

## rappel sur la colorimétrie des films

Nous vous proposons pour ce dossier de revoir brièvement les étapes de fabrication d'un film couleur puis d'aborder les problèmes de colorimétrie comme nous l'avons fait dans notre dossier concernant l'étalonnage numérique.

### □ 1. Rappels:

#### 1.1 Le film en noir et blanc

Pour démarrer sur les mêmes bases pour tous nos lecteurs nous rappellerons brièvement les principes de la photo argentique. D'une manière simplifiée, on peut dire que les rayons lumineux renvoyés par un sujet et concentrés par le passage à travers plusieurs lentilles (l'objectif photographique) viennent frapper le film (pellicule sensible formée d'une base de plastique - Triacetate/ Polyester - sur laquelle est étalée une couche de gélatine contenant du bromure d'argent) à l'intérieur d'une chambre noire.

Sous l'impact de ces rayons, la structure des cristaux de bromure d'argent est altérée Il se forme ainsi une image latente, c'est à dire une image qui existe virtuellement telle quelle, mais que l'on ne voit pas encore et que l'on ne peut utiliser telle quelle sous peine de la voir disparaître à la lumière.

C'est à ce stade qu'interviennent les processus chimiques :

- le développement qui fait apparaître une image négative (inversée) où les blancs sont devenus noirs et vice versa
- Le fixage qui stabilise l'image et de lui donner sa résistance au temps et à la lumière.

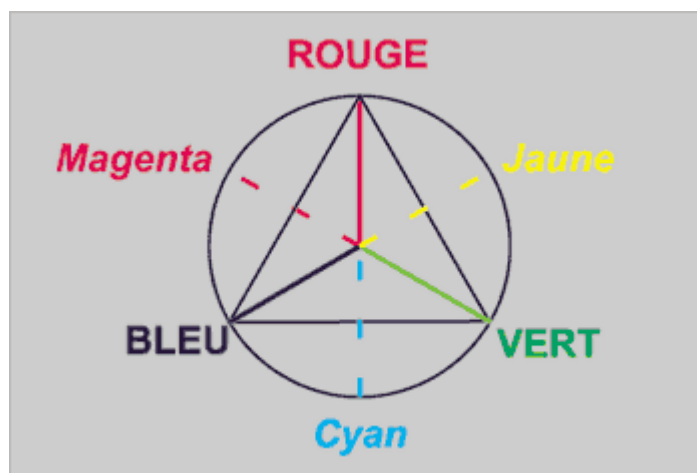
C'est à partir de l'image négative que l'on obtient le positif (la photographie) par tirage

On peut aussi traiter le film selon un principe d'inversion et obtenir ainsi directement des images positives transparentes (la diapositive).

#### 1.2 La reproduction des couleurs et la synthèse soustractive

Nous avons vu dans les dossiers techniques précédents sur la notion de colorimétrie que toutes couleurs étaient obtenues à partir de trois couleurs primaires : le bleu, le vert et le rouge. C'est le principe de la trichromie que l'on retrouve dans la constitution de notre film couleur. Mais si certains systèmes reproduisant les couleurs, telle la télévision, sont basés sur le principe de l'addition en proportions variables de lumière rouge, verte et bleue. Les procédés photographique usuels sont basés au contraire sur la soustraction à de la lumière blanche d'une partie de ses constituants, le reste formant le rayonnement recherché. Pour supprimer une partie de la lumière blanche, on utilise des filtres. Les parties supprimées et non supprimées sont complémentaires.

