

## Gestion des couleurs dans le cadre des chaînes de traitement d'images numériques

Nous avons tous, certainement, en mémoire les notions de colorimétrie qui nous ont été présentées dans les dossiers techniques 7 et 8, rédigés par Mathieu Sintas et François Helt. Forts de cet enseignement nous allons pouvoir comprendre comment la couleur est représentée dans les systèmes de capture et d'impression numériques. Puis nous découvrirons les impératifs d'une calibration de la chaîne de traitement pour obtenir un résultat final proche de la photo originale.

### Caractérisation d'une couleur

Nous savons que les couleurs n'ont pas d'existence par elles mêmes, il n'y a que des rayonnements d'intensité et de longueur d'onde différentes. Les couleurs sont simplement des sensations créées au niveau du cerveau à partir de stimuli détectés sous une lumière particulière par trois des pigments de la rétine (cônes). Par ailleurs il n'y pas de correspondance exacte entre une couleur telle que l'on la définit en physique et les couleurs que perçoit le cerveau (voir la notion de métamère et de température de couleur entre autres). Il n'en reste pas moins que les sensations colorées répondent toujours aux caractéristiques suivantes :

- La luminosité
- La teinte
- La saturation
- L'intensité

#### Les paramètres d'une couleur

##### *La Luminosité*

La luminosité fait référence à la quantité de lumière qui est absorbée ou réfléchiée par la zone colorée, elle fait donc appel à la sensibilité de la vision humaine aux intensités lumineuses. Cette sensation de perception est très difficile à quantifier, la CIE ([Commission Internationale de l'Eclairage](#)) a donc définie celle ci comme une quantité de luminance qui correspond au quotient de l'intensité lumineuse d'une surface par l'aire apparente de cette surface pour un observateur lointain, elle permet d'apprécier l'éclat d'un objet. Pour parler strictement, la luminosité devrait être exprimé en candelas par mètre carrés, mais en pratique elle est souvent normalisée à 1 ou 100 unités en fonction de la luminance du blanc de référence. Ainsi un monitor de studio a un blanc de référence dont la luminance est de 80 candelas/m<sup>2</sup> et on posera  $Y = 1$  pour se référencer à cette valeur.

La luminosité maximale pour un observateur standard se ressentira pour une lumière de longueur d'onde de 555 nm.

La vision humaine a une perception non linéaire de la luminosité, une source qui a une luminance de 18% par rapport à son blanc de référence apparaît à "moitié" brillante. La perception de la luminosité peut être appelée "éclat" de la couleur, il est noté L et est défini par la CIE comme étant la racine cubique modifiée de la luminance.

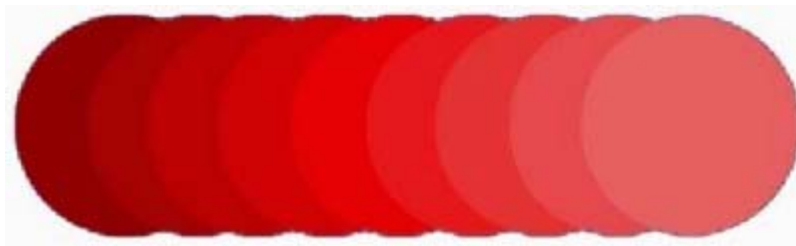
$$L = 116 \times \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

Avec  $Y_n$  la luminance du blanc de référence

$Y$  la luminance mesurée

La perception de la luminosité est grossièrement logarithmique, ainsi un observateur peut détecter une différence

d'intensité lumineuse entre deux taches de couleur si celle diffère d'au moins un 1%. Nous pouvons observer sur l'image ci dessous l'influence de la variation d'intensité sur une couleur.



### *La teinte*

Toujours selon la CIE, la teinte est définie par la capacité de la vision humaine d'associer une zone de couleur à une autre définie comme étant de couleur rouge, verte ou bleue ou d'une combinaison de deux de ces couleurs.

