

Cours d'infographie

1er/2ème Master Sci. Informatiques

1er/2ème Master Ing. Informaticiens

3ème Bac. Architectes



Eric Béchet (it's me !)

- Études d'ingénieur à Nancy (Fr.)
- Doctorat à Montréal (Can.)
- Carrière académique à Nantes puis Metz (Fr.)
Puis Liège...

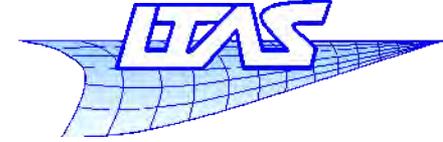
Frédéric Duboeuf / Geoffrey Virlez

- Mandat d'assistant à l'ULg

Site web du cours

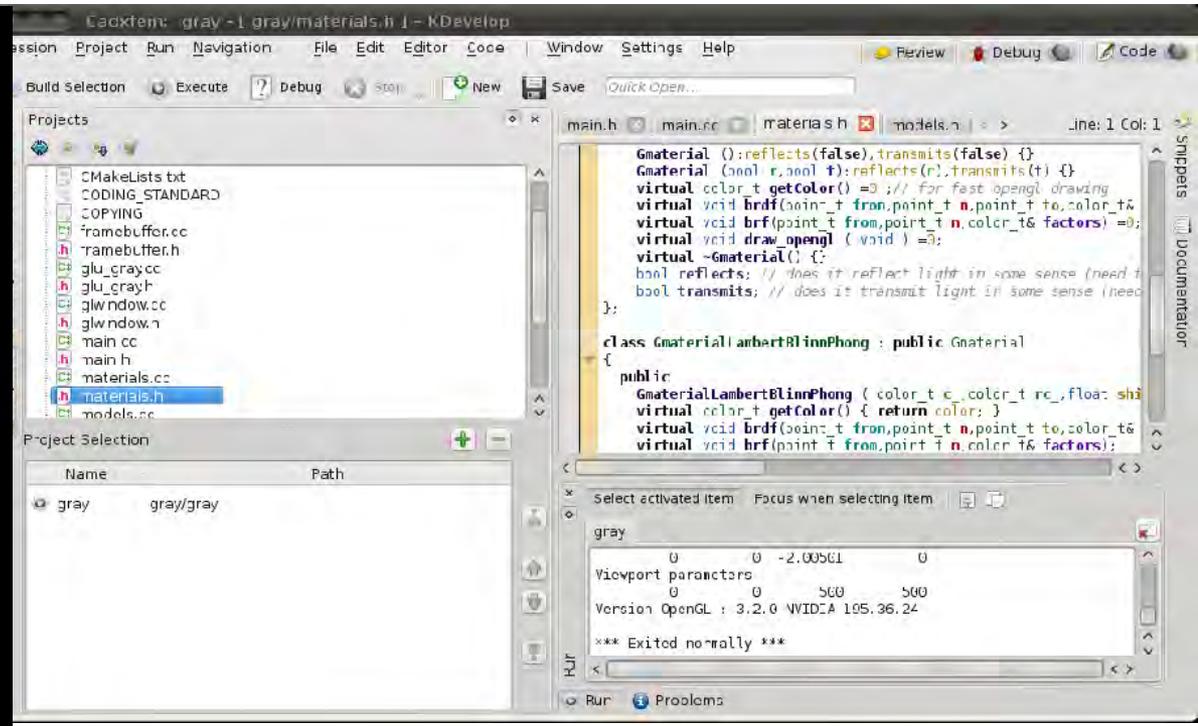
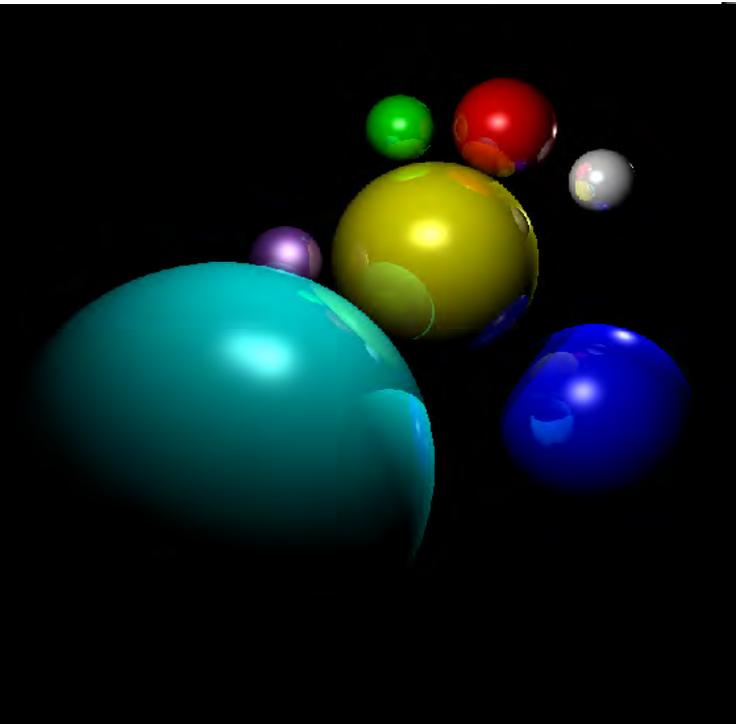
`http://www.cgeo.ulg.ac.be/infographie`

**Contacts : `eric.bechet@ulg.ac.be`
`fduboeuf@ulg.ac.be`**



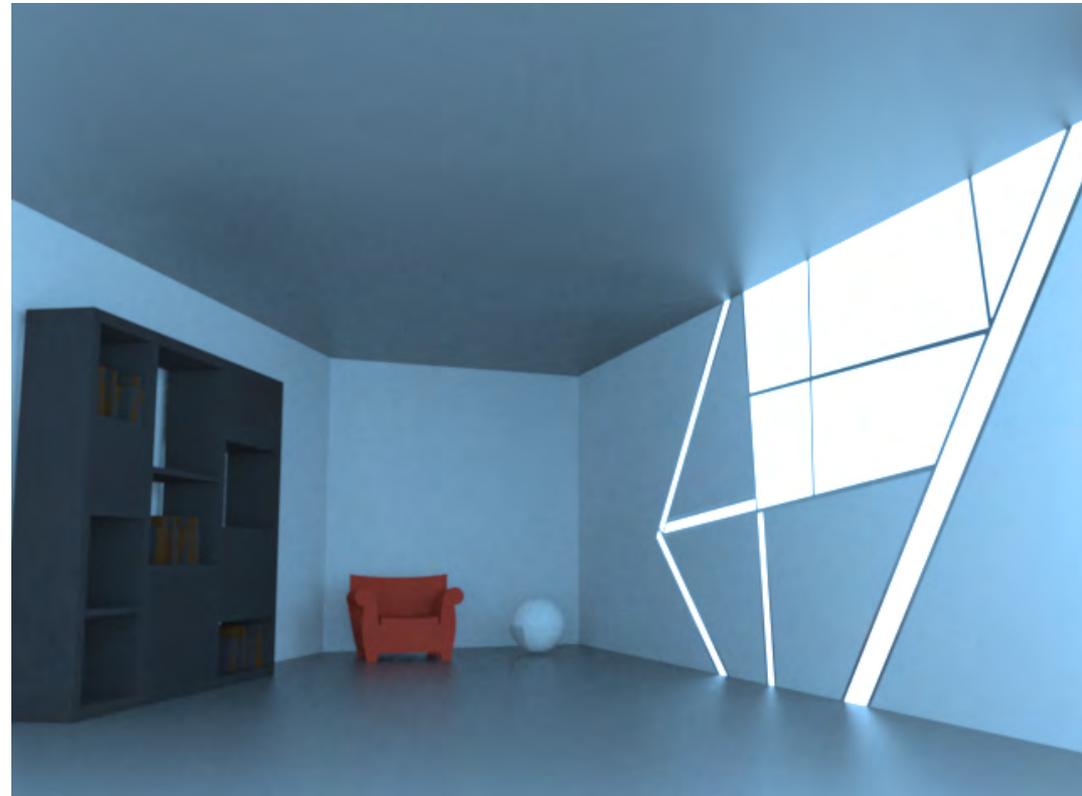
- 7 séances de théorie (~ 4 heures)
 - Architectes : 5 séances
 - Cette salle au bâtiment B52 (+0/523)
- 7 séances de TP sur ordinateur (~ 4 heures)
 - Architectes : 5 séances
 - Salle +0/413 (même niveau, même bâtiment)
- Évaluation pratique sur ordinateur
- Examen théorique écrit sur le contenu du cours
- Projet par groupes de 2.
- Horaires des disponibilités : jeudi PM (ou sur RDV)

