

Licence, département Informatique, CNAM  
Multimédia & interaction humain-machine (2004-5)

# L'image fixe (1)

*P. Cubaud <cubaud@cnam.fr>*

- 1. La lumière, la couleur**
- 2. Acquisition et traitement**
- 3. Transport, compression**
- 4. Synthèse**

**Manquent : l'analyse, les techniques mixtes...**

# Bibliographie minimaliste



## INTRODUCTION AU TRAITEMENT D'IMAGES

Diane Lingrand

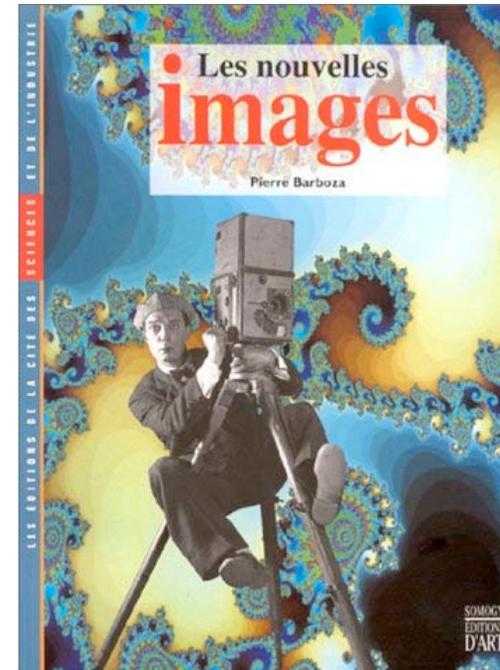


Vuibert

D. LINGRAND



R.MALGOUYRES



P. BARBOZA

+ techniques  
de l'ingénieur

# **1.La lumière, la couleur**

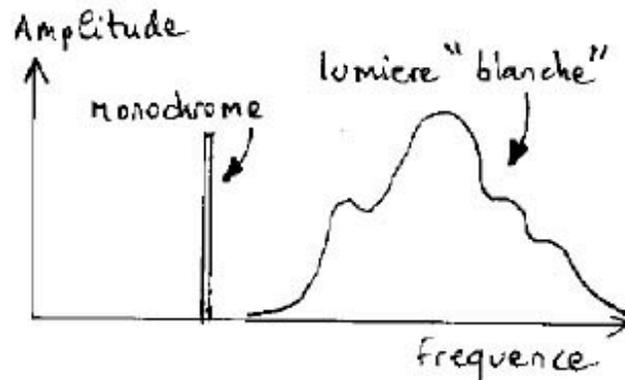
# Un peu de physique...

- Couleur des corps diffusifs : 3 paramètres

- Le spectre de la lumière qu'il reçoit
- Les propriétés d'absorption du corps
- Les propriétés de perception de l'oeil

- Source lumineuse

- Spectre d'émission :



- Source ponctuelle ou non => cohérence spatiale

- Interaction lumière / objet

- une partie de la puissance lumineuse reçue est absorbée par l'objet et convertie en chaleur

- une partie est réfléchie par la surface

- le reste est transmis à l'intérieur de l'objet (réfraction)

- Lumière ambiante : produit des multiples réflexions dans la scène

- Deux types de réflexion :

Diffuse : La surface de l'objet "réagit". La lumière est ré-émise dans toutes les directions. Sa couleur est affectée.

Spéculaire : La surface de l'objet ne "réagit" pas. La lumière est ré-émise selon l'angle d'incidence. Sa couleur n'est pas affectée.

Les 2 composantes sont toujours plus ou moins présentes (exemple : papier  $\neq$  aluminium)

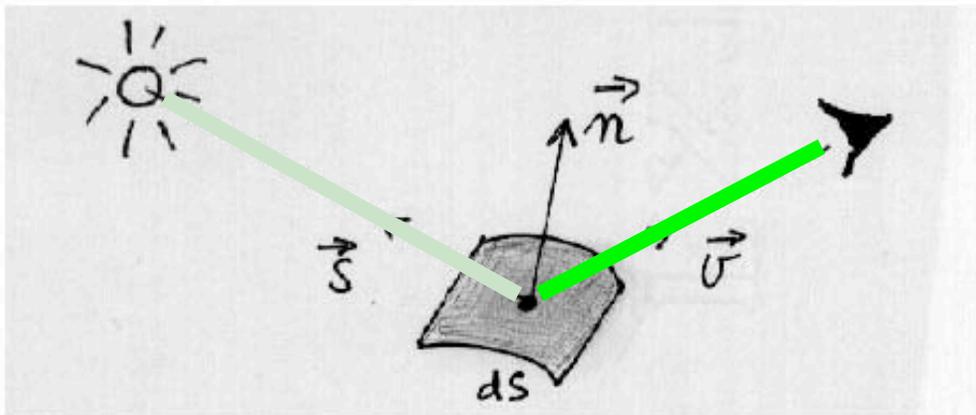
- Loi de Lambert pour la réflexion diffuse

$I_{diff}$  = Intensité réfléchie

$I_p$  = Intensité de la source ponctuelle

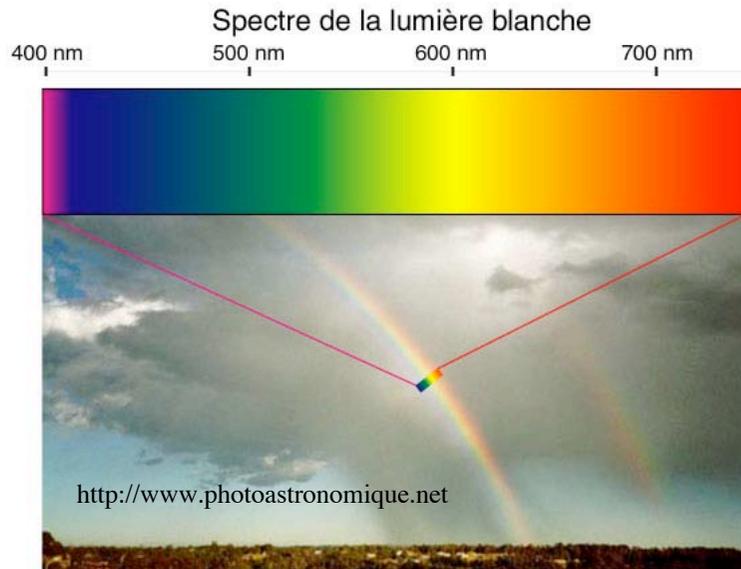
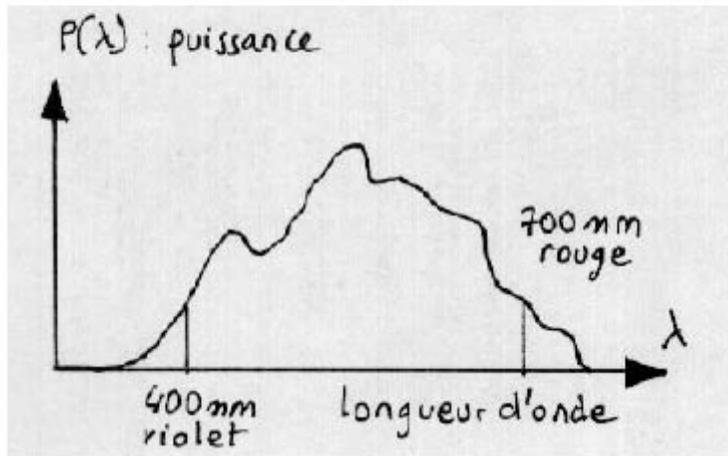
$K_d$  = coefficient de réflexion diffuse du matériau

$$I_{diff} = I_p K_d (\vec{n} \cdot \vec{s}) = I_p K_d \cos \theta$$

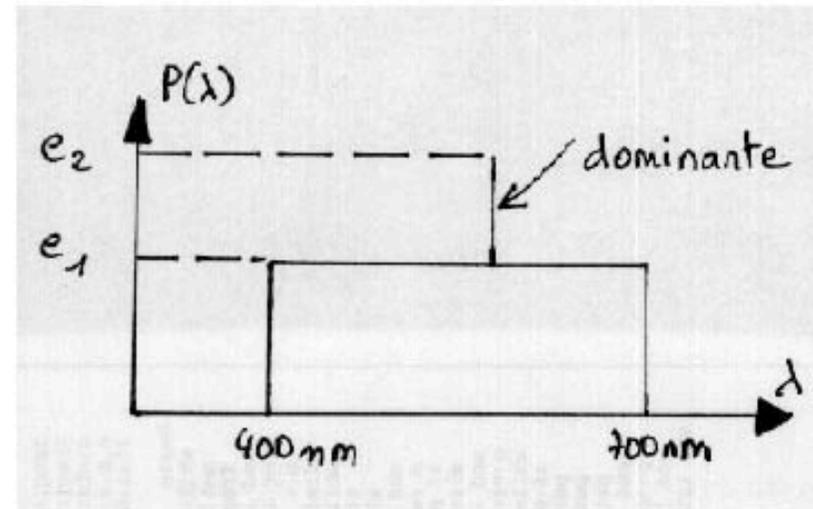


# La couleur

- Spectre d'une lumière colorée :



- Un modèle simple : 3 paramètres



- Longueur d'onde dominante => défini la teinte ("hue") de la couleur
- Degré de pureté =  $(e_2 - e_1) / e_2 * 100\%$  => si 0% : lumière blanche, si 100% : lumière monochrome
- Facteur de clarté = surface du spectre =  $f(e_1, e_2)$  => puissance lumineuse totale ("luminance", "énergie", "intensité", ...)