Si la longueur d'onde de la lumière éclairant la zone colorée varie alors la teinte de la zone varie.

### *La saturation*

Toujours selon la CIE, la saturation d'une couleur est l'intensité de celle ci par rapport à sa luminosité. Si la couleur est peu saturée on obtient une teinte grise, puis celle ci devient pastel puis très colorée à mesure que la saturation de la couleur augmente. Plus une densité spectral est concentrée sur une longueur d'onde, plus la couleur associée sera saturée. On peut désaturer une couleur en ajoutant à celle ci une lumière qui contient des radiations lumineuses qui contiennent toutes les longueurs d'ondes.

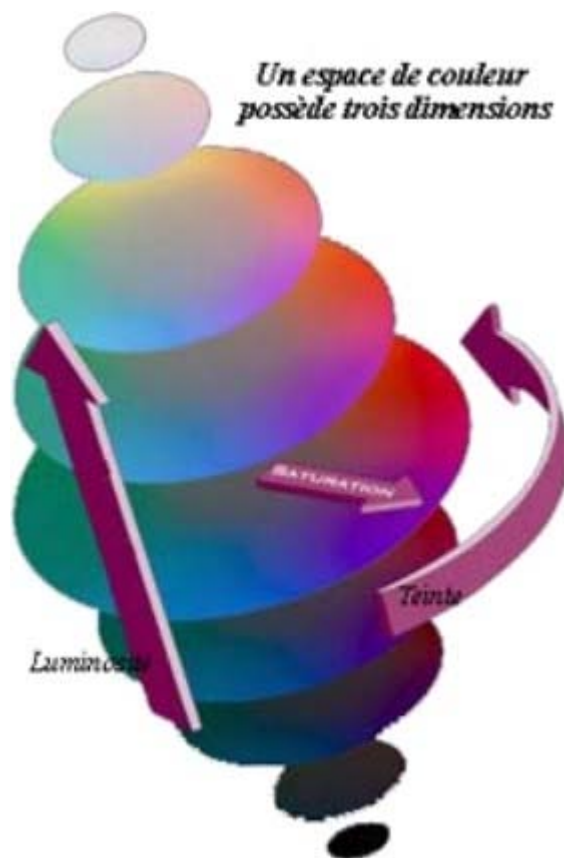
### *L'intensité*

L'intensité est une mesure de la puissance électromagnétique qui est réfléchié ou rayonnée par une surface. Celle ci est exprimée en watt par  $m^2$ . Les tensions d'un écran électronique contrôlent l'intensité des composantes de couleur mais de manière non linéaire.

## **Spécificité d'une couleur**

### *Construction d'un espace de couleur*

Chaque couleur est définie selon un espace de couleur qui lui est propre. Cependant chacun d'entre eux possède trois dimensions, selon le schéma suivant :



Les systèmes les plus utilisés aujourd'hui pour spécifier une couleur sont déterminés par la CIE, ils sont dénommés CIE XYZ, CIExyY, CIEluv, CIELab. Ils correspondent à des manières différentes de représenter une couleur (voir le [dossier technique n°8](#))

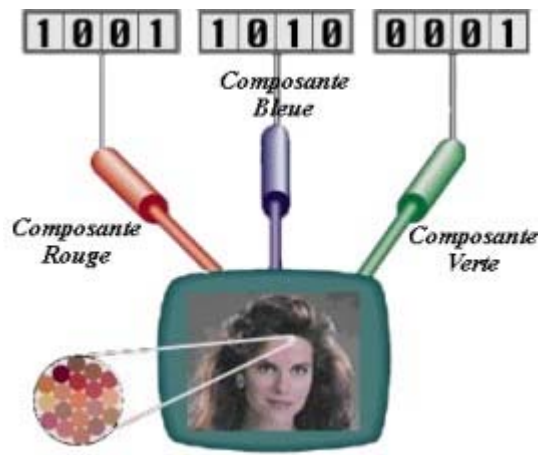
Des valeurs précises de teinte ou de saturation sont peu significatives pour déterminer une couleur comme nous l'avons vu ci dessus.

