

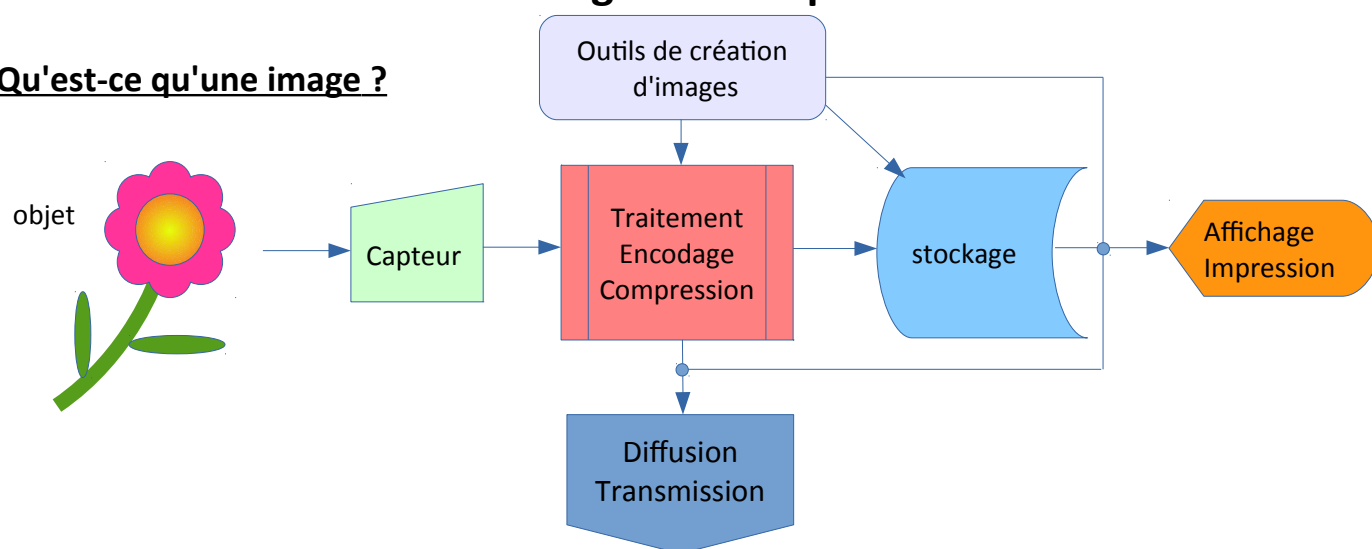
## Séquence 2 : Complément de cours : « La fabrique à images numériques »

### PROBLÉMATIQUE :

Comment sont caractérisées les images numériques ?

### L'image numérique

#### Qu'est-ce qu'une image ?

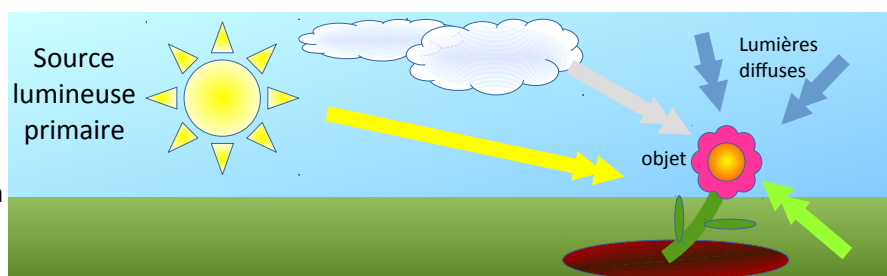


Issue d'une volonté de « capture » d'un objet (sujet et événement) de notre environnement (par le biais d'un appareil photographique, ou d'une caméra vidéo) mais elle peut aussi bien être le fruit de l'imagination d'un graphiste : l'image numérique prend aujourd'hui de nombreuses formes et envahi notre quotidien (vidéo surveillance, selfie, images web...). Le schéma précédent présente les différents stades de « vie » d'une image numérique.

Des notions fondamentales, bien que transparentes pour beaucoup d'utilisateurs, ont permis la naissance des images numériques. La maîtrise de ces notions par le biais de techniques sophistiquées faisant part belle aux mathématiques ont permis le stockage d'une quantité extraordinaire d'images, la transmission à une vitesse et à des distances inimaginables d'images ainsi que la synthèse d'images numériques d'un réalisme encore inenvisageable au siècle dernier.