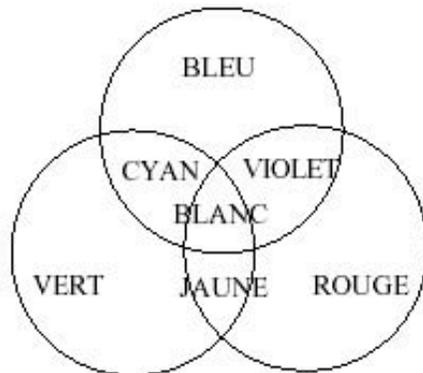
# Synthèse des couleurs

On ne dispose pas en pratique de "générateur" de lumière colorée arbitraire basé sur le modèle précédent ( $\neq$  son)

=> Recours au "mélange" de couleurs simples.

=> Trois couleurs de base suffisent (Young + Helmholtz)

- Synthèse additive (projectionniste, moniteur)

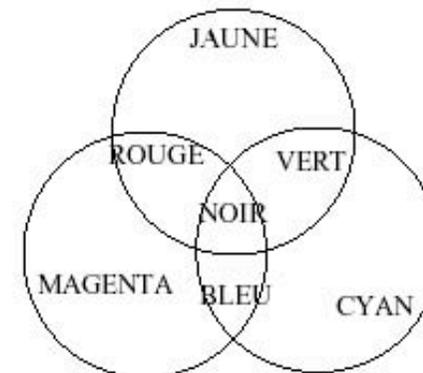


Remarque :

violet  $\neq$  pourpre  $\neq$  magenta

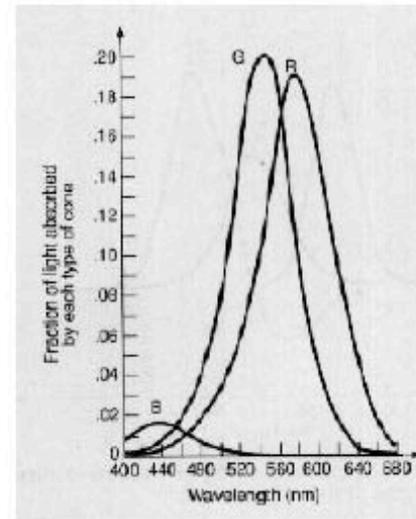
cyan = bleu-vert

- Synthèse soustractive (peintre, jet d'encre)



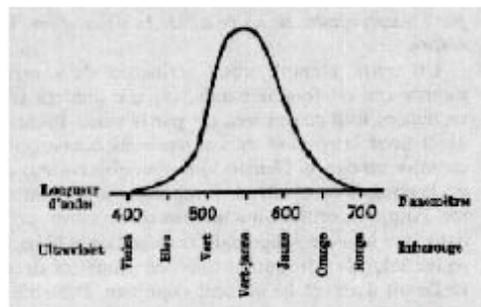
# La perception des couleurs

- 3 types de "capteurs" dans la rétine (cônes)
  - Sensibilité très inégale selon la fréquence
  - Très variable d'un individu à l'autre
  - Le maximum correspond à la lumière émise par le soleil

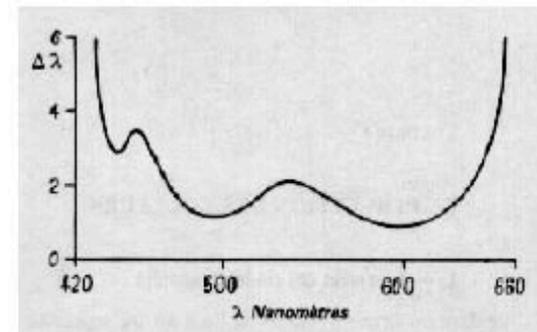


[FOLEY] p. 577

- Différentiation des couleurs



[DERIBERE] p. 5



[DERIBERE] p. 58

Env. 128 teintes différentiables. Moins que pour la clarté.

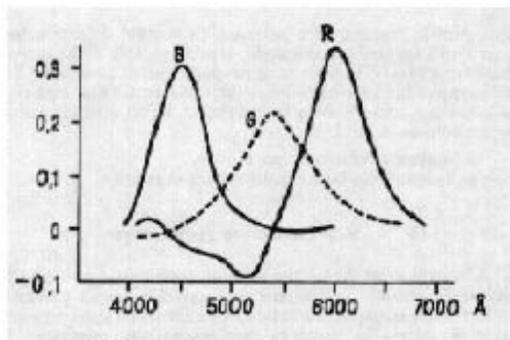
# Le diagramme CIE

Norme internationale pour la description des couleurs (Commission Internationale de l'Eclairage 1931)

- 3 couleurs primaires :

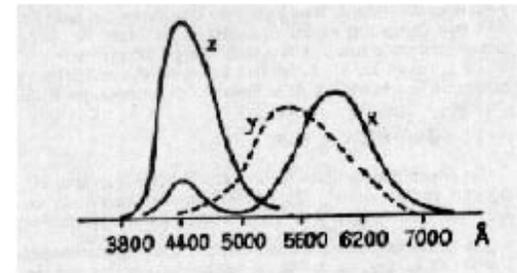
Rouge 700 nm    Vert 546,1 nm    Bleu 435,8 nm

- Une teinte quelconque est obtenue par dosage de ces 3 primitives :



[DERIBERE] p. 100

- Changement de base pour éviter les poids négatifs



[DERIBERE] p. 102

$$x = 2,7689r + 0,38159g + 18.801b$$

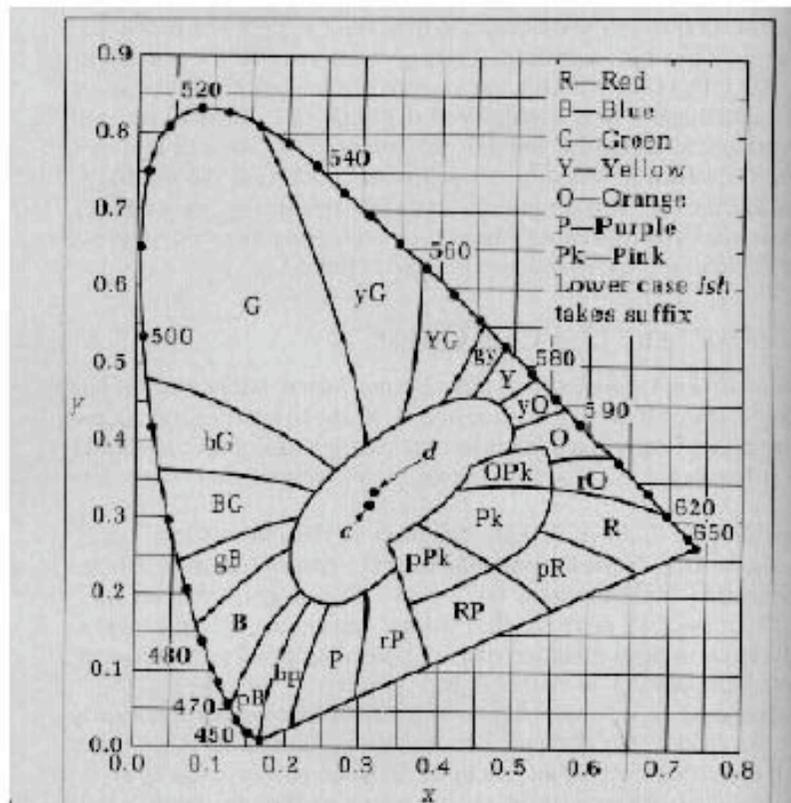
$$y = r + g + b$$

$$z = 0,01237g + 93.060b$$

<http://www.cie.co.at/cie/>

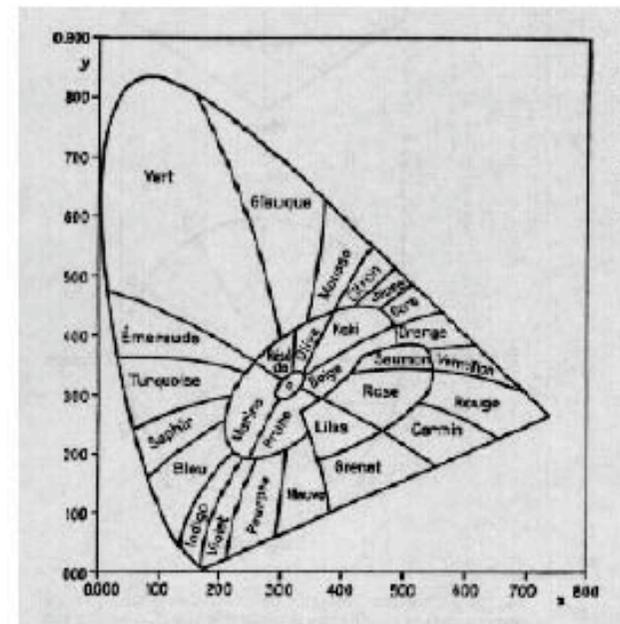
- On peut résumer en une courbe en 2D :