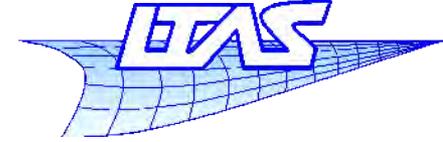
- **Projet**
 - Cours 30h+30h : implémentation de techniques de rendu réaliste dans un petit logiciel de ray-tracing
 - Sujets à venir



- **Projet**

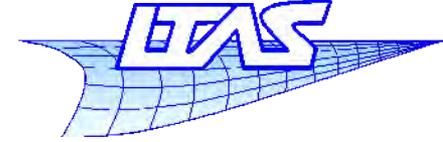
- Cours 20h+20h (architectes) : En lien avec le cours du Pr. P. Leclercq « Modélisation architecturale assistée par ordinateur »
- Idée : rendu réaliste de l'éclairage d'un projet architectural existant à l'aide de Blender





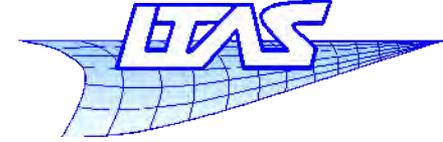
- Les cours théoriques commencent le 7 février puis :
 - 21 février, 7, 21 mars etc. (indiqué en permanence sur le site du cours)
- Les TP commencent le 14 février (archi & info).
 - 28 février – info seuls.
 - En alternance avec le cours théoriques.

Infographie



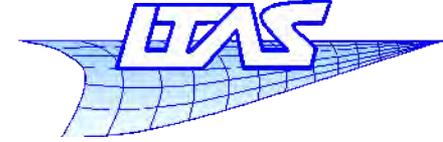
Introduction

Infographie: L'étude de la création, de la manipulation et de l'utilisation d'images dans l'ordinateur



Un peu de bibliographie:

- Computer graphics: principles and practice in C
James Foley et al.
Ancien, mais il existe une traduction en français
- Computer graphics: Theory into practice
Jeffrey McConnell
- Fundamentals of computer graphics
Peter Shirley et al.
- Algorithmes pour la synthèse d'images
R. Malgouyres



Applications de l'infographie

- Divertissements
 - Films, effets spéciaux
 - Films d'animation
 - Jeux vidéos
- Science et technologie
 - Conception assistée par ordinateur
 - Visualisation scientifique
- Simulateurs (de vol, etc...) / réalité virtuelle
- Arts graphiques (photoshop, illustrator...)
- Arts (tout court)



Toy Story - effets Pixar (Renderman)



Ratatouille - effets Pixar (Renderman)



Université
de Liège

Infographie



Applications



KING KONG

© 2005 Universal Studios. Used With Permission.

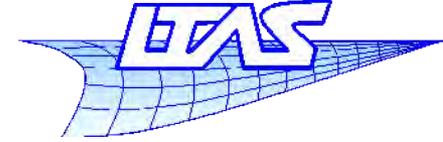
King Kong - effets WETA Digital



Université
de Liège

Infographie

Applications



Lord of the Rings - effets WETA Digital





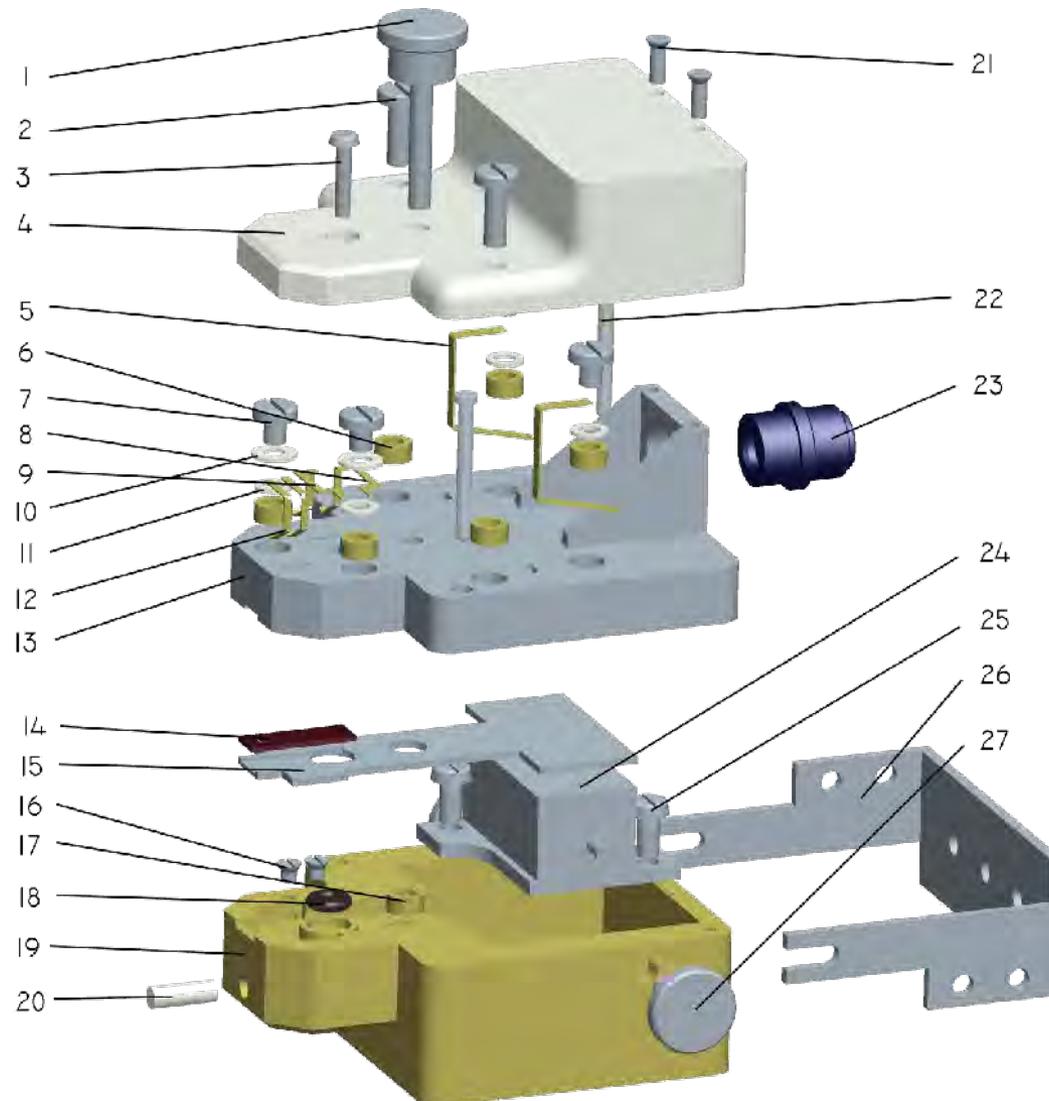
Quake – moteur de rendu 3D « temps réel »