Le système graphique d'espace de couleurs ne peut représenter n'importe quelle couleur de manière précise. Donc seul un certain nombre de couleurs sont représentées sur le diagramme. Il faut rappeler aussi que quelque soit l'espace de couleur utilisé il est nécessaire que celui ci ait une correspondance avec les standards de la CIE. Si la translation dans un espace normalisé n'est pas possible l'utilisation de l'espace de couleur perd de son intérêt pour des utilisations futures.

Nous n'oublierons pas pour la suite de notre exposé qu'un espace de couleur est défini pour certaines conditions d'éclairage, il sera donc évident rapidement qu'une image RGB sur un écran X sera différente sur un écran Y qui ne possède pas les mêmes caractéristiques.

#### *Utilisation d'un espace de couleur spécifique pour une image numérique*

Une image numérique est représentée par un ensemble de pixels. Chacun des pixels contiennent des composantes numérique qui définissent une couleur. Trois composantes sont nécessaires et suffisantes pour ceci (Rouge, Verte, Bleue -ndlr : **R**ed, **G**reen, **B**lue, en anglais- ), c'est le principe de la vision trichromatique (voir le [dossier technique n°7](#)), même si pour l'impression il est plus pratique d'utiliser quatre composantes (Cyan, Magenta, Jaune, Noire - ndlr : **C**yan, **M**agenta, **Y**ellow, **B**lack, en anglais).



En théorie, les trois valeurs de composantes couleur peuvent être fournies par les spécifications d'un espace de couleur particulier. Ainsi dans un espace RGB pur, le rouge sera représenté par le triplet de valeur (255,0,0) si chaque composante de couleur est définie sur 8 bits ( $2^8 = 256$  valeurs pour chaque composante).

Mais en pratique, nous savons qu'un espace de couleur n'est jamais assez précis pour déterminer toutes les couleurs, donc le codage d'une image utilise d'autres règles que les seules spécifications d'un espace de couleur.

Les systèmes les plus utilisés sont :

- Le RGB linéaire
- Le R'G'B' non linéaire
- Le CMYK linéaire
- Le CMYK non linéaire

Et des espaces dérivés des d'autres espaces comme l'espace Y' Cb Cr qui est dérivé de l'espace non linéaire RGB. Les valeurs numériques de teinte et de saturation sont pas utiles dans le codage des couleurs pour l'image numérique

## Les correspondances entre les différents espaces de couleur

Les composantes d'une couleur dans un espace donnée peuvent être traduites dans un autre espace de couleur. Il s'agit de simples transformations géométriques qui s'expriment sous forme matricielle.

Mais avant tout posons nous quelques questions sur la façon dont chacune des composantes Rouge, Verte ou Bleue vont contribuer à notre sensation de couleur. Si trois sources apparaissent rouge, verte ou bleue et ont la même rayonnement dans le spectre du visible, alors le vert va paraître le plus brillant des trois sources car son pic de luminosité se trouve dans la zone verte du spectre, là où l'oeil humain est le plus réceptif. Le rouge va nous sembler moins brillant et le bleu sera la source la plus sombre des trois, en tous cas pour notre vision humaine. Ainsi en fonction des spécificités de notre vision et du spectre d'émission des sources primaires, tous les bleus saturés nous paraîtront sombres et tous les jaunes saturés plutôt brillants.

Ainsi la luminance en tenant compte des spécificités des couleurs que nous avons décrit ci-dessus s'obtient par la formule suivante :

$$Y = 0.212671 * R + 0.715160 * G + 0.072169 * B \text{ (Définition de la CIE)}$$

Il est bon de remarquer que même si le bleu amène une faible contribution à notre sensation de luminosité, nous devons conserver le même nombre de bits pour chaque composante Rouge, Verte et Bleue. En effet la vision humaine possède une excellent discrimination dans les teintes bleues et si la couleur bleue était exprimée sur un nombre inférieur de bits que ses deux compagnes, on observerait des contours dans les zones bleues des images.