$$x + y + z = 1 \Rightarrow z = 1 - x - y$$

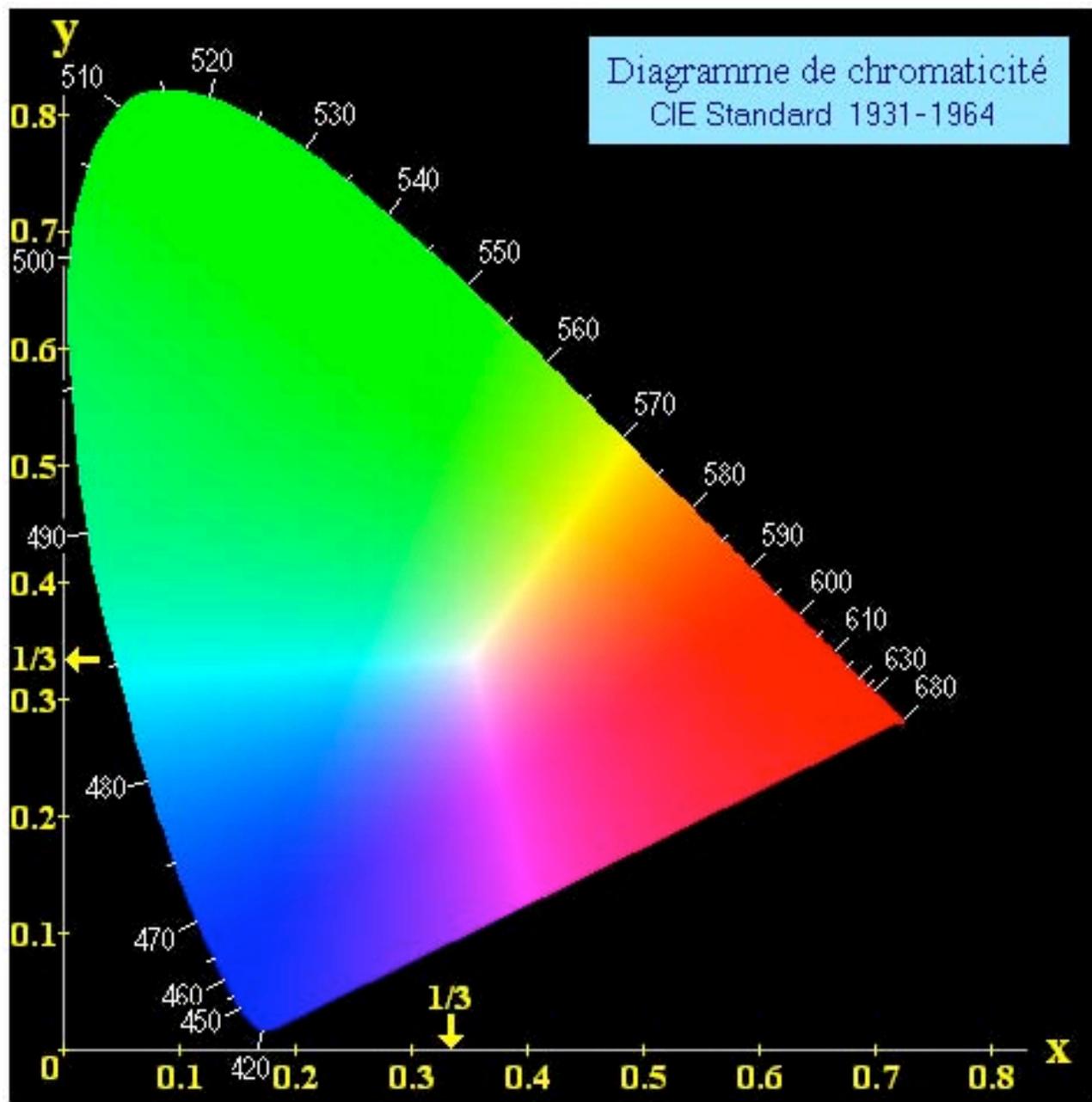


[HILL] p. 572

- Désignation des couleurs en minuscule "-âtre" ou "-ish"  
 yG = yellow-ish, green  
 = jV = jaunâtre-vert = Glauque

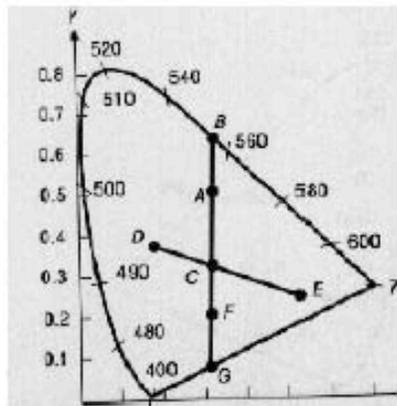


[DERIBERE] p. 111



# Utilisation du diagramme CIE

- Pour la couleur A donnée, on obtient x et y par un colorimètre



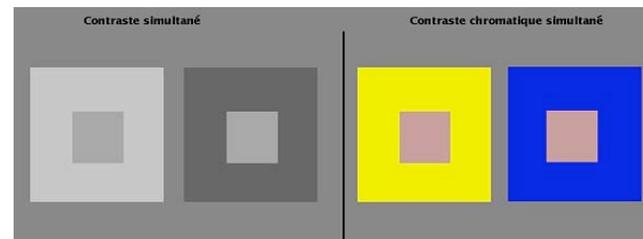
[FOLEY] p. 582

- La longueur d'onde dominante de A est B, obtenue en prolongeant CA vers la courbe
- La pureté de A est le rapport de CA sur CB

- Les couleurs D et E sont complémentaires (leur mélange produit du blanc)

- La dominante de F n'est pas définie (G) : pour synthétiser F, il faut partir d'une lumière blanche, et lui ôter la complémentaire de G (B)

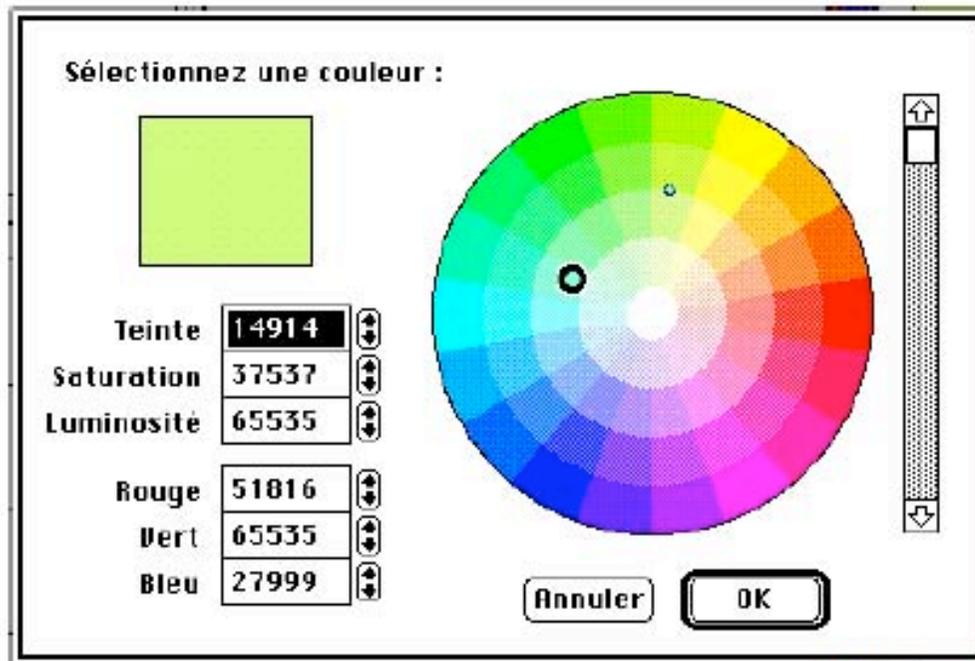
RQUE : le diagramme CIE de 1931 ne tient pas compte des perceptions de contraste (nouvelle norme en 1976)



=> CIE LAB



- La "roue" sur Macintosh



- Conversion en RGB

données : H, S, V : réels  
 résultats : R, G, B : réels

début

```

si S = 0 alors R :=V; G:=V; B:=V;
sinon
    H:=H/60; I:=floor(H); F:=H-I;
    P:=V*(1-S);
    Q:=v*(1-S*F);
    T:=v*(1-(S*(1-F)));
    selon I faire
        0 : R:=V; G:=T; B:=P;
        1 : R:=Q; G:=V; B:=P;
        2 : R:=P; G:=V; B:=T;
        3 : R:=P; G:=Q; B:=V;
        4 : R:=T; G:=P; B:=V;
        5 : R:=V; G:=P; B:=Q;
    fin selon
fin si
fin
    
```

# Le gamut

- Les appareils de visualisation (moniteur, imprimantes, films) ont des couleurs primaires a priori différentes
- Le "blanc" correspondant est donc différent. Parfois réglable :

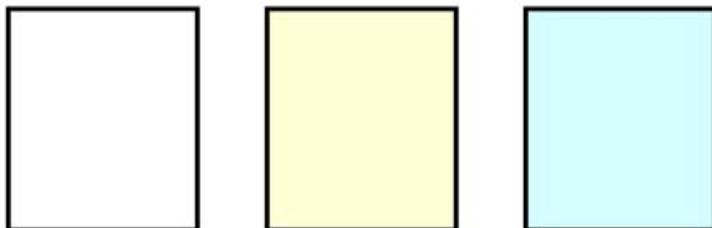
Exemple : écran Macintosh 17" trinitron

9300K => blanc bleuté "froid"