A partir du cercle des couleurs, nous noterons les relations suivantes :



Triangle des couleurs

La manière dont les couleurs primaires rouge, vert et bleu sont notées et leurs couleurs complémentaires, jaune, cyan et magenta sont placées sur ce cercle permet les combinaisons suivantes :

- Deux couleurs sont complémentaires lorsqu'elles sont placées aux extrémités d'une même diagonale.
- En synthèse additive, la couleur résultant de l'addition de deux faisceaux lumineux de couleurs primaires donne un faisceau de couleur complémentaire située entre ces deux couleurs (Rouge + vert donne du jaune, bleu + vert donne du cyan, bleu + rouge donne du magenta).
- La somme de trois faisceaux lumineux de couleurs complémentaires donne une sensation de lumière blanche.
- En synthèse soustractive, le filtrage d'une source de lumière blanche par deux filtres dits complémentaires donne la couleur primaire située, sur le cercle des couleurs, entre ces deux filtres (Jaune et magenta donnent du rouge, jaune et cyan donnent du vert, cyan et magenta donnent du bleu).
- Un filtre de couleur complémentaire sera transparent pour les deux couleurs primaires situées de part et d'autre et opaque à sa couleur complémentaire (Le filtre cyan est transparent pour les faisceaux vert et bleu mais opaque pour le faisceau rouge)
- Les trois filtres complémentaires superposés forment, si leur densité est suffisante, une opacité totale à la lumière blanche.

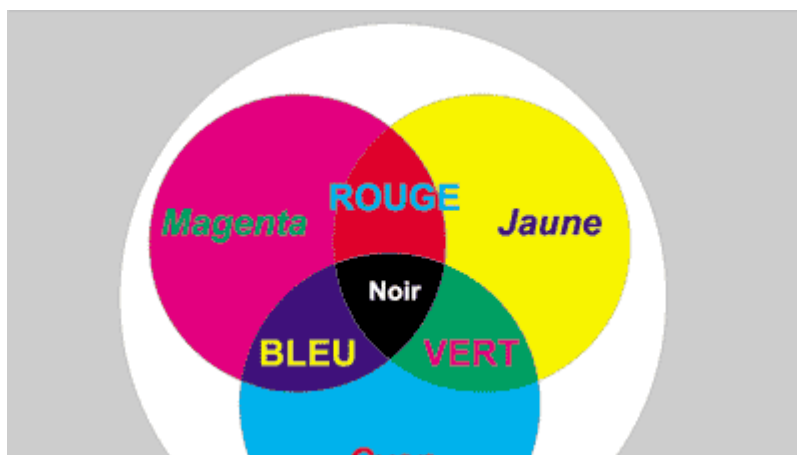
On pourra grâce à des filtres retirer une ou deux composantes à la lumière utilisée pour le tournage et obtenir, par exemple, des effets Bleus (en retirant le Jaune) ou Cyan en retirant la composante rouge ou bien d'autres effets encore, à vous de jouer avec l'image ci dessus.

### 1.3 Notion de filtres

Un filtre est fait de verre teinté, de feuille de gélatine colorée, de verres recouverts de mince dépôt métallique évaporé sous vide (filtre interférentiel), d'empilement de verres séparés par des couches spéciales ou de combinaisons des constituants précédents. Ils sont de différents types, on distinguera :

- **Le filtre neutre** . Il retranche la même proportion de tous les composants de la lumière (primaires et complémentaires). Après avoir traversé ce filtre le faisceau est donc moins lumineux, mais n'a pas changé de composition. Ces filtres apparaissent de couleur grise, d'où leur appellation de " gris neutre "
- **Le filtre coloré** . Il laisse passer de façon préférentielle certains constituants de la lumière et retient les autres. Un filtre jaune parfait, par exemple, laissera passer complètement le vert et le rouge dont le mélange donne la sensation du jaune et retiendra complètement le bleu.
- **Le filtre compensateur de couleur (CC)** . Il retient une proportion déterminée de certains constituants de la lumière et laisse passer les autres. Ainsi un filtre " CC-30Y " jaune (Y pour Yellow) retient la moitié du bleu, laisse passer l'autre moitié du bleu ainsi que la totalité du vert et du rouge. Le chiffre 30 correspond à la densité du filtre (logarithme de l'opacité) : un filtre ne laissant passer que la moitié de la lumière (opacité 2, ou 1 diaphragme) aura pour densité de  $\log 2 = 0,30$  et sera caractérisé par le chiffre 30.
- **Le filtre correcteur de lumière** . Il agit progressivement du bleu vers le rouge ou du rouge vers le bleu. Il permet de simuler de la lumière artificielle à partir de la lumière du jour. Il existe une grande variété de filtres qui absorbent ou atténuent les radiations de bandes du spectre, plus ou moins large. Citons encore les filtres ultraviolets ou infrarouges qui agissent sur des radiations auxquelles l'œil n'est pas sensible, mais auxquelles certaines émulsions peuvent réagir et qu'il est par conséquent nécessaire, dans certaines applications, d'éliminer.

