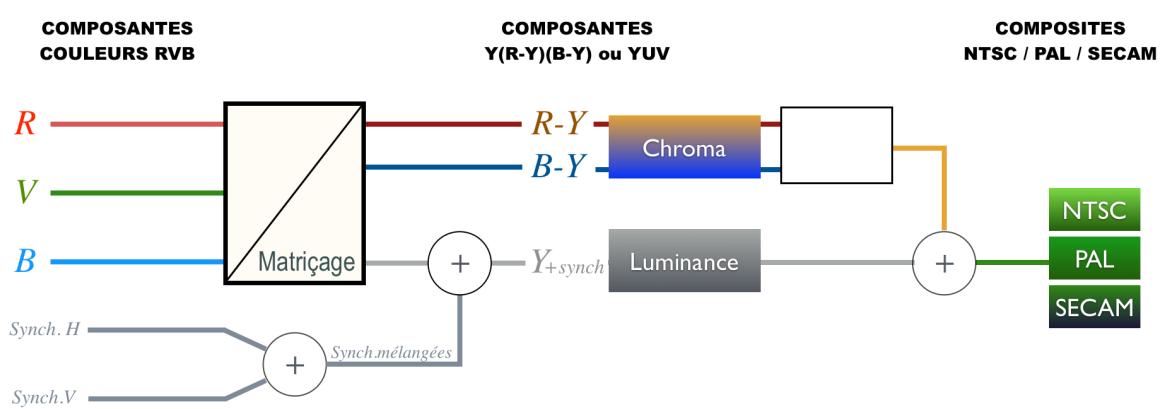
- Puis dans l'esprit de simplification on peut mélanger les deux synchronisations (lignes et trames) pour former ce que l'on nomme la **synchronisation mélangée**. (4 câbles).

- L'espace couleur RVB n'est pas si pratique car uniquement constitué de couleurs, on peut lui substituer un nouvel espace qui sépare **la luminance de la chrominance (Y + Synch, R-Y, B-Y)** avec une réduction à 3 câbles, que l'on appelle **signaux Composantes**.

- Enfin on peut réduire les informations sur un seul câble au prix d'une perte de qualité, avec une génération de **signaux composites**:

NTSC (Canada USA...), **PAL** (Europe) et **SECAM** (France Afrique et Russie).

Evolution de la famille des signaux vidéo analogiques



5 câbles

3 câbles

1 câble

Signaux composantes RVB-YDrDb-YUV

Avec les trois composantes, RVB les différents équipements vidéo vont pouvoir restituer toutes les couleurs et luminances du spectre.

On utilise 3 signaux composantes, plus un signal de synchronisation mélangée (H et V) qui est généré par la source vidéo pour synchroniser les trois images entre elles :

(R/V/B/Synchro)

ce **signal composante** (il contient les **composantes** de l'image vidéo séparées) est connecté sur un moniteur avec des entrées composantes **RVB** (en général 4 câbles, **RVB + synchro**).

Cependant, en vidéo il n'est pas très aisés de manipuler ces composantes sous la forme de signaux RVB, par rapport au fonctionnement de l'œil dont la courbe de sensibilité spectrale présente un pic caractéristique à 555 nm, il serait plus facile de manipuler séparément la **luminance** de la **chrominance**, ainsi on utilise une alternative plus intéressante que l'on nomme le **YDrDb** que l'on aura déduit de RVB par un calcul mathématique de type matriciel.

On a vu précédemment que :

$$Y = R + V + B$$

ne sera pas

$$100\%(Y) = 33\%(R) + 33\%(V) + 33\%(B)$$

mais sera à cause de la courbe de sensibilité de l'œil :

$$100\%(Y) = 30\%(R) + 59\%(V) + 11\%(B)$$

En fonction des primaires déterminées par la **FCC (Federal Communications Commission)** aux débuts de la TV couleur dont les longueurs d'onde dominantes sont : 470, 535, 610 nm on établit l'équation suivante pour le codage de la luminance :

$$Y' = 0,299 \cdot R' + 0,587 \cdot V' + 0,114 \cdot B'$$

la notation **R', V', B'** indique que les primaires RVB ont subi une **compensation de Gamma et une correction colorimétrique**.

Y transmet les informations de luminance correspondant à un signal d'une image en noir et blanc. Si Y est transmis alors seulement deux informations supplémentaires seront nécessaires concernant la couleur.

*Ces deux informations sont appelées **D = Différence de couleur***

Ainsi on peut avoir:

$$D_r' = R' - Y'$$

$$D_b' = B' - Y'$$

$$D_v' = V' - Y'$$

Or: $V' \approx Y'$

En effet la différence $V' - Y'$ est proche de 0 et on aura surtout du bruit.

on retient donc uniquement:

D'r et D'b comme informations couleurs.

Dans ces équations quand $R' = V' = B'$ (absence de couleur)

alors D'r et D'b seront nulles.

Matriçage de Y', D'r et D'b à partir de R', V', B':

$$Y' = 0,30 \cdot R' + 0,59 \cdot V' + 0,11 \cdot B'$$

$$D'r = R' - Y' = 0,70 \cdot R' - 0,59 \cdot V' - 0,11 \cdot B'$$

$$D'b = B' - Y' = -0,30 \cdot R' - 0,59 \cdot V' + 0,89 \cdot B'$$

Ainsi les informations électriques des signaux vidéo seront séparées sous la forme:

• D'une information de luminance (Y) à haute définition contenant les détails fins.

• De deux informations de chrominance (R-Y, B-Y) à basse définition avec une bande passante réduite.

Cette réduction de bande passante couleur est bien tolérée par l'oeil jusqu'à une valeur de 25 % de celle de Y (NOIR et BLANC).

Dématriçage de Y' , $D'r$ et $D'b$ pour reconstituer du R' , V' , B' :

$$R' = Y' + D'r$$

$$V' = Y' - (0,51 \cdot D'r) - (0,19 \cdot D'b)$$

$$B' = Y' + D'b$$

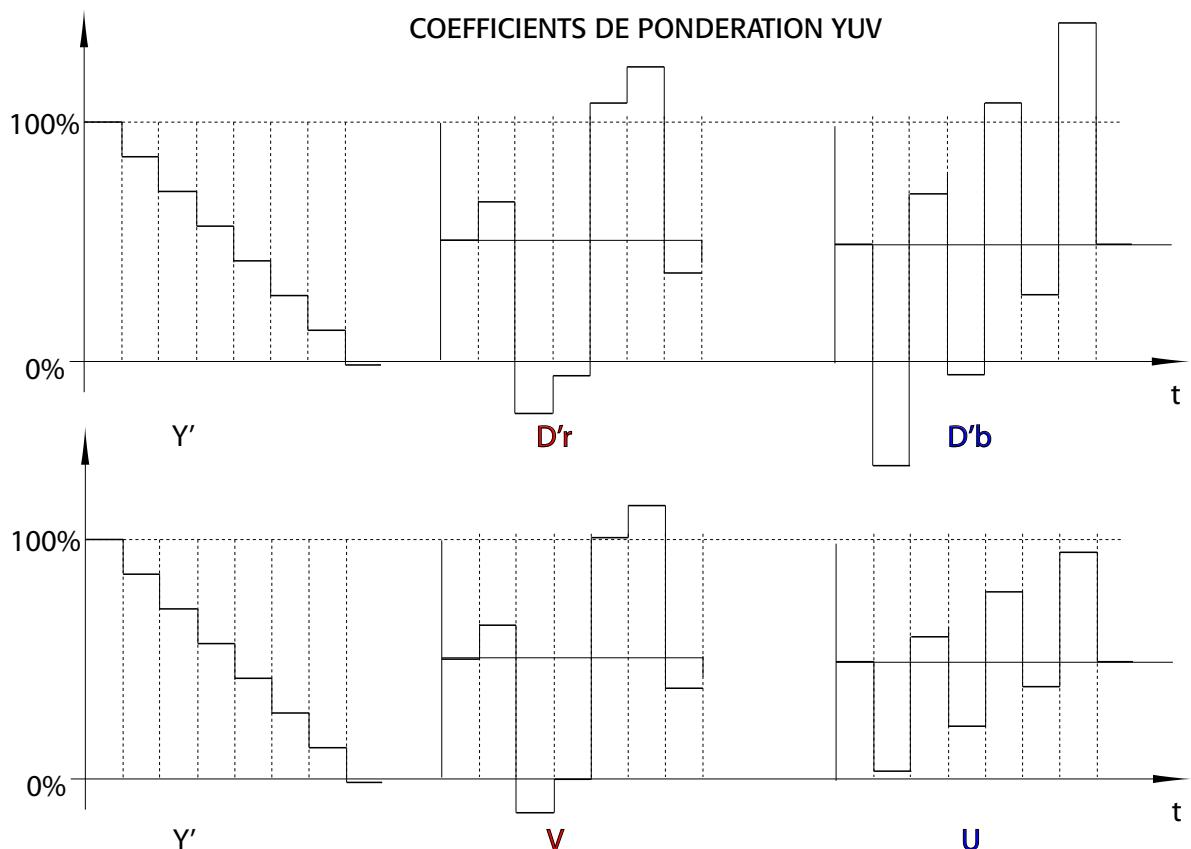
Cependant les amplitudes de $R'-Y'$ et $B'-Y'$ sont trop importantes, il faut donc les réduire, on utilisera un nouvel espace couleur appelé YUV où:

Y est la luminance, U l'axe couleur horizontal et V l'axe couleur vertical

YUV à partir de Y' , $R'-Y'$, $B'-Y'$:

CHROMINANCE BLEUE $U = 0,492 \cdot (B' - Y')$

CHROMINANCE ROUGE $V = 0,877 \cdot (R' - Y')$



Les équations du codage en composantes avant numérisation en SD (REC 601) :

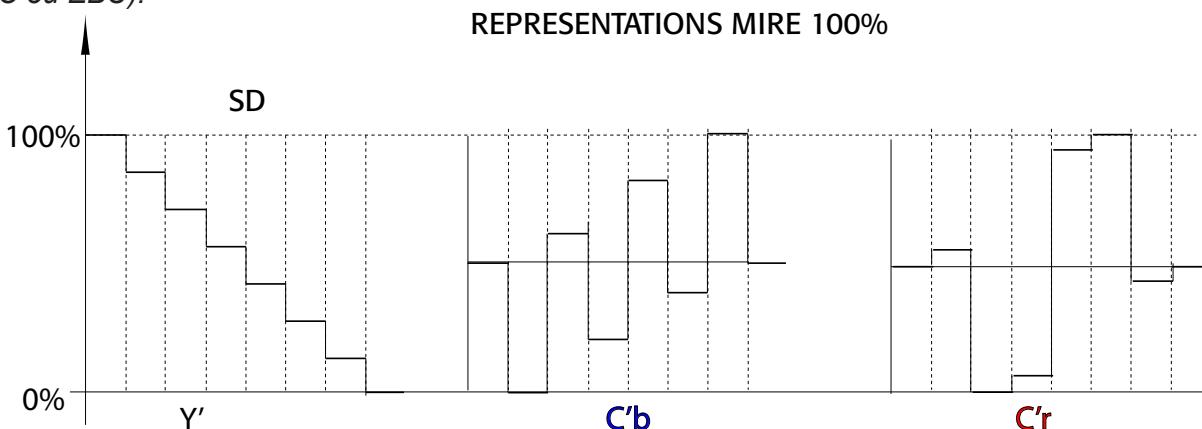
$$Y' = 0,299 \cdot R' + 0,587 \cdot V' + 0,114 \cdot B'$$

$$C'b = (B' - Y') \cdot 0,564 + 350$$

$$C'r = (R' - Y') \cdot 0,713 + 350$$

Les systèmes de primaires sont identiques aux modes de diffusion analogiques (SMPTE

C ou EBU).



EN HD (IT 709) Echelle et offset en numérique :

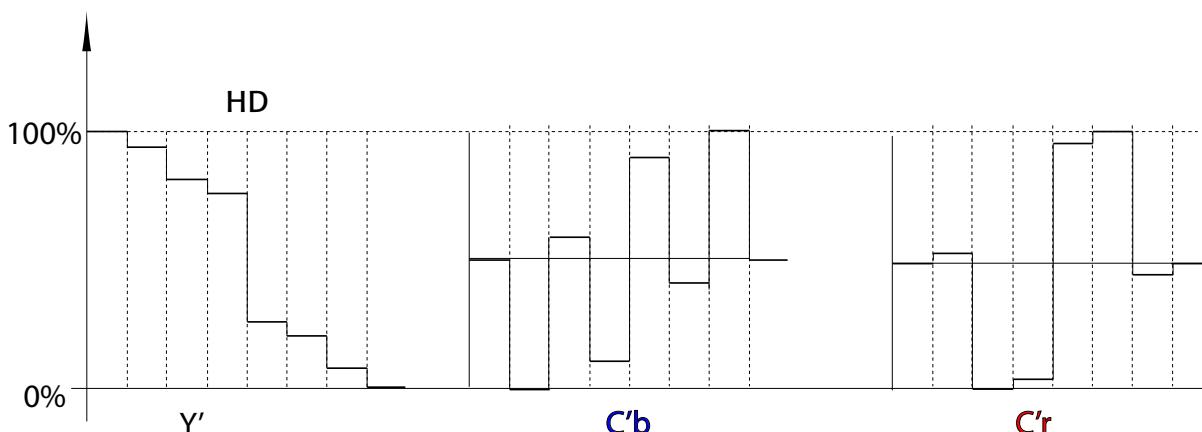
Cette norme redéfinit un système de primaires international, elle redéfinit aussi l'équation de la luminance par rapport au système SD, la primaire verte n'entrait que pour seulement moins de 60 % de la luminance, en HD la composante verte est beaucoup plus lumineuse et s'établit à plus de 70 % et la longueur d'onde plus proche du pic (555nm) de la sensibilité de l'œil :

$$Y' = 0,212 \cdot R' + 0,715 \cdot V' + 0,072 \cdot B'$$

$$C'b = (B' - Y') \cdot 0,539 + 350$$

$$C'r = (R' - Y') \cdot 0,635 + 350$$

La primaire verte passe de 59 % à 71 %, celle du rouge de 30 % à 21 % et le bleu de 11 % à 7 %. Pour les opérateurs visions les niveaux des teintes chairs doivent être plus bas.

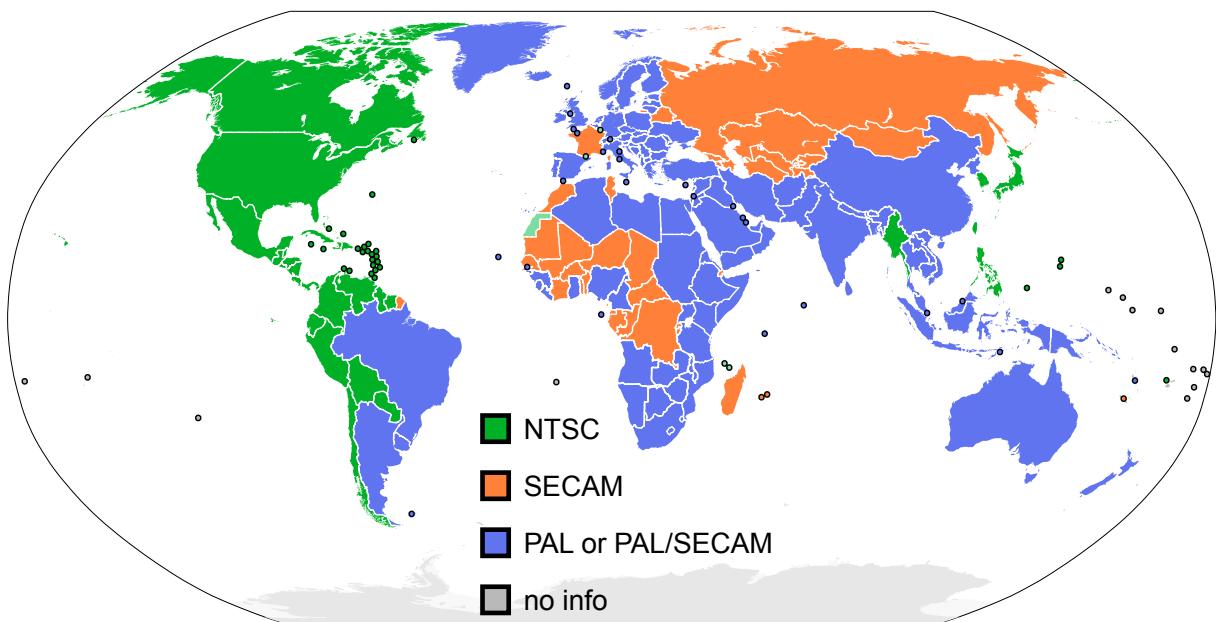


Signaux composites

Les quatre informations électriques **rouge, verte, bleue et synchronisations** issues d'une source ne comportant que des signaux couleurs, ne sont pas faciles à manipuler, (3 ou 4 câbles). L'idée est de trouver un moyen de transmission ou de diffusion à l'aide d'un **seul câble**.

On utilise ainsi des signaux sous la forme **Y , ($B-Y$) ($R-Y$), ou UV** convertis en un **signal vidéo unique** que l'on appelle **signal vidéo composite** comportant :

- **Une information électrique de luminance Y (pour la réception de l'image en noir et blanc).**
- **Des informations électriques de chrominance UV ou ($B-Y$, $R-Y$) sous forme d'une sous porteuse pour la réception de l'image en couleur.**
- **Des informations de synchronisations mélangées (tops de synchro lignes et trames) pour piloter moniteurs, magnétoscopes etc.**



on utilise donc en **SD** (signaux composites) :

$$Y' = 0,30R' + 0,59V' + 0,11B'$$

et deux informations de différences de couleurs D_R et D_B :

$$D'_R = R' - Y' \quad D'_B = B' - Y'$$

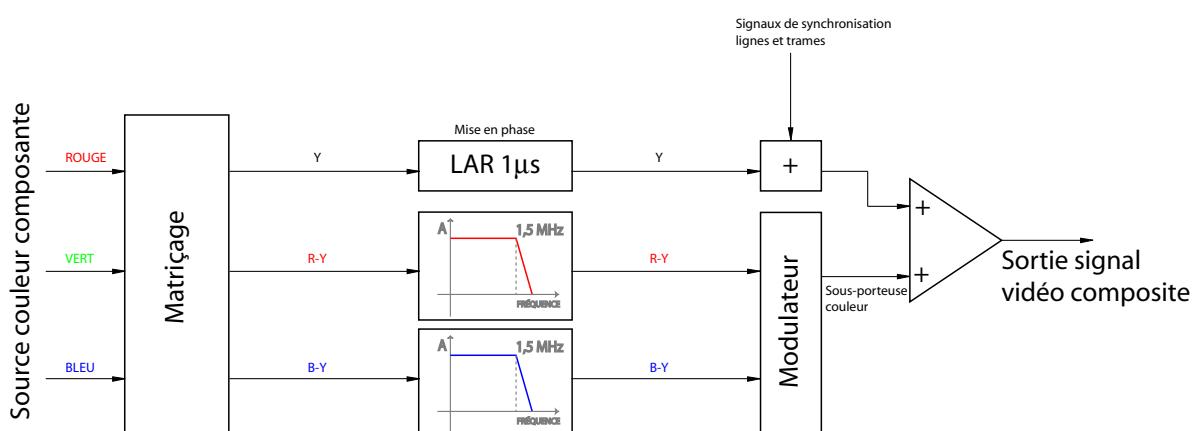
ou

$$D'_R = V \quad D'_B = U$$

Les informations D_R et D_B sont limitées en bande passante à une fréquence maximum de **1,5 MHz**, car l'expérience montre que l'œil discerne difficilement les fréquences élevées dans le domaine de la couleur. Le modulateur transpose ces informations électriques de chrominance en une sous porteuse de forme sinusoïdale.

- La somme électrique du signal de luminance Y , des signaux de synchronisation et de la sous porteuse couleur UV forme le signal vidéo complet codé couleur.

PRINCIPE DU CODAGE D'UN SIGNAL COMPOSITE



Le NTSC

Le NTSC (National Television System Committee) créé en 1953 est utilisé principalement aux ÉTATS UNIS, CANADA, JAPON, AMÉRIQUE DU SUD...)