6500K => blanc "normal" correspondant au centre du diagramme CIE (corps noir porté à 6504K)

5000K => blanc rougeâtre "chaud"

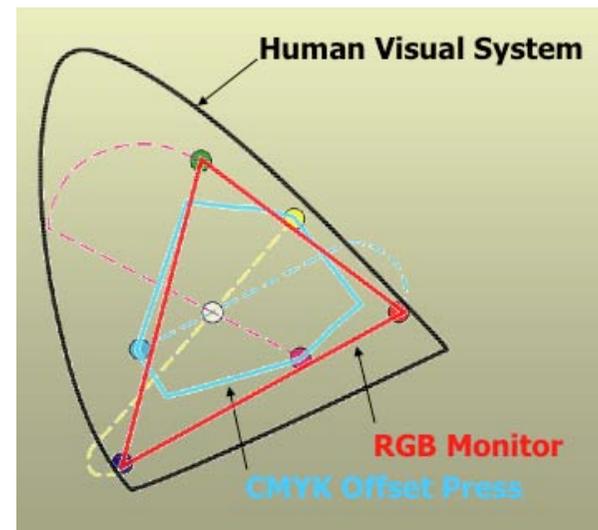
- Les coordonnées de ces trois primitives dans le diagramme CIE



définissent le gamut de l'appareil (triangle)

Devrait être fourni par le fabricant...

- Toutes les couleurs à l'intérieur du triangle peuvent être reproduites par l'appareil.
- Mais il faut faire attention quand on change d'appareil (moniteur => imprimante)



- La correction de gamma est destinée à corriger la réponse courant-lumière dans le tube-image.

Cette réponse est en effet non linéaire et de la forme :

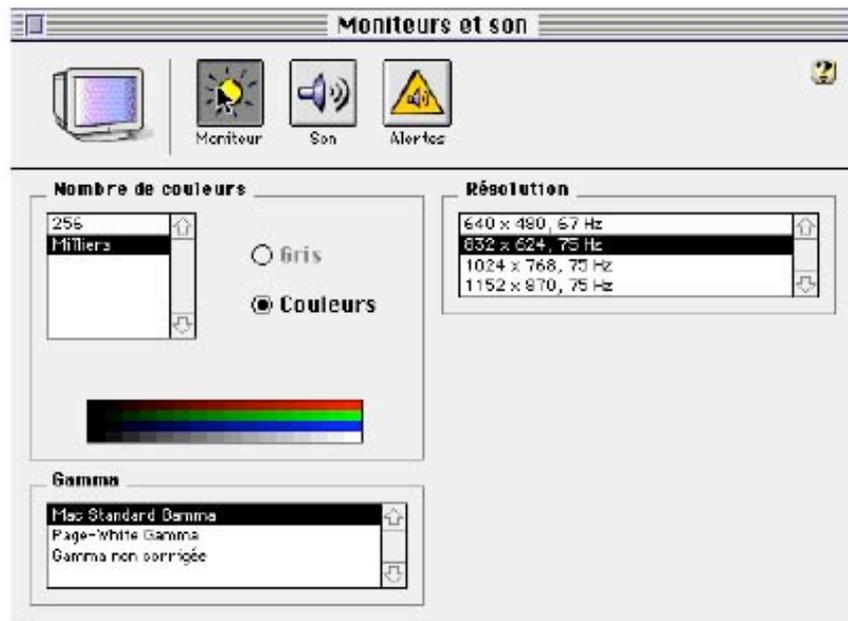
$$I_e = \gamma I_s$$

avec  $e$ , tension d'attaque du tube image,  $s$ , luminance de l'écran et  $\gamma$  varie de 1.6 à 2.8 environ.

Sans correction du gamma, une intensité moyenne (127 si codage sur 8 bits) correspondra à une tension d'attaque de 28% du maximum au lieu de 50% et l'image para

Conséquence : une image créée sur Macintosh para inversement.

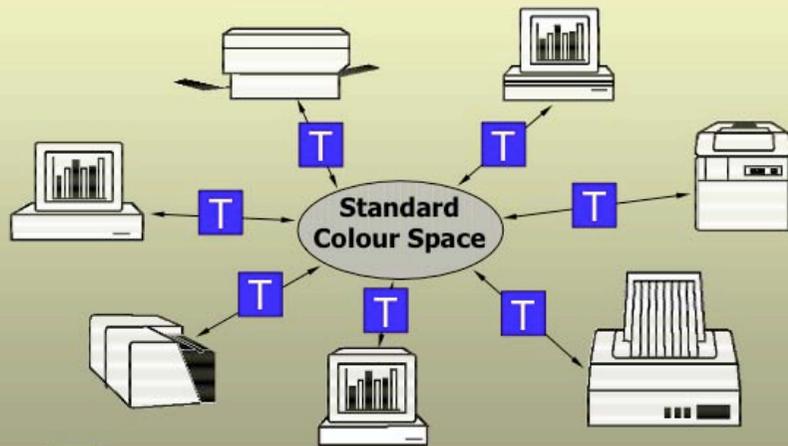
La correction gamma peut être faite par la carte vidéo (cas des Silicon Graphics) ou par la bibliothèque graphique du système (cas de MacOS). Sinon, elle doit être gérée par le logiciel qui calcule l'image (PC, par ex)



# Profils ICC (International Color Consortium)

<http://www.color.org>

## Device-independent Colour Transformation

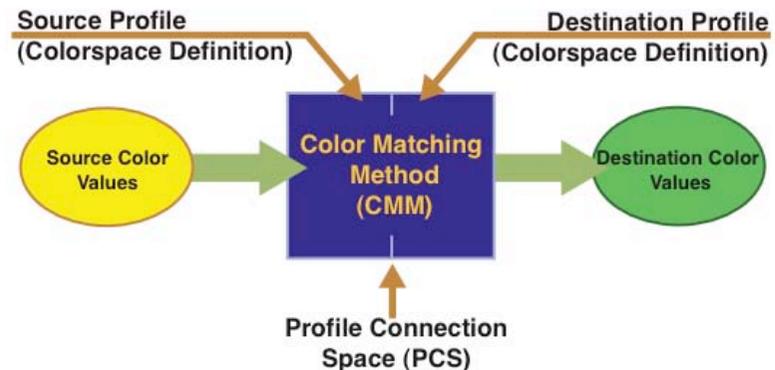


**T** = each a device-to-standard colour space transform

21

Copyright 2003 International Color Consortium

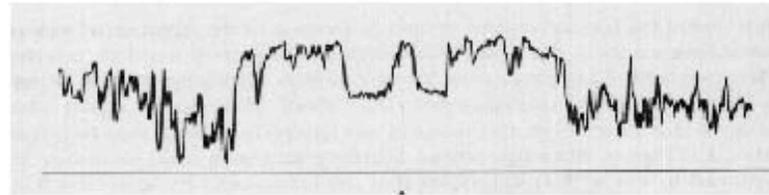
- Composite conversion “compiled”
- ICC Profiles define colorspace



## **2. Acquisiton, traitement**

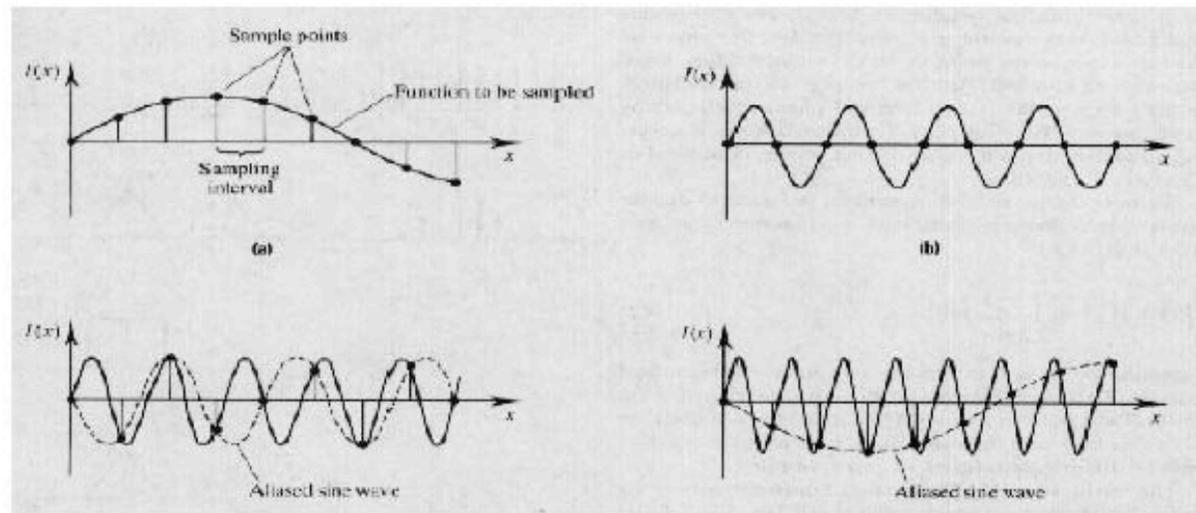
# L'échantillonnage

- Intensité =  $f(\text{coord } X, \text{ coord } Y) = \text{un signal}$



[FOLEY] p. 630

- Echantillonnage :

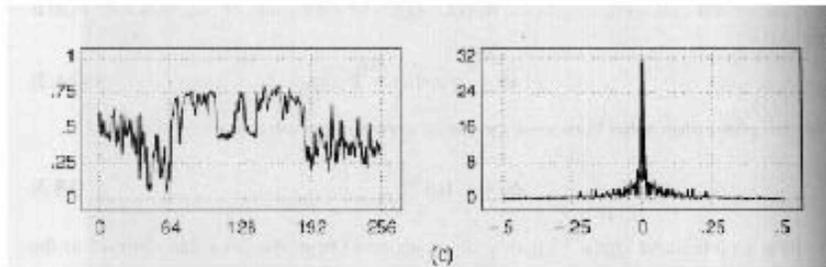


[WATT] p. 113

Un échantillonnage trop lent produit un signal très différent de l'original : un alias => Comment trouver la bonne fréquence d'échantillonnage?