Sur la même base que le cercle des couleurs précédemment mentionné, l'association des filtres jaune, magenta et cyan de bonne saturation fait apparaître les combinaisons de couleur illustrées sur la figure " Cercles des couleurs "





Cercles des couleurs

Avec des filtres jaune, magenta et cyan moins saturés, il est possible d'obtenir toutes les teintes et saturation de couleurs à tous les niveaux de luminosité depuis le fond blanc sur lequel on observe les filtres jusqu'au noir et il suffit pour cela de trois filtres. Pour rappel, notons que le procédé de restitution d'une couleur donnée au moyen de trois filtres jaune, magenta et cyan s'appelle " synthèse soustractive ".

C'est sur ce principe de soustraction de lumière par trois filtres successifs qu'est basé la restitution des couleurs par les films photographiques. Les films comportent trois couches ou ensembles de couches sensibles respectivement à la lumière bleue, verte et rouge. Ces sensibilités différenciées permettent, au moment de la prise de vue, l'analyse en rouge, vert et bleu de la lumière formant chaque point de l'image. Le film enregistre le résultat de cette analyse sous formes de trois images latentes. Après le développement, pendant lequel se forment les colorants jaunes magenta et cyan en quantités dépendant de l'exposition, les couches se comportent comme trois filtres localement colorés de façon que leur superposition examinée en transparence restitue l'image en couleur du sujet initial.

Suivant le type de film utilisé et son traitement, l'image est " négative ", c'est à dire complémentaire de celle du sujet, ou " positive ". Dans les deux cas, l'analyse se fait en rouge, vert et bleu, et la restitution avec des colorants cyan, magenta et jaune.

## □ 2. Fabrication d'un film

Le film comporte trois éléments essentiels: Un support, Une couche d'émulsion photosensible, des couches annexes.

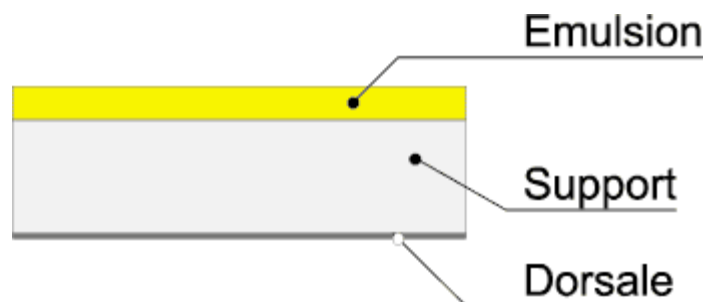
### 2.1 Support

Le support est destiné à porter l'émulsion ; il doit posséder des caractéristiques physiques très spécifiques. On utilise deux types de support pour les produits cinématographiques : Le Triacétate et le (polyester).

- **Le Triacétate de cellulose** . Il est fabriqué à partir de la cellulose obtenue des fibrilles des grains de coton, à laquelle on ajoute des composés plastifiants pour lui conférer toute sa souplesse, ce support convient parfaitement aux films Ciné et Photo. Il présente en effet une résistance à la déchirure assez faible, ce qui évite les risques de détériorations du matériel en cas d'incident de traitement ou de prise de vue.

- **Le polyester** (Téréphtalate de Polyéthylène ou Milar). Ce support très résistant à la déchirure présente une très bonne stabilité dimensionnelle.