Il est constitué comme pour tous les signaux composites d'un signal électrique Y à une fréquence image de :

30 i/s en entrelacé (fréquence trame de **60 trame/seconde**), de **525 lignes**.

Il transmet simultanément les informations de couleurs :

• **Deux ondes sinusoïdales nommées Porteuses, de même fréquence mais décalées l'une de l'autre de 90° , modulées en amplitude par les signaux de différences de couleurs ($R-Y$) ($B-Y$), la résultante de ces deux signaux forment un signal de chrominance unique modulé en :**

- **Amplitude (saturation)**
- **Phase (teinte)**

Le système **NTSC** utilise une base de couleurs **YIQ** , Il s'agit d'une base de couleurs décalée de 33° par rapport à une base **YUV** car en analysant la perception visuelle humaine, (ellipses de Mac Adam), il y a une distorsion de la sensibilité de l'œil suivant certaines directions dans l'espace des couleurs. Ainsi, on peut réduire la bande passante sur l'axe **Q** de moindre sensibilité :

$$I = \cos(33^\circ) \cdot D_B + \sin(33^\circ) \cdot D_R$$

$$Q = \sin(33^\circ) \cdot D_B + \cos(33^\circ) \cdot D_R$$

$$Y' = 0,30R' + 0,59V' + 0,11B'$$

$$I = 0,27(B' - Y') + 0,74(R' - Y') = 0,60R' - 0,28V' - 0,32B'$$

$$Q = 0,41(B' - Y') + 0,48(R' - Y') = 0,21R' - 0,52V' + 0,31B'$$

$$\text{Bande passante } I = 1,2 \text{ MHz}$$

$$\text{Bande passante } Q = 400 \text{ kHz}$$

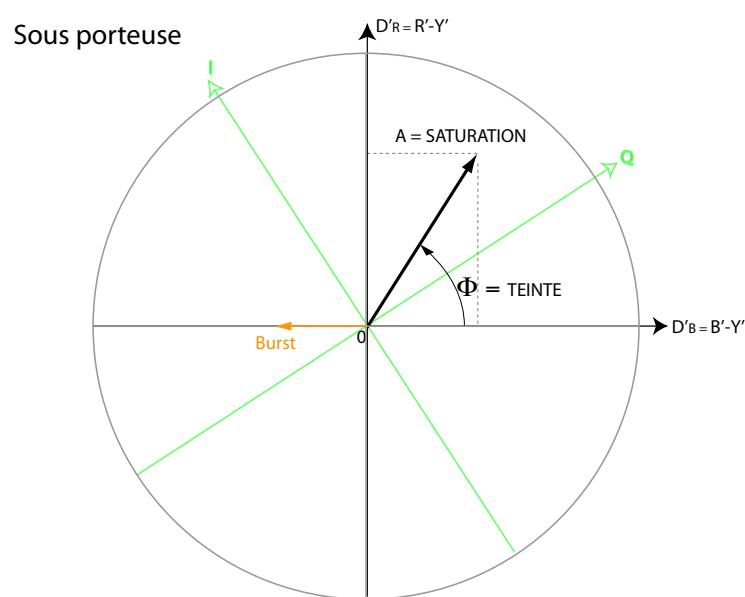
Cette sous-porteuse IQ est ainsi ajoutée au signal de luminance Y (avec les signaux de synchronisations), ainsi qu'un repère vectoriel de phase que l'on appelle le **BURST** sur le palier de suppression ligne.

- La périodicité du signal NTSC est de quatre trames, car deux phases sont possibles en ligne pour la sous-porteuse couleur et que la périodicité de Y est de deux trames.

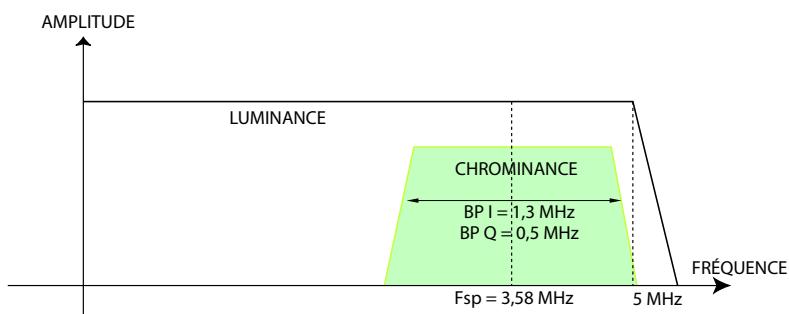
Les Défauts :

- **Distorsion de phase**, due aux circuits du récepteur, à l'antenne, à la propagation, etc. se traduit par des virages de teintes sur l'image. ainsi les téléviseurs possèdent un bouton de réglage de phase en face avant (HUE) pour équilibrer les teintes.
- **Cross color**: lorsque la luminance Y est de même fréquence que la sous-porteuse il y a apparition d'un phénomène indésirable proche d'un moiré.

CODAGE NTSC



Bande passante



Le PAL

Le système de codage Pal (Phase Alternation Line) a été proposé en 1963 par Walter Bruch (Telefunken) et adopté comme standard en RFA en 1967. Il est utilisé dans toute l'Europe à l'exception de la France en diffusion, il utilise le même type de modulation que le NTSC en améliorant les problèmes de teintes dues aux déphasages.

Il est caractérisé par un signal de 625 lignes entrelacées, 25 images/s, 50 trames/s.

- Inverse la polarité sur l'axe V (R-Y) une ligne sur deux, tout en conservant son amplitude.**

Ainsi si une rotation de phase se produit accidentellement, grâce à ce procédé, l'œil faisant la synthèse additive des couleurs, restitue la bonne teinte, si le déphasage n'est pas trop important < 45°.

Le système PAL utilise une base de couleurs YUV, détaillée ci-après :

$$Y = 0,30R' + 0,59V' + 0,11B'$$

$$U = 0,493 (B' - Y') (\sim D'_B)$$

$$V = 0,877 (R' - Y') (\sim D'_R)$$

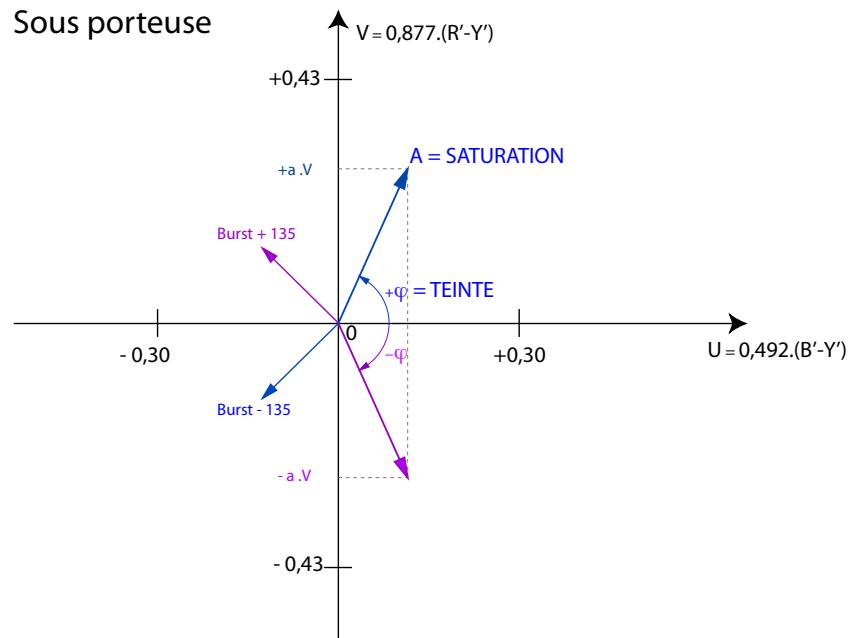
Le Blanc de référence est caractérisé par $Y = \text{max}$, $U = V = 0$.

- La périodicité du signal PAL s'élève à 8 trames. Lors du montage, si l'on brise un bloc de 4 images cela entraîne une saute de couleur visible sur un plan sur plan.**

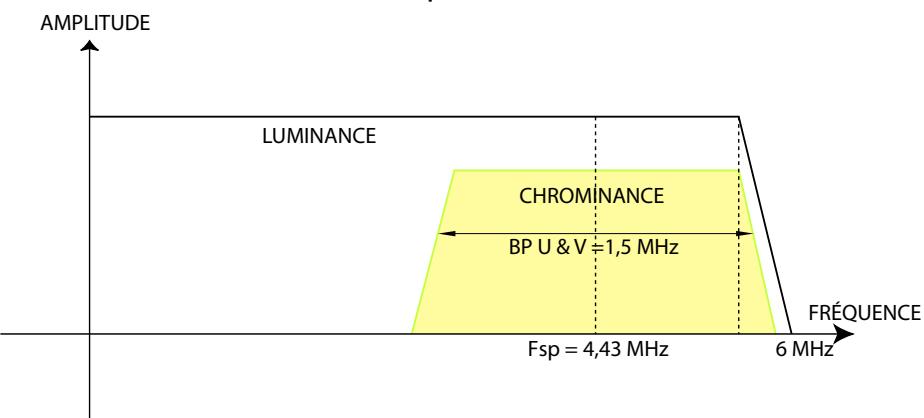
- Une salve de référence de phase couleur (Burst) est insérée sur le palier de suppression ligne.**

CODAGE PAL

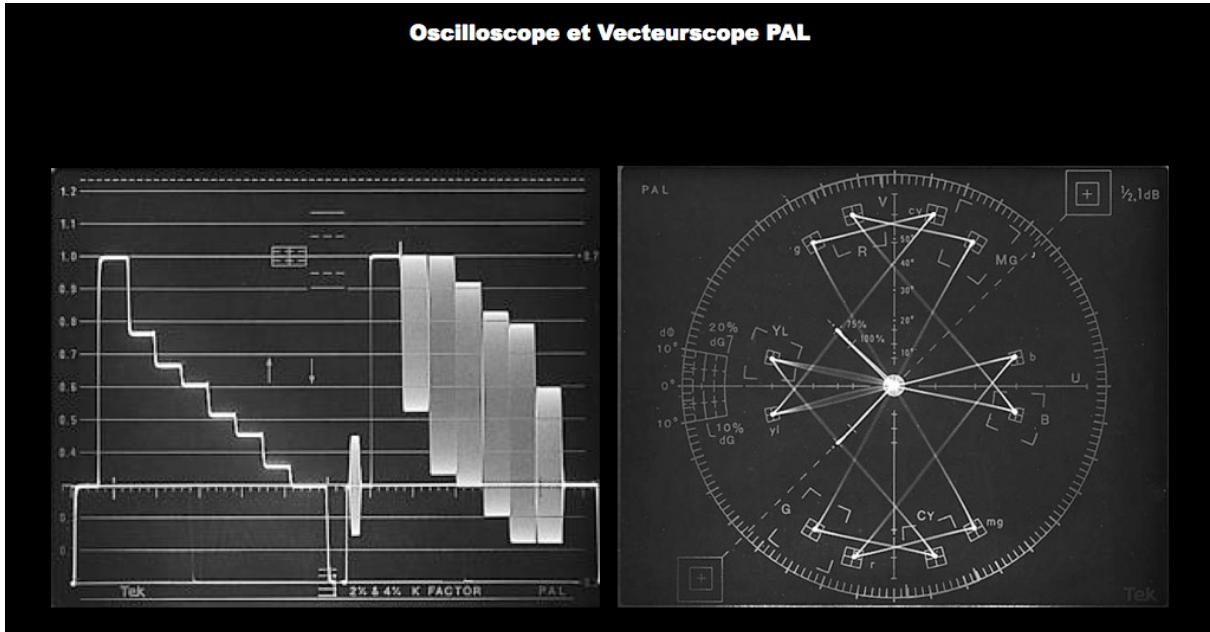
Sous porteuse



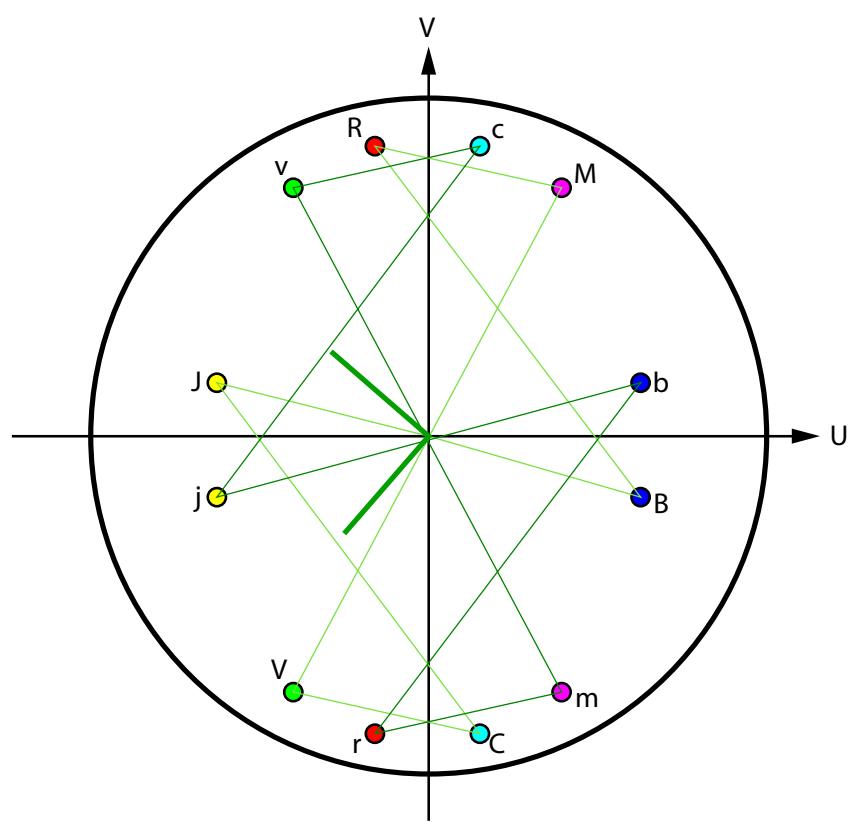
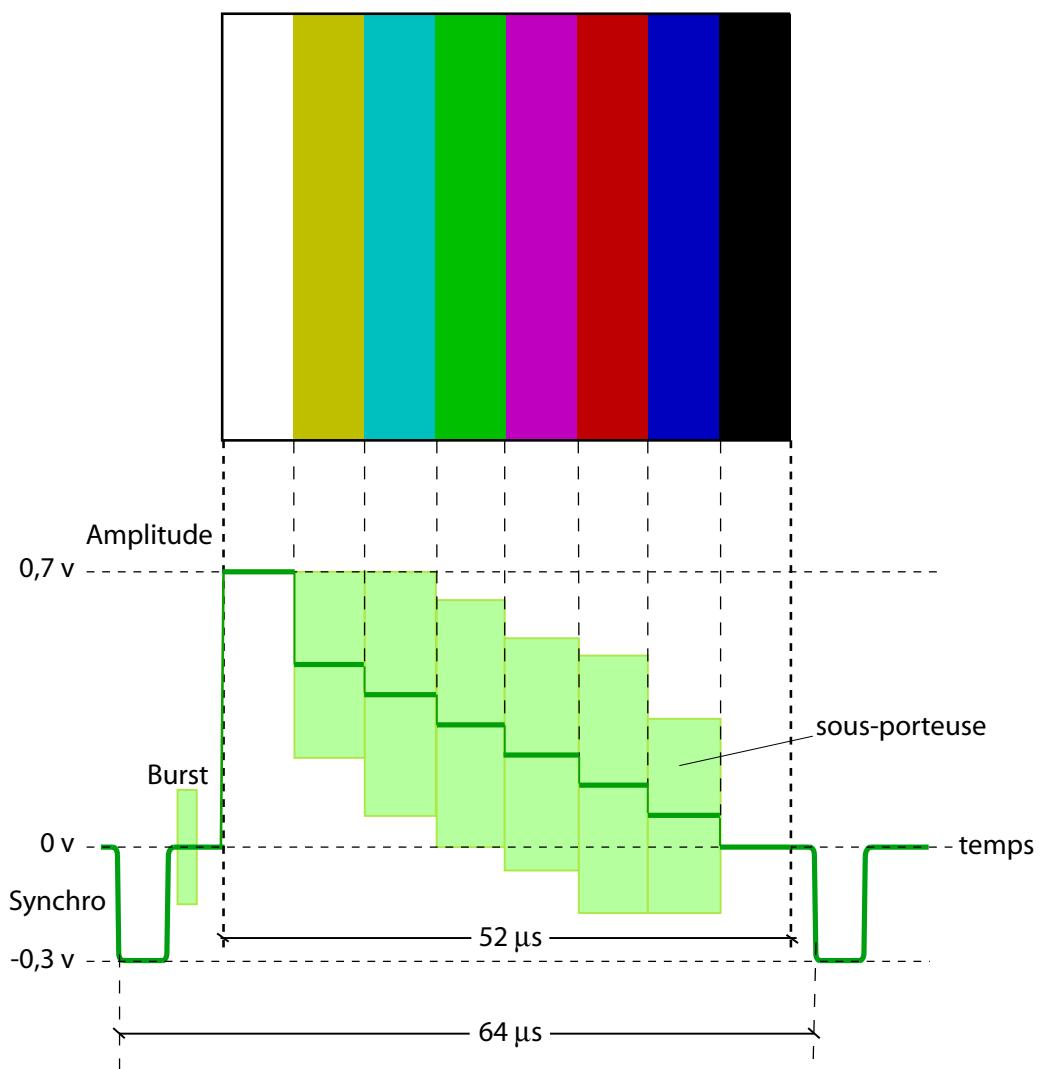
Bandé passante



Oscilloscope et Vecteurscope PAL



SIGNALS PAL



Défauts :

- **Réduction de la définition chromatique verticale de moitié**

puisque l'œil fait la moyenne sur 2 lignes verticales.

- **L'effet de persienne**, si la distorsion de phase est trop importante, l'œil percevra la différence des deux teintes.

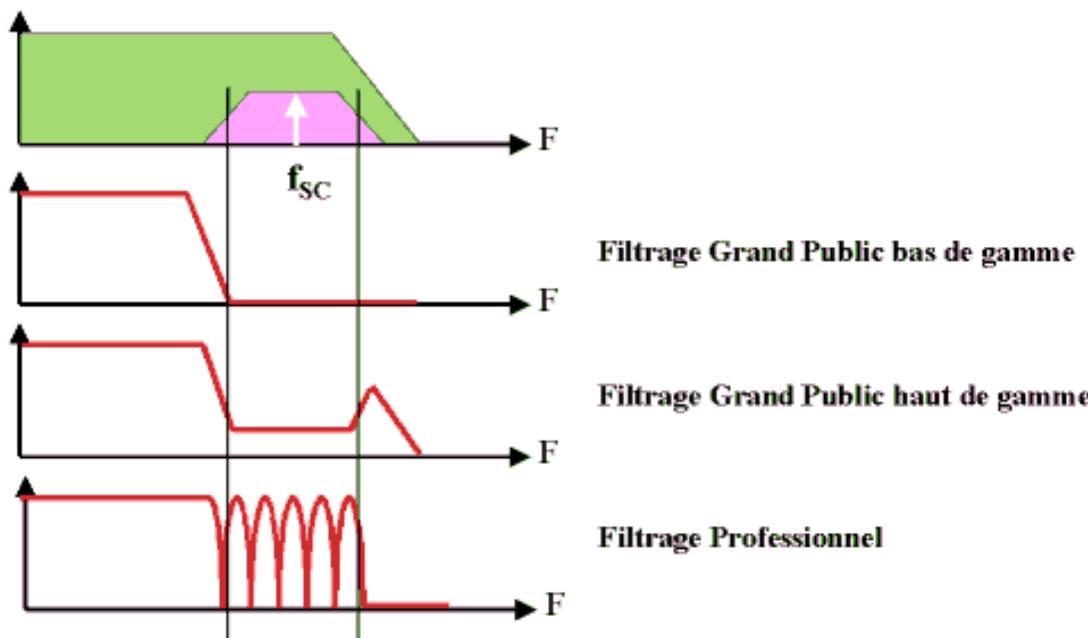
- **La dénaturation des teintes reproduites lorsqu'il y a déphasage.**
amplitude x cosinus du déphasage accidentel. Cette dénaturation de la teinte sur 2 lignes est d'autant plus importante que l'erreur de phase est grande.