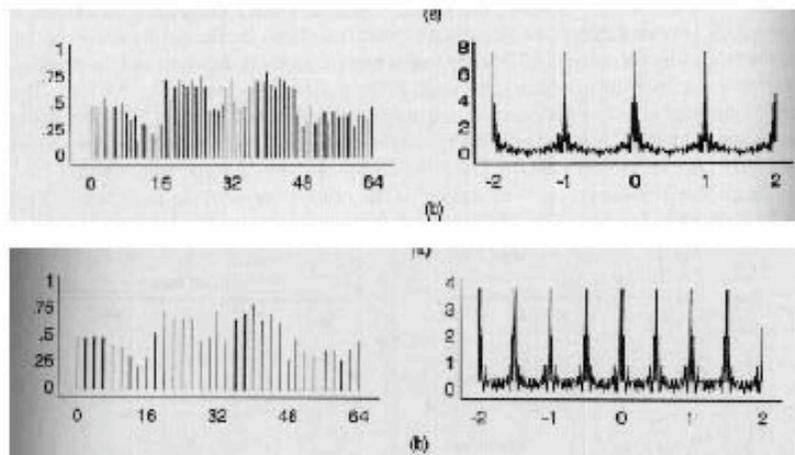
# Analyse fréquentielle

- Spectre original :



[FOLEY] p. 626

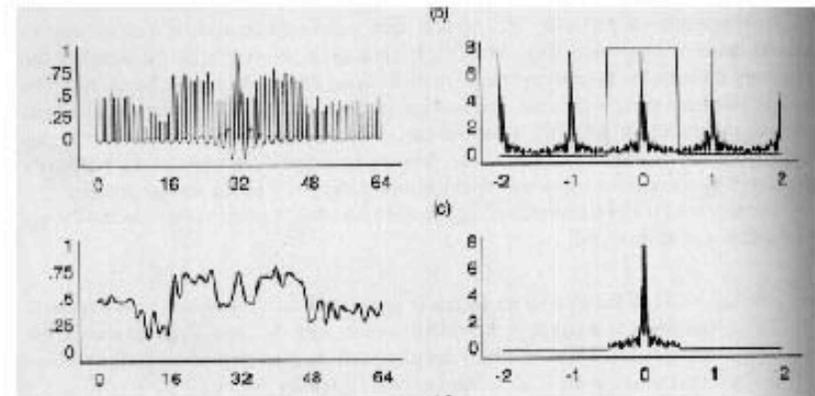
- Spectre après échantillonnage :



[FOLEY] pp. 638 et 639

=> Théorème de Nyquist :  $F_{éch} \geq 2F_c$

- Reconstruction avec filtrage des fréquences élevées :



# Aliasing (repliement de spectre)



à gauche : 300 DPI - au centre 100 DPI - à droite : le même, agrandi

# Quantification

(sur Lenna :  
[www.lenna.org](http://www.lenna.org))



1 bit/pixel



2 bits



4 bits



8 bits

En couleur :