## RGB, R'G'B' et sRGB

L'espace RGB concerne l'espace linéaire définies par les trois composantes primaires de la CIE. Cet espace est aussi appelé espace RGB 709.

L'espace R'G'B' ou R'G'B' 709 est l'espace logarithmique relatif à l'espace RGB 709. On peut passer aisément d'un espace de couleur à l'autre en utilisant des équations de correspondance.

On passera toujours d'un espace de couleur non linéaire à un espace de couleur linéaire pour assurer la conversion dans l'espace XYZ. Cette transformation permettra l'application d'une transformée d'adaptation chromatique aux valeurs XYZ afin de tenir compte de la valeur du blanc de référence.

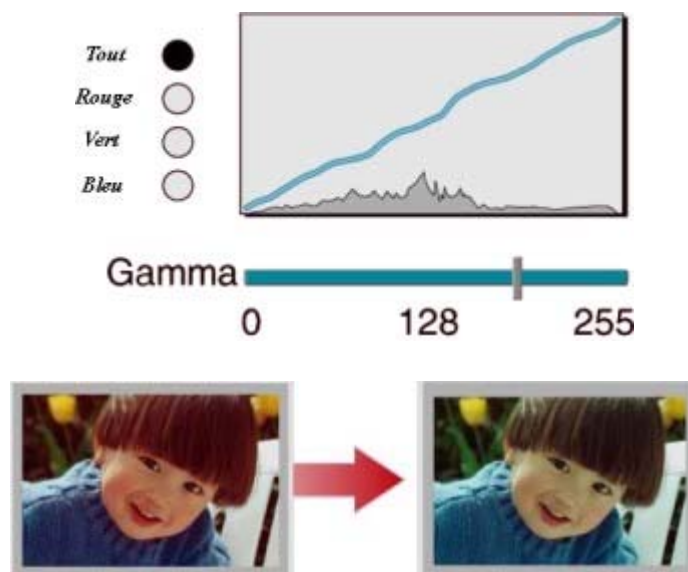
L'espace sRGB est un nouveau venu dans la science de la colorimétrie. Proposé par Hewlett-Packard et Microsoft, il est en cours de normalisation. Le but est d'essayer de compléter les stratégies de gestion des couleurs actuelles en proposant une gestion des couleurs pour les systèmes d'exploitation et les drivers. En effet, les ICC, ou couleurs profiles, qui permettent d'obtenir une image de sortie avec le même espace de couleur que l'original, ne sont pas toujours une solution à tous les problèmes rencontrés. Ce système est basé sur le système RGB linéaire standard, pour un blanc de référence D50 et un écran de gamma 2.2.

## Gamma

Un écran (Cathode Ray Tube ou CRT) n'est pas un système électronique linéaire, c'est à dire que l'intensité lumineuse reproduite à l'écran n'est pas une fonction linéaire de la tension d'entrée. D'un point de vue strictement physique on pourrait s'attendre à ce qu'une correction de gamma soit le processus qui suffise à compenser la non linéarité entre la tension d'entrée et la lumière affichée à l'écran pour obtenir une correcte reproduction de l'intensité lumineuse en un point de l'écran.

Cependant la perception humaine de la luminosité n'est pas elle-même uniforme mais se comporte plutôt comme une fonction puissance de l'intensité. Finalement pour obtenir une bonne correction de gamma, il faut connaître les caractéristiques physiques de l'écran, le comportement de la vision humaine (ceci engage que l'on définira une correction de gamma pour un observateur de référence avec des conditions d'observation standard) et les conditions de prise de vue des images.

Ce qui est intéressant dans le cas de ce facteur Gamma est son influence sur le rendu des couleurs.