- **Cross color**: Comme pour le NTSC, lorsque la luminance Y est de même fréquence que la sous-porteuse il y a apparition d'un phénomène indésirable proche du moiré.

Décodage PAL ou NTSC :

Pour restituer les signaux RVB on doit séparer la luminance de la chrominance on utilise pour cela un filtre passe-bas pour la luminance ou bien un filtre en peigne.

Pour la chrominance un filtre passe-bande sur la fréquence de la sousportuese est suffisant.



Le SECAM

Le SECAM (Séquentiel Couleur à Mémoire) a été l'objet d'étude de Mr. Henri de France dès 1953. Ce procédé fut mis en service en octobre 1967 en France.

Il présente l'avantage d'une très grande robustesse en couleur, et est particulièrement bien adapté pour la diffusion sur des territoires étendus (Afrique, Russie...) ou accidentés (montagnes, vallées, lacs etc.) grâce à :

- **Une sous porteuse couleur en modulation de fréquence.**

*Ce type de modulation présente une très grande robustesse aux distorsions de transmissions (faible signal de réception). Il est donc **Insensitive**:*

- **aux variations d'amplitude.**
- **aux variations de phase.**

Ce système tient compte du fait que les deux grandeurs ($R-Y$) et ($B-Y$) peuvent être transmises séparément l'une de l'autre. Sachant d'autre part que l'œil n'est pas très sensibles aux détails fins dans la couleur:

- **il transmet sur la ligne n l'information relative à une composante couleur stockée en mémoire, puis sur la ligne $n+1$ l'autre composante.**

Ces deux informations couleurs sont reçues et recomposées en un seul paramètre couleur pour 2 lignes consécutives. La résolution couleur verticale du SECAM est donc divisée par 2.

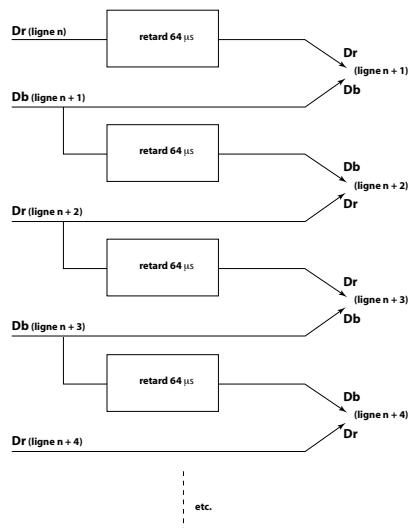
Le système SECAM utilise une base de couleurs Y DR DB, détaillée ci-après:

$$Y' = 0,30R' + 0,59V' + 0,11B' \text{ (bande passante : } 6 \text{ MHz)}$$

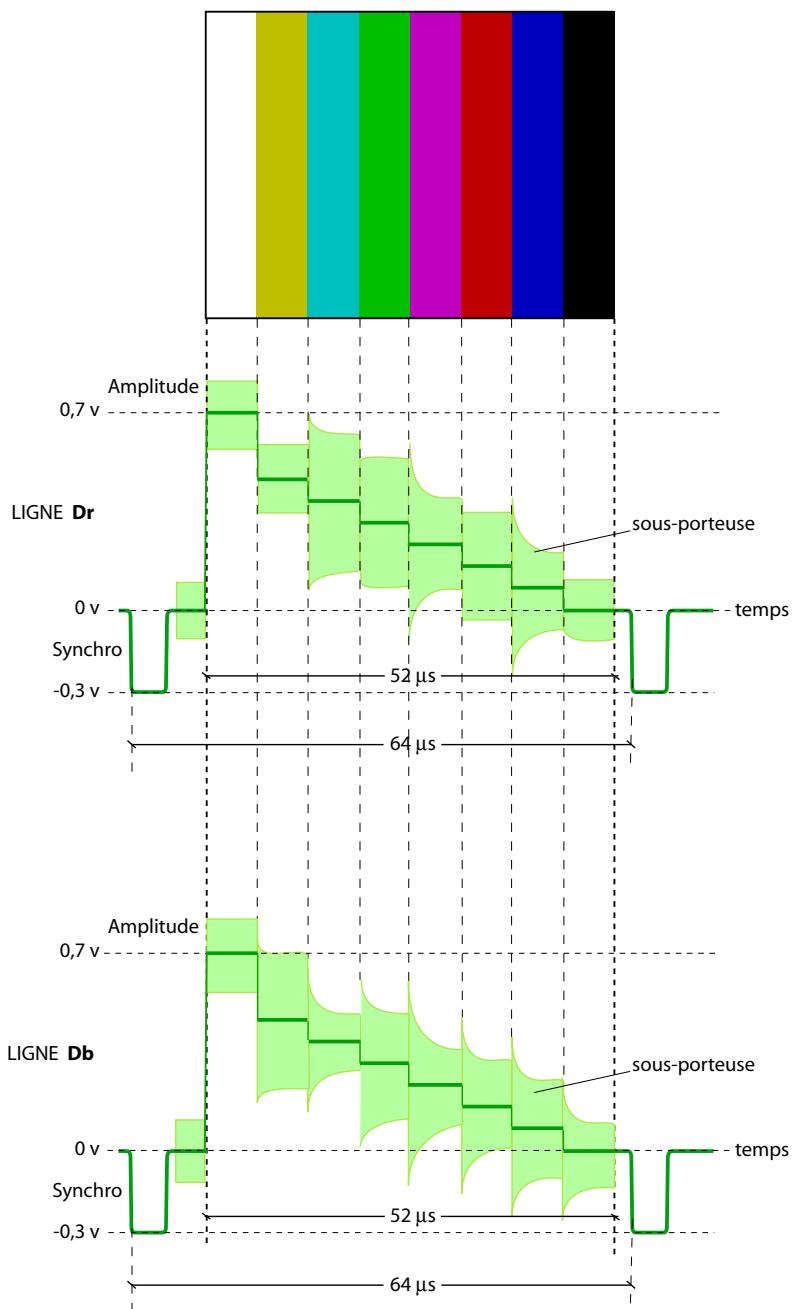
$$D'_R = -1,902 (R' - Y') \text{ (bande passante : } 1,2 \text{ MHz)}$$

$$D'_B = 1,505 (B' - Y') \text{ (bande passante : } 1,2 \text{ MHz)}$$

Le Blanc de référence est caractérisé par $Y = \max$, $D_R = D_B = 0$



SIGNAUX SECAM



La sous porteuse couleur utilise 2 fréquences de repos qui sont identifiées pour chaque ligne « rouge » ou « bleue » :

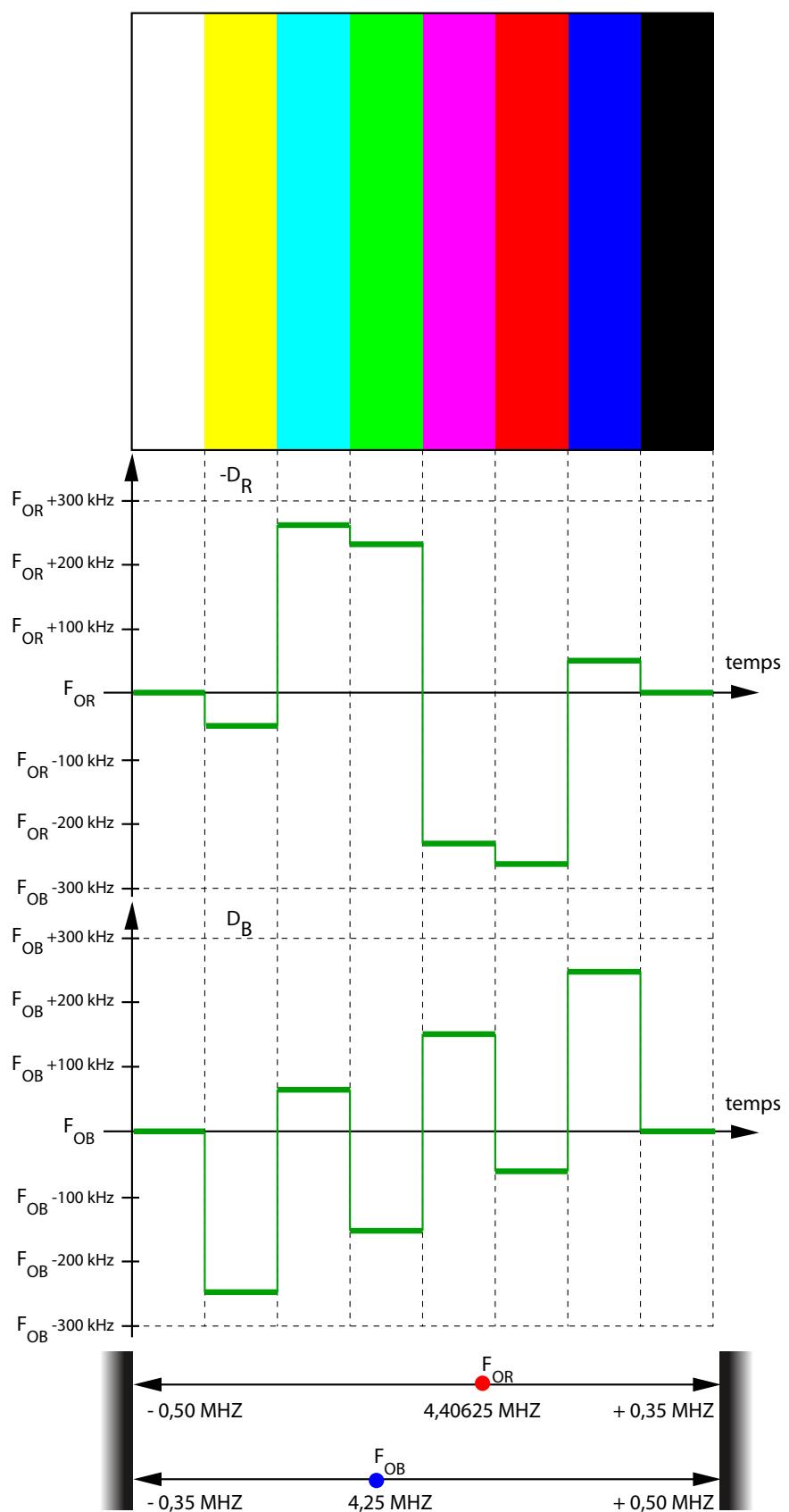
$$F_{oR} = 282 \times F_{ligne} = 282 \times 15625 \text{ Hz} = 4,40625 \text{ MHz}$$

$$F_{oB} = 272 \times F_{ligne} = 272 \times 15625 \text{ Hz} = 4,25 \text{ MHz}$$

Les Défauts :

- **Réduction de la définition chromatique verticale de moitié**
puisque l'information couleur est la même pour 2 lignes.
- **Pour les transitions colorées verticales il y a apparition de papillotements.** *Car d'une trame sur l'autre l'information couleur s'inverse.*
- **Équipements de production studio et de contrôle coûteux.**
L'impossibilité d'effectuer des opérations mathématiques simples sur la modulation de fréquence, nécessitant des démodulateurs FM, entraînant des coûts exorbitants pour la production et post-production vidéo, Le SECAM n'est finalement utilisé que pour la transmission hertzienne des chaines.
- **Cross color très important.**
Le spectre FM utilise une bonne part de la bande passante, on a souvent des résultats aberrants de couleurs, pour atténuer ces phénomènes il faut limiter la bande passante de Y dès la fréquence de 3,5 MHz.

DEVIATIONS DE FRÉQUENCE SECAM



Le transport Y/C ou S-Vidéo

Le transport YC (S-Vidéo) est un dérivé des signaux composites dont il sépare la luminance de la chrominance, pour permettre de conserver l'intégralité de la bande passante sur Y, ce qui lui confère une image plus détaillée.

*En général le système de codage utilisé en Europe est le **PAL**.*

- **un câble transportant Y**
- **un deuxième câble transportant C la chrominance sous forme de sous-porteuse comme en PAL ou en NTSC.**

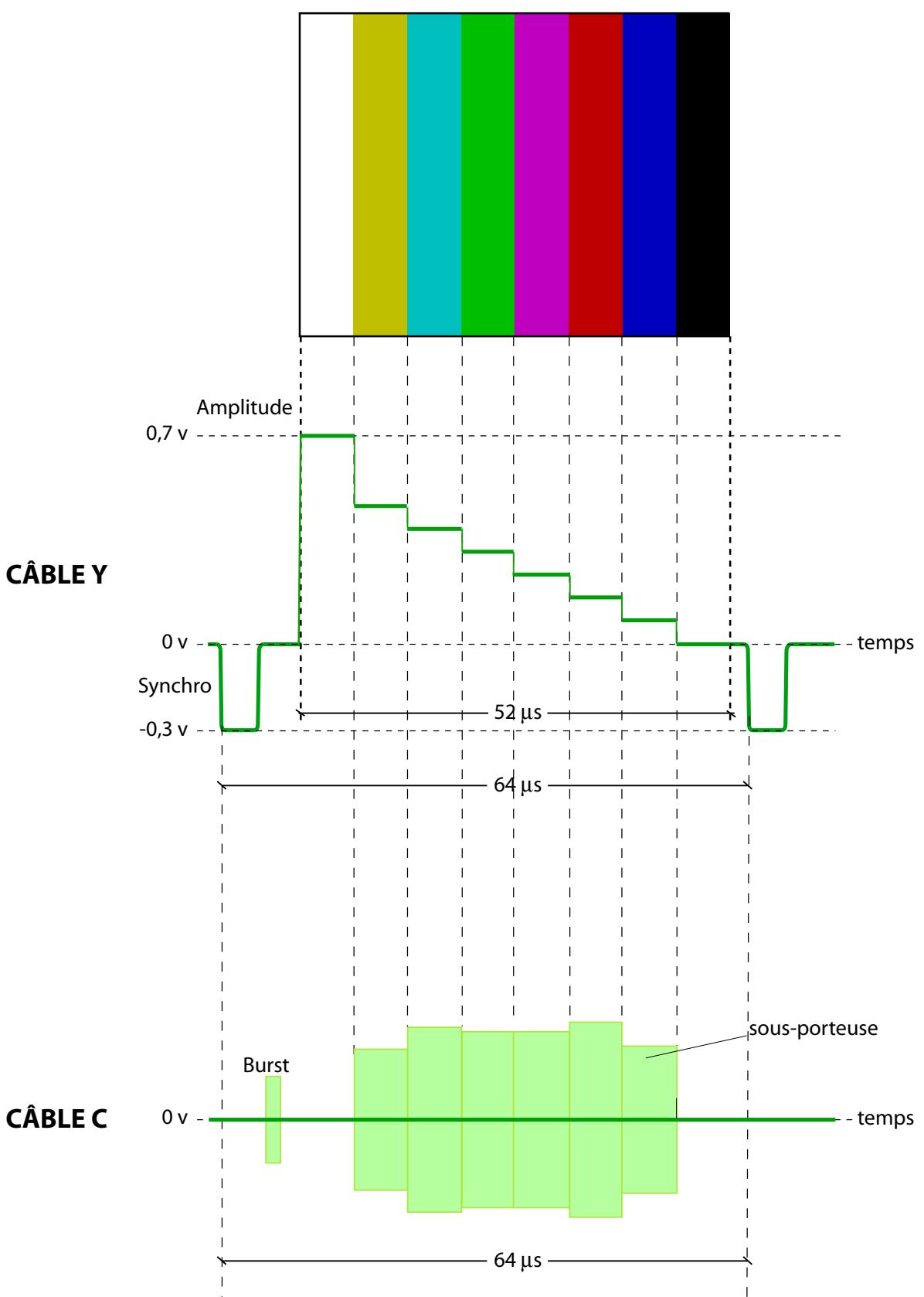
Les qualités :

- **meilleure définition en luminance que le signal composite.**
- **absence de cross-color.**

Les Défauts :

- **difficulté de transporter YC sur des longues distances.**

SIGNALS YC



IV-Vidéo numérique

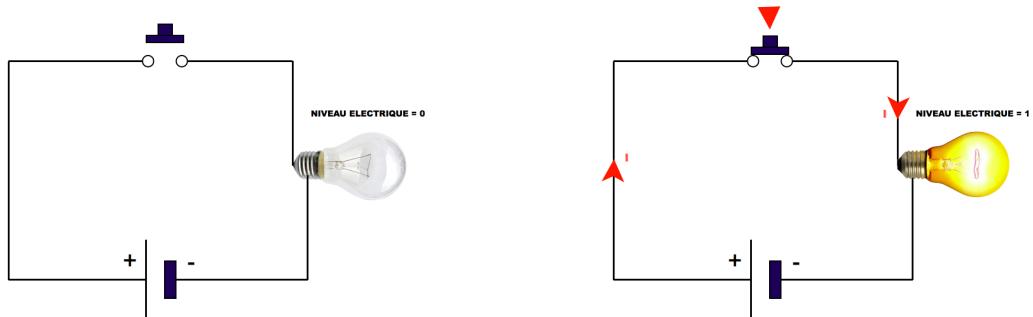
Rappels sur les notions binaires

La base 10 telle que nous l'utilisons :

Milliers	Centaines	Dizaines	Unités
		0	
		1	
		2	
		3	
		4	
		5	
		6	
		7	
		8	
		9	
	1	0	
	1	1	
	1	2	
	1	3	
	.	.	
	.	.	
	1	9	
	2	0	
	2	1	
	2	2	
	2	3	
	.	.	
	.	.	
		9	9
	1	0	0
	1	0	1
	1	0	2
	1	0	3
	.	.	
	.	.	
	9	9	9
1	0	0	0
1	0	0	1
1	0	0	2
.	.	.	
.	.	.	
.	.	.	

La base 2 appelée Base Binaire :

Rang 8	Rang 7	Rang 6	Rang 5	Rang 4	Rang 3	Rang 2	Unités	B10
							0	0
							1	1
						1	0	2
						1	1	3
				1	0	0	0	4
				1	0	1	1	5
				1	1	0	0	6
				1	1	1	1	7
			1	0	0	0	0	8
			1	0	0	1	1	9
			1	0	1	0	0	10
			1	0	1	1	1	11
			1	1	0	0	0	12
			1	1	0	1	1	13
			1	1	1	0	0	14
			1	1	1	1	1	15
		1	0	0	0	0	0	16
		1	0	0	0	0	1	17
		1	0	0	1	0	0	18
		1	0	0	1	1	1	19
		1	0	1	0	0	0	20
		1	0	1	0	1	1	21
		1	0	1	1	1	0	22
		1	1	0	0	0	0	24
		1	1	0	0	0	1	25
		1	1	0	1	0	0	26
		1	1	0	1	1	1	27
		1	1	1	0	0	0	28
		1	1	1	1	0	1	29
		1	1	1	1	1	0	30
		1	1	1	1	1	1	31
	1	0	0	0	0	0	0	32
	1	0	0	0	0	0	1	33
.
.
1	1	1	1	1	1	0	1	253
1	1	1	1	1	1	1	0	254
1	1	1	1	1	1	1	1	255



1 — Le courant ne passe pas = contact ouvert = niveau électrique = 0

2 — Le courant passe = contact fermé = **Niveau électrique = 1**

Seulement **deux possibilités** pour un type d'information.

*C'est ce que l'on nomme un **bit (binary digit)**. Il représente donc la plus petite unité dans le langage binaire.*

Il traduit un état électrique Haut (1) ou bas (0).

Pour accroître les possibilités de niveaux on utilisera 2, 3, 4... 8, 16 bits.

Un mot de **8 bits** (256 possibilités ou 256 niveaux électriques)

est appelé un **OCTET** ou **BYTE**

01101100

MSB / LSB

(Most Significant Bit)

(Least Significant Bit)

La conversion d'une base binaire en base 10 :

Nombre binaire	1	0	1	1	0	1	1	0
Puissance de 2	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
	128	64	32	16	8	4	2	1
Calcul	1×128	0×64	1×32	1×16	0×8	1×4	1×2	0×1
Résultat	128	0	32	16	0	4	2	0

Si nous faisons la somme des résultats nous obtenons = 182

Les unités utilisées sont :

1 bit = 2 niveaux électriques

1 octet (Byte)..... 8 bits = 256 valeurs (luminosité, couleurs...)