Les supports de film photographiques sont recouverts lors de leur fabrication d'une fine couche appelée " substratum " destinée à permettre l'adhérence de l'émulsion sur le support. Cette couche est constituée de gélatine et nitro-cellulose.



Coupe du film noir et blanc

La couche anti-halo ou "jet-back" mise également pendant la fabrication du support sur la plupart des films ciné couleur a pour rôle à la fois d'absorber les réflexions parasites et de jouer le rôle de dorsale antistatique. Cette couche est éliminée lors du traitement.

### 2.2 Emulsion

L'émulsion constitue l'élément actif du film photographique. Seule couche sensible à la lumière, elle est le siège de la formation des images. De multiples constituants entrent dans sa composition dont les principaux sont :

- **Le matériau photosensible** . Il est constitué par des cristaux d'halogénure d'argent. Ceux ci constituent le matériau photosensible de la presque totalité des émulsions photographiques. Il existe trois types de cristaux d'halogénure d'argent : le chlorure d'argent, le bromure d'argent, l'iodure d'argent.
- **Le liant ou gélatine** . Ce constituant sera le liant lors de la formation des grains d'halogénure d'argent qui sont fabriqués par réaction chimique de solutions de nitrate d'argent et de sels de potassium.
- **Le tannant** . La gélatine non tannée (c'est à dire non durcie) serait trop fragile pour résister aux abrasions mécaniques dans les solutions de traitement ou dans les systèmes de prise de vues (caméras etc. ...) Celle ci doit être tannée, c'est à dire durcie.
- **L'antivoile** . Les émulsions en vieillissant ont tendance à acquérir un voile spontané qui limite leur durée de vie. Les substances antivoiles confèrent aux émulsions une certaine stabilité chimique qui atténue cette montée du voile et prolonge leur durée de vie.

A cela, s'ajoutent des composés divers, par exemple :

- Des colorants photosensibilisateurs : l'halogénure d'argent constituant le matériau photosensible ne réagit qu'en lumière bleue. Pour rendre ces cristaux sensibles à toutes les couleurs du spectre visible des colorants " sensibilisateurs " sont introduits qui servent de relais entre la lumière et les cristaux d'halogénure et rendent ainsi l'émulsion sensible à d'autres couleurs.
- Des agents de durcissement
- Des Agents mouillants.....

Il est important de noter que la taille des grains obtenus lors de la fabrication de notre émulsion est un paramètre important qui influence sur les caractéristiques du film telles :

La sensibilité, Le contraste, La granularité

Par exemple :

Emulsion à gros grains -----> sensibilité forte, contraste faible.

Emulsion à grains de taille variées -----> contraste moyen ou faible/ sensibilité moyenne

Emulsion à grains fins ---> sensibilité faible et contraste élevé

### 2.3 Emulsionnage

L'émulsionnage appelé souvent couchage est la troisième étape de la fabrication du film, qui comprend :

- **Le coulage** : durant lequel on va appliquer les couches d'émulsion, de dispersion et les couches annexes (intercouches) dans un ordre précis.
- **Le figeage** : qui s'effectue simultanément, à basse température, assure la prise du gel et la cohésion des couches.
- **Le séchage** : qui permet l'évaporation de l'eau contenue dans l'émulsion et l'homogénéité de l'ensemble.

### 2.4 Finition

Cette étape est divisée en trois secteurs principaux : La coupe, La perforation/ Le montage, et le conditionnement

- **La coupe** : c'est la première opération au cours de laquelle les axes ou les tronçons d'axes sont coupés en bandes. Soit en 83 bandes pour un produit 16 mm ou en 38 bandes s'il s'agit d'un produit 35 mm.
- **La perforation** : Les bandes sont donc ensuite perforées selon leur spécification,
- **Le conditionnement** : dernière étape avant la mise en stock. Les bandes sont emballées soit dans des pochettes noires étanches, soit dans des vacuum-packs, puis conditionnées en boîtes métalliques et emballages carton ou compression-box (pour les bandes vacuum-pack).