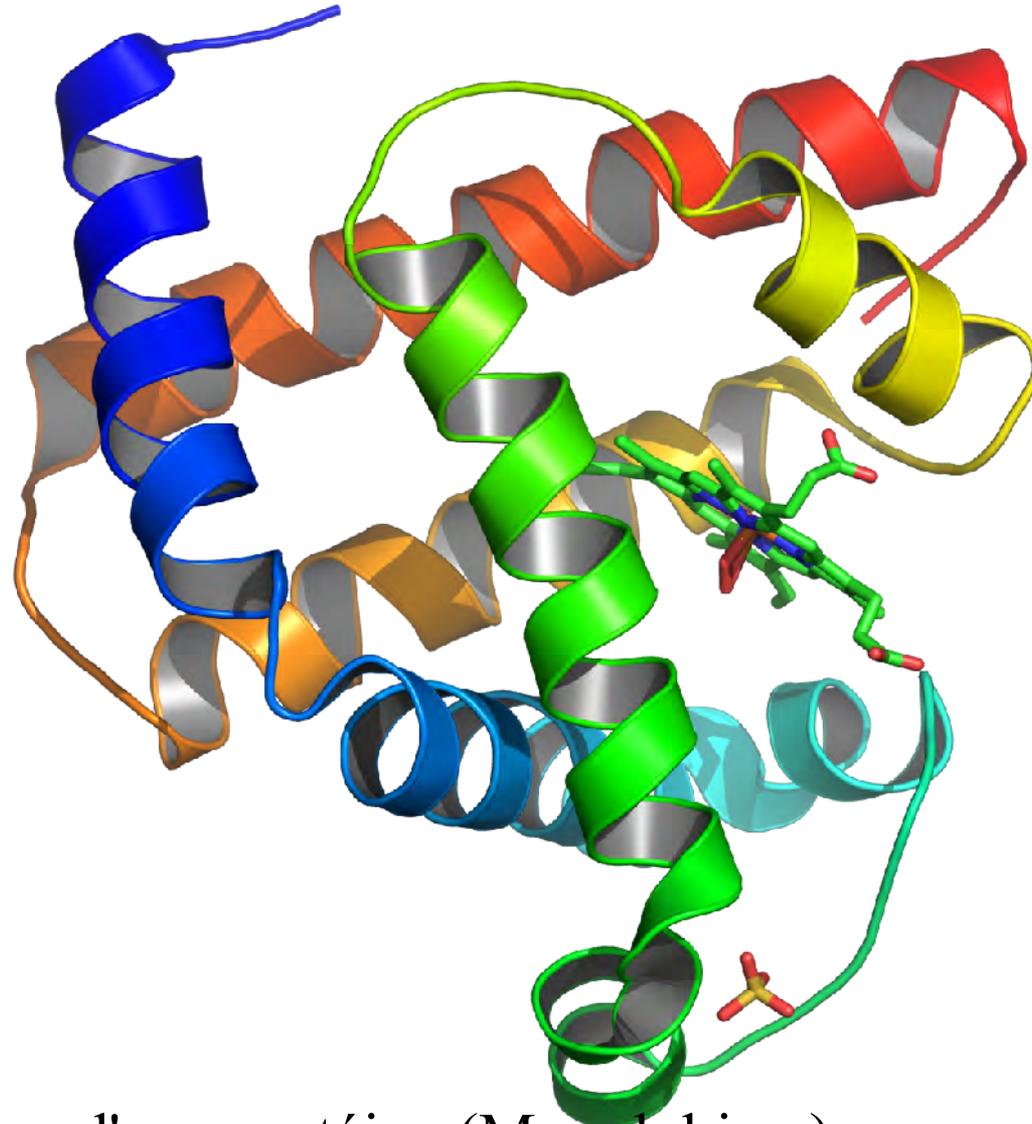
Applications de l'infographie

- Divertissements
 - Films, effets spéciaux
 - Films d'animation
 - Jeux vidéos
- Science et technologie
 - Conception assistée par ordinateur
 - Visualisation scientifique
- Simulateurs (de vol, etc...) / réalité virtuelle
- Arts graphiques (photoshop, illustrator...)
- Arts (tout court)

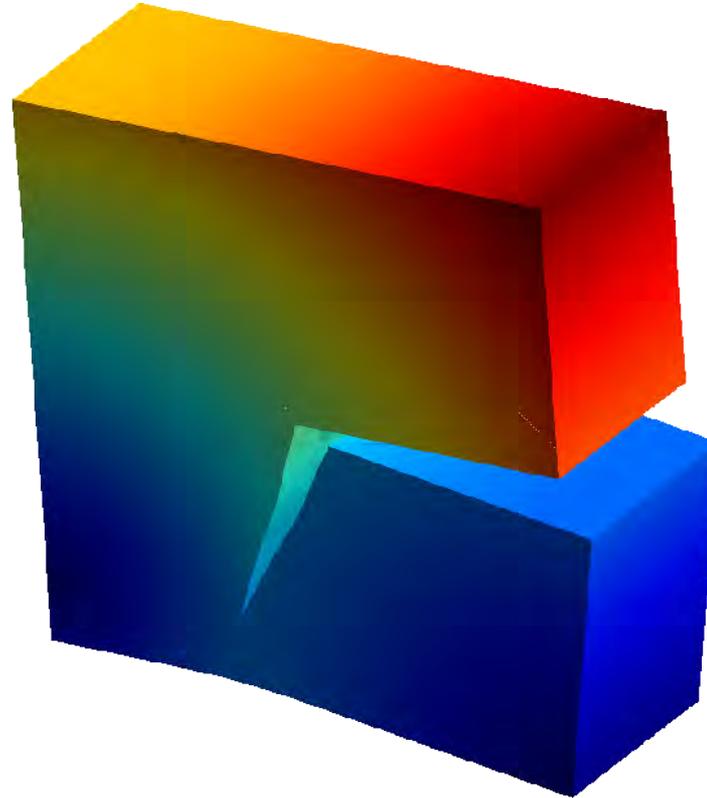
Applications



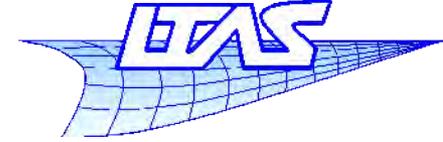
Vue éclatée d'une tête d'impression



Vue schématique d'une protéine (Myoglobine)