1 Kilo-octet (Kilobyte)..... 2^{10} octets = 1 024 octets

1 Megaoctet (Megabyte)..... 2^{20} octets = 1 048 576 octets

1 Gigaoctet (Gigabyte) 2^{30} octets = 1 073 741 824 octets

1 Teraoctet (Terabyte)..... 2^{40} octets = 1 099 511 627 776 octets

1 Petaoctet (Petabyte)..... 2^{50} octets

1 Exaoctet (Exabyte)..... 2^{60} octets

bps = signifie bit par seconde.

kb = signifie Kilobit.

ko = signifie Kilo-octet, ou encore **kB** qui signifie Kilo-Byte (soit 1024×8 bits).

Mb = signifie Megabit.

Mo = **MB** signifie Megaoctet (Mega-Byte)

Gb = signifie Gigabit.

Go = **GB** signifie Gigaoctet (Giga-Byte)

Tb = signifie Terabit.

To = **TB** signifie Teraoctet (Tera-Byte)

Pb = signifie Petabit

Po = **PB** signifie Petaoctet (Peta-Byte)

Eb = signifie Exabit

Eo = **EB** signifie Exaoctet (Exa-Byte)

La conversion numérique

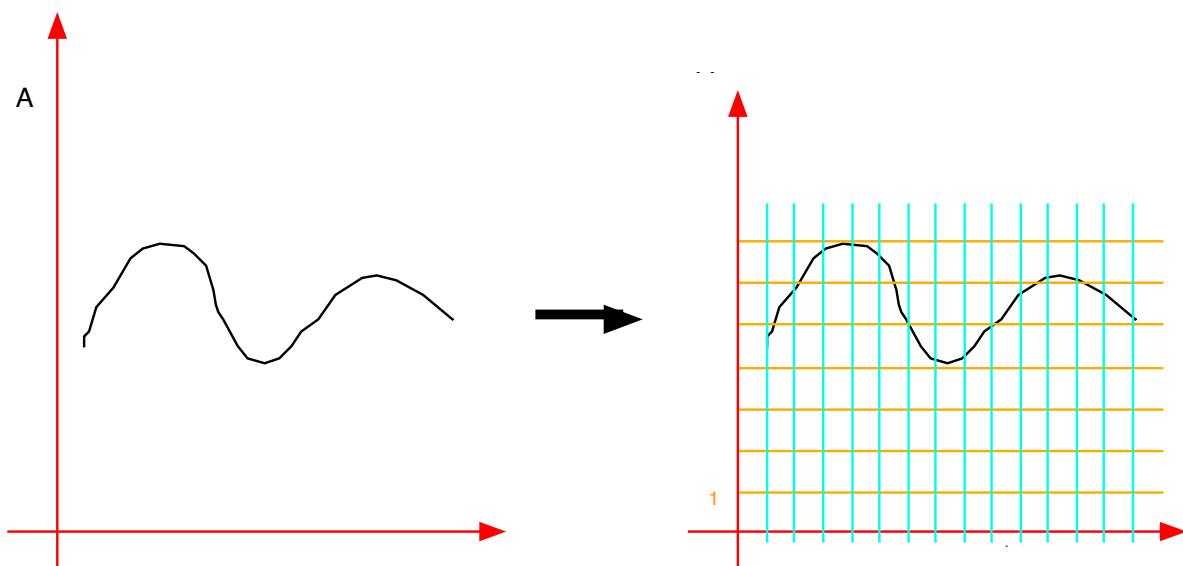
Le signal numérique (digital en anglais) se caractérise par le fait qu'il ne transmet plus directement les valeurs électriques du signal d'origine (le son, la vidéo...), mais des valeurs binaires 0 ou 1, des codes qui correspondent à différents niveaux électriques analogiques.

Les parasites divers qui peuvent se mélanger durant la transmission ou le stockage du signal ne viennent pas troubler le langage binaire qui sait dissocier le bruit de son langage (une succession de niveaux électriques haut et bas, 0 et 1), et donc ne vient pas altérer la reproduction du signal source.

Ces sources sont générées par un capteur de caméra ou bien un micro qui délivrent des signaux vidéo ou audio analogique qui devront être convertis en une suite de 0 et de 1 pour pouvoir être traités et stockés sur une bande, un disque dur ou une mémoire « flash ».

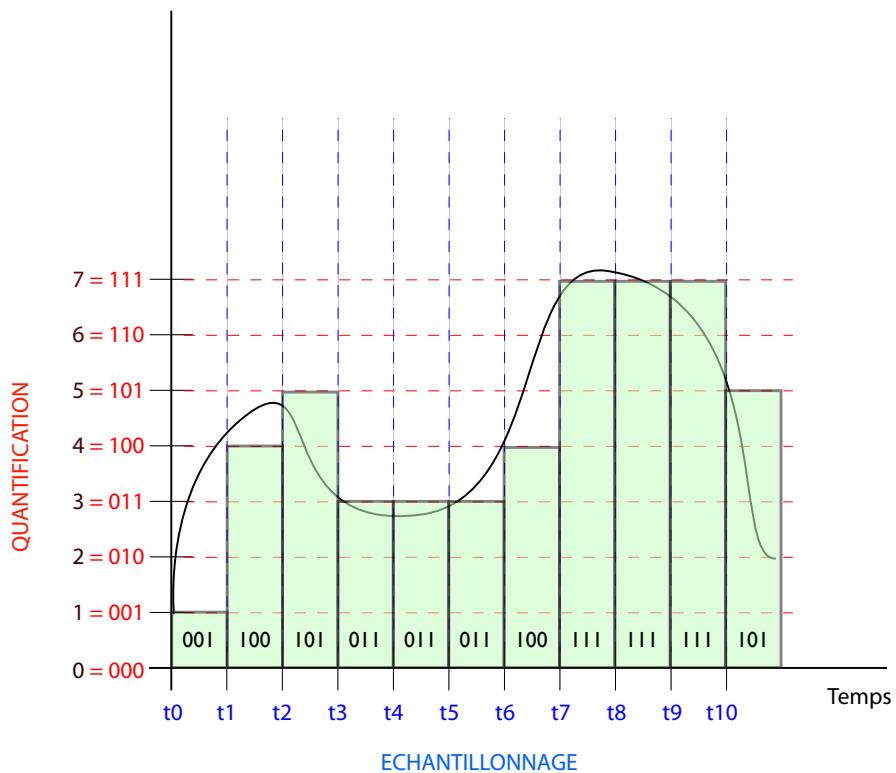
Puis cette suite de mots binaires devra être reconvertie en analogique à la lecture, pour que l'être humain puisse comprendre ces informations (vision ou audition).

*C'est le travail des **Convertisseurs Analogique > Numérique (C.A.N.)** et des **Convertisseurs Numérique > Analogique (C.N.A.)**, qui sont de petits circuits électroniques spécialisés dans la conversion de niveaux électriques, qui les traduisent en langage binaire (suite de 0 et de 1) ou inversement.*



La première étape consiste à transformer le signal électrique véhiculant notre vidéo ou audio dans les circuits du convertisseur analogique numérique (CAN).

Digitaliser un signal électrique



Ce circuit va mesurer à différents instants, $t_0, t_1, t_2, t_3 \dots$ les valeurs électriques, et attribuer des codes binaires pour chacune des valeurs.

Dans l'exemple : **0011001010110110011111111101** avec :

une quantification de **3 bits** sur **11 échantillons**.

Cette conversion d'une tension électrique en données binaires, en échantillons se nomme : **numériser, sampler, digitaliser...**

Ainsi pour numériser on utilise 2 paramètres :

- La fréquence des mesures des niveaux électriques :

(combien de fois par seconde va-t-on mesurer la tension électrique).

Plus la fréquence utilisée sera grande, plus les mesures seront fidèles au signal original, c'est l'**ÉCHANTILLONNAGE**.

- La quantité de bits utilisés : Plus le nombre de bits est important, plus la dynamique du signal échantillonné sera juste.

C'est ce que l'on appelle la **QUANTIFICATION**.

Par ex : une quantification sur 8 bits nous donnera 256 niveaux électriques possibles.

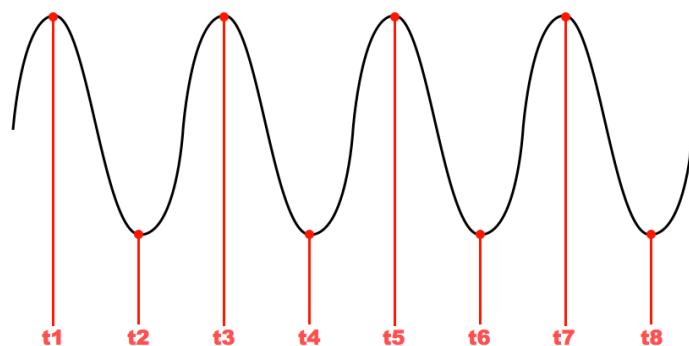
Le choix de ces deux paramètres dépend de la nature du signal à numériser.

L'ECHANTILLONNAGE : Théorème de Nyquist

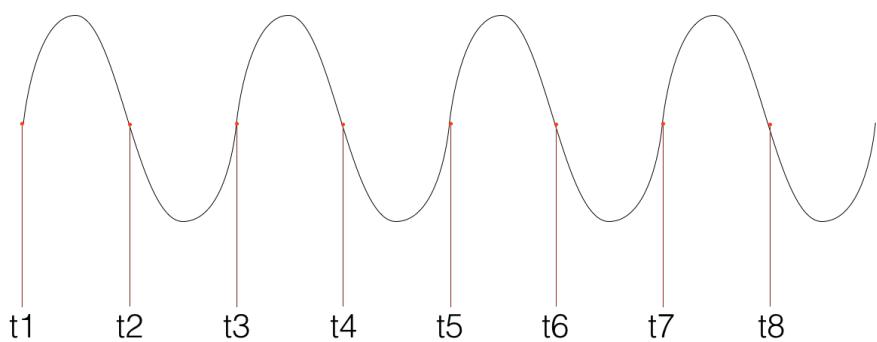
L'intervalle entre deux échantillons doit être égal ou inférieur à la demi-période du signal de fréquence le plus élevé présent dans le signal.

*ou bien il faut échantillonner ce signal au moins **au double de sa fréquence maximum** dans la bande passante :*

$$F_e > F_{max\ BP} \times 2$$



En réalité on doit échantillonner largement au dessus du double de la fréquence maximum.



Par ex en audio, on sait que l'oreille entend au maximum les fréquences de 20 000 Hz.
Ainsi on choisira comme fréquence d'échantillonnage le double, soit $f = 40 \text{ kHz}$.
La fréquence d'échantillonnage d'un CD audio est de $44,1 \text{ kHz}$.

En vidéo SD on a une fréquence max de 6 MHz, on utilisera une fréquence d'échantillonnage de $f_{éch} = 13,5 \text{ MHz}$. Soit un peu plus du double de la fréquence max de la bande passante.

En HD on utilise $f_{éch} = 74,25 \text{ MHz}$ pour 26 MHz de BP

Sachant que l'œil est plus sensible à la luminance qu'à la chrominance, on sait que l'on peut utiliser un multiple inférieur (pour gagner de la place) pour la chrominance.

La fréquence d'échantillonnage de la chrominance sera deux à quatre fois moins importante que celle utilisée pour la luminance.

En broadcast on utilise, $f_{éch} = 13,5 \text{ MHz}$ pour échantillonner Y
et $f_{éch} = 6,75 \text{ MHz}$ pour Cb et Cr .

Une fréquence inférieure d'échantillonnage signifie moins d'information par seconde à stocker, donc un débit et un espace disque inférieur pour la même durée.

LA QUANTIFICATION

La profondeur de quantification va déterminer le nombre de niveaux disponibles (dynamique) selon la relation :

$$\text{Nbre de niveaux électriques} = 2^n$$

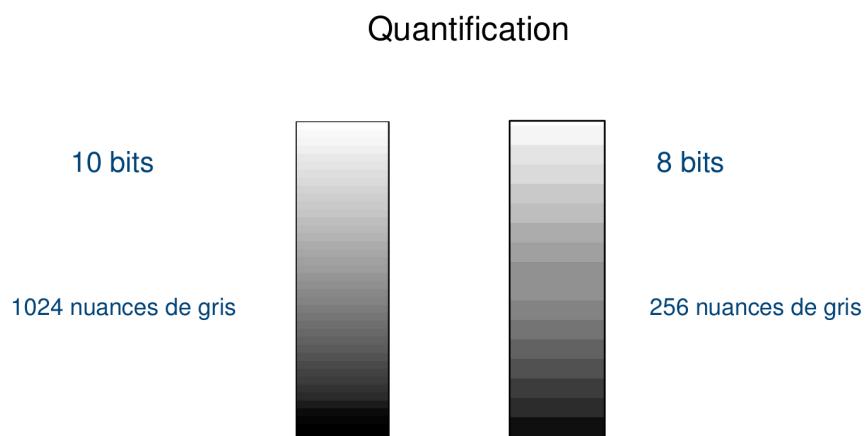
*n est le nombre de bits de quantification, ce nombre va déterminer aussi le nombre de niveaux disponibles. par ex: **16 bits = $2^{16} = 65\,536$ niveaux.***

Avec 3 composantes RVB ou YUV, le nombre de couleurs disponibles sera égal au cube du nombre de niveaux disponibles pour chaque composante :

$$\text{Nbre total de couleurs} = Nb_{\text{niveaux}}^3$$

*Pour la quantification il faut en vidéo utiliser au minimum **8 bits = (256 niveaux)** pour chaque couleur RVB ou YUV, et au total **$256^3 = 16\,777\,216$ couleurs.***

*L'œil ne perçoit pas le passage d'un niveau à l'autre, dans les formats professionnels, on utilise **10 bits (1 024 niveaux).***



Pour résumer quelques exemples de poids et de débit :

Calcul du poids d'une image en SD (octet) :

720 x 576 x 3 (RVB) x 10 (bits) = 12 441 600 bits
soit 1 555 200 octets ou 1,6 Mo environ.

Calcul du poids d'une image en HD (octet) :

1920 x 1080 x 3 x 10 (bits) = 62 208 000 bits
soit 7 776 000 octets ou 7,78 Mo environ.

Calcul du débit net (bit/seconde) en HD (€) :

62 208 000 bits x 25 i/s = 1 555 200 000 b/s
soit (/1024/1024/1024) = 1,448 Gb/s

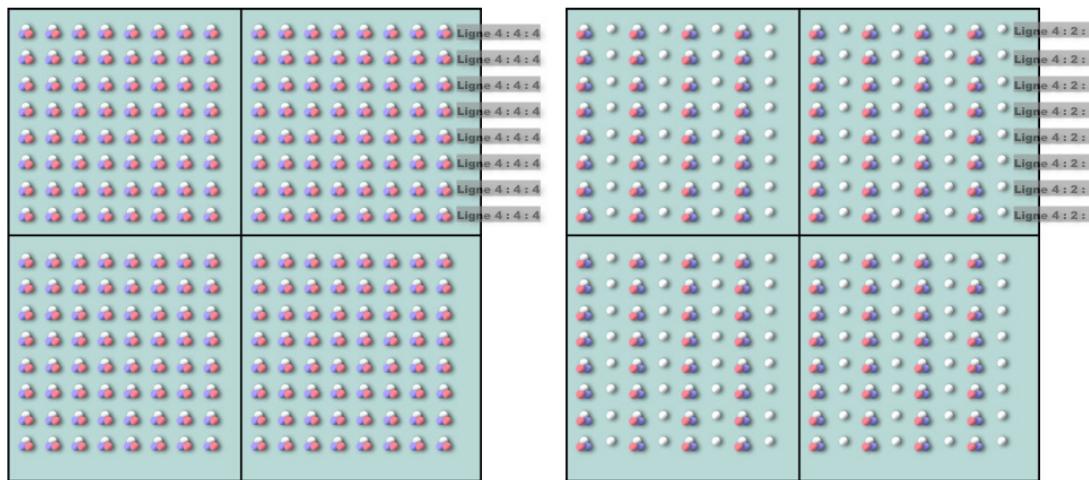
Les ratios Luminance/Chrominance

L'œil est plus sensible aux détails dans la luminance que dans la chrominance. Ce défaut de l'œil permet aux systèmes analogiques de **baisser la bande passante** dédiée à la chrominance, ce qui permet d'utiliser une bande passante plus faible pour l'ensemble du système... En numérique, le même principe est utilisé, nous diminuons le nombre d'échantillons dans la chrominance et le ratio est en général de 1 pour 2 ou 1 pour 4..

La notation en numérique du ratio Luminance-chrominance (**color sampling**) s'effectue sur le modèle $Y : Cb : Cr$ ou $R : V : B$.

nous pouvons rencontrer plusieurs type de ratios comme **4:4:4, 4:2:2, 4:1:1 ou 4:2:0.**

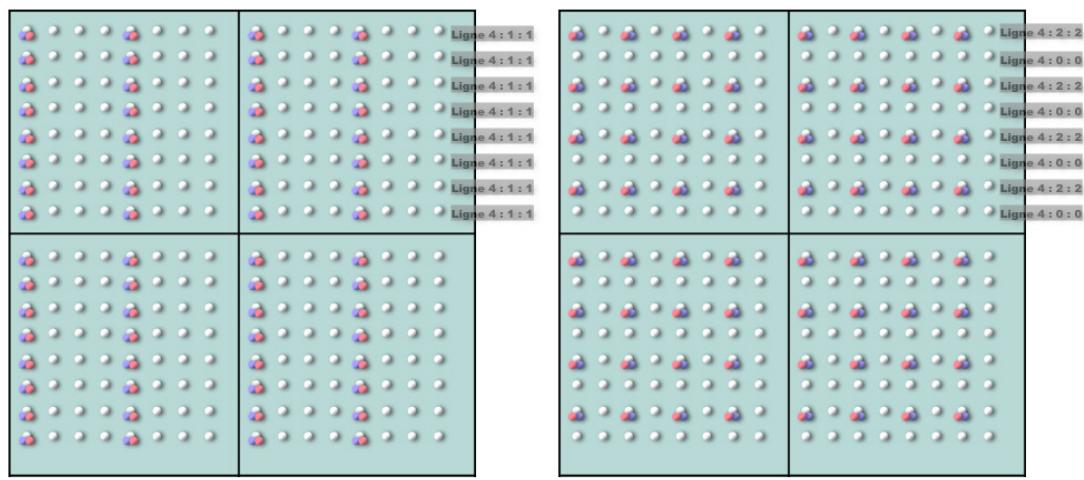
DIFFERENTS TYPES DE STRUCTURES DE MACROBLOCS (16 X 16 PIXELS)



RATIO 4 : 4 : 4

RATIO 4 : 2 : 2

DIFFERENTS TYPES DE STRUCTURES DE MACROBLOCS (16 X 16 PIXELS)



RATIO 4 : 1 : 1

RATIO 4 : 2 : 0

En 4 :4 :4, autant d'information sur la chrominance et sur la luminance.

Les fréquences d'échantillonnages sont de :

$13,5 : 13,5 : 13,5 \text{ Mhz en SD}$

ou $74,25 \text{ MHz} : 74,25 \text{ MHz} : 74,25 \text{ MHz (HD)}$

pour toutes les composantes. Aucune perte d'information dans ce standard, c'est la qualité maximale en numérique. Les équipements qui l'utilise :

DCI 2K, JPEG2000, D-Cinema. Dual HD-SDI, HDCAM SR, RVB ou YUV + alpha key = 4:4:4 : 4 applications trucages.

En 4 :2 :2, la bande passante de la chrominance est divisée par 2 par rapport à la luminance, ce qui donne :

en **SD** des fréquences d'échantillonnages de :

$13,5 \text{ Mhz} : 6,75 \text{ Mhz} : 6,75 \text{ Mhz}$

et en **HD** :

$74,25 \text{ MHz} : 37,125 \text{ MHz} : 37,125 \text{ MHz.}$

Les équipements qui l'utilise :

Video SDI ou HDSDI, HDCAM SR, XDCAM HD 50, DVCPro 100 HD, AVC intra 100

En 4 :1 :1, la bande passante de la chrominance est divisée par 4, ce qui donne :

$13,5 \text{ Mhz} : 3,375 \text{ Mhz} : 3,375 \text{ Mhz.}$

Ce ratio est utilisé pour le DV aux USA, et pour le DVCpro.