## 3. Structure d'image

La qualité de l'image dépend de deux paramètres importants :

La granulation

La netteté

### 3.1 La granulation

Il s'agit d'une impression subjective de non-uniformité d'une surface exposée et développée. Elle est produite par le regroupement aléatoire des colorants dans l'image du film et dépend du rapport d'agrandissement de l'image et de la distance d'examen.

Afin de comparer différents films, il est nécessaire d'avoir une mesure objective du grain : c'est la granularité.

La granularité est une mesure objective qui permet d'établir une corrélation avec la sensation visuelle de granulation. Elle est effectuée sur un échantillon exposé et développé, par un micro-densitomètre à partir d'une tâche d'exploration circulaire de 48  $\mu$ m de diamètre avec un rapport d'agrandissement de 12. Elle fait appel à une loi statistique de répartition au hasard, et s'exprime " en écart quadratique moyen " - RMS - (Root mean square). Une granularité inférieure à 5 sera ultra fine et extrêmement fine pour des valeurs comprises entre 6 et 10, très fine entre 11 et 15 et finalement fine entre 16 et 20.

Il est important de noter comme repère, qu'un écart de 6% entre deux valeurs de granularité correspond " à une différence juste perceptible " de l'impression visuelle de la granulation.

### **3.2 La Netteté**

C'est une composante de la définition, qui est une impression subjective en rapport avec la perception des bords et des contours de chacun des éléments de l'image observée. Il n'y pas de valeur objective directe permettant de mesurer la netteté ou la définition. Par contre on peut faire des analyses quantitatives précises de la perception de la netteté par :

- Le pouvoir résolvant
- La fonction de transfert de modulation

Le pouvoir résolvant est la mesure de l'aptitude d'une émulsion à enregistrer le maximum de détails contenus dans une image. Celui ci est mesuré grâce à des mires et s'exprime en nombre de lignes discernables au millimètre (1 paires de lignes par mm = 1 trait noir + 1 trait blanc).

La fonction de transfert de modulation met en évidence la capacité d'un film à reproduire les fréquences spatiales complexes d'une mire sinusoïdale. Elle permet donc d'analyser la réponse d'un film au différentes variations de contraste.

## 4. Sensitométrie

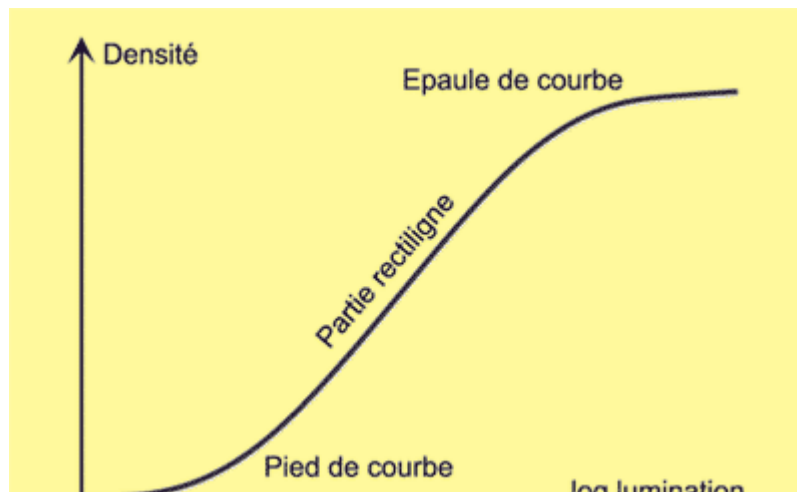
### **4.1 Définition**

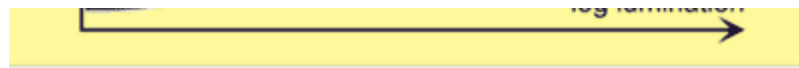
Nous ne développerons pas ce paragraphe puisqu'un ouvrage sur la sensitométrie sera prochainement publié par la CST. En voici cependant la définition :

"La sensitométrie est dans son sens le plus large, la science qui étudie les effets de la lamination et du développement sur les émulsions photographiques."