Fissure dans une plaque épaisse

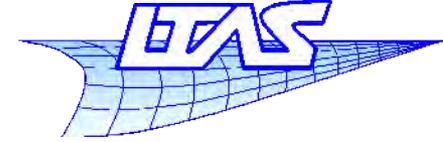


Applications de l'infographie

- Divertissements
 - Films, effets spéciaux
 - Films d'animation
 - Jeux vidéos
- Science et technologie
 - Conception assistée par ordinateur
 - Visualisation scientifique
- **Simulateurs (de vol, etc...) / réalité virtuelle**
- Arts graphiques (photoshop, illustrator...)
- Arts (tout court)



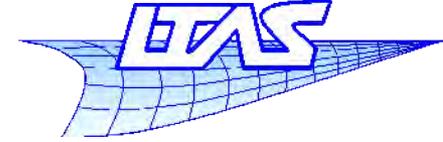
Simulateur de vol pour Boeing 747 (musée de l'air et espace Wash. DC)



Applications de l'infographie

- Divertissements
 - Films, effets spéciaux
 - Films d'animation
 - Jeux vidéos
- Science et technologie
 - Conception assistée par ordinateur
 - Visualisation scientifique
- Simulateurs (de vol, etc...) / réalité virtuelle
- Arts graphiques (photoshop, illustrator...)
- Arts (tout court)

Infographie Applications

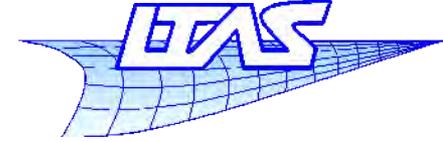




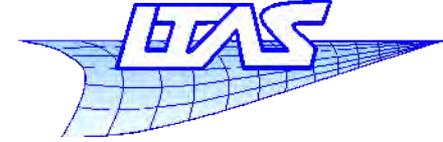
Université
de Liège

Infographie

Applications



Adobe Illustrator



Applications de l'infographie

- Divertissements
 - Films, effets spéciaux
 - Films d'animation
 - Jeux vidéos
- Science et technologie
 - Conception assistée par ordinateur
 - Visualisation scientifique
- Simulateurs (de vol, etc...) / réalité virtuelle
- Arts graphiques (photoshop, illustrator...)
- Arts (tout court) / Artisanat

Applications

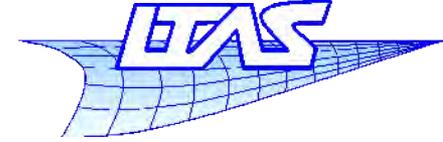


Sculptures par ordinateur et Joaillerie
(T Sauermann / Steinbach & Condes)