En HD n'existe pas. Ce ratio permet d'abaisser considérablement le débit du flux vidéo.

En 4 :2 :0, les fréquences d'échantillonnages sont de :

$13,5 \text{ MHz} : 6,75 \text{ MHz} : 6,75 \text{ MHz (SD)}$

ou $74,25 \text{ MHz} : 37,125 \text{ MHz} : 37,125 \text{ MHz (HD)}$

comme en 4:2:2, mais **une ligne sur deux** pour la chroma.

En fait, on aura **une ligne 4:2:2, puis la suivante sera 4 :0 :0**.

C'est ce qui donne le **4 :2 :0**.

Ce dernier ratio est utilisé pour le DVD et le DV (SD) en Europe.

En HD : AVC intra 50, AVCHD, XDCAM HD, XDCAM EX, HDV

V-Les caméras numériques

Les Familles de caméra.

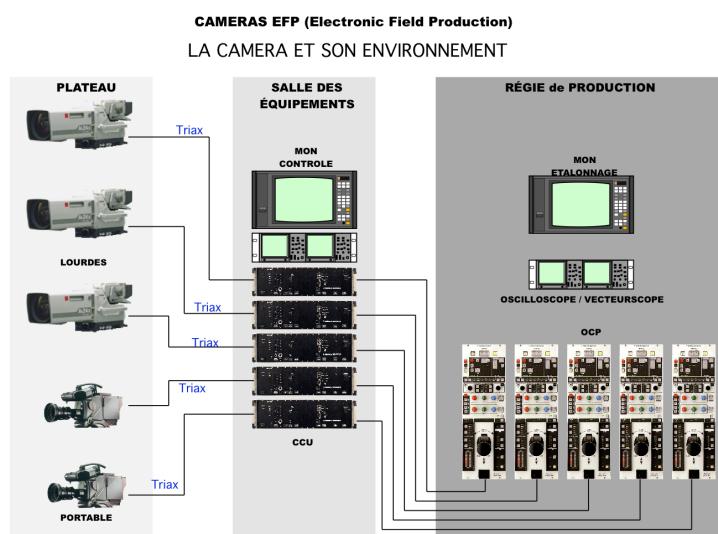
On peut considérer **3 grandes familles de caméra vidéo :**

1 — Les caméras EFP (Electronic Field Production) pour une utilisation **Broadcast (diffusion TV)** qui se divisent en **3 catégories :**

- **les caméras légères.**
- **Les caméras lourdes.**
- **Les caméras RF ou HF (Radios ou Hautes fréquences)**

elles sont liées à un nodal technique sous forme d'une **régie fixe ou mobile (OB-VAN)** par l'intermédiaire d'un **câble TRIAX**, une **fibre SMPTE** ou une **liaison sans fil (WIRELESS)** et d'un **CCU (Camera Control Unit)** avec un **OCP (Operating Control Panel)** avec lequel les Ingénieurs vision ont en charge les réglages techniques (Diaphragme, colorimétrie, paramètres techniques...)

Elles permettent des **tournages en multi-caméras** pour les retransmissions en **direct**, d'évènements artistiques ou sportifs (concerts, pièces de théâtre, retransmissions sportives, etc...)

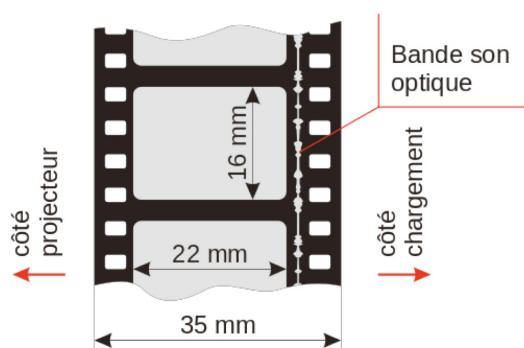


2 — Les caméras autonomes ENG (Electronic News Gathering)

A l'épaule, équipées d'un système d'enregistrement Audio/Vidéo que l'on appelle les **camescopes ou Combo** (contraction de caméra et magnétoscope) qui permettent de tourner des **Reportages, documentaires et news pour les journaux télévisés.**



3 — Les caméras Cinéma pour les longs métrages et documentaires en haute qualité **HD/2K/4K**, elles sont équipées également d'un système d'enregistrement sous forme de **disque dur, ou serveur** permettant d'enregistrer les images brutes en sortie du capteur (**RAW**) pour un traitement ultérieur en post-production (avec des caractéristiques telles que température de couleur, Gamma, colorimétrie etc...) les capteurs de ces caméras sont proches du 35 mm argentique (22mm x 16mm) pour la compatibilité avec les **objectifs en monture PL**, les capteurs possèdent donc une taille plus importante que les deux familles précédentes.



La séparation des primaires

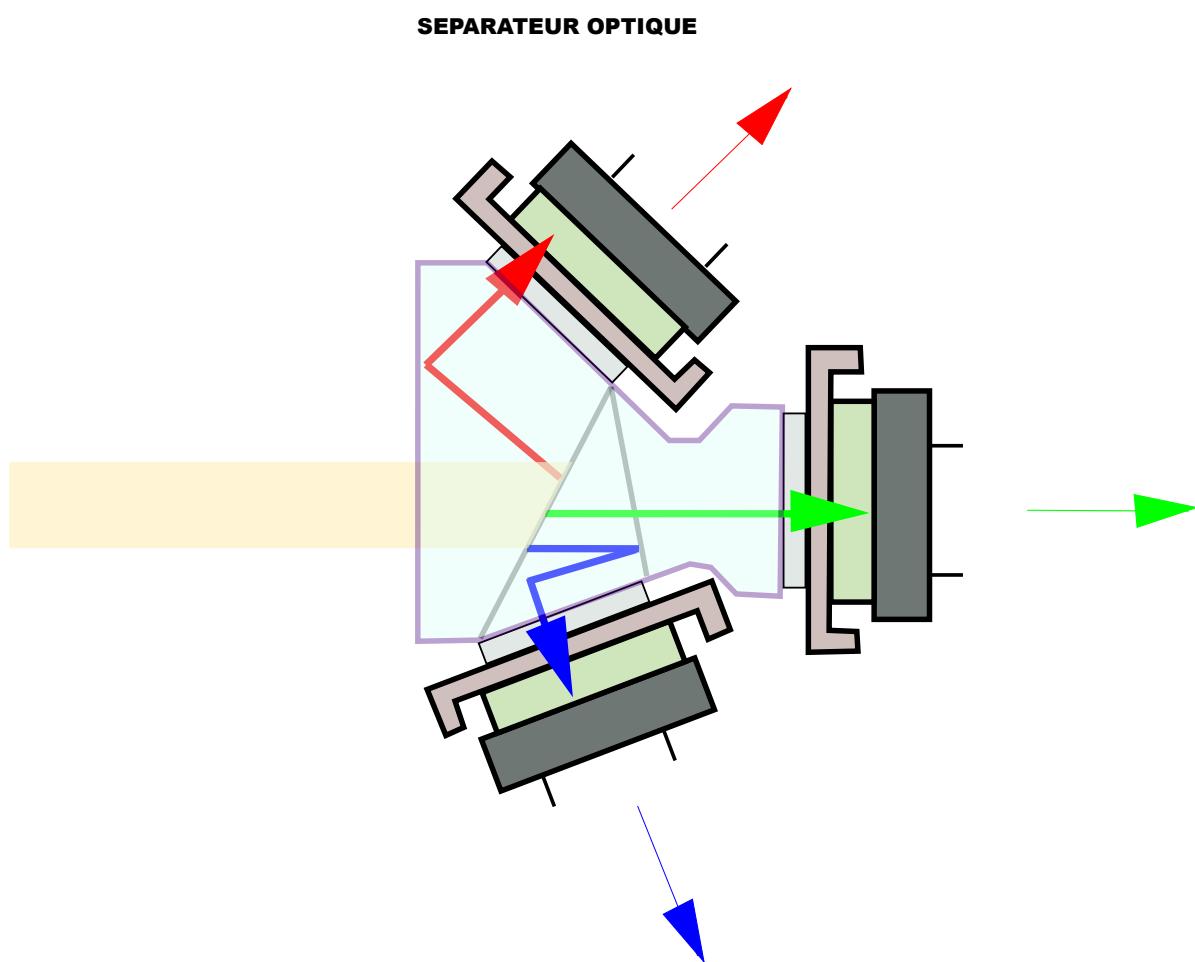
Il existe deux principes de séparation des couleurs primaires :

- **Tri-CCD ou Tri-CMOS** (avec séparateur optique)
- **Mono-CCD ou Mono-CMOS** (avec filtres colorés)

Le séparateur optique

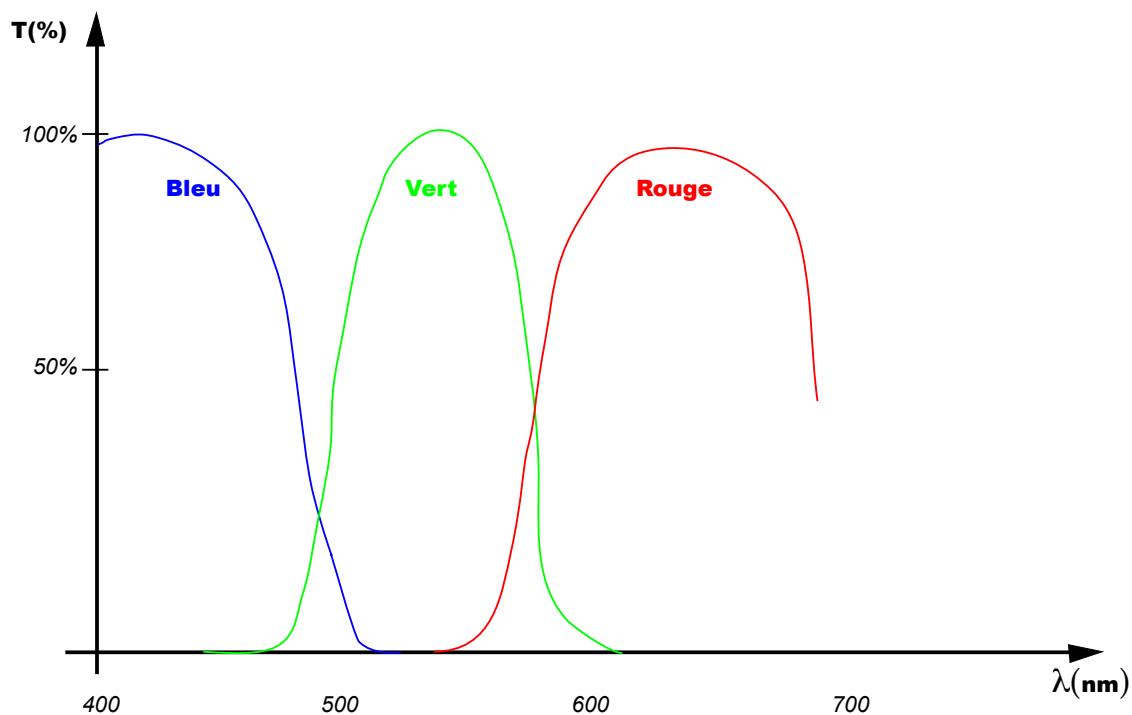
*L'image formée par l'objectif, traverse plusieurs filtres puis un autre élément optique, intégré dans la caméra, que l'on appelle le **séparateur optique ou dichroïque** (séparation de 2 couleurs).*

Il a pour fonction de séparer en trois images couleurs primaires rouge, verte et bleue et de les diriger vers leurs capteurs respectifs.



Ce séparateur optique est constitué de miroirs réfléchissants semi-transparents, de miroirs dichroïques et de filtres colorés. Il est caractérisé par un faible taux d'absorption et une transmission de la lumière de type passe-bande.

SEPARATION OPTIQUE DES SIGNAUX PRIMAIRES



Sur les caméras de type broadcast on utilise ce procédé appelé
• **TRI-CCD** ou **TRI-CMOS**.

Les caméras mono capteur

Dans le domaine grand public ou sur les caméras cinéma on utilise des capteurs nommés **mono-CCD** ou **mono-CMOS** qui ne possèdent pas de séparateur optique. Dans ce cas trois filtres colorés RVB sont placés l'un à la suite de l'autre sur les photosites, couvrant ainsi toute la surface du capteur.

Le chevauchement des trois zones spectrales est plus large que sur les systèmes à séparation optique, mais cela conduit inévitablement à un **décalage spatial** des trois couleurs. Peuvent apparaître ce que l'on nomme des fausses couleurs.

Il existe trois types de disposition des filtres sur les photosites :

- **Filtre colonne**

est la disposition la plus simple.

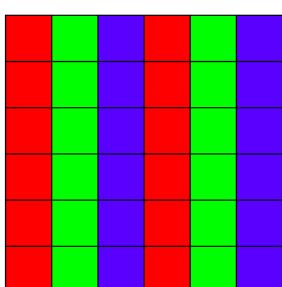
- **Filtre Rockwell :**

utilise un décalage spatial d'un demi-pixel, ce qui améliore la résolution

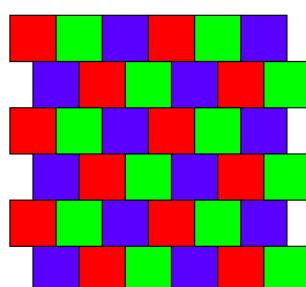
- **Filtre de Bayer**

Le plus utilisé, il double la fréquence spatiale pour le vert par rapport aux signaux bleu et rouge

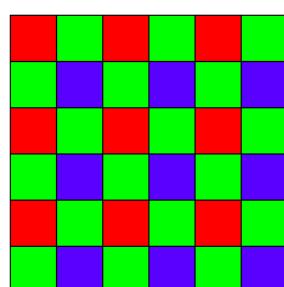
MONO-CCD OU MONO-CMOS



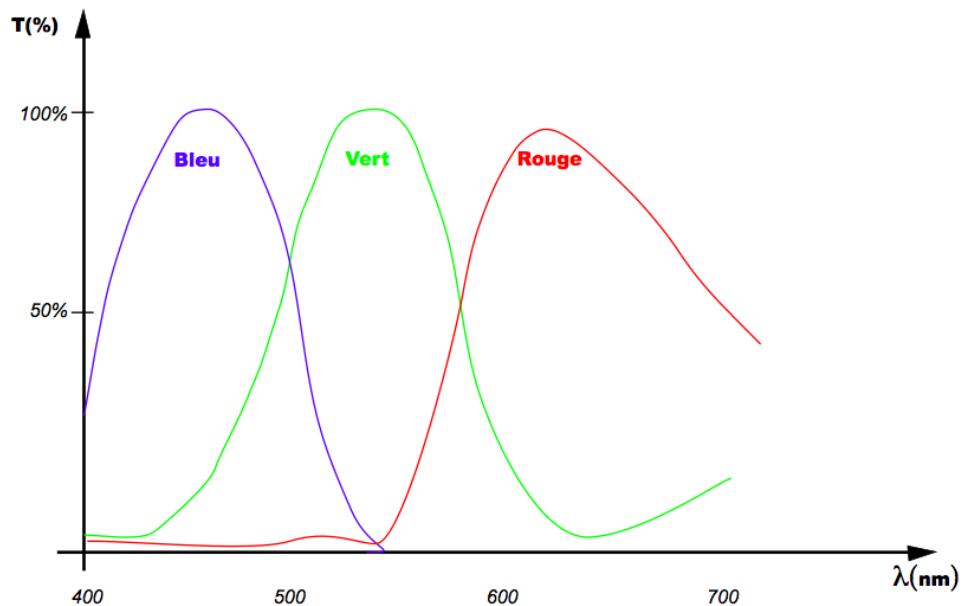
FILTRE COLONNE



FILTRE ROCKWELL



FILTRE DE BAYER



Les capteurs

Les capteurs **CCD (Coupled Charge Device)** ou **C-MOS (Complementary metal oxide semi-conductor)** ont pour rôle de transformer l'énergie lumineuse en énergie électrique grâce à de petites cellules disposées sur toute leur surface que l'on appelle des **photosites**.

Ces photosites se chargent d'électrons en quantité proportionnelle à la lumière qu'ils reçoivent. Ces charges s'effectuant le temps d'une trame, par ex: **1/50 ème** de seconde en **1080i50**. Puis des portes sont ouvertes qui libèrent ces charges vers un système d'analyse et de mesure, vidant les photosites qui sont prêts à se recharger avec d'autres électrons.

Différentes tailles de capteur sont utilisées, ils sont mesurés en pouce.

2/3 pouce 8,8 x 6,6 mm (4/3) 9,6 x 5,4 mm (16/9 HD)

1/2 pouce 6,4 x 4,8 mm Camescopes Institutionnels

1/3 pouce 4,3 x 3,2 mm Grand public

1/4 pouce 3,2 x 2,4 mm Grand public

35 mm 24,4 x 13,7 mm Caméra numérique cinéma

Les Filtres

Trois filtres sont disposés devant le séparateur optique :

- **Le filtre passe-bas :**

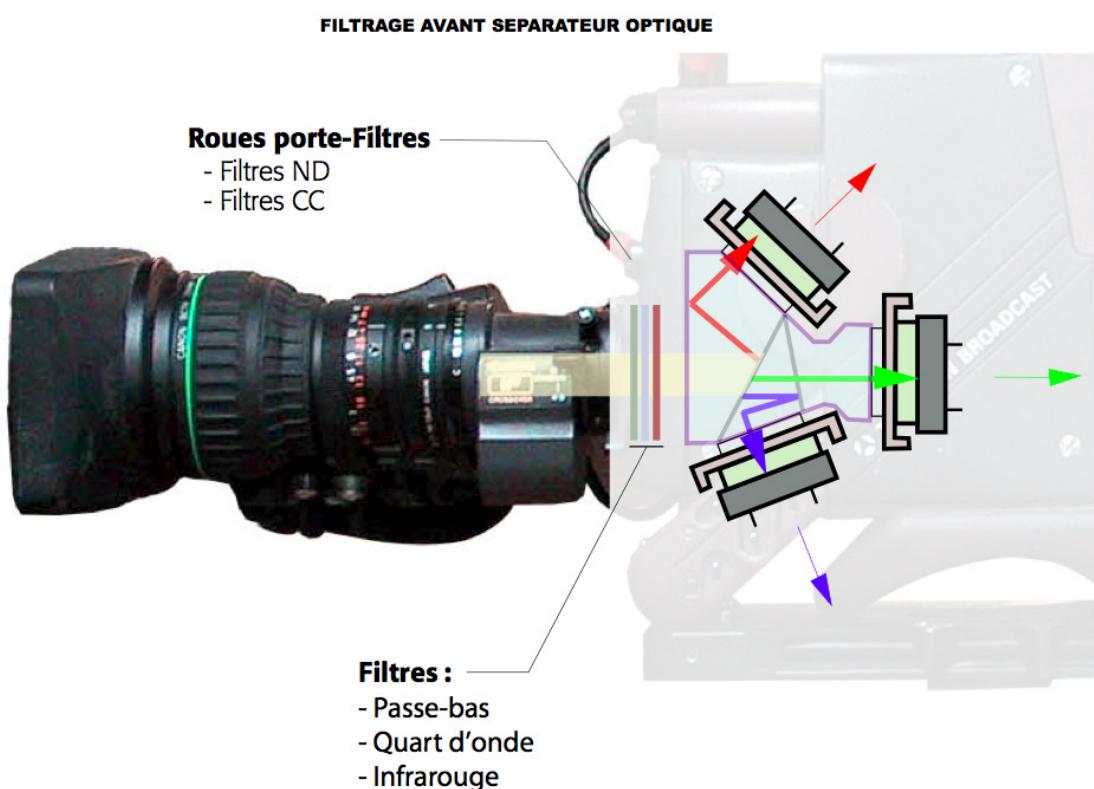
ce filtre élimine les détails très fins de l'image pour éviter l'effet d'aliasing dû à la structure même du capteur (le pas des photosites).

- **Le filtre quart d'onde :**

il permet de polariser la lumière pour que tous les rayons lumineux aient le même comportement en traversant le séparateur optique.

- **Le filtre infra-rouge :**

Le capteur CCD ou C-MOS est très sensible dans le spectre infra-rouge. Ce filtre élimine les rayons dans cette longueur d'onde.