### **4.2 Courbe**

La caractéristique sensitométrique représentant la variation de densité (logarithme de l'opacité) de la couche photosensible en fonction de la lamination en lux. seconde (produit de l'éclairement reçu par la couche sensible par la durée de l'exposition) se présente sous la forme suivante pour une émulsion noir et blanc .





Caractéristique sensitométrique d'un film noir et blanc

### 4.3 Les paramètres de la courbe

Trois parties de la courbe intéressent particulièrement les directeurs de la photographie. D'abord le  **pied**  de la courbe, quand peu de lumière impressionne le film et que la pente augmente progressivement avec l'exposition. En effet plus la pente de la courbe d'un film est importante, plus ce film changera rapidement de densité - et donc plus il virera facilement au noir. Au contraire, plus l'augmentation de la pente du pied est progressive, plus le film sera capable de faire ressortir des détails dans les ombres - en conservant des différences subtiles entre les niveaux de noir.

Ensuite dans la partie  **rectiligne**  de la courbe, la pente de cette partie linéaire, ou facteur de contraste  $\gamma$  de la plupart des films reste constante - la densité augmentant dans une proportion logarithmique par rapport à l'exposition. Autrement dit, chaque augmentation de l'exposition d'une valeur d'un diaphragme double la quantité de lumière qui arrive sur le film, provoquant ainsi une augmentation constante de la densité sur le négatif. Les informations les plus importantes sont enregistrées sur la partie rectiligne de la courbe.

Au niveau de  **l'épaule** , la pente de la courbe diminue - Les augmentations supplémentaires de l'exposition ne provoquant qu'un accroissement de la densité faible, puis nul.

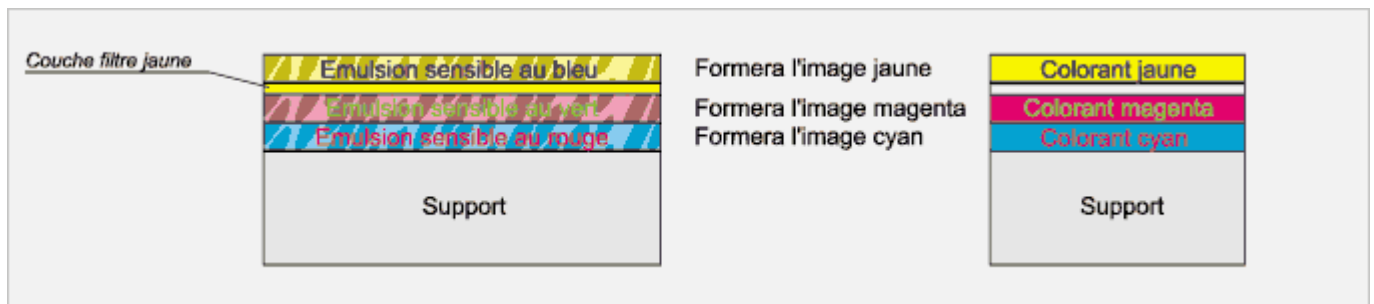
Avec les films actuels à grande latitude d'exposition et des négatifs normalement exposés, peu d'informations importantes d'une image seront exposées sur l'épaule. Au contraire, la plupart des zones blanches de la scène seront enregistrées sur la partie rectiligne de la courbe, ce qui explique pourquoi les films actuels sont si performants pour l'enregistrement des hautes lumières.

Les films noir et blanc n'ont qu'une seule courbe caractéristique. Les films couleur au contraire en comptent naturellement au moins trois - une courbe par enregistrement de couleur.