Université
de Liège

Infographie

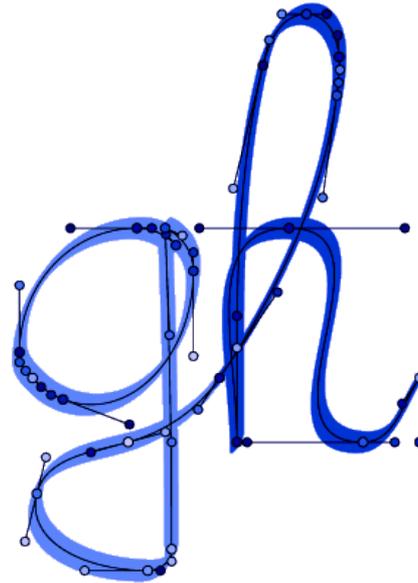


Problématiques en infographie

Problématiques en infographie

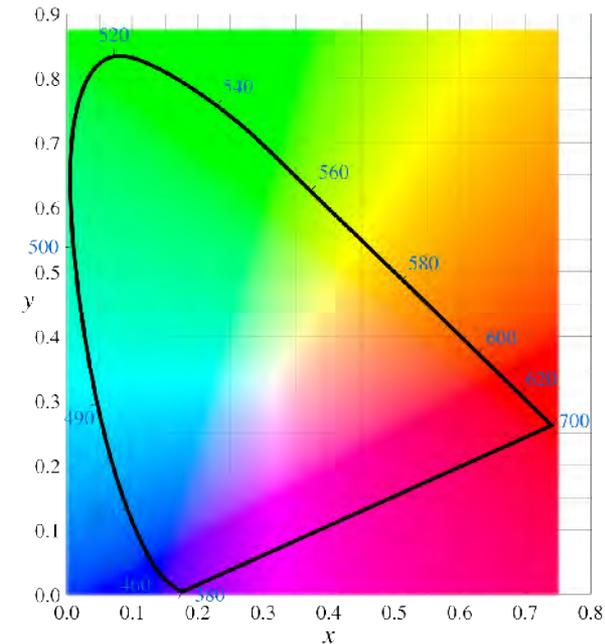
- Images 2D

- Images composites
- Filtrage digital
- Colorimétrie
- Conversion



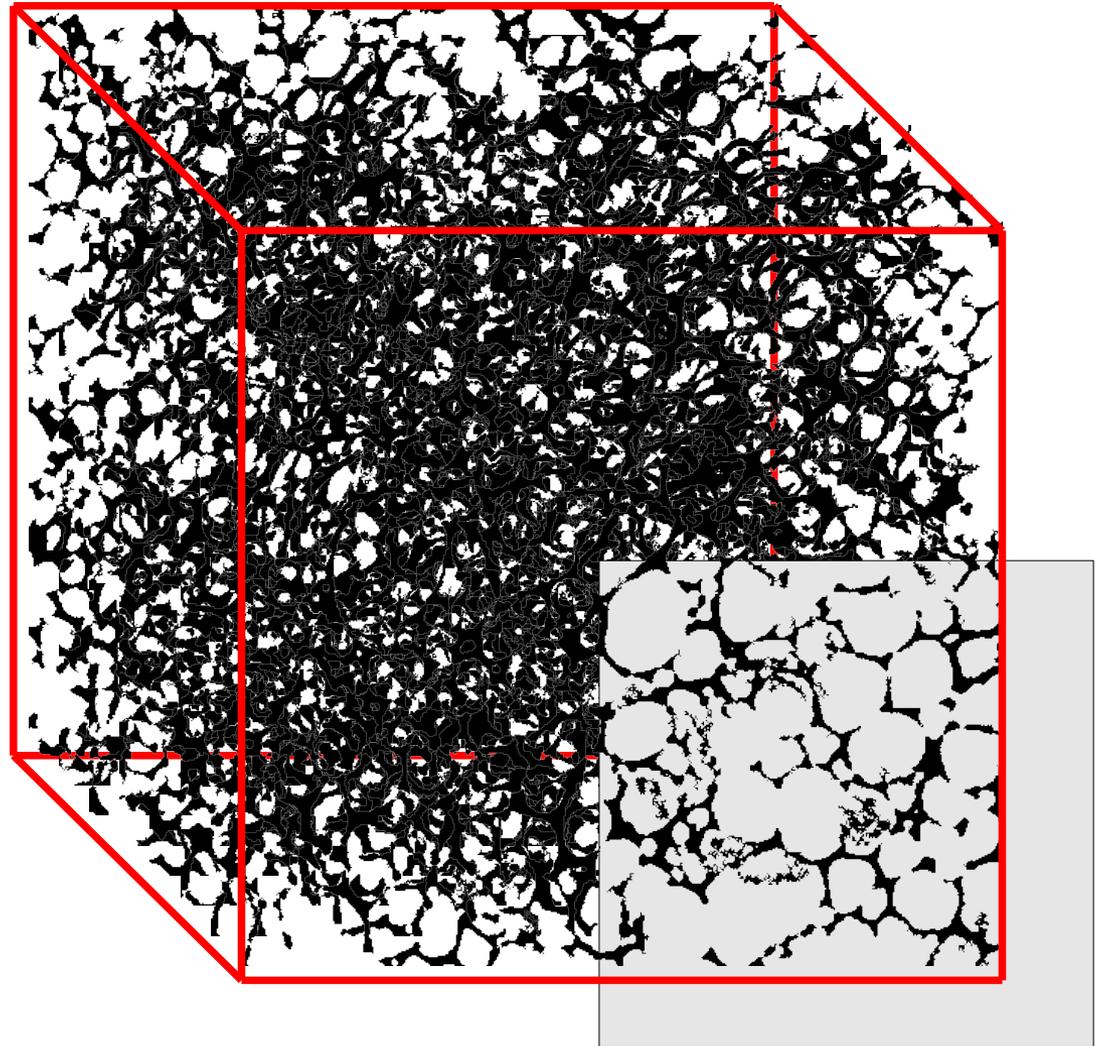
- Dessin 2D

- Illustration, esquisses
- Polices et fontes, interfaces graphiques utilisateur



Problématiques en infographie

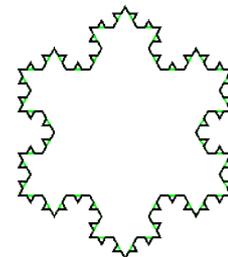
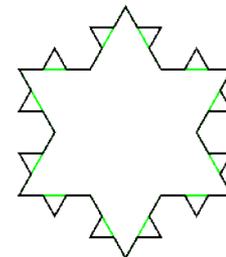
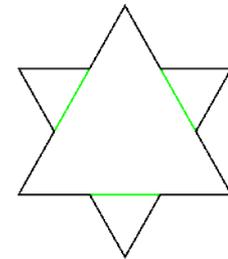
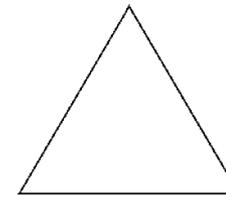
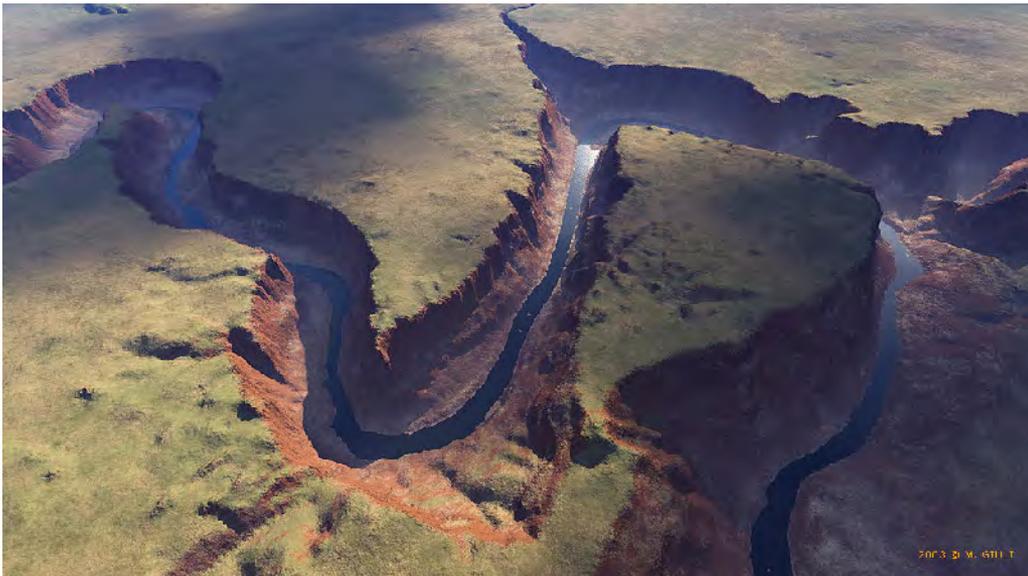
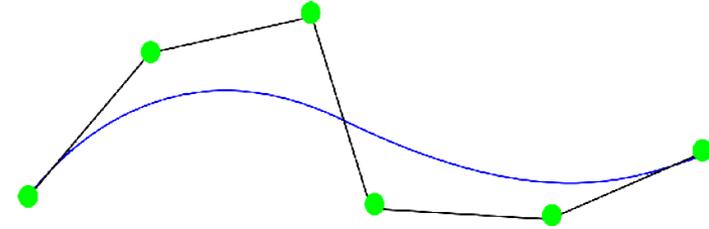
- Imagerie 3D
 - Scanners 3D
 - Segmentation
 - Compression



Problématiques en infographie

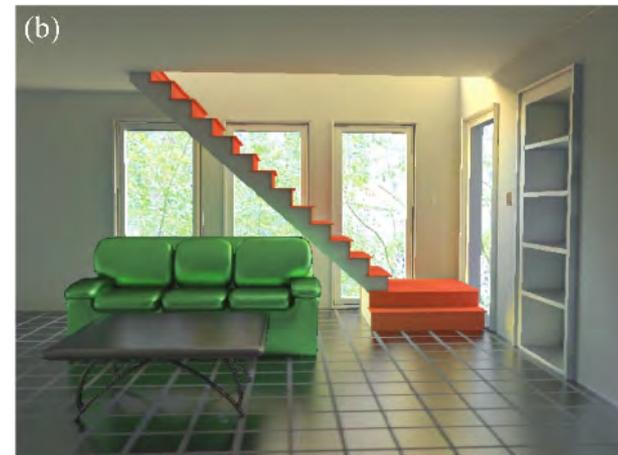
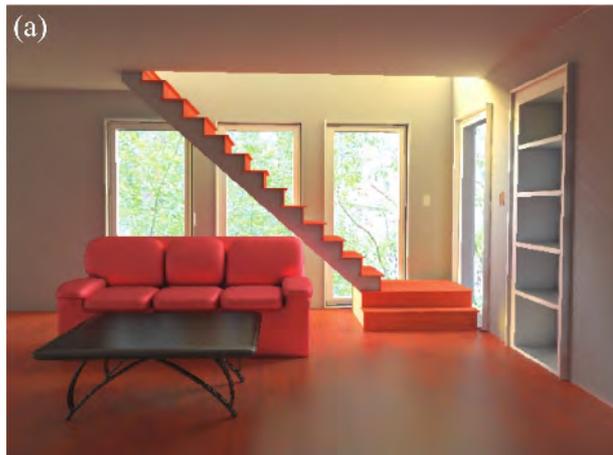
- Modélisation 3D

- Représentation des formes 3D
- Polygones, courbes et surfaces courbes
- Modélisation procédurale



Problématiques en infographie

- Rendu 3D
 - Représentation 2D d'une géométrie 3D
 - Projection et perspective
 - Faces cachées
 - Simulations d'éclairage



Problématiques en infographie

- Interaction avec l'utilisateur
 - Interfaces graphiques 2D
 - Interfaces de modélisation 3D
 - Réalité virtuelle



Problématiques en infographie

- Animations
 - Animation par « images clefs »
 - Utilisation de lois physiques



Techniques d'interpolation

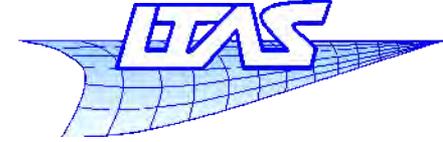
Résolution d'EDP





Université
de Liège

Infographie

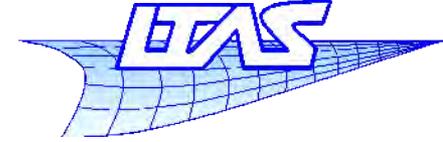


Rendre les mathématiques visibles !