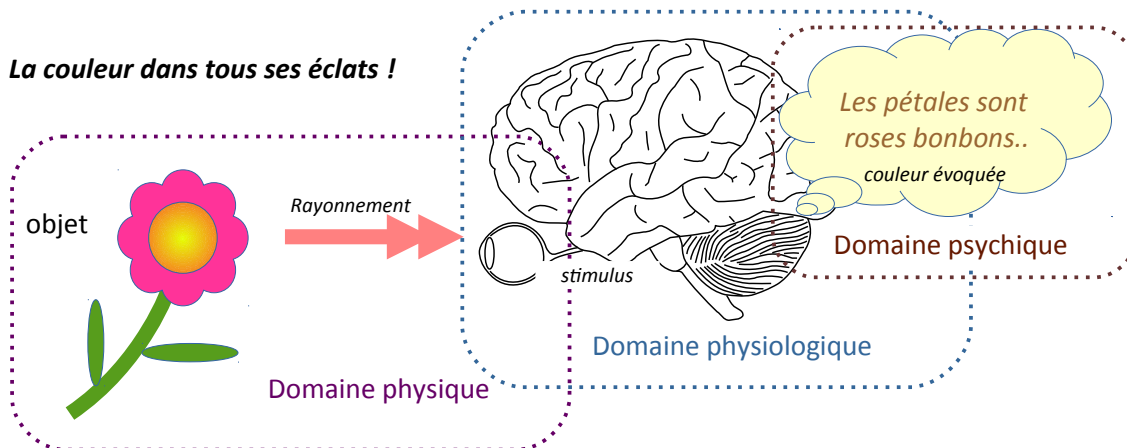
#### **Photométrie et colorimétrie :**

Rares sont les objets intrinsèquement lumineux (comme les objets phosphorescents) ce qu'on observe ou ce que l'on capte en réalité c'est un rayonnement réfléchi (ou transmis dans le cas des



matériaux translucides) issu d'une source primaire directe de lumière (comme le soleil) et de sources (ou pseudo-sources) secondaires constituées par l'environnement lui-même rayonnant dans lequel est versé cette objet.

La **photométrie** est l'exploration de la façon de mesurer la quantité de lumière diffusée ou reçue tandis que la **colorimétrie** s'attache à mettre un mot sur ces lumières en abordant la notion de couleur.



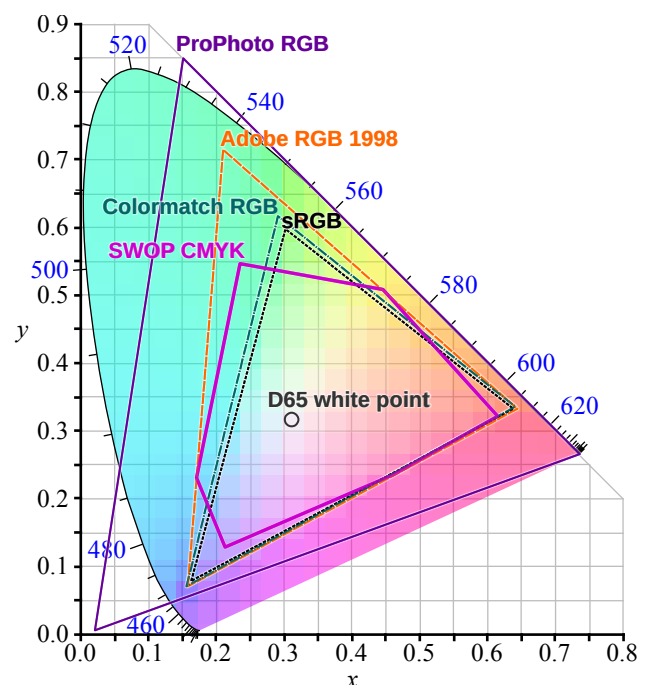
Pour considérer que les couleurs d'un objet issu de notre environnement correspondent bien à celles de l'image que nous souhaitons traiter il fallait mettre en place un système de référence de couleurs qui ne pouvait être qu'empirique grâce à des expérimentations sur de nombreux individus. Ces expérimentations ont consisté en la mise en œuvre des techniques d'égalisation de la couleur perçue avec celle produite par le mélange additif de plusieurs sources lumineuses dont les couleurs étaient théoriquement maîtrisées. Il ressort de ces expérimentations un certain nombre de principes :

### Les lois de Grassmann :

1. Pour caractériser une égalisation visuelle de la couleur, trois paramètres indépendants sont nécessaires et suffisants.
2. Dans un mélange additif de lumières colorées, ce sont les couleurs perçues qui sont significatives, non leurs compositions spectrales.
3. Dans un mélange additif de lumières colorées, si une ou plusieurs lumières sont graduellement modifiées, la couleur résultante sera aussi graduellement modifiée.

**Le principe de trivariance visuelle** : un stimulus quelconque peut être égalisé par un mélange additif de trois primaires monochromatiques convenables dont le flux a été ajusté de manière appropriée.