## 5. Le film Couleur

### 5.1 Constitution du film

Comme nous l'avons vu lors de nos rappels, le film couleur est composé de plusieurs couches, on aura la structure suivante pour un film négatif :



Coupe d'un film couleur

La sensibilité naturelle des cristaux d'halogénure d'argent est dans le bleu, il paraîtra normal d'observer que cette sensibilité subsistera, même pour des cristaux sensibilisés au vert et au rouge. La lumière bleue, passant au travers des couches vertes et rouge, y produit donc un effet indésirable, nuisible à une bonne reproduction des couleurs. Cette effet sera minimisé par l'emploi d'un filtre jaune qui, placé sous la couche sensible au bleu, absorbera cette radiation avant qu'elle n'atteigne les couches inférieures, tout en permettant aux radiations verte et rouge d'atteindre leur récepteur.

En plus de l'amélioration de la reproduction des couleurs, cette séparation nette entre bleu et vert permet des applications dans le domaine des effets spéciaux, avec en particulier l'utilisation des écrans bleus et celle des caches/contrecaches. Cette couche "filtre jaune" est ensuite décolorée au cours du traitement.

Il y a encore d'autres substances actives incorporées au film négatif. Par exemple, des anti-voiles (voir 2.2) qui permettent d'éviter une augmentation de la densité minimale aussi bien dans le film vierge qu'au cours du traitement.

Nous pouvons aussi citer les colorants absorbants, solubles dans l'eau qui, en contrôlant la dispersion lumineuse, née des réflexions, inévitables, augmentent la définition et la résolution de l'image.

Chaque couche de sélection contient des sels photosensibles de bromure d'argent et un coupleur qui formera un colorant lors du développement chromogène.

Chaque couche comporte au moins deux sous-couches (une rapide + une lente), la couche magenta en comporte trois (une rapide, une lente et une médium).

## **5.2 Le développement/ Les coupleurs**

Au cours du traitement, les informations contenues dans les cristaux d'halogénure se transforment en une image de colorant. Ainsi, du colorant jaune est formé dans la couche sensible au bleu, du magenta dans celle sensible au vert et du cyan dans la couche sensible au rouge.

On peut encore améliorer la structure de l'image obtenue, en particulier, le grain, la définition et la saturation des couleurs en faisant appel à des coupleurs particuliers :

- Les coupleurs DIR (Development Inhibitor Releasing)
- Les coupleurs DIAR (Development Inhibitor Anchimetric Releasing)

**Un coupleur DIAR** est une molécule qui comporte trois groupements :

- Le coupleur proprement dit, qui formera le colorant avec le révélateur oxydé.
- Un groupement inhibiteur de développement (anti-voile)
- Un groupement de liaison dont la fonction est de libérer l'anti-voile au moment opportun

Au début de la réaction, le colorant est formé et il produit une image immobile. Le groupe de liaison et l'inhibiteur se détachent et migrent ensemble dans la couche concernée, mais aussi dans les couches adjacentes. Simultanément, le groupement de liaison se réorganise chimiquement. Cette opération n'est pas instantanée et c'est donc après un certain temps, et dans un champ d'action plus étendu, que l'inhibiteur est libéré. A ce stade, le groupement inhibiteur agit sur les cristaux d'halogénure d'argent pour en ralentir ou arrêter le développement.

**Un coupleur DIR** fonctionne de la même façon, à ceci près que la libération d'inhibiteur se fait sans délai, au fur et à mesure de la formation du colorant. Son rayon d'action est plus restreint.

Ce processus a plusieurs conséquences :

- L'inhibiteur empêche le développement complet des cristaux porteurs d'image latente, il faudra donc que l'émulsion comporte un plus grand nombre de ces cristaux pour former la même quantité de colorant. L'image, formée dans ce cas d'un plus grand nombre d'éléments, sera donc plus fine (voir 3.1).
- L'inhibiteur a aussi des conséquences sur la reproduction des couleurs grâce à l'effet inter-image. Ainsi si nous exposons de façon uniforme (donc neutre) les trois couches d'un film., l'inhibiteur relargué dans une couche - par exemple celle sensible au bleu - atténuera la développabilité des cristaux des couches adjacentes, soit, dans notre exemple, celle sensible au vert.