2 bits / primitive



3 bits



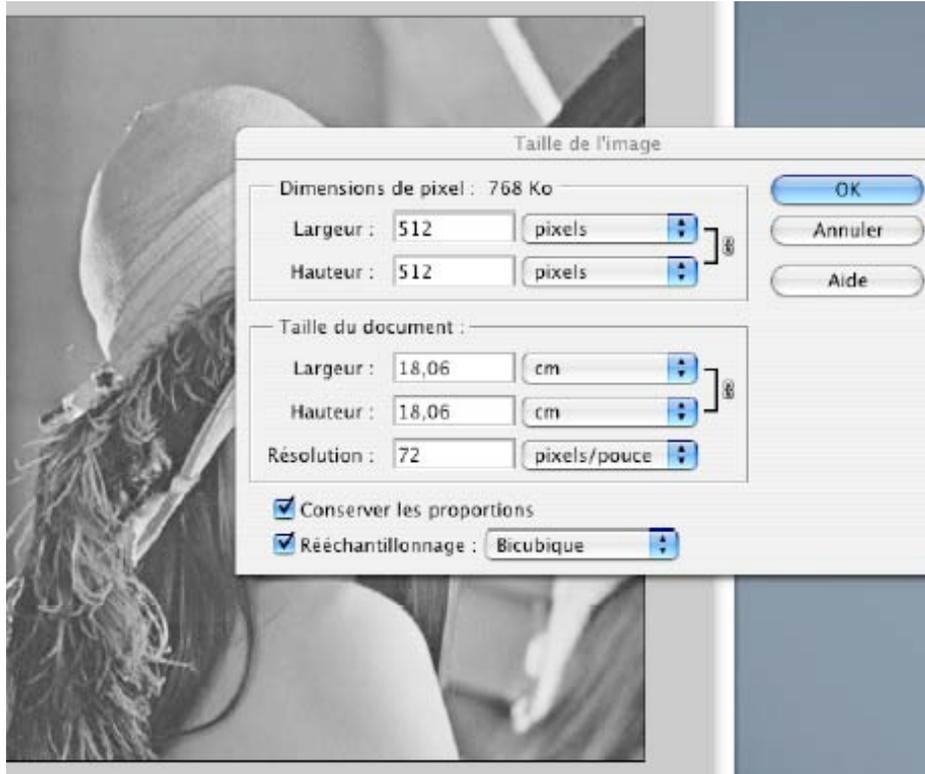
4 bits

Avec photoshop :  
image->mode->couleur indexée



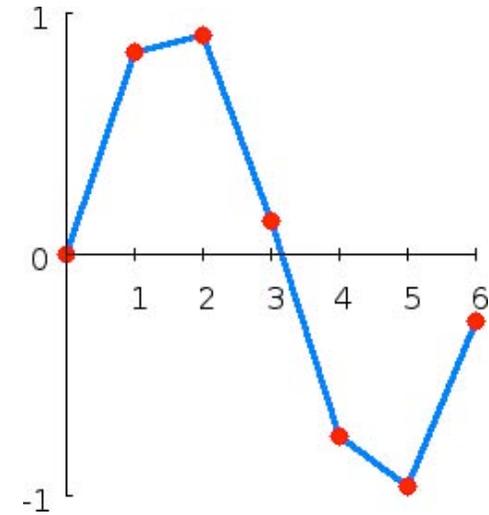
8 bits

# Ré-échantillonnage

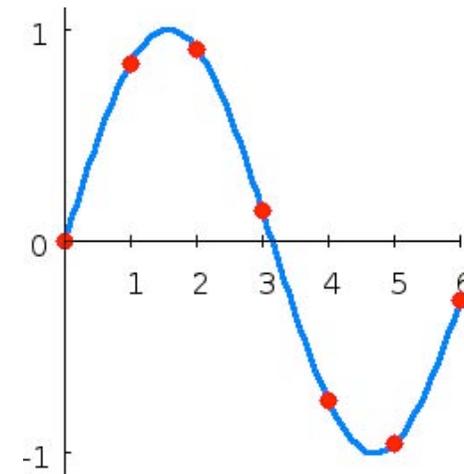


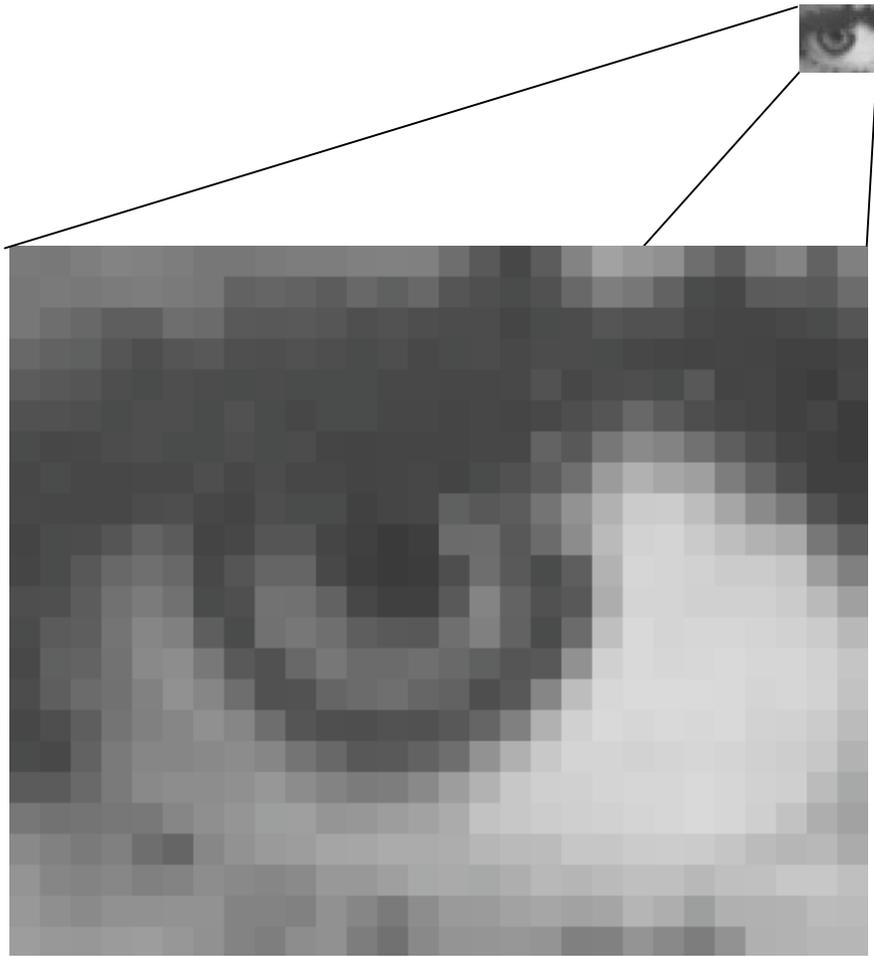
Photoshop : image->redimensionner->taille de l'image

# Interpolation :



# Linéaire vs spline





détail de l'œil de Lenna



le même, ré-échantillonné par  
Powerpoint

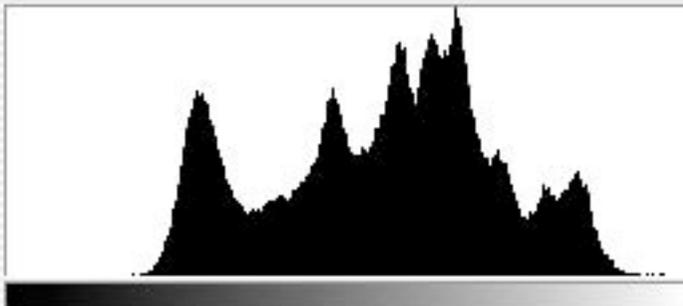
# Modifier les couleurs



Dégradé utilisé pour la correspondance des niveaux de gris



Histogramme de l'image:



Moyenne : 141,03

Ecart type : 42,64

Médiane : 147

Pixels : 262144

Niveau :

Nombre :

% plus sombre :

Niveaux : 1

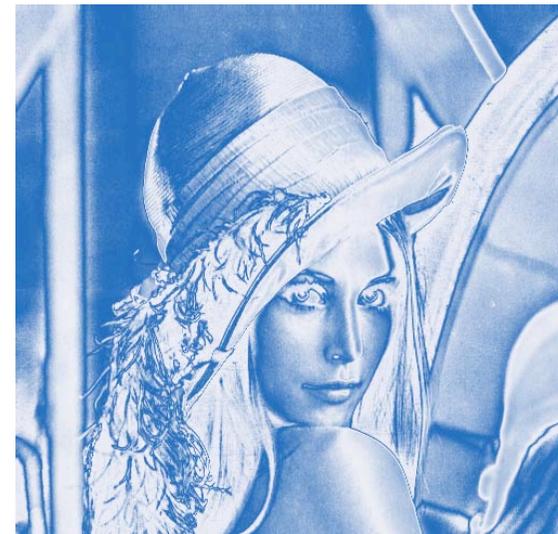
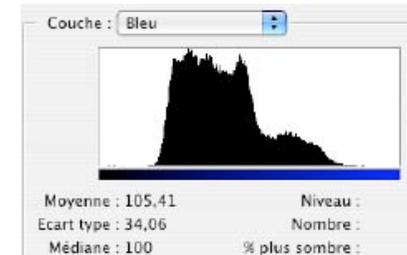
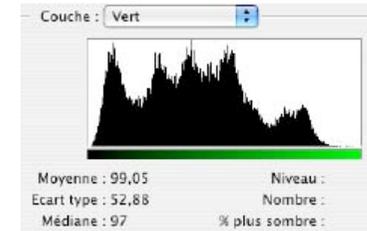
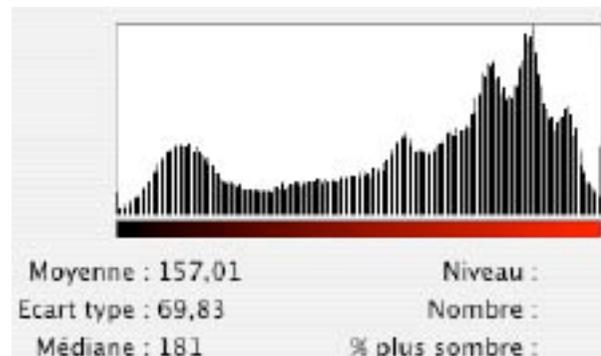


Image > Réglages > Courbe de transfert de dégradé

# Requantification : modifier l'histogramme



Photoshop :  
accentuation -> correction colorim. auto.



# Le filtrage linéaire

Photoshop :  
filtres->divers->autres

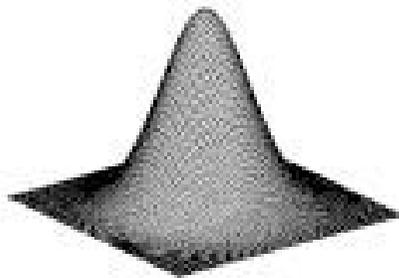


Avec le masque  $K(p,p)$ , on calcule une nouvelle image:

$$I' = I * K \Rightarrow I'(i, j) = \sum_{k=0}^p \sum_{l=0}^p I(i + k - p, j + l - p) \cdot K(k, l)$$

Lien avec la théorie du signal : opération de convolution

Ex. du lissage (flou, "blur") gaussien :



$$\begin{pmatrix} 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 7 & 26 & 41 & 26 & 7 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \end{pmatrix} \text{ ou } \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Extraction de contour :  
ex. du filtre de Sobel (1970)

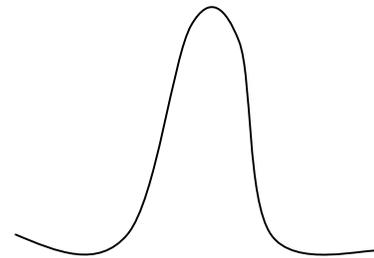
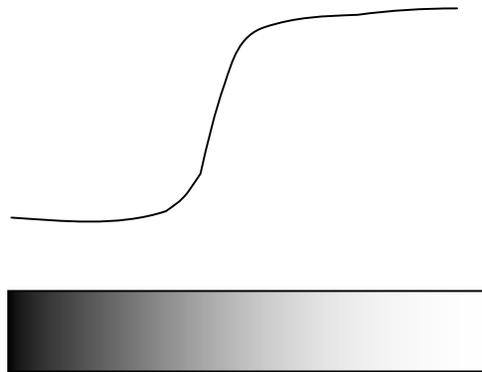


$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 2 \end{pmatrix}$$

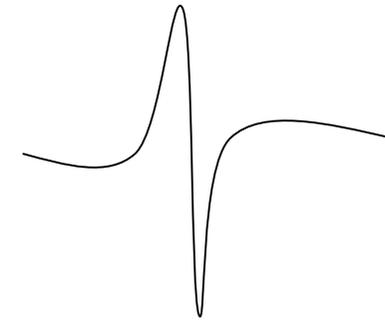


$$\begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

profil de l'image  
au contour :



dérivée 1ère



dérivée 2nde

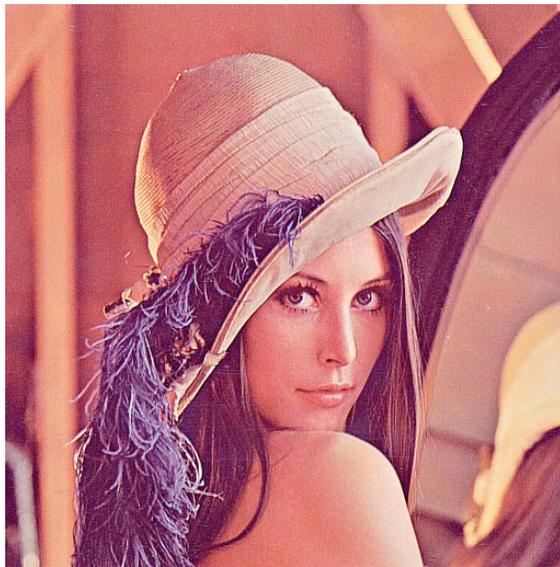
Au point de contour, le gradient est maximal :  $\nabla I = \begin{bmatrix} \frac{\partial I}{\partial x} & \frac{\partial I}{\partial y} \end{bmatrix}$

et le laplacien est nul :  $\Delta I = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} = 0$

En pratique, prise en compte du bruit dans l'image :  
filtres de Canny (1986) et Derriche (1987)



contours plus nets



photoshop : filtres->esthétique->tracé des contours



contours lumineux



courbes de  
niveaux + N&B

# **3. Transport, compression**

## **Compression sans perte** : ex. de CCITT groupe 3 (1980)

FAX : une barette de 1728 pixels (A4:204 dpi) qui scanne **en noir et blanc** le document verticalement à 100 ou 200 dpi