Le choix d'un référentiel standard pour la trichromie a été en premier réalisé par la Commission Internationale de



l'Eclairage (CIE) , plusieurs référentiels ont été normalisés (RGB CIE 1931, XYZ CIE 1964, L\*a\*b\* CIE 1976, L\*u\*v\* CIE 1976, ... ).

La figure précédente illustre le célèbre **diagramme de chromaticité** élaboré en 1931 dans une projection particulière (2D notée x et y) qui représente l'ensemble des couleurs perçues par l'œil (les graduations du contour indiquent les longueurs d'onde avec un pas de cinq nanomètres des radiations monochromatiques) ainsi que plusieurs référentiels chromatiques utilisés dans les milieux graphiques.

On constate à la lecture du diagramme qu'aucun système trichromique de restitution des couleurs n'est capable d'atteindre toute la palette perceptible par l'œil humain pour s'en rapprocher certains appareils (imprimantes ou écrans professionnels) fonctionnent avec des systèmes de synthèse additive ou soustractive par quadrichromie voire hexachromie.

## Pourquoi parle-t-on d'image numérique ?

L'adjectif numérique se rapporte au nombre et on dirait même plus aux nombres.

Si l'on considère une image pouvant être reproduite sur un support à deux dimensions<sup>1</sup> (typiquement un écran ou un support papier) il nous faut deux nombres : l'abscisse et l'ordonnée pour positionner un point de cette image. Les capacités des mémoires étant limitées tout comme l'aptitude des capteurs d'images à dissocier deux points très proches, le nombre de points d'une image numérique sera également limité, ce qui correspond à un échantillonnage spatial de l'image qui va conduire à une certaine finesse de l'image qu'on appelle « **définition de l'image** » (parfois appelée « résolution ») .

Il existe plusieurs façons d'aborder cette finesse de l'image : l'une en ne s'intéressant finalement qu'au nombre de points échantillonnés d'une image chaque point formant ce qu'on appelle un **pixel** (cf. anglais « picture elements » ) et qui va conduire à la **définition de l'image**, l'autre en prenant compte également de la taille de sa représentation c'est à dire en comptant le nombre de pixels par unité de longueur (l'unité usuelle est le pouce valant 2.54 centimètres <sup>2</sup>) qu'on nomme **résolution de l'image**. On trouve ainsi, par exemple, des images ou écrans ayant une résolution de 300dpi.

Le quotient largeur sur hauteur d'une image s'appelle le **format** (ou ratio) ainsi une télévision moderne est le plus souvent au format seize neuvième :  $\frac{16}{9}$  alors que les écrans informatiques, comme les tubes cathodiques des anciens téléviseurs, sont au format  $\frac{4}{3}$  (la racine carré du format précédent !).

### **Et si on faisait un peu de maths ?**

Le pouvoir séparateur de l'œil étant d'environ un soixantième de degré (ou  $3.10^{-4}$  radian sachant que  $\pi$  radian correspond à un angle de  $180^\circ$ ), on ne pourra pas dissocier deux pixels d'un écran rectangulaire de 7 pouces de diagonale ayant une résolution dite « haute définition » (hd) de 1920 par 1080 pixels (on supposera que tous les pixels sont les carrés élémentaires d'un quadrillage à maille carrée) si l'on se situe à plus de 27 cm (il serait digne d'une appellation commerciale liée à la rétine...).

De façon plus générale, notons T (comme Taille) la longueur de la diagonale de l'image, F le format (ou ratio) de l'image,  $n_L$  le nombre de lignes de l'image alors :

<sup>1</sup> Eh oui il existe aujourd'hui de plus en plus d'images en trois dimensions spatiales... mais ça sera pour une prochaine fois...

<sup>2</sup> Mesurez la largeur de votre pouce et vous saurez si vous êtes un petit poucet ou non...

- la distance au-delà de laquelle l'œil humain n'est plus capable de dissocier deux lignes est

$$L \approx \frac{T}{3.10^{-4} \cdot n_L \cdot \sqrt{1+F^2}}$$

La résolution de l'image vaut :  $r = \frac{n_L}{T} \sqrt{1+F^2}$  avec  $h = \frac{T}{\sqrt{1+F^2}}$  la hauteur de l'image.

Définitions d'écrans	VGA		XGA		QXGA		SD		HD		UHD 4K		8K	
Colonnes / lignes	640	480	1024	768	2048	1536	720	576	1920	1080	3840	2160	7680	4320

## Et le codage de la couleur dans tout ça ?

Comme cela a été précisé précédemment, l'information couleur est généralement codée à partir de trois canaux qui peuvent être un mélange additif des teintes élémentaires que sont le rouge, le vert et le bleu. La palette de couleurs atteintes par le système de restitution s'appelle le gamut. C'est ce type de codage qui est le plus répandu aujourd'hui pour les images numériques diffusées à travers l'internet.