## Les différences entre CIELUV et CIELAB

Le premier système consiste  $L^*u^*v^*$  (1976) en une transformée linéaire de l'espace XYZ, il est très utilisé par la télévision. Le deuxième système  $L^*a^*b^*$  est une transformée non linéaire de l'espace XYZ.

Dans l'espace  $L^*u^*v^*$ ,  $u^*$  et  $v^*$  sont à zéro pour le blanc de référence. Ce sont deux espaces qui travaillent selon les différences de couleur.

L'accroissement des valeurs de  $u^*$  représente principalement les augmentations dans les teintes rouges, le décroissement de cette même valeur est associé à un accroissement principalement dans les teintes vertes, teinte qui est complémentaire du rouge.

L'accroissement des valeurs de  $v^*$  représente principalement les augmentations dans les teintes jaunes, le décroissement de cette même valeur est associé à un accroissement principalement dans les teintes bleues.

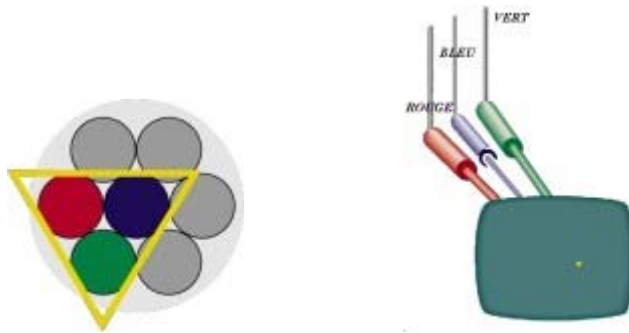
Dans l'espace  $L^*a^*b^*$ ,  $a^*$  et  $b^*$  ont la même signification que  $u^*$  et  $v^*$ . Cependant l'espace  $L^*u^*v^*$  possède un diagramme chromatique uniforme associé qui permettra d'obtenir facilement un facteur de saturation pour une couleur, ce qui n'est pas le cas de l'espace  $L^*a^*b^*$ .

## La représentation de la couleur sur un écran

---

### Fonctionnement d'un écran

Un écran d'ordinateur est constitué d'un CRT qui génère la couleur. La surface de l'écran est couverte de points dits "phosphores". Ces "points" sont regroupés par groupe de trois et chacun de ces points est excité par un faisceau d'électron.

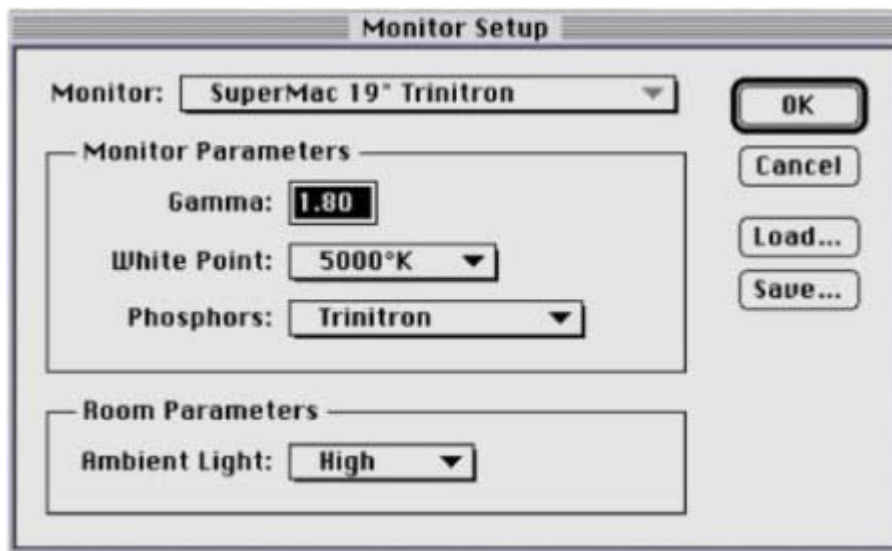


Comme les trois phosphores d'un groupe sont très rapprochés, ils sont perçus comme étant un seul point, ou pixel, d'une image et l'oeil effectue la synthèse entre les trois points pour obtenir la couleur résultante des trois points Rouge, Vert et Bleu.