Les roues porte-filtres

Une ou deux roues porte-filtres sélectionnables par l'opérateur peuvent être manipulées :

• Les **filtres gris neutres ND (Neutral Density)** :

ces filtres ont pour rôle de réduire l'intensité lumineuse, sans changer la Tc, en extérieur pour travailler avec les plages d'ouverture d'iris dans la moyenne (f/4 à f/8) (optimisation des performances de l'optique).

$$D = -\log(T)$$

D = Densité

T = Transmission

Clear (ND1)	$T = 1$ (100 %)	$D = 0$ (<i>filtre transparent</i>)
1/2ND (ND2)	$T = 0,5$ (50 %)	$D = 0,3$ (<i>perte de 1 diaph.</i>)
1/4ND (ND4)	$T = 0,25$ (25 %)	$D = 0,6$ (<i>perte de 2 diaph.</i>)
1/8ND (ND8)	$T = 0,125$ (12,5 %)	$D = 0,9$ (<i>perte de 3 diaph.</i>)
1/16ND (ND16)	$T = 0,0625$ (6,25 %)	$D = 1,2$ (<i>perte de 4 diaph.</i>)
etc....		

• Les **filtres CC (Color corrector)** :

Les filtres colorés CC (filtres orangés) permettent de convertir les Tc naturelles extérieures vers 3200K (Tc native des capteurs) avec une perte lumineuse, ce qui permet d'équilibrer les amplitudes dynamiques sur les trois capteurs, en effet plus la Tc s'élève, plus la quantité de lumière bleue est élevée et par conséquent un risque de saturation pour le capteur Bleu.

Ex: HDC-1500 SONY

Position A	$Tc = 3200K$	(Cross = Star filter)
Position B	$Tc = 3200K$	(filtre clear)
Position C	$Tc = 4300K$	(shift mired = 80)
Position D	$Tc = 6300K$	(shift mired = 154)
Position E	$Tc = 8000K$	(shift mired = 187,5)

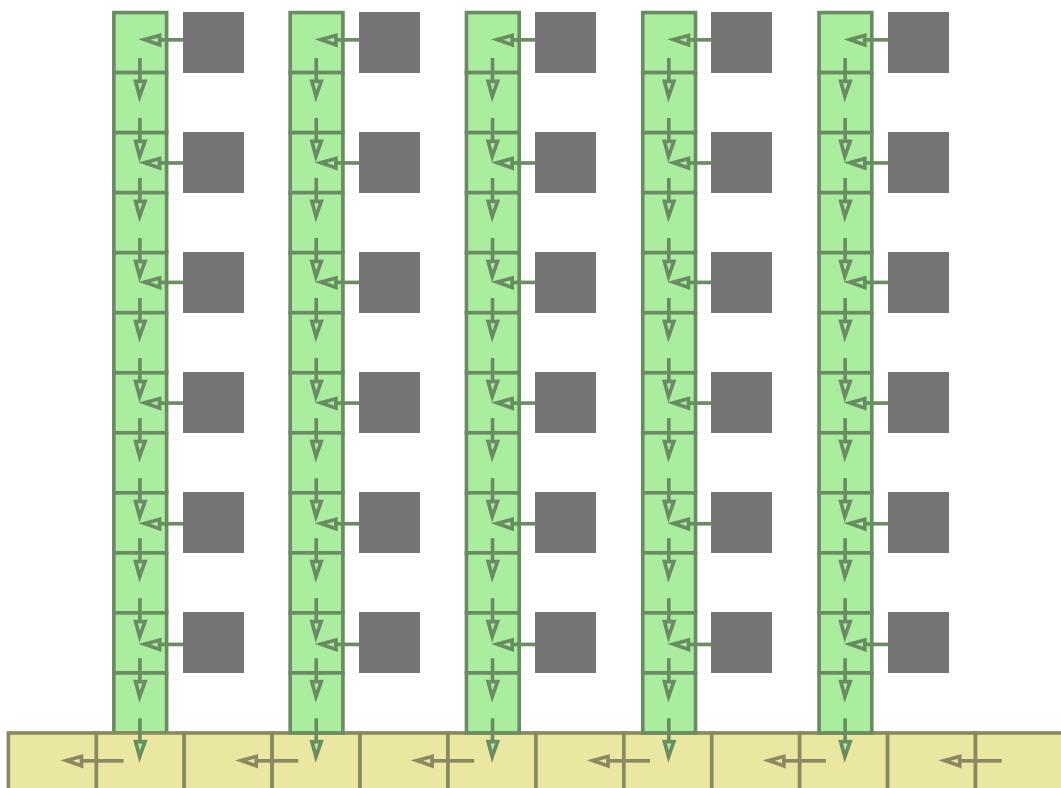
CCD de type IT (Interline Transfert)

Dans ce type de capteur, chaque photosite est séparée d'une cellule de transfert par une porte électronique. La structure verticale de ces cellules forme ce que l'on appelle **les registres verticaux**. Ce transfert ayant lieu lors de la suppression trame.

Les charges dans les registres verticaux vont être transférées ligne par ligne dans un ensemble de cellules appelée **registre horizontal** et ceci pendant la durée d'une trame.

À la sortie de ce registre horizontal sont recueillies une à une les charges qui forment un échantillonnage des informations électriques.

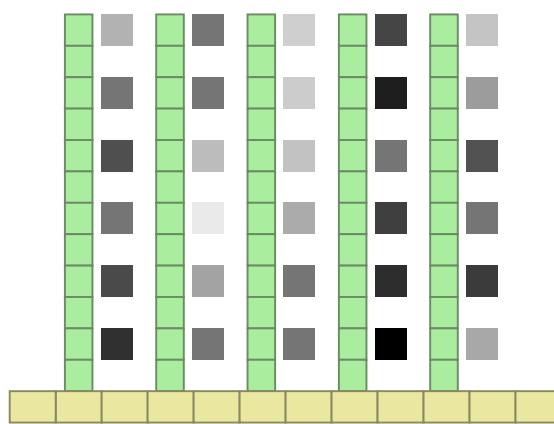
CAPTEUR CCD IT



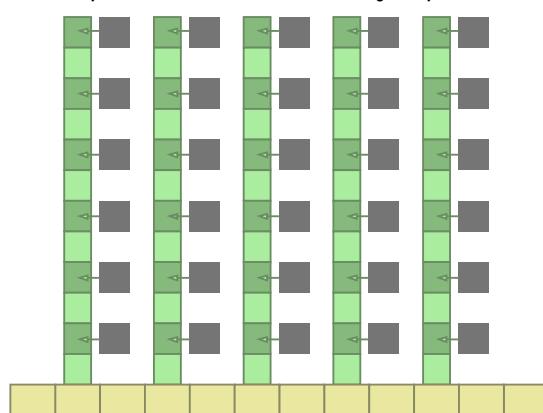
Défaut: LE SMEAR

Une raie verticale blanche apparaît lorsqu'une source lumineuse très intense frappe la surface du capteur. Elle est due au débordement des charges des photosites dans les registres verticaux.

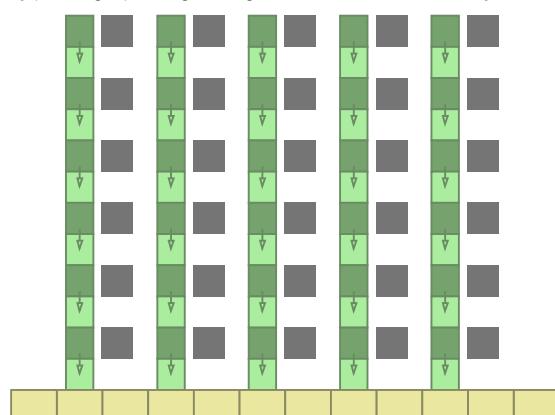
CAPTEUR CCD IT
PHASE 1
Les charges s'accumulent dans les photosites proportionnellement à la lumière pendant une trame.



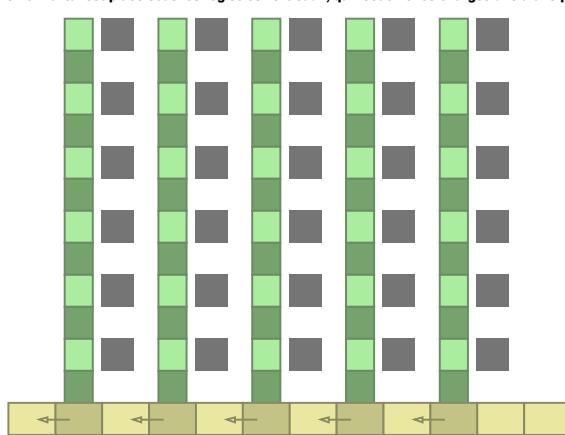
CAPTEUR CCD IT
PHASE 2
Déplacement latéral simultané de toutes les charges des photosites.



CAPTEUR CCD IT
PHASE 3
Pendant 12µs, entre 2 lignes, les charges des registres verticaux se décalent cellules par cellules vers le bas.



CAPTEUR CCD IT
PHASE 4
Un registre horizontal est placé sous les registres verticaux, qui recueille les charges une à une pendant 52µs.

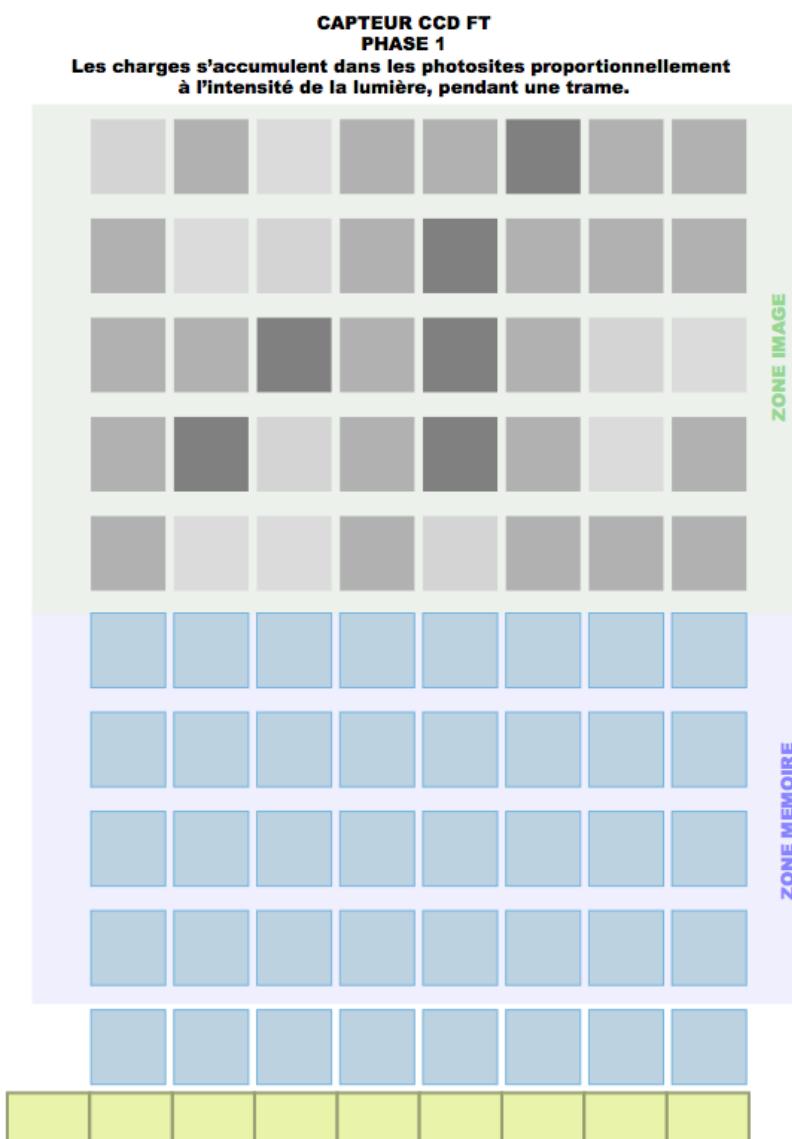


CCD de type FT (Frame Transfer)

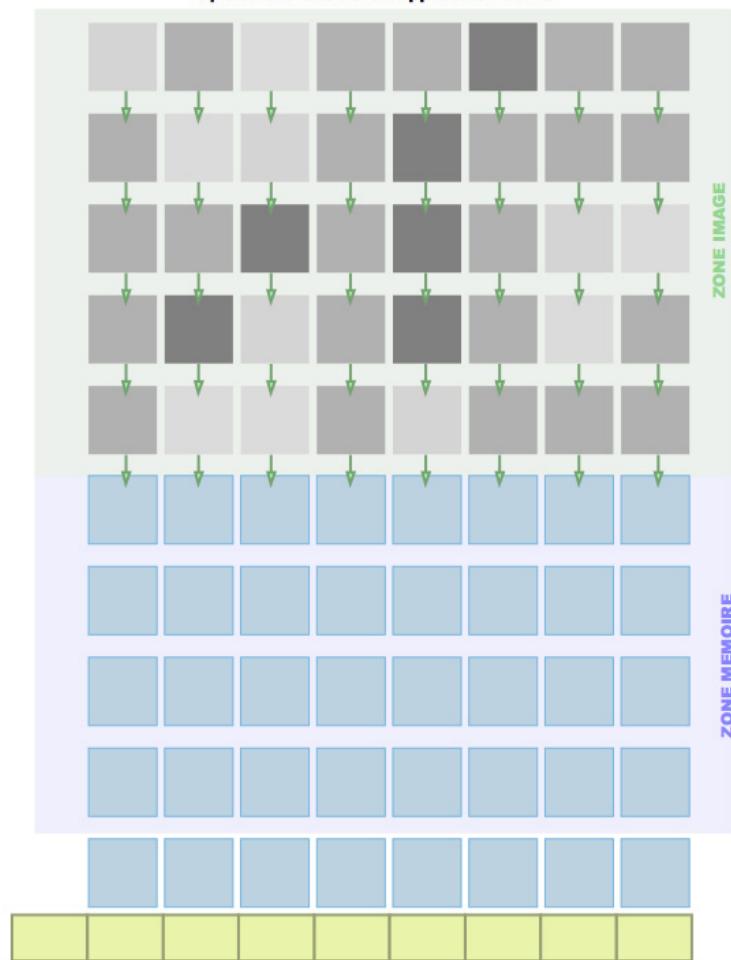
Un capteur à transfert d'image (FT, pour Frame Transfer) n'est constitué que de photosites sur la surface de capture, sans aucun registre à décalage vertical. Au-dessous de cette surface photosensible se trouve une **zone de stockage**, de capacité équivalente à la zone image, à l'extrémité de laquelle il y a le **registre horizontal** de sortie.

L'accumulation dans les photosites s'effectue pendant la période trame, à l'issu de laquelle toutes les charges descendent simultanément dans la **zone de mémoire tampon**, cela nécessite l'occultation de la partie sensible grâce à L'utilisation d'un **obturateur mécanique**, à chaque suppression trame.

Les photosites ainsi vidés sont alors prêts à effectuer l'intégration de la trame suivante. Pendant ce temps, les charges présentes dans la zone mémoire sont transférées ligne par ligne dans le registre horizontal.



**CAPTEUR CCD FT
PHASE 2**
Les charges sont transférées de cellules en cellules
rapidement lors de la suppression trame.

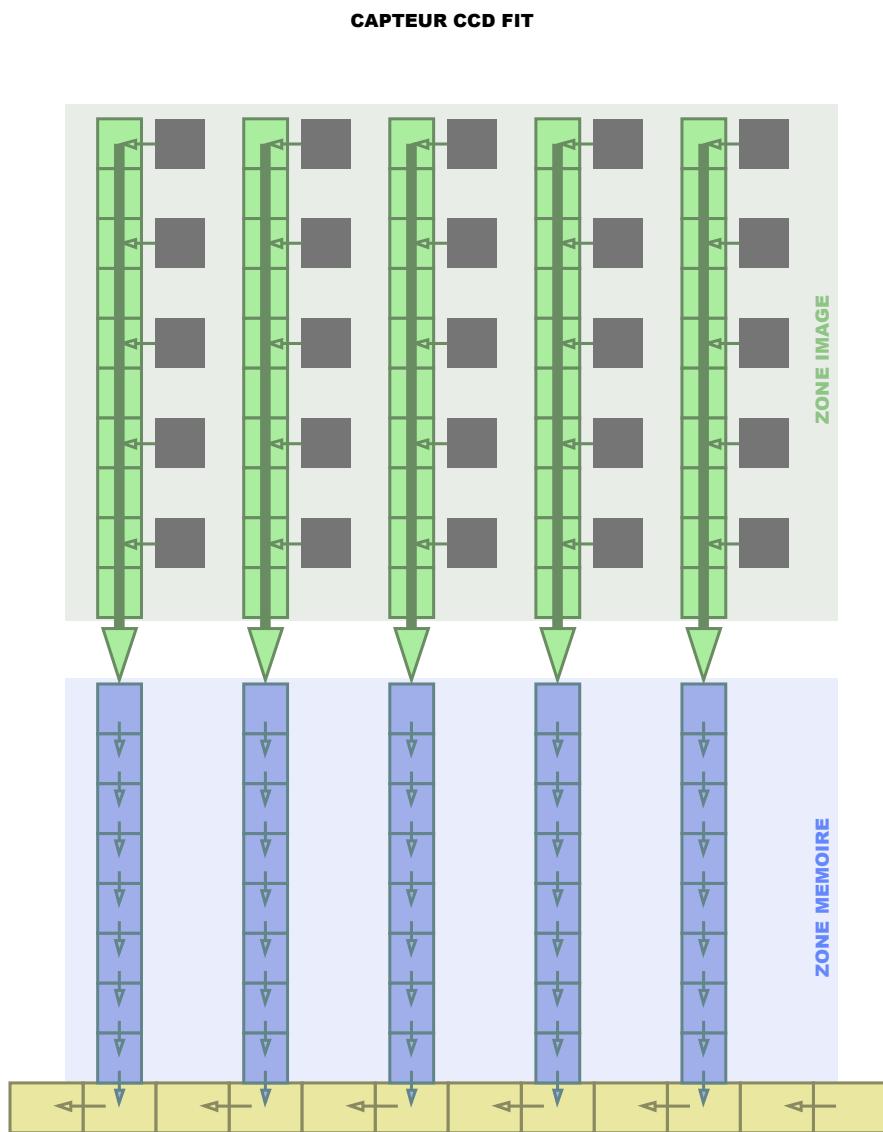


Avantages : La définition, absence de smear.

Les photosites utilisent la surface maximum puisqu'ils sont collés les uns à côté des autres car il n'y a plus de registres verticaux. Cela nécessite l'utilisation d'un obturateur (shutter) mécanique.

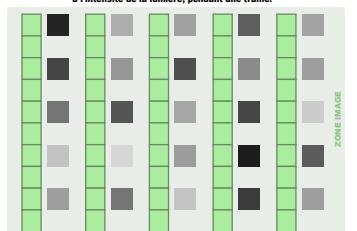
Le CCD FIT (Frame Interline Transfert)

La structure des capteurs **FIT** associe aux registres verticaux du capteur IT une zone de **mémoire tampon** de capacité une trame, qui permet d'évacuer les charges instantanément de manière à les protéger des débordements éventuels d'électrons qui provoquent le défaut de smear. Puis ces charges sont alors transmises en toute sécurité vers le registre horizontal, exactement selon le processus du capteur FT.



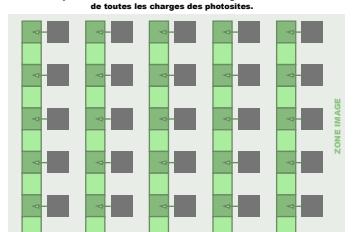
CAPTEUR CCD FIT
PHASE 1

Les charges s'accumulent dans les photosites proportionnellement à l'intensité de la lumière, pendant une trame.



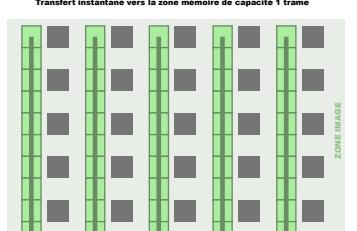
CAPTEUR CCD FIT
PHASE 2

Déplacement latéral simultané dans le registre vertical de toutes les charges des photosites.