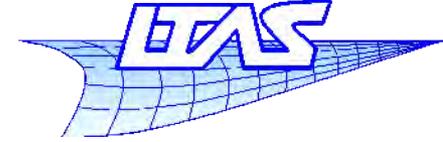


Université
de Liège

Infographie



Plan du cours



- Introduction
- Images et techniques d'affichage
 - Bases
 - Correction gamma
 - Crénelage (« Aliasing ») et techniques pour y remédier
 - Stockage

Plan du cours

- Perspective 3D & transformations 2D / 3D
 - Passer d'un espace 3D vers un dispositif d'affichage 2D
- Représentation de courbes et surfaces
 - Splines & co.
 - Maillages
- Rendu réaliste par lancer de rayons (Ray tracing)
 - Concepts et bases théoriques
- Éclairage
 - Lois de réflexion etc...



Plan du cours

- Textures
- Colorimétrie
 - Espaces de couleur
 - Métamères
- Pipeline graphique et OpenGL
 - Primitives
 - Discrétisation (*Rasterization*)
 - Faces cachées
- Animations ?

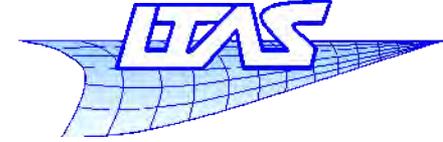


Université
de Liège

Infographie



Images et techniques d'affichage



Images et techniques d'affichage

Qu'est ce qu'une image ?

- Un tirage photo
- Un négatif photo ?
- Cet écran
- Des nombres en mémoire RAM ?

Images et techniques d'affichage

Une image, c'est :

- Une distribution 2D d'intensité et/ou de couleurs
- Une fonction définie sur un plan 2D

$$I : \mathbb{R}^2 \rightarrow \dots$$

- On ne parle pas de pixels pour le moment
- Pour faire de l'*imagerie par ordinateur* il faut :
 - Représenter les images c'est à dire les encoder *numériquement*
 - Afficher les images – faire en sorte qu'aux données numériques correspondent des variations d'intensité lumineuses perceptibles

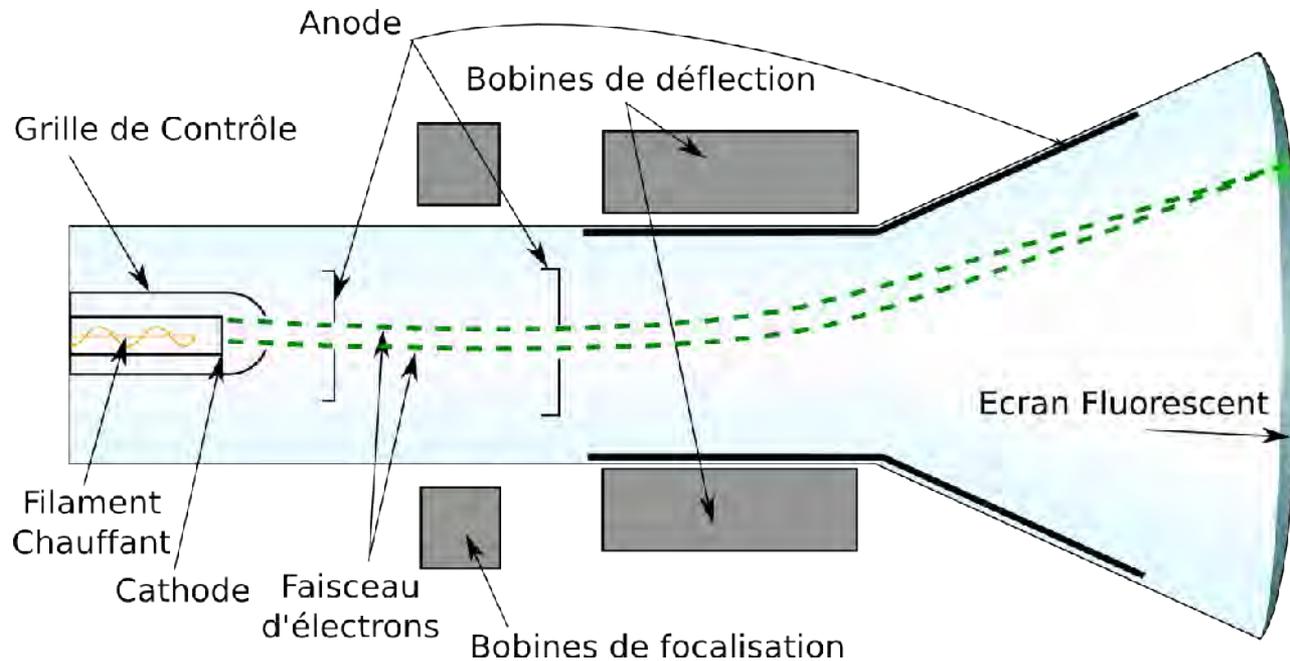
Images et techniques d'affichage

Technologies d'affichage

- Images « fugitives »
 - Ecrans d'ordinateur (télévision ... etc...)
 - Tube cathodique (CRT)
 - Écran « plat » (LCD)
 - Projecteurs
- Images « permanentes »
 - Imprimantes
 - Laser
 - Jet d'encre
 - Procédés photographiques
 - Presses (offset, photogravure)
- Une combinaison des deux
 - Cinéma film sur pellicule... remplacé récemment par le ciné digital