1 A4 =  $1728 * 1188 = 2,05 \text{ Mpix} = 2,05 \text{ Mb}$

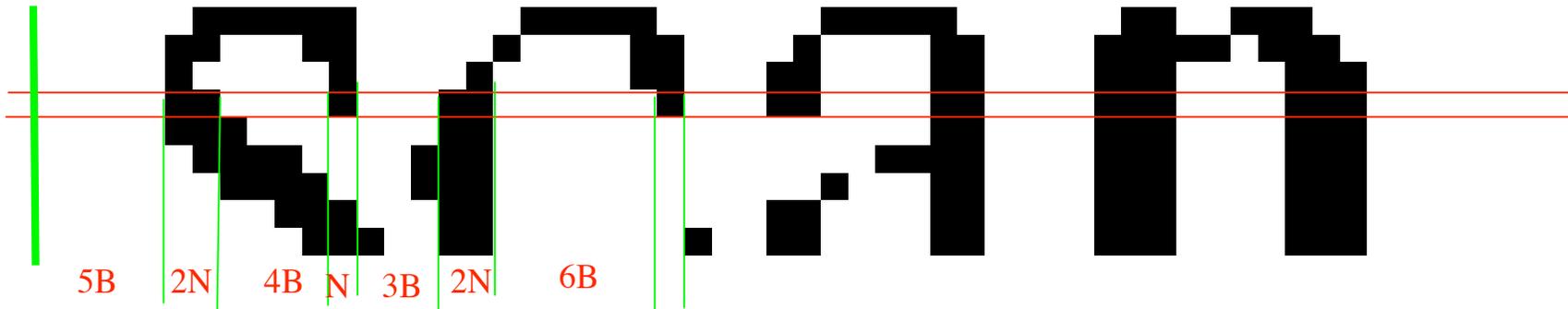
débit du FAX : 4800 b/s => temps de transmission = 7 minutes !

avec la compression, on ramène (souvent) ce temps à 1 minute

=> exploitation de la **cohérence de l'image** : entre points successifs d'une même ligne + entre 2 lignes successives

algo. limité par les contraintes sur l'appareil : petit, pas cher  
+ gestion des erreurs de transmission + décompression progressive

Parcour de la ligne de balayage ("scanline") :

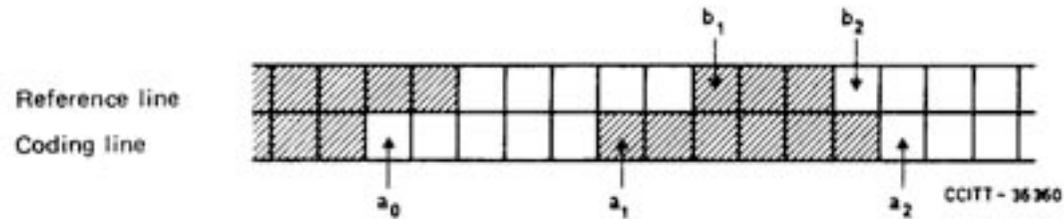


A chaque train ("run") de pixel (long  $\leq 63$ ), on associe un code d'Huffman pré-établi (de 2 à 12 bits). Pour les long trains, on donne un code spécifique.

Long. train	blanc	noir
0	00110101	0000110111
1	000111	010
2	0111	11
3	1000	10
4	1011	011
5	1100	0011
6	1110	0010

etc.

## Codage bi-dimensionnel : CCITT group 4



- $a_0$  : The reference or starting changing element on the coding line. At the start of the line  $a_0$  is set on an imaginary white changing element situated just before the first element on the line. During the coding of the coding line, the position of  $a_0$  is defined by the previous coding mode (see § 2.2.3).
- $a_1$  : The next changing element to the right of  $a_0$  on the coding line.
- $a_2$  : The next changing element to the right of  $a_1$  on the coding line.
- $b_1$  : The first changing element on the reference line to the right of  $a_0$  and of opposite colour to  $a_0$ .
- $b_2$  : The next changing element to the right of  $b_1$  on the reference line.

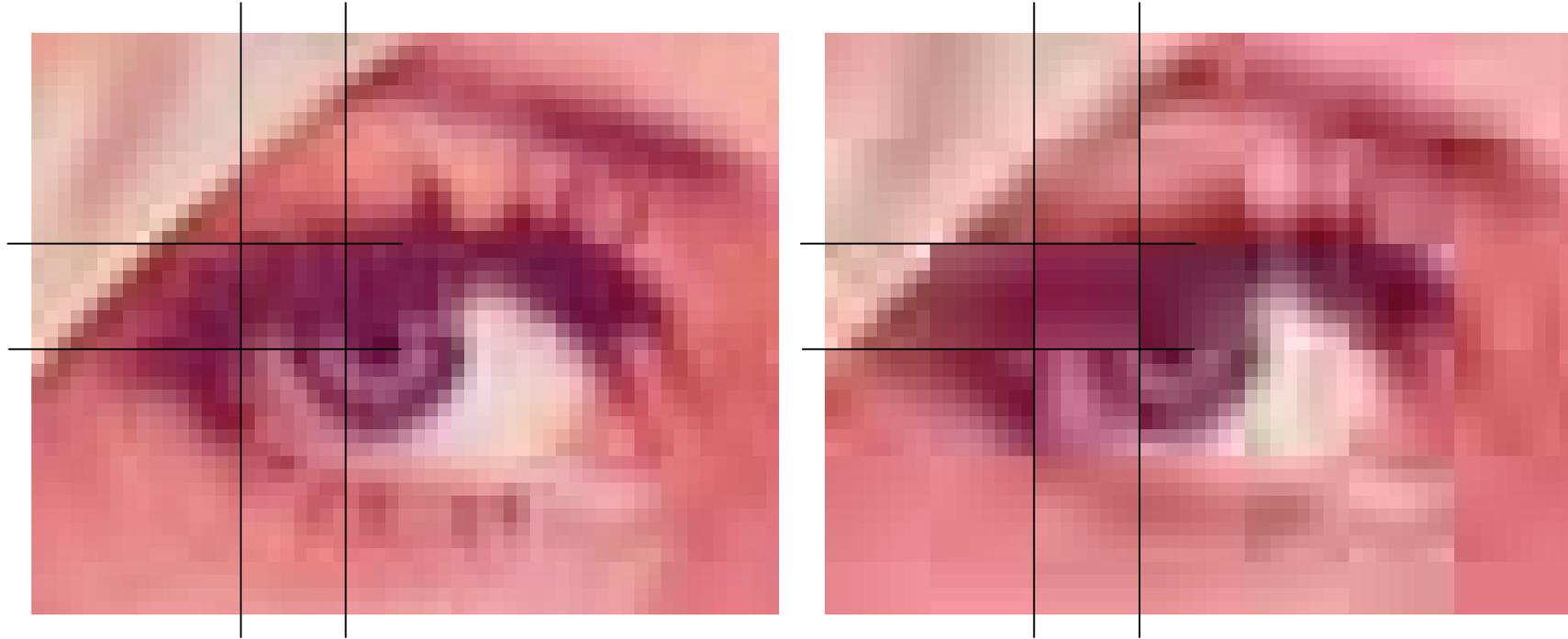
FIGURE 1/T.6

Changing picture elements

Si  $(a_1b_1) > 3$ , on passe en mode horizontal, sinon émission de codes spécifiques :

Ex :  $(a_1b_1) = 0$  : on émet un "1"

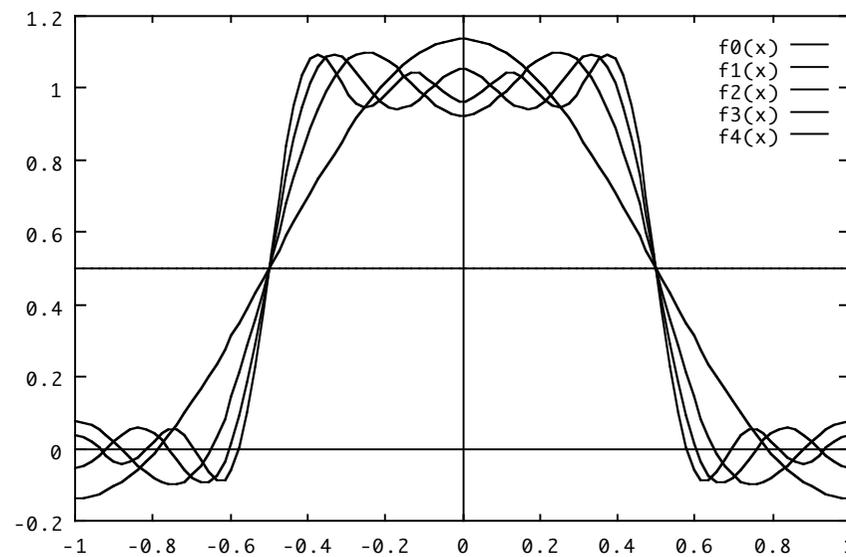
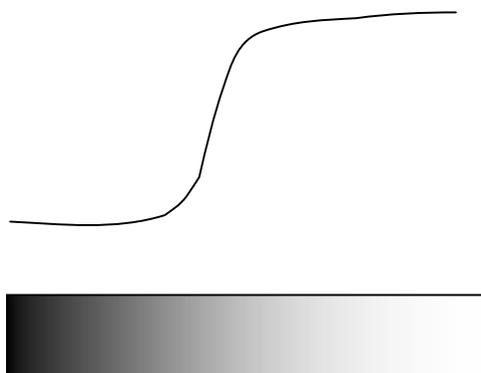
## Compression avec perte : ex. de JPEG