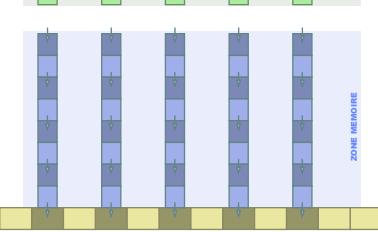
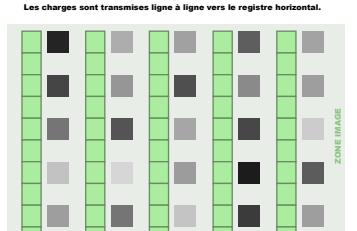
CAPTEUR CCD FIT
PHASE 3

Transfert instantané vers la zone mémoire de capacité 1 trame



CAPTEUR CCD FIT
PHASE 4

Les charges sont transmises ligne à ligne vers le registre horizontal.



Les capteurs HAD (Hole Accumulated Diode)

Les premiers capteurs CCD étaient peu performants en terme de sensibilité, ce qui présentait un problème pour les captations studios ou spectacles. **Sony** a amélioré les capteurs existants en proposant ce nouveau type de technologie permettant d'intégrer plus de photosites sur la même surface avec une meilleure sensibilité.

Pour augmenter la sensibilité du capteur une **micro lentille** est ajoutée sur chaque photosite, on parvient ainsi à doubler la sensibilité générale de celui-ci.



L'obturateur électronique (shutter)

On peut réduire le temps d'exposition de l'image ou des photosites. Pour cela il suffit d'activer les portes d'évacuation des charges plus tôt, et de les refermer aussitôt. Les charges qui s'accumulent ultérieurement sont éliminées.

Ainsi il y a sous exposition et on doit donc compenser en ouvrant le diaphragme ou en poussant la sensibilité. Cependant les images produites apparaissent avec plus de netteté.

En mode progressif le temps d'exposition est d'une image soit 1/25^e de seconde et en mode entrelacé d'une trame à 1/50^e de seconde, en utilisant le **SHUTTER** on a les vitesses suivantes: 1/100, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000.

Les capteurs CMOS

La technologie CMOS (Complementary metal oxide semi-conductor)

est plus récente que la technologie CCD, et reprend la structure des microprocesseurs et mémoires RAM. Cette technologie équipe une majorité d'équipement, elle présente un certain nombre d'avantages, mais aussi quelques inconvénients majeurs.

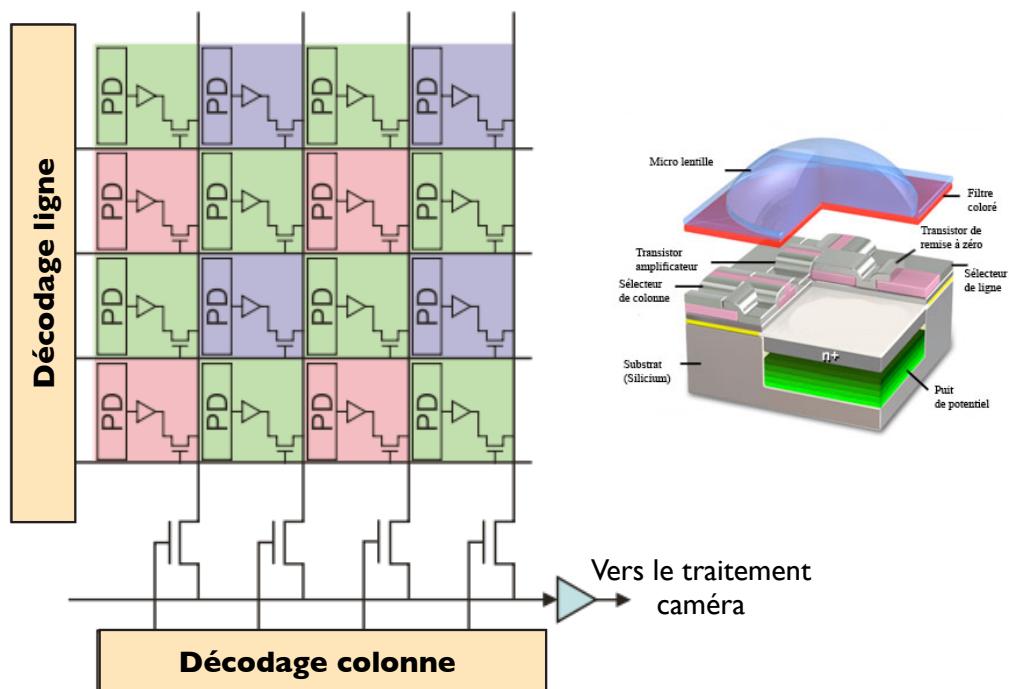
• Avantages :

- Possibilité d'accéder seulement à une région d'intérêt, voir même à un seul pixel du capteur. Ceci peut être fait en utilisant un adressage par ligne/colonne.
- Le traitement électronique peut directement être insérées dans la même puce que le capteur. La conversion photon/voltage se fait directement au niveau de chaque photosite.
- Les capteurs CMOS ont une immunité naturelle au phénomène de blooming et de smear.
- Le prix est très compétitif.

• Inconvénients :

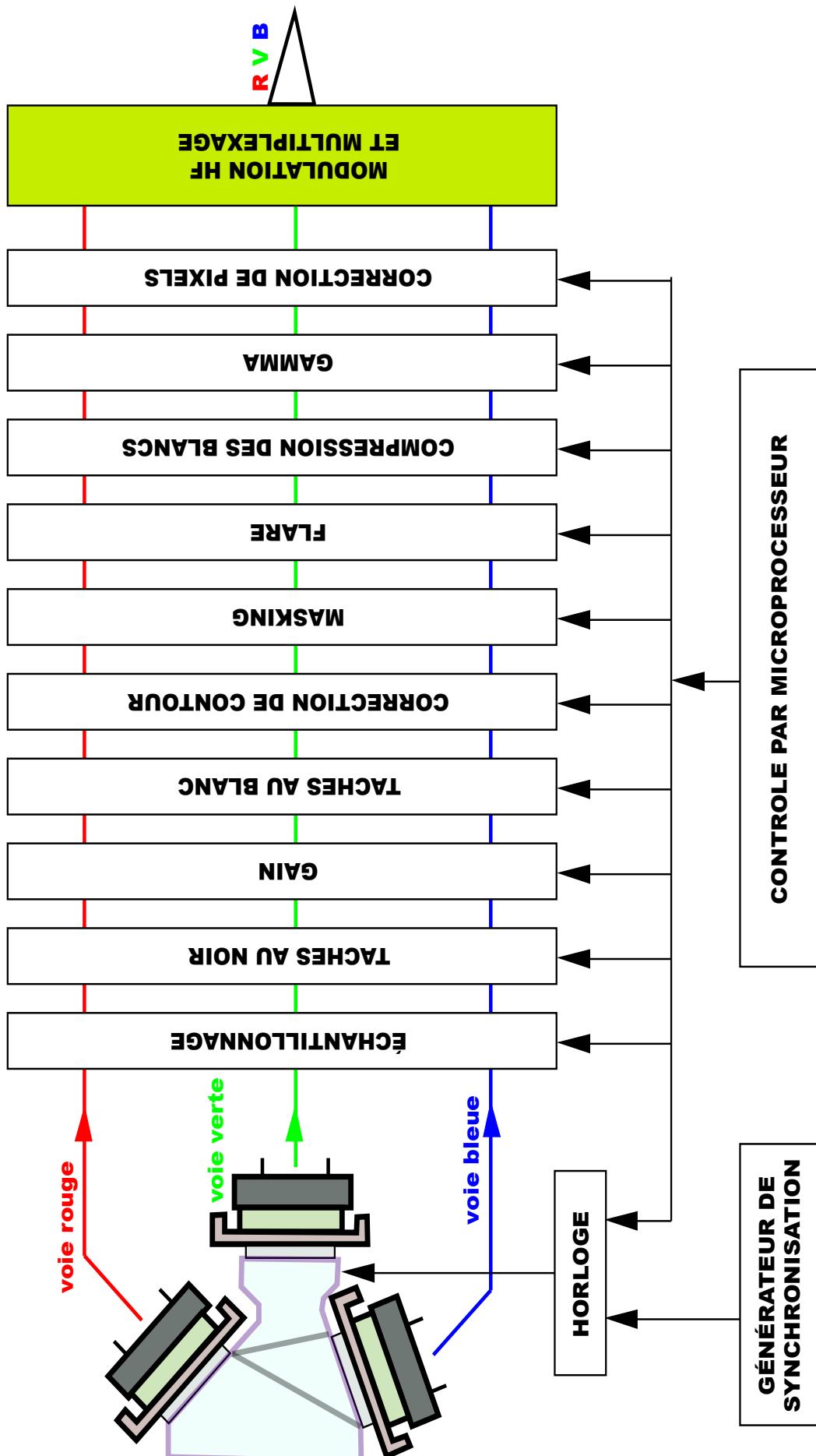
- La technologie CMOS ayant été à la base prévue pour fabriquer des puces mémoires, ces capteurs ont une sensibilité plus faible, et le processus d'amplification conduit à niveau de bruit beaucoup plus élevé qu'avec un capteur CCD.
- La surface sensible est réduite (surface Photosite) = *FILL FACTOR (%)*

Le capteur CMOS



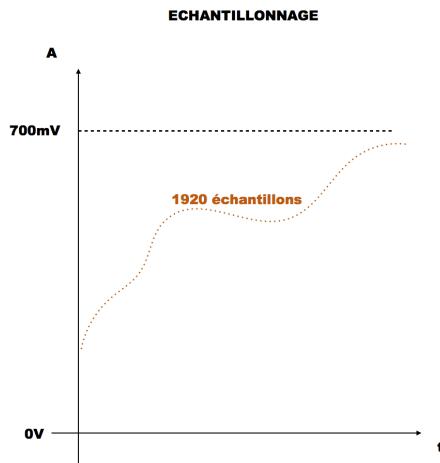
Le traitement vidéo dans une caméra CCD.

Traitement vidéo dans une caméra



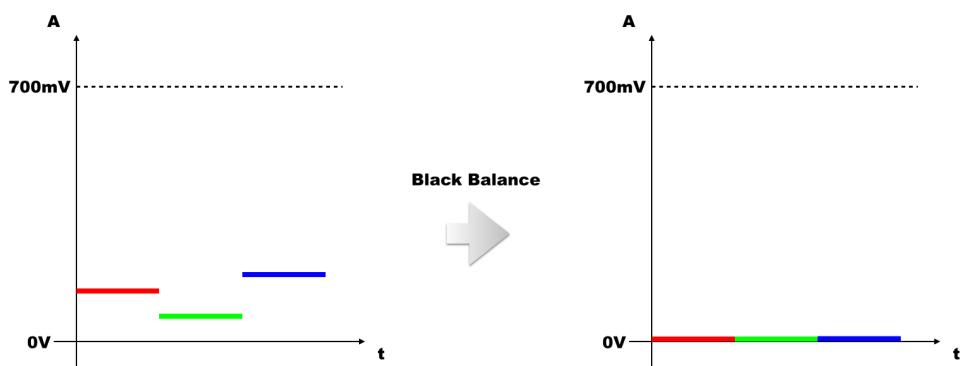
L'échantillonnage.

Les charges à la sortie du registre horizontal du CCD sont récupérées une par une par le circuit d'échantillonnage qui élabore ainsi le signal vidéo pixel après pixel. Dans le cas d'un capteur CMOS la conversion photons-tension/numérique s'effectue directement au niveau de la cellule.



Les corrections de tâches au noir (black shading).

Des tâches dans le noir sont causées par des variations de courant en fonction des fluctuations de température. Elles se manifestent sous la forme de colorations indésirables dans le noir de l'image, on corrige en maintenance ces défauts diaphragme fermé, cependant la **balance de noir (BB)** corrige en partie ces problèmes, elle permet aussi d'établir environ 0V pour les trois voies RVB.



Les corrections de gain. (sensitivity)

Le signal issu du circuit d'échantillonnage doit être amplifié pour que le blanc (RVB) soit établi à 700 mV. En fonction de la sensibilité de la caméra, on dispose aussi d'un sélecteur de gain ayant pour valeurs : -3db, **0db**, +6 db, +9 db, +12 db, +18 db etc.

La **sensibilité** en **iso** d'une caméra s'exprime par l'ouverture du diaph. (σ) en fonction de l'intensité lumineuse **E** (lux) et du temps d'obturation **T** (1/50ème s en Europe) :

$$S_{(iso)} = \frac{270 \cdot \sigma^2}{E \cdot T}$$

Ainsi par exemple :

ISO 100 f/4 @ 2000 lux

ou **f/2,8 @ 1000 lux**

ou **f/2 @ 500 lux etc.**

La sensibilité d'une caméra

$$S_{(iso)} = \frac{270 \cdot \sigma^2}{E \cdot T}$$

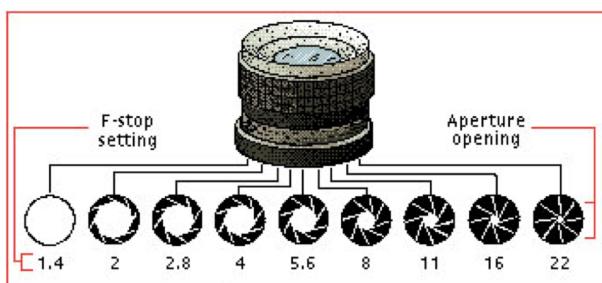
σ = ouverture (diaph.)

E = Intensité lumineuse (lux)

T = temps d'obturation (s)

Sélecteur de sensibilité d'une caméra

-3 dB	
0 dB	— Normal
+3 dB	
+6 dB	— +1 Diaph.
+9 dB	
+12 dB	— +1 Diaph.
+15 dB	
+18 dB	— +1 Diaph.
+21 dB	

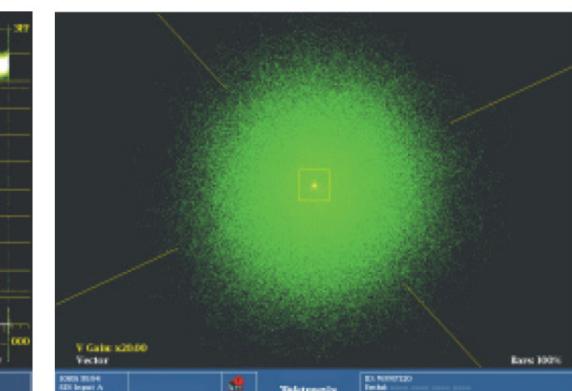
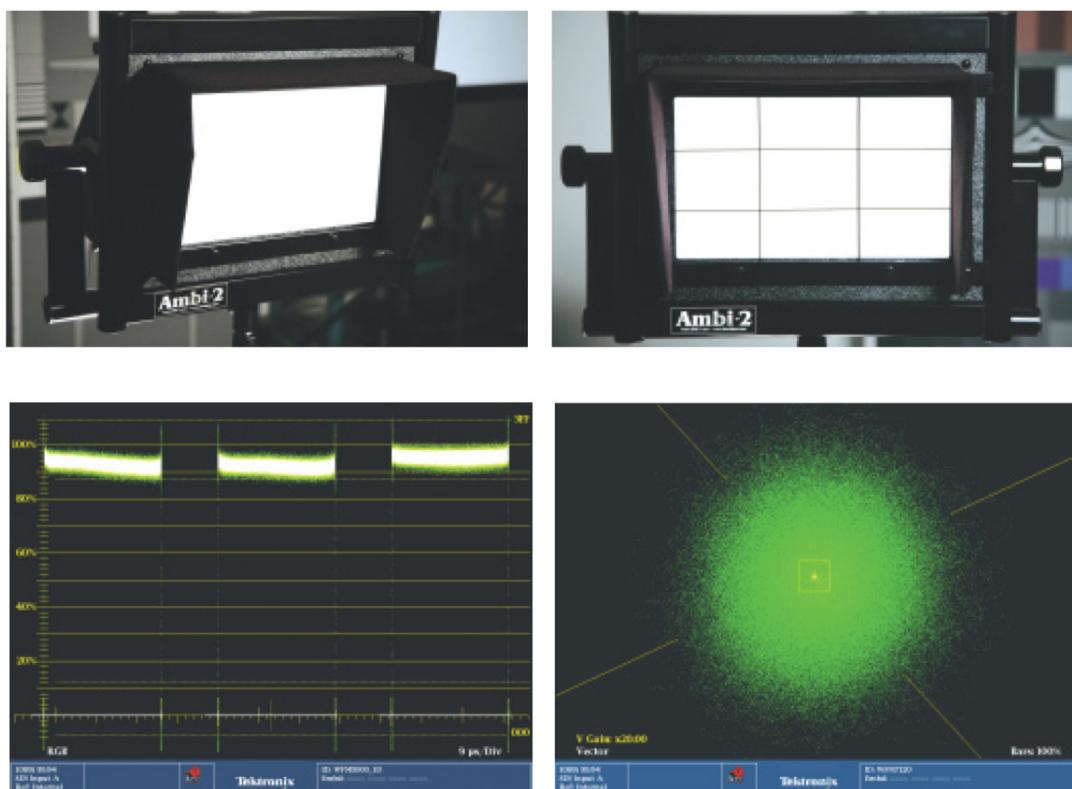


Les corrections de tâches au blanc. (white shading)

Les tâches au blanc sont dues à une non-uniformité de la diffusion de la lumière par l'objectif (vignettage), ainsi que par le séparateur optique (Dichroïque). On corrige les défauts en combinant aux signaux RVB, des signaux de compensation opposés au défaut observé.

Sur certaines caméras Broadcast une correction des tâches au blanc de l'objectif est prise en compte, grâce à une reconnaissance automatique du modèle et de la marque.

TÂCHES AU BLANC

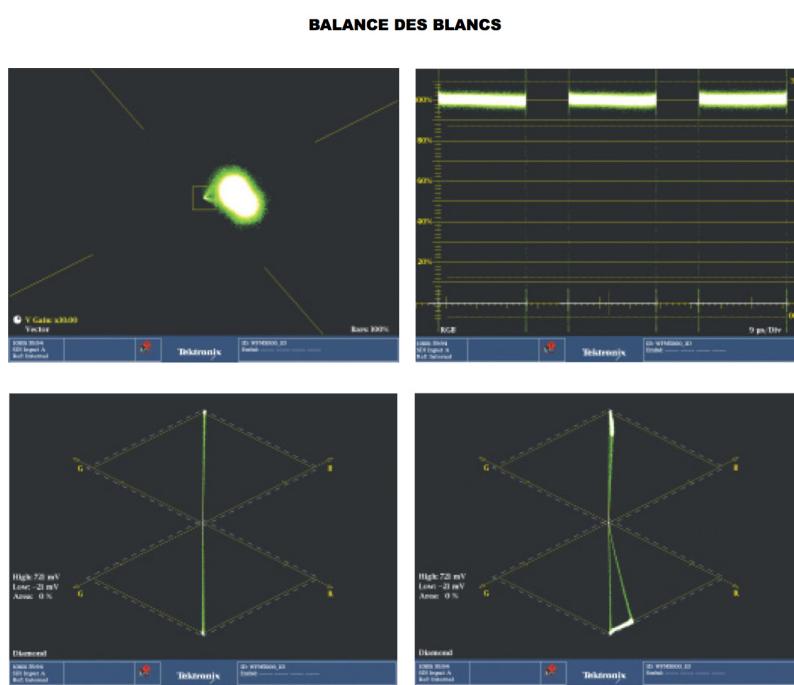
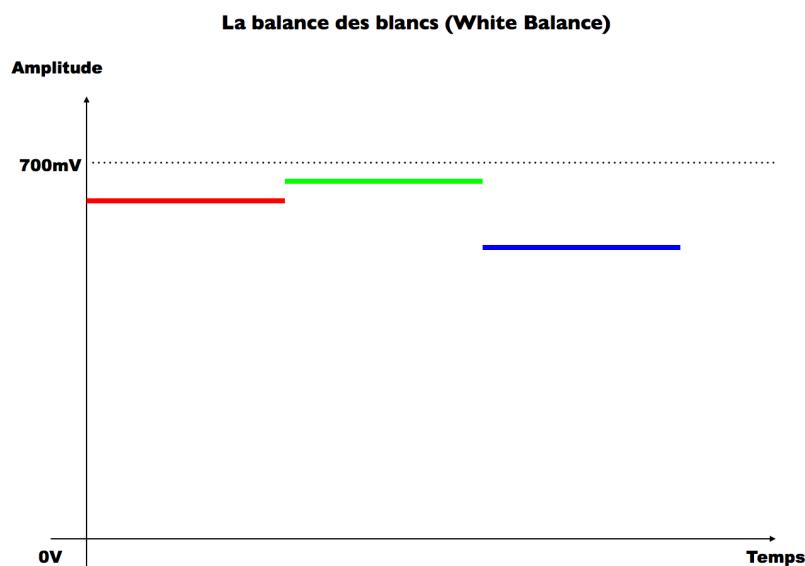


Les balances de blanc. (white Balance)

Pour équilibrer l'image en colorimétrie et en fonction de la température de couleur des sources lumineuses on peut déclencher la balance des blancs (WB) sur une mire blanche uniforme, en ayant au préalable fait une balance des noirs.