Ainsi dans les format d'images pour le web une même couleur peut être codée de différentes façon :

### **rgb( red, green , blue)**

- chacune des variables *red*, *green* ou *blue* est un entier compris entre 0 et 255 et indique respectivement la quantité de canal rouge, vert ou bleu présent dans la synthèse additive de la couleur à afficher. La valeur 0 indique l'absence du canal et la valeur 255 sa présence au niveau maximal. Dans ce cas type de codage on dit que chaque canal peut être représenté par un nombre binaire (base deux<sup>3</sup>) à 8 chiffres (qu'on appelle octet).

### **hsl(hue, saturation, lightness [, transparency] )**

- la variable *hue* est un entier de 0 à 360 (elle se rapporte au choix d'un angle de teinte sur un diagramme circulaire des couleurs ).
- les variables *saturation* et *lightness* sont des entiers de 0 à 100 suivis du symbole % (ils représentent un certain pourcentage de saturation ou de luminosité de la couleur).

On peut adjoindre une quatrième valeur appelée canal alpha, au codage rgb ou hsl, elle permet d'indiquer la transparence éventuelle de cette couleur liée à un objet, cette valeur peut être un entier de 0 à 100 suivit du symbole % ( 0 : l'objet est opaque, 100 l'objet est totalement transparent ) ou un nombre décimal compris entre 0 et 1.

Ainsi deux grandeurs importantes permettent de caractériser une image :

- Une grandeur spatiale : taille de l'image et résolution, on parle aussi d'échantillonnage spatial.
- Une grandeur colorimétrique et photométrique : chaque pixel se voit attribuer des valeurs numériques lié à un espace colorimétrique, on parle aussi de quantification colorimétrique.

<sup>3</sup> Ainsi chacun des chiffres représentant le nombre n'a que deux valeurs possibles : 0 ou 1. On peut aussi utiliser une base 16 (hexadécimale) où chaque chiffre hexadécimal peut être associé à 4 chiffres binaires (codage par quartet).

## Deux types d'images numériques sont présentes sur le web :

- ➔ **L'image matricielle** : Le capteur (image sensor) produit directement cette image généralement comme la superposition de trois grilles : une pour chaque canal contenant dans chaque case la valeur du canal du pixel considéré. Le nombre de cases dans une grille correspond à la définition de l'image<sup>4</sup>. Sans compression ce format est très gourmand en capacité mémoire pour l'exemple une image hd (1920x1080) occupera un espace de près de 6 millions d'octets (en admettant que chaque canal couleur peut être codé sur un octet). Les formats d'images les plus répandus sont le format bitmap : bmp (image non compressée issue d'une impression d'écran par exemple), les formats compressés : jpeg, gif, png... Pour faire apparaître la grille de quantification spatiale d'une telle image il suffit généralement d'effectuer un zoom suffisamment puissant.
- ➔ **L'image vectorielle** : cette image se présente comme un code ou programme qu'il est nécessaire d'interpréter pour la reconstruire. Elle est constituée d'entités élémentaires comme des points, des formes géométriques simples, des chemins, des motifs, des éventuelles commandes d'animation etc... A priori bien moins volumineuse que l'image précédente elle permet d'optimiser sa représentation pour le système de restitution en adaptant sa résolution à celui-ci. On peut effectuer des zooms sans aucune perte apparente de netteté puisque l'image sera recalculée pour être adaptée à la résolution du système de restitution. Les formats d'images les plus répandus sont les formats propriétaires d'outils de dessin vectoriel et le format svg (scalable vector graphics).

## Le repère des images numériques (2D):

Conformément au modèle de lecture : avec pour sens de lecture de la gauche vers la droite et du haut vers le bas, le positionnement de pixels ou d'objets à l'intérieur d'une image numérique suit le repère orthonormé indirect suivant gradué en coordonnées entières :



m correspond à la résolution  
horizontale

n correspond à la résolution  
verticale

## Bibliographie :

- [1] **Robert Sève** : *Physique de la couleur de l'apparence colorée à la technique colorimétrique*. Physique fondamentale et appliquée Masson 1996
- [2] **Alain Trémeau, Christine Fernandez-Maloigne, Pierre Bonton** : *Image numérique couleur de l'acquisition au traitement*. Sciences Sup Dunod
- [3] **René Bouillot** : *Cours de photographie numérique, principes acquisition et stockage*. Dunod. 2003

<sup>4</sup> On supposera ici que chaque canal est échantillonné de la même façon, ce qui n'est pas toujours le cas suivant le type codage de l'information couleur (cf. codage YCrCb d'images issues de flux vidéo, norme 4:2:2...)