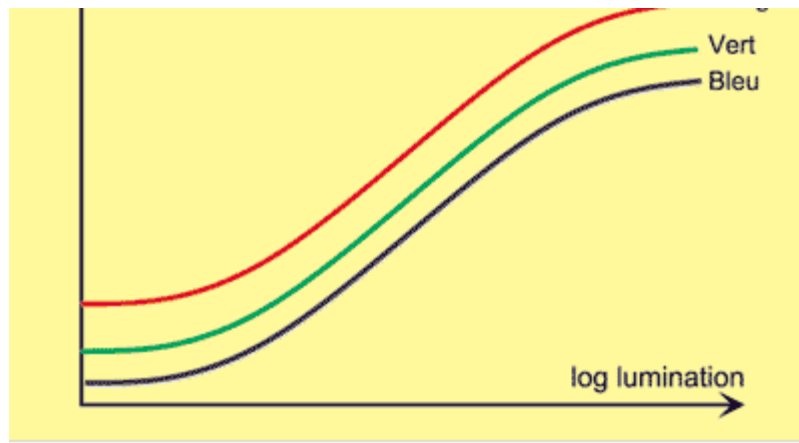
Si maintenant, la couche verte seule est exposée, elle produira une plus grande quantité de colorant magenta en l'absence de l'inhibiteur qui serait venu de la couche bleue, si celle-ci avait été exposée : la saturation de cette couleur (magenta) sera donc plus grande dans ce dernier cas de figure. Elle augmente avec l'exposition.

La définition est également augmentée par un meilleur contrôle du développement autour des petits détails :

## **5.3 L'utilisation des coupleurs pour le développement du négatif**

Une autre technologie appelée " masque " est utilisée pour améliorer le rendu des couleurs. Elle consiste à compenser les absorptions indésirables des colorants formant l'image. Par exemple, les colorants magenta ne sont pas parfaits. Ils absorbent non seulement le vert, mais également une petite partie de la lumière bleue. Pour corriger par exemple l'absorption indésirable du colorant magenta en lumière bleue, on fait appel à un coupleur coloré en jaune qui disparaîtra proportionnellement à la quantité de colorant magenta formé. Au fur et à mesure de la formation du colorant magenta et donc du colorant bleu indésirable, le coupleur coloré en jaune disparaît par réaction avec le révélateur oxydé. La couleur jaune est remplacée par le magenta. Ces deux effets - production du magenta et disparition du Jaune - ont pour conséquence que la densité bleue ne varie pas en fonction de la densité verte.





Caractéristique sensimétrique d'un film couleur

Bien entendu, la densité bleue totale est plus élevée avec le masque que sans. Cet inconvénient est compensé - en tireuse ou sur télécinéma- par l'avantage d'obtenir des couleurs pures, quelle que soit leur densité dans les ombres ou les hautes lumières.

La même technique est utilisée avec le colorant cyan formé proportionnellement à la lumière rouge reçue.

Les coupleurs sont colorés en Magenta de façon à corriger l'absorption indésirable en vert du colorant Cyan.

C'est donc l'ensemble des coupleurs colorés en jaune et magenta qui donne au négatif traité sa couleur orangé caractéristique dans les parties non exposées de la pellicule.

La pellicule argentique pour le cinéma est un produit extrêmement élaboré. Sa structure aléatoire comprend un nombre non négligeable (plusieurs millions) de cristaux au millimètre carré, qui permettent un rendu excellent de l'image. Le film a donc de beaux jours devant lui, tout du moins tant que les CCD n'auront pas atteint la qualité de la structure du film (soit plusieurs centaines de millions de cellules par CCD).

Rédaction : **Françoise Duclos (Kodak)**  
avec l'aide des supports de cours  
du CEFOM Kodak du CTP Ciné Chalon s/Saône  
et de Michel Baptiste (CST).

©1999, [Commission Supérieure Technique de l'Image et du Son](#)