Images et techniques d'affichage

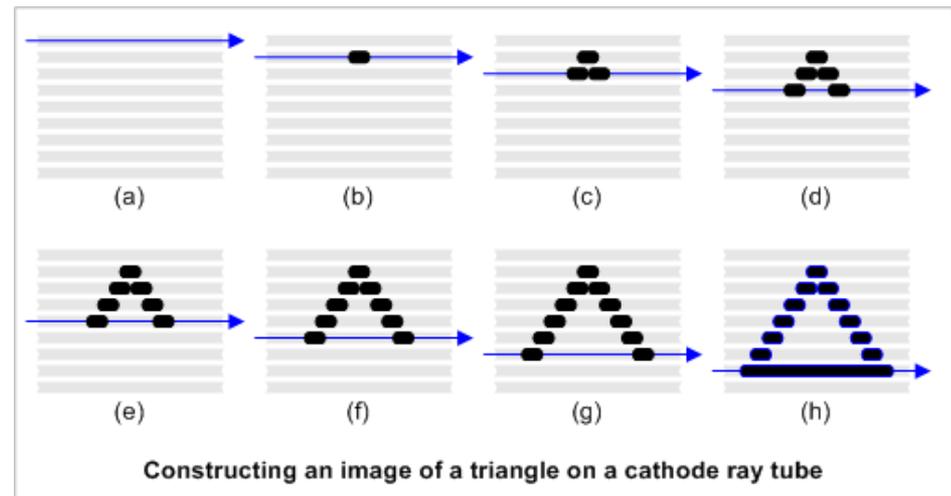
Tube cathodique



Images et techniques d'affichage

Affichage par tube cathodique

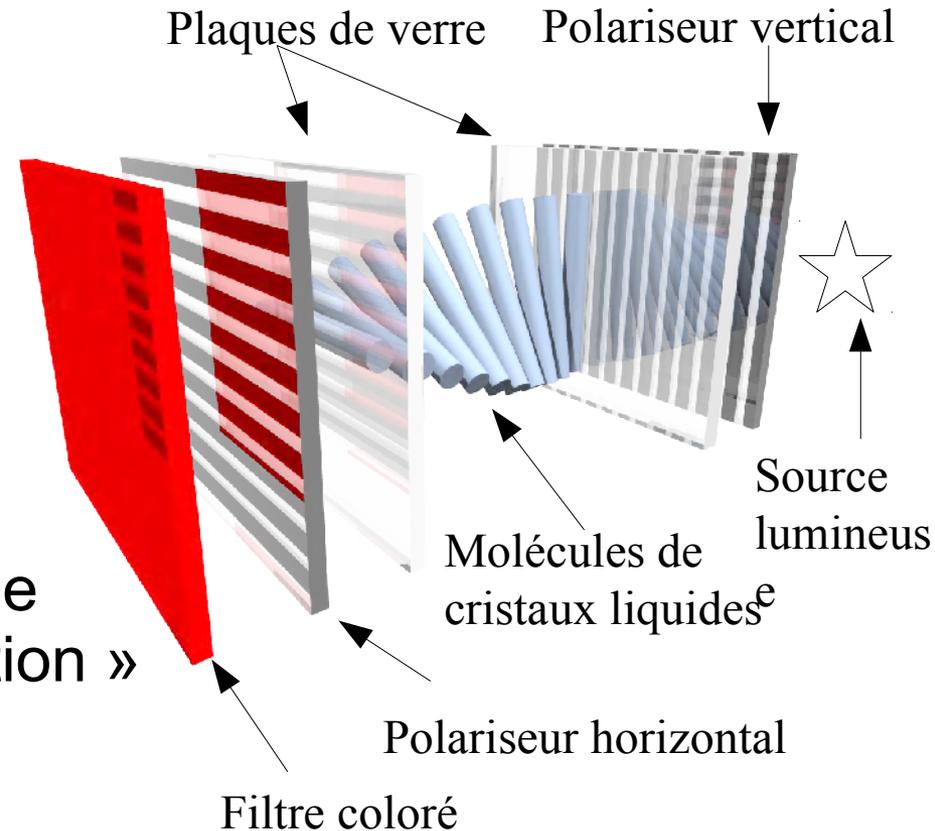
- Vectoriel (type oscilloscope)
 - Taux de rafraîchissement variable
 - Complexité des dessins limitée
 - Résolution limitée uniquement par la taille du pinceau d'électrons
- À balayage (type télévision)
 - Taux de rafraîchissement fixe
 - Signal *analogique*
 - Résolution limitée par le pas de masque pour les écrans couleur (sur une ou les deux dimensions)



Images et techniques d'affichage

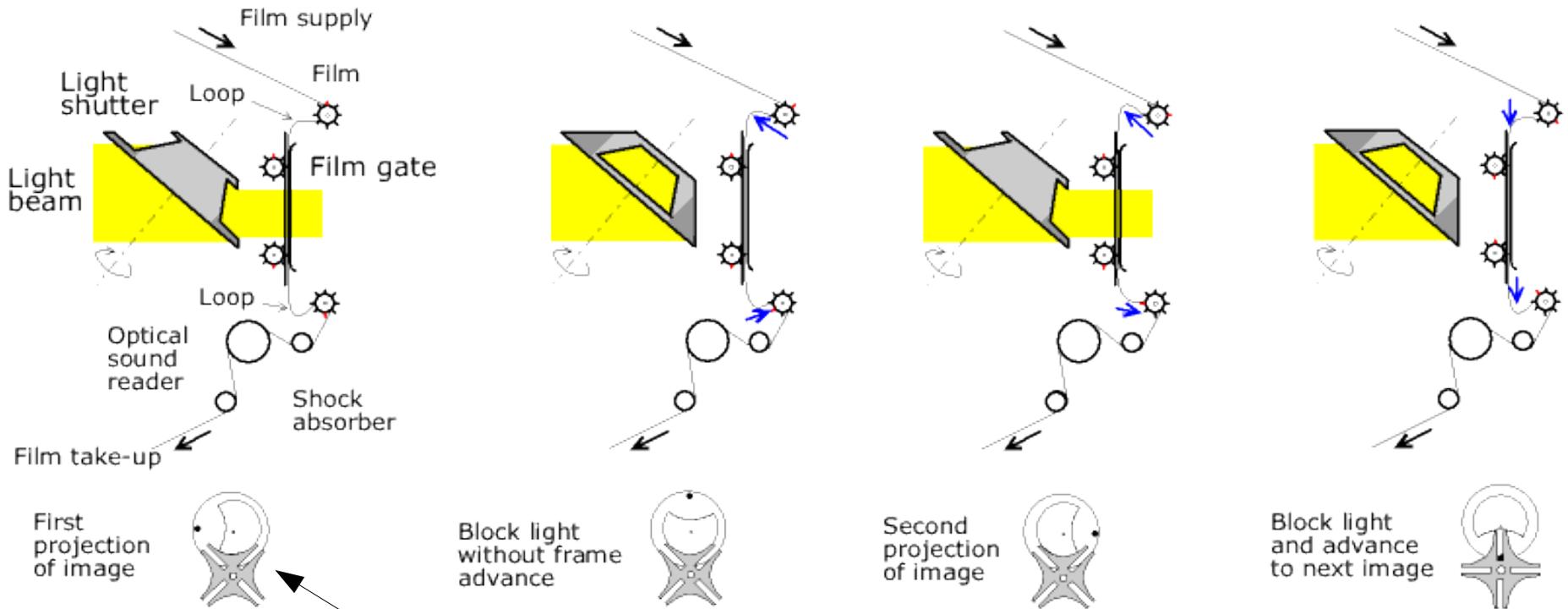
Technologie LCD

- Les CL imposent une rotation du plan de polarisation si un champ électrique est présent
- Résolution imposée
- Décomposition de l'image en pixels « par construction »
- Résolution fixée