La caméra adapte ainsi la colorimétrie de l'image pour qu'il n'y ait pas de dominante colorée.

Cette balance des blancs ne corrige pas les défauts des tâches au blanc.

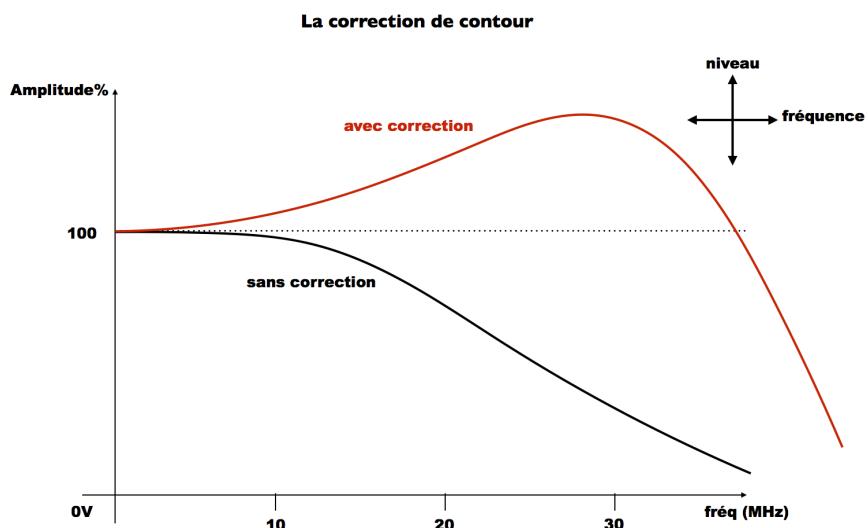


La correction de contour. (contour corrector)

La correction de contour a pour rôle d'ajouter du piqué à l'image car le filtrage optique passe-bas diminue sensiblement la netteté de celle-ci. Elle agit en renforçant électroniquement les transitions horizontales et verticales, cependant ce renforcement se fait au détriment du bruit, il faut donc le minimiser dans les plages uniformes.

Rappel: La résolution s'exprime par le nombre de lignes (au centre pour les optiques).

$$\text{Fréquences spatiales}_{(\text{lignes/mm})} = \frac{\text{Bande passante} \cdot \text{durée de ligne utile}}{\text{Largeur surface sensible}}$$



Détail level (DTL) :

Permet de renforcer l'amplitude des détails horizontaux et verticaux;

V détail level (V DTL) :

permet de doser les détails verticaux par rapport aux détails horizontaux.

H détail frequency (DTL FREQ) :

permet de choisir la fréquence du maximum de la correction des détails horizontaux.

Crispening :

Permet de doser la correction des détails de très petite amplitude.

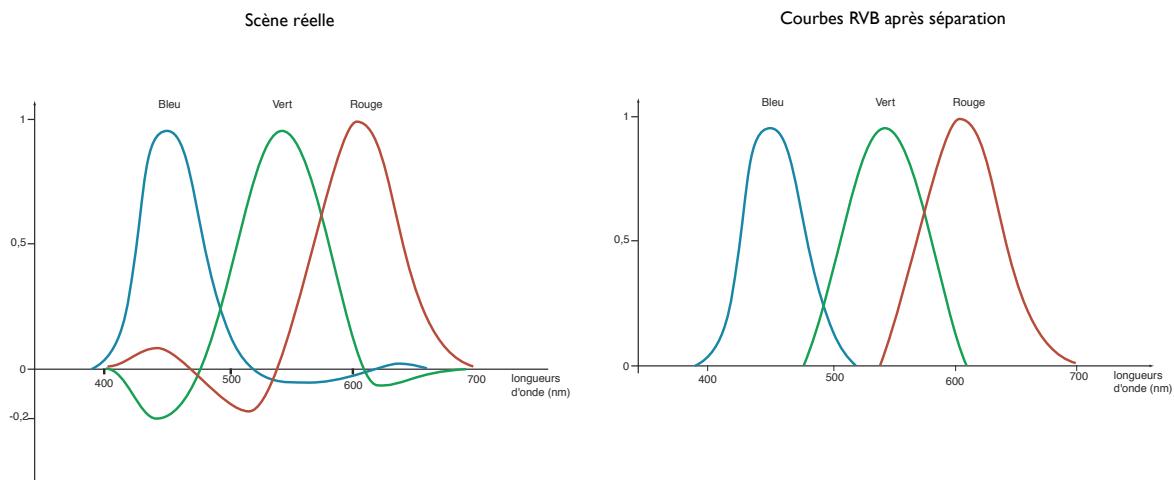
Level depend :

Détermine le niveau vidéo à partir duquel la correction de détail commence à agir.

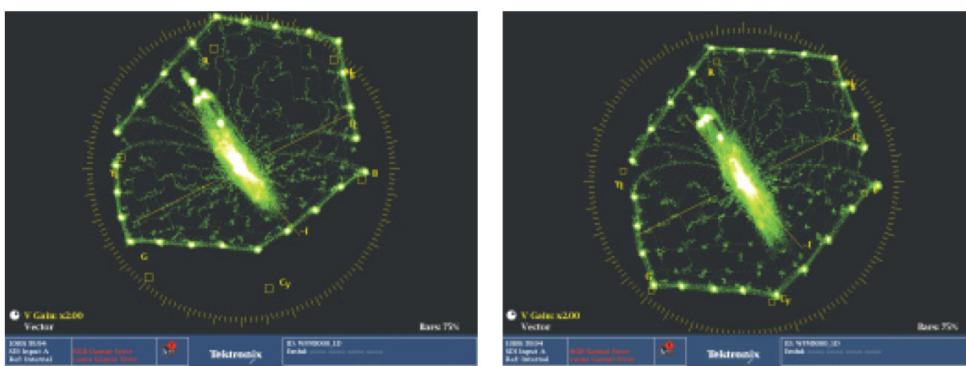
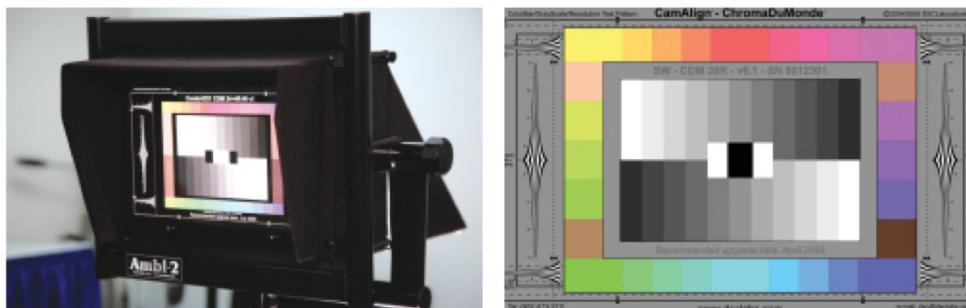
La correction de masking.

Notre vision d'une scène correspond à un espace colorimétrique très étendu, le séparateur optique, le filtrage couleur et les capteurs CCD ou CMOS en analysant l'image vont réduire cet espace colorimétrique.

La correction de masking reconstitue grâce à un matriçage électronique, les lobes négatifs décrits par les courbes de mélange R, V, B que le filtrage optique unidirectionnel ne peut pas reproduire.



MASKING

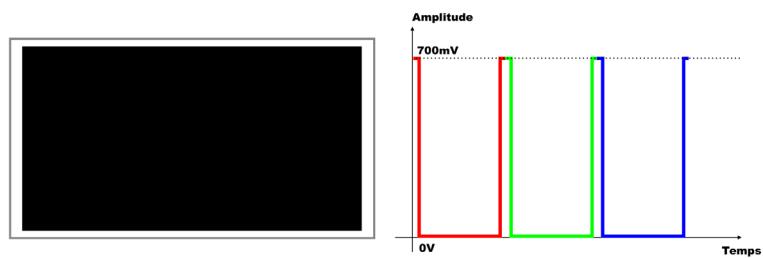


Les corrections de flare.

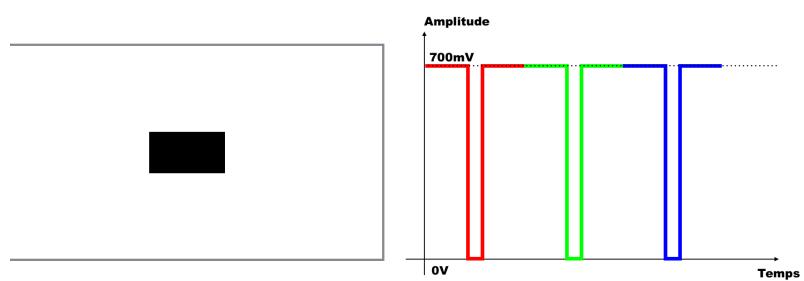
Les défauts de flare sont causés par des diffusions parasites de lumière à l'intérieur de l'objectif et du séparateur optique.

La correction de flare s'effectue en maintenance à l'aide d'une mire blanche comportant en son centre un petit rectangle de velours noir. On cadre dans un premier temps le rectangle noir en longue focale pour qu'il occupe 90 % de l'image, afin de régler le niveau de noir général de la caméra à 0 V. Puis on élargit jusqu'à ce que le rectangle noir n'occupe à son tour que 10 % de l'image, le reste étant blanc.

La correction de flare



La correction de flare

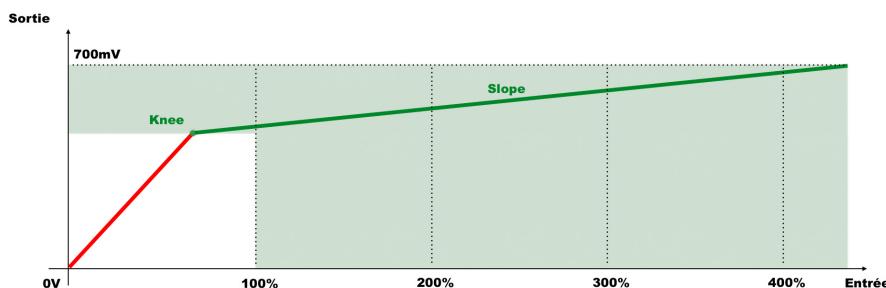


La compression des blancs

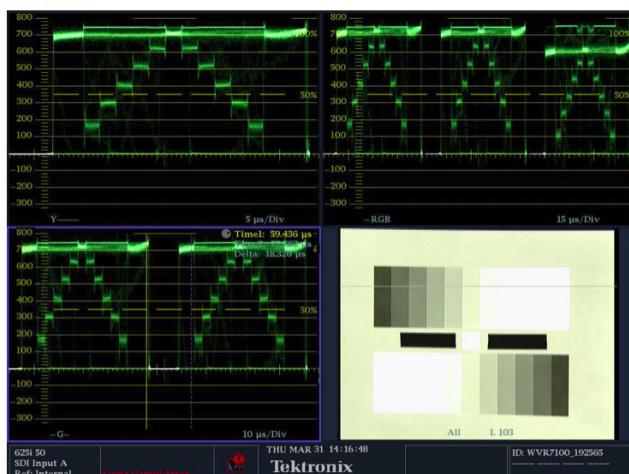
Les capteurs CCD et CMOS restituent des niveaux jusqu'à 8 fois supérieurs au niveau nominal du signal vidéo (0,7V), c'est-à-dire avec une dynamique de 800 %. Ainsi pour restituer les fortes valeurs dans les hautes lumières il faut procéder à une réduction des grandes amplitudes de niveaux que l'on appelle **compression des blancs** pour les faire tenir dans les 0,7 volt.

on utilisera deux paramètres : Une tension U (point) (**KNEE**), et une pente (**SLOPE**).

La compression des blancs



Knee OFF



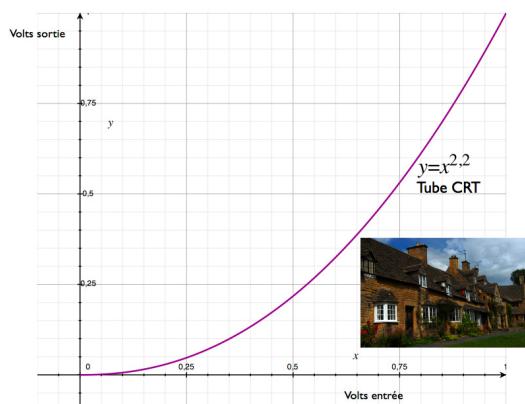
Knee auto



La correction de gamma.

Le tube d'un moniteur (TV) convertit en intensité lumineuse l'énergie électrique issue d'une source, mais ils ne possèdent pas une réponse linéaire. par conséquent, l'intensité lumineuse émise par les luminophores de l'écran n'est pas proportionnelle à la tension appliquée au niveau du canon électronique.

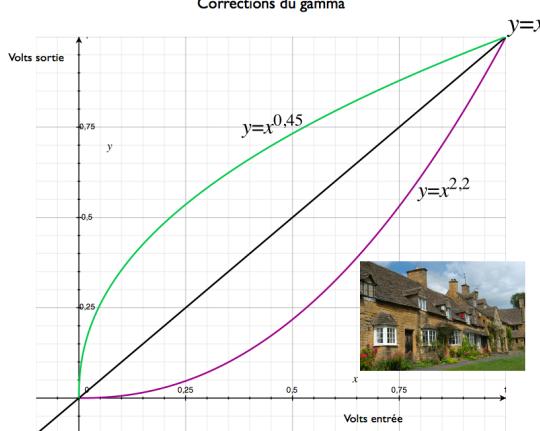
Corrections du gamma



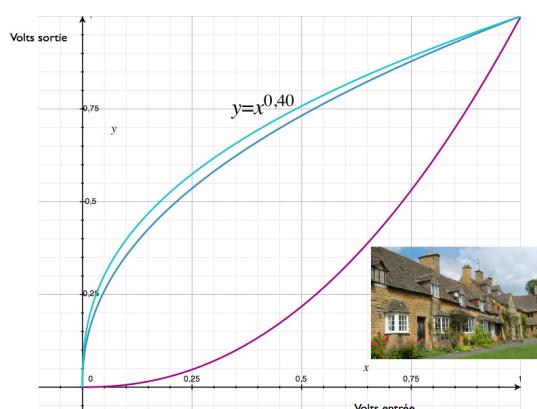
Corrections du gamma



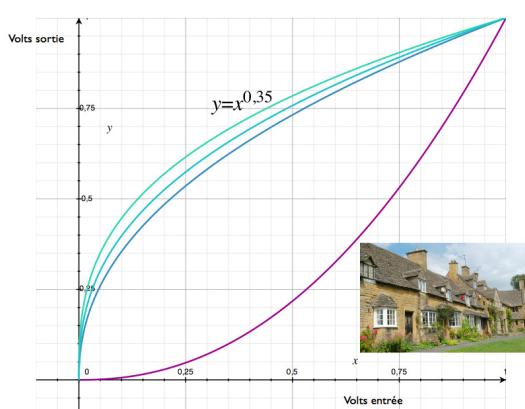
Corrections du gamma



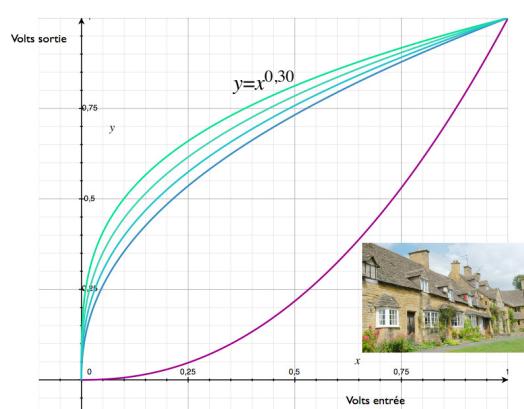
Corrections du gamma



Corrections du gamma



Corrections du gamma



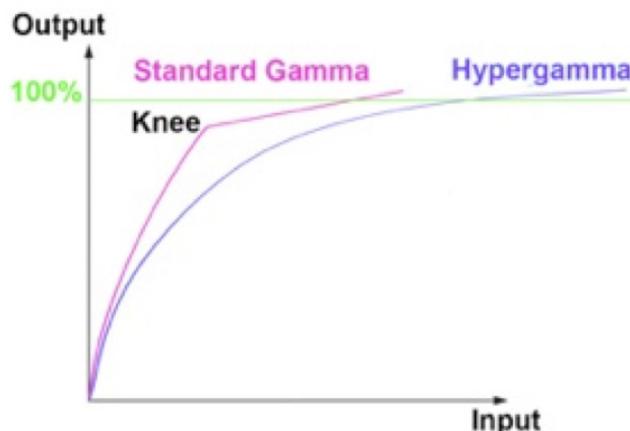
La fonction de transfert du tube image suit une loi exponentielle. Si le noir et le blanc sont correctement restitués, les gris sont en revanche affaiblis, ce qui se traduit par une faible gamme des valeurs des gris sombres sur les zones moyennement éclairées.

Les valeurs de gamma sur les caméras utilisées sont:

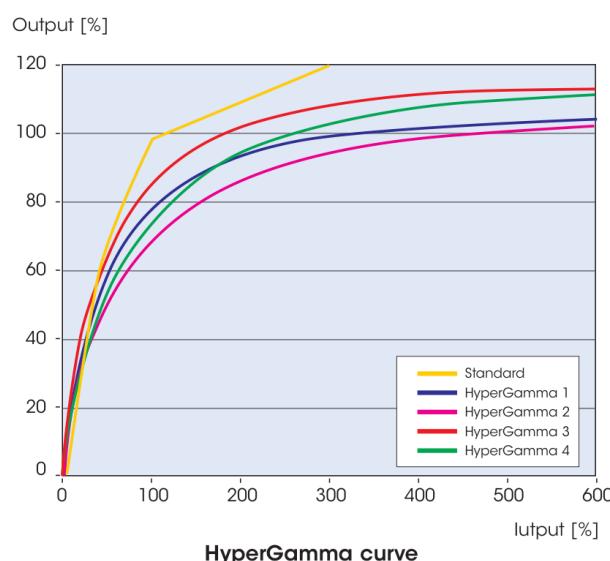
0,3 0,35 0,4 0,45 (std) 0,5 0,55 0,6 1 (linéaire)

La fonction Hypergamma.

Pour exploiter pleinement la dynamique du capteur (800 % du niveau nominal), certaines caméras possèdent une fonction nommée HYPERGAMMA. Dans ce mode de fonctionnement le Knee et le slope n'agit plus puisque cette courbe prend en charge l'intégralité des informations recueillies par le capteur. Plusieurs profils sont utilisés en fonction des conditions lumineuses.



HYPERGAMMA

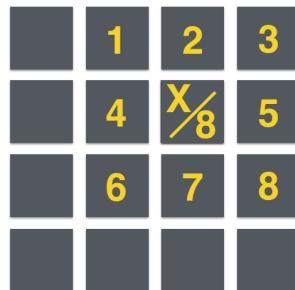


La correction des pixels défectueux

Au bout d'un certain temps, les pixels du capteur subissent des dommages. Surtout si la température augmente, cela se traduit sur l'image par l'apparition permanente de points rouges, verts, bleus ou blancs.

Selon la complexité du système de correction mis en œuvre, un pixel défectueux est soit remplacé par la valeur du pixel précédent, soit recalculé en fonction de la valeur des pixels qui l'entourent.

PIXELS DEFECTUEUX



$$1+2+3+4+5+6+7+8 = \frac{X}{8}$$