### Etalonnage d'un écran

Nous avons vu que plusieurs paramètres jouent sur la qualité de la restitution de la couleur, entre autres le gamma de l'écran et le blanc de référence qui est utilisé.

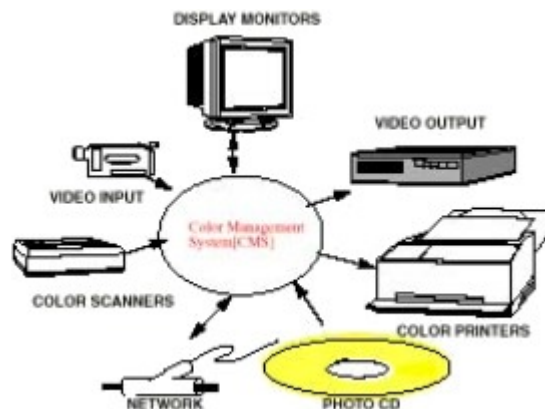


Un certain nombre d'outils logiciels, livrés avec l'ordinateur, permettent de calibrer aisément un écran. Mais afin d'être cohérent avec le résultat recherché, on utilise la plupart du temps une image test qui contient une palette de couleurs et on compare cette image test avec les couleurs obtenues sur l'écran et ce sous un éclairage particulier ou à l'aide d'une lampe stroboscopique.

## L'étalonnage numérique

---

Une chaîne de traitement d'image est composée de plusieurs appareils numériques. Chaque introduction d'un nouvel élément dans une chaîne perturbe le résultat final. C'est pourquoi il existe des fichiers livrés avec les appareils qui permettent de conserver la consistance et la prévisibilité des espaces de couleur standardisés par la CIE. Ce sont les "color profiles"



### Les colors profile

Un fichier "color profile" ou ICC (International Color Consortium) est un fichier de données décrivant les caractéristiques de couleur d'un système comme un scanner, un écran ou une imprimante. Le premier but de ces fichiers est de permettre de maintenir une consistance dans l'espace de couleur choisi, que ce soit pour l'impression ou pour la visualisation sur plusieurs systèmes.

Le fichier contient des descriptions en mode texte des caractéristiques des systèmes, et des données numériques qui permettent d'établir la bonne configuration du système pour transformer les couleurs qui doivent être affichées ou imprimées sur le système, dans un espace de couleur commun. Les données numériques se présentent sous la forme de matrices et de tables, elles sont utilisées par le système de gestion des couleurs (CMS, Color Management System) pour passer de l'espace de couleur commun (PCS, Profile Commun Space) à celui du système lui-même, et inversement.



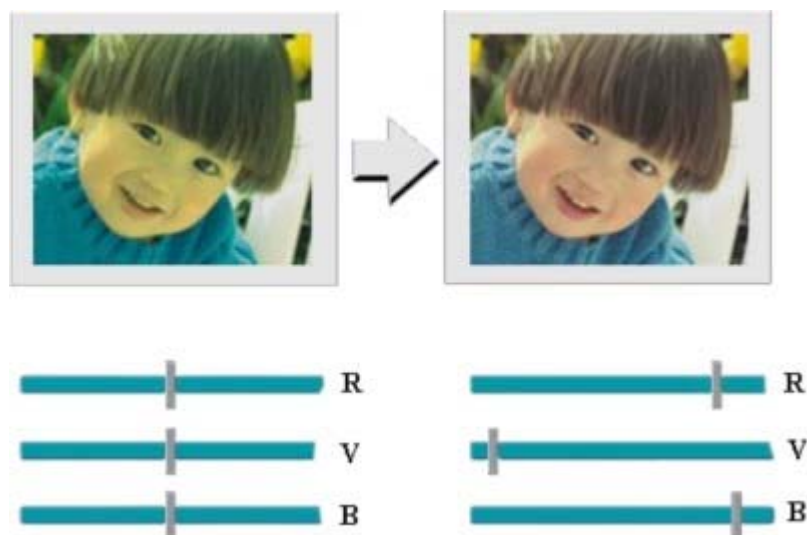
### Look Up Tables (LUT)