- Découpage de l'image en blocs de 8\*8 pixels
- Calcul de la DCT : 64 coefficients pour décrire le bloc
- Selon le taux de compression,  
on choisit de retenir les  $N \leq 64$  plus importants



profil de l'image  
au contour :



## • Le format TIFF (Tagged Image File Format)

- format initial spécifié par Aldus en 1986; évolution vers TIFF 6.0, établi en 1992 (Adobe)
- format générique de représentation d'images, de 1 à 24 bits
- intègre les méthodes de compression CCITT, JPEG et LZW
- format à la fois puissant, très flexible et extensible
- mais complexe avec des implémentations souvent incomplètes ou même erronées :

```
% /usr/local/bin/tiffinfo 4KY15.18.341.N.tif
TIFF Directory at offset 0x2d54
Image Width: 2772 Image Length: 4235
Resolution: 96, 96
Compression Scheme: CCITT Group 4
Orientation: row 0 top, col 0 lhs
Planar Configuration: single image plane
```

```
% /usr/local/bin/tiffinfo 8PY9.1/0178.W328
TIFF Directory at offset 0x8
Subfile Type: (0 = 0x0)
Image Width: 6592 Image Length: 4672
Resolution: 400, 400 pixels/inch
Bits/Sample: 1
Compression Scheme: CCITT Group 4
Photometric Interpretation: min-is-white
Thresholding: 64 (0x40)
FillOrder: msb-to-lsb
Date & Time: "1998:11:17 13:16:23"
Software: "PMCompress version 3.00"
Samples/Pixel: 1
Rows/Strip: 4672
Planar Configuration: single image plane
```

Doc et APIs : <http://www.libtiff.org>

Spec. de TIFF 6.0 : <http://partners.adobe.com/asn/developer/pdfs/tn/TIFF6.pdf>

- Le format GIF

- standard de fait développé par CompuServe Inc. pour la transmission d'images binaires, monochromes (4, 8, 16, 32, 64, 256 niveaux de gris) ou de fausses couleurs (max. 256 couleurs)
- incorpore la méthode de compression LZW (Lempel-Ziv-Welch)

### Compression LZW :

- algorithme général de compression utilisant un dictionnaire d'encodage construit dynamiquement
- le principe consiste à remplacer des séquences de codes identiques par un code unique
- le dictionnaire ne doit pas être conservé; il peut être régénéré au décodage
- l'algorithme est protégé par un brevet (Unisys) : le codage/décodage est libre, mais le développement d'un logiciel utilisant la technique est soumis aux droits d'auteurs.

- **A noter** : le parcours de l'image se fait en ligne donc la compression dépend de l'orientation de l'image.

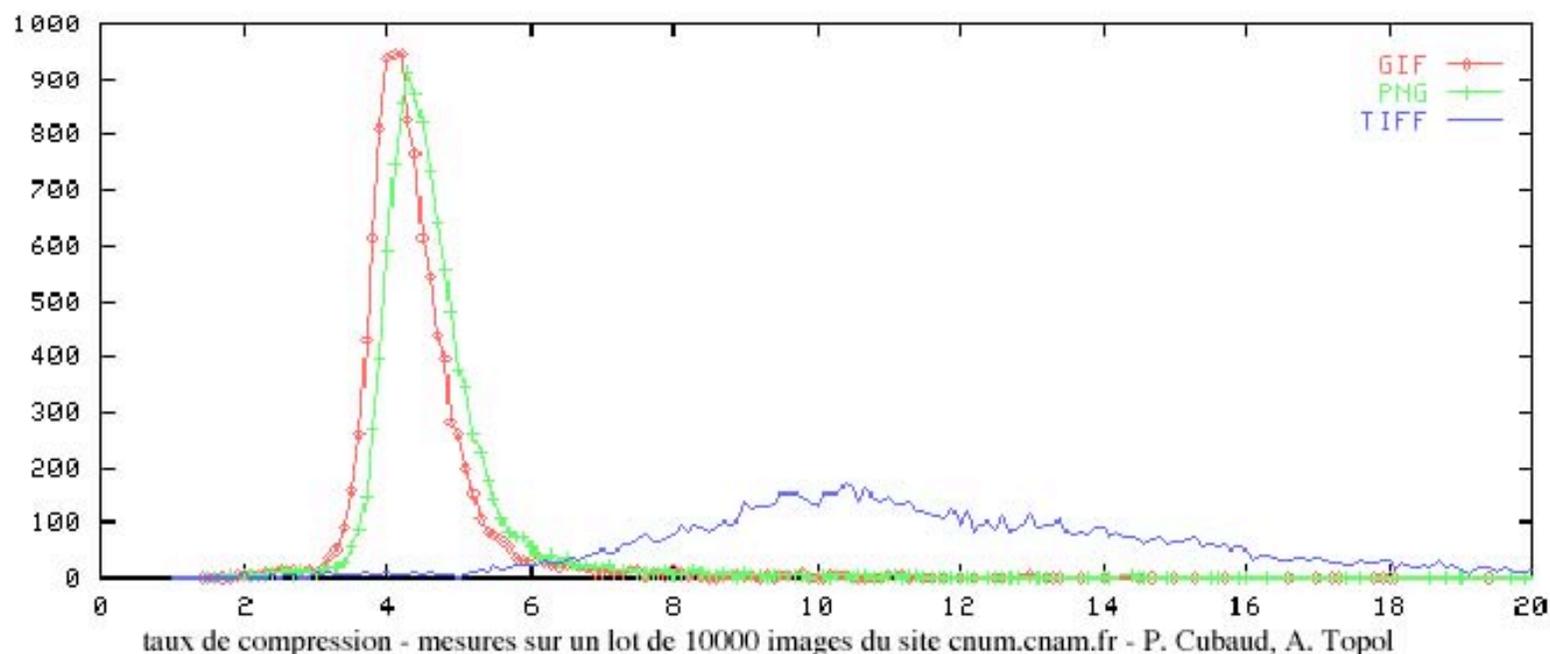
- Exemple d'une image GIF avant/après rotation de 90° :



1385 octets                      3956 octets

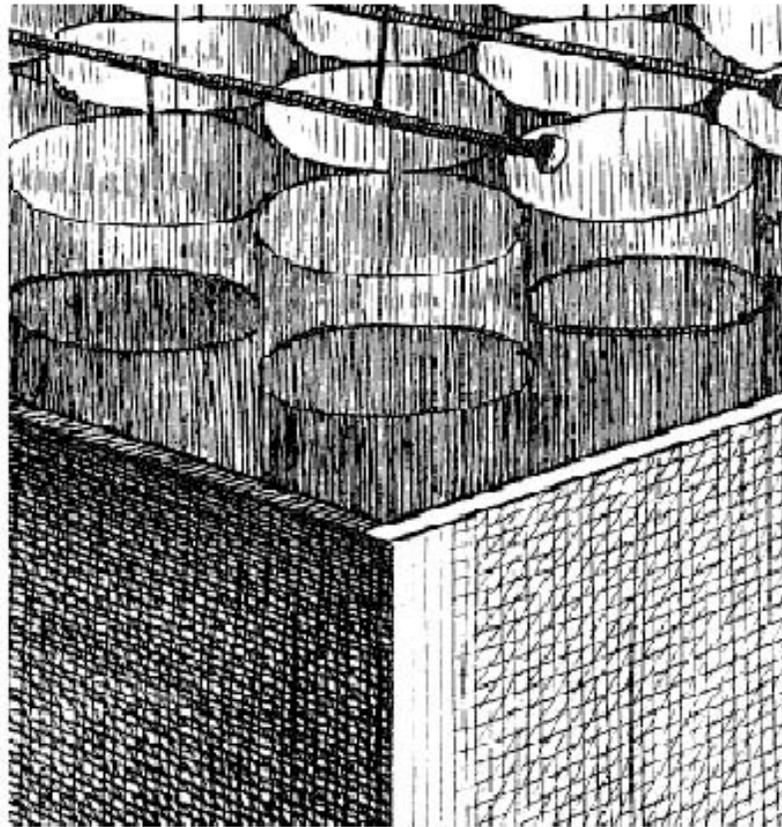
## • Le format PNG (Portable Network Graphics)

- format créé récemment pour répondre aux besoins du web (soutenu par le W3C)
- il fonctionne avec tous les types d'images:
  - images à niveaux de gris (uniquement 4, 16, 32, 64, 256 niveaux)
  - images en couleurs indexées et en vraies couleurs (24 bits max)
- il permet d'inclure des corrections de couleurs (gamma) dépendantes de la plateforme du navigateur.
- « il donne de meilleurs résultats que la compression LZW ; il est destiné à remplacer GIF »



Toutes les infos : <http://www.libpng.org>

- Aucun de ces formats n'est complètement adapté au texte illustré !



A gauche : extrait du site CNUM (12SAR6.3) - A droite : texte du Tartufe de Molière encodé en PPM

A étudier : les techniques de compression JBIG et JBIG2, le codage MRC (mixed raster content)