Images et techniques d'affichage

■ Cinema

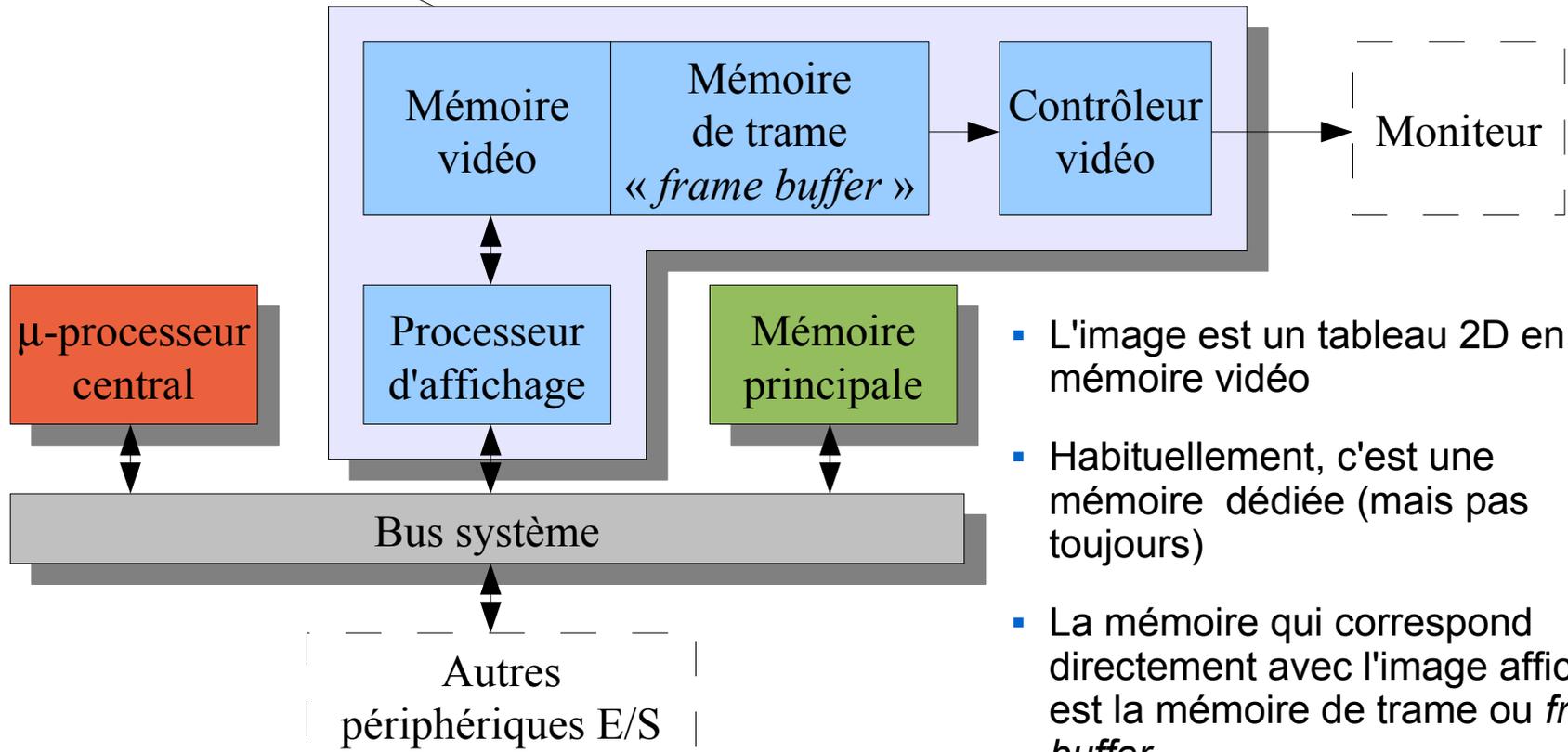


Croix de Malte

Images et techniques d'affichage

Systèmes vidéo informatique

Sous ensemble graphique

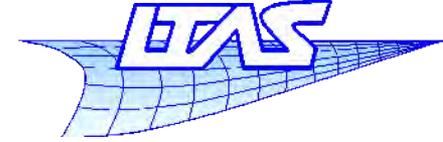


- L'image est un tableau 2D en mémoire vidéo
- Habituellement, c'est une mémoire dédiée (mais pas toujours)
- La mémoire qui correspond directement avec l'image affichée est la mémoire de trame ou *frame buffer*.



Université
de Liège

Infographie



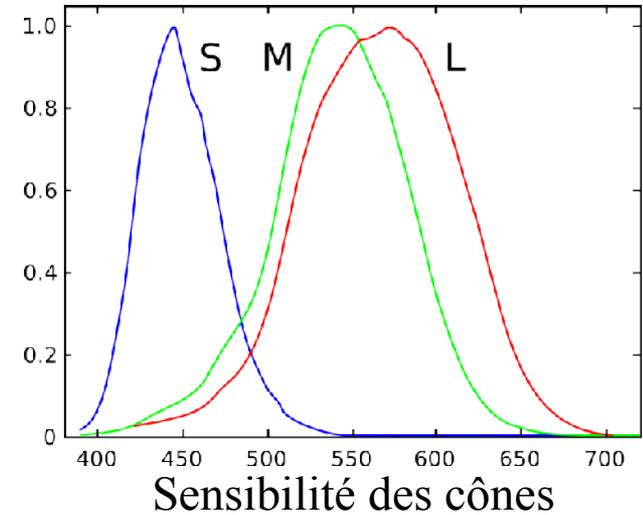
Images et techniques d'affichage

Couleur

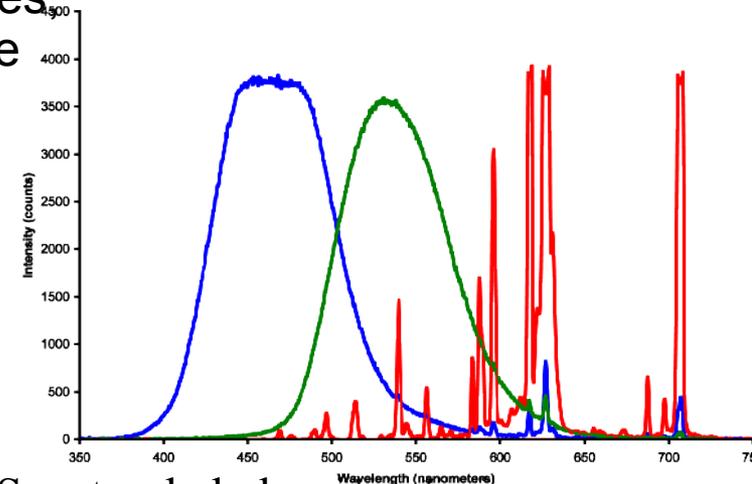
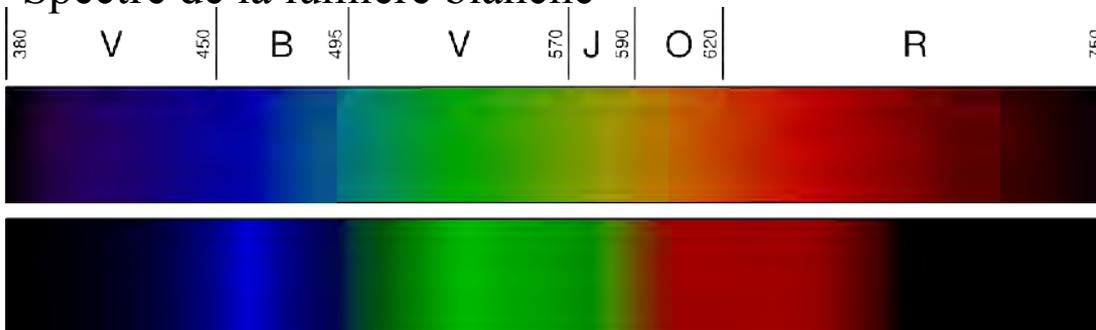
Images et techniques d'affichage

La couleur ?

- L'oeil humain est trichromatique
 - N'importe quelle couleur du spectre visible est décomposée par l'oeil en trois composantes : les *couleurs primaires*
 - Par combinaison des couleurs primaires, on reconstruit l'apparence de n'importe quelle couleur du spectre visible.
Mais il s'agit d'une illusion !



Spectre de la lumière blanche



Spectre de la lumière émise par un écran CRT d'ordinateur

Images et techniques d'affichage

- Certains animaux ont une vision infiniment plus complexe
 - Crevette-mante :
 - 12 filtres chromatiques,
 - 4 filtres pour détecter la lumière polarisée
 - vision trinoculaire avec un seul oeil.
 - Oiseaux :
 - «seulement» 4 filtres chromatiques...