Les Look Up Tables seront aussi très utilisées pour assurer une bonne cohérence entre les espaces de couleur. Il s'agit dans ce cas des tables de chiffres qui sont entrées dans un programme de l'ordinateur. Les données agissent comme des adresses mémoire et génèrent des valeurs de sortie selon les données qui sont rentrées dans la table. Dans ce cas, on agit uniquement au niveau de l'ordinateur et dans le souci d'arriver à un résultat qui n'est pas forcément dépendant de la CIE.

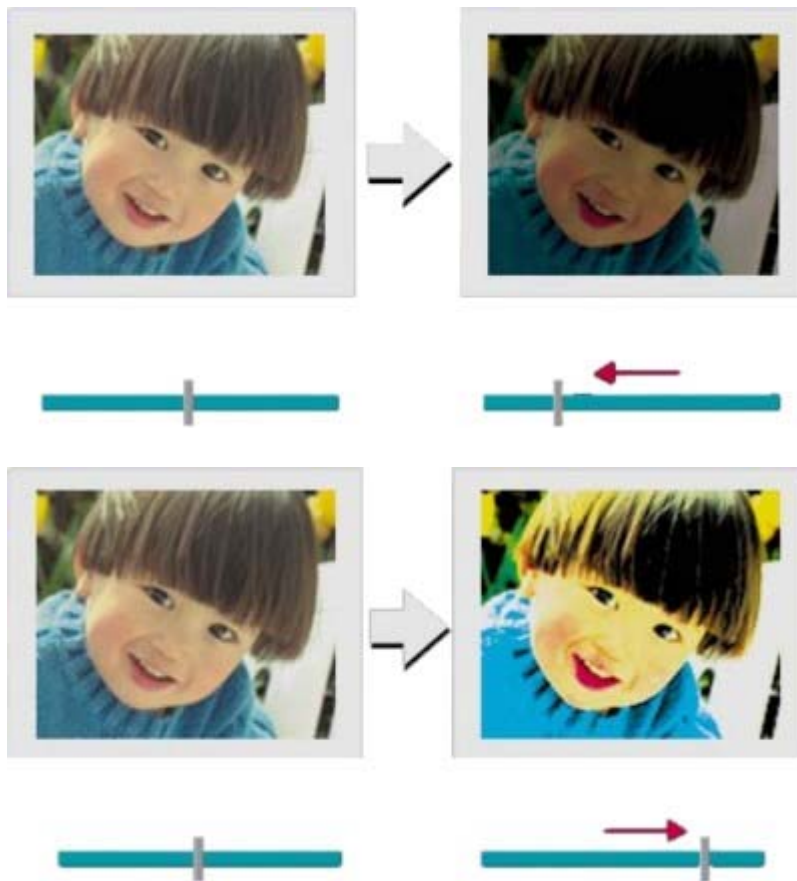
On utilisera des Look Up Tables, par exemple, pour assurer une certaine qualité d'images sur des ordinateurs dont les écrans ne gèrent que 256 couleurs et non pas 16.7 millions comme c'est le cas le plus courant actuellement.

### La gestion des couleurs par soft

Les outils logiciels à notre disposition nous permettent de jouer sur les différents paramètres qui caractérisent une couleur. Si le logiciel travaille par exemple dans un espace RVB, on pourra jouer sur chacune des composantes Rouge, Verte et Bleue pour transformer notre image



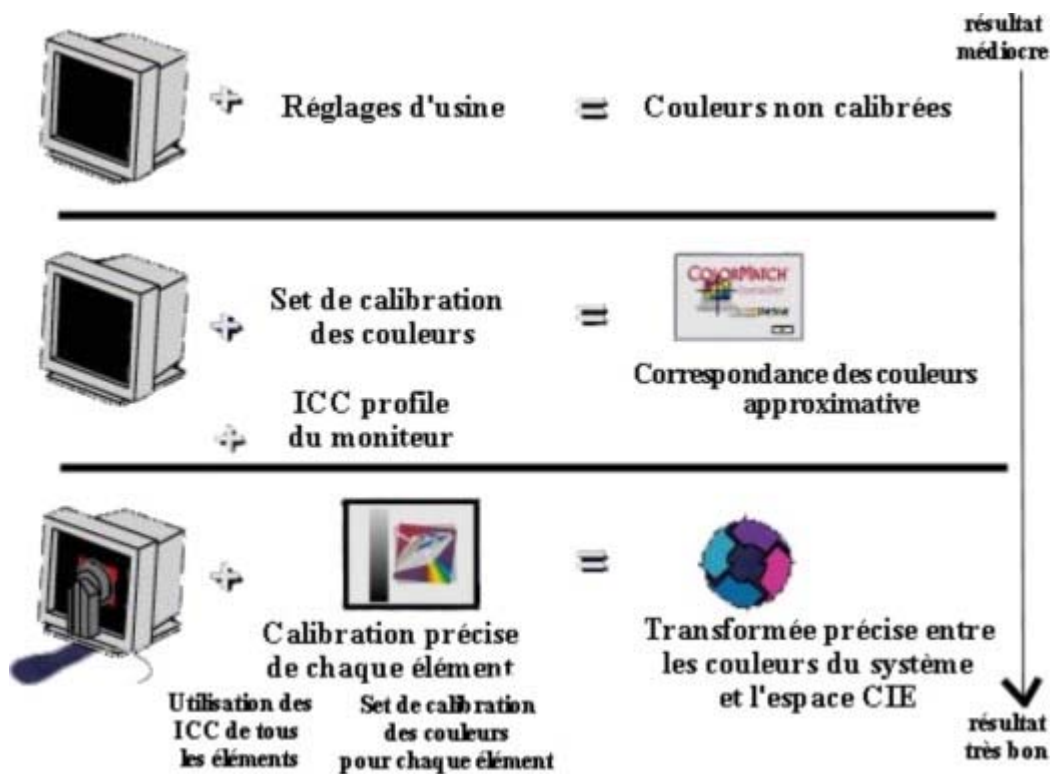
Sinon, on pourra aussi jouer sur la luminosité, le contraste :



On pourra utiliser aussi les courbes de réponse des écrans et modifier des paramètres tels que le gamma.

### L'étalonnage complet de la chaîne

Nous sommes maintenant convaincus, je pense, que l'assemblage de plusieurs éléments dans une chaîne numérique sans contrôle de l'étalonnage et des ICC profiles nous amènera un résultat éloigné de la réalité. Si nous résumons les situations dans le tableau suivant nous avons :



Nous pourrions aborder dans un nouveau dossier toutes les subtilités de l'étalonnage, ainsi que les difficultés

engendrées par le retour sur film.

Rédaction : **Françoise Duclos** ([fduclos@kodak.com](mailto:fduclos@kodak.com))  
Illustrations : Copyright © [Kodak](#)

**Autres documents connexes :**

- [La couleur, mode d'emploi](#),  
*par Daniel Nicole, Ecole romande des arts graphiques de Lausanne - Suisse*
- [Color technology](#),  
*par Charles Poynton*
- [Introduction à la colorimétrie](#) (1<sup>ère</sup> partie),  
*Dossier Technique de la CST n°7*
- [Introduction à la colorimétrie](#) (2<sup>ème</sup> partie),  
*Dossier Technique de la CST n°8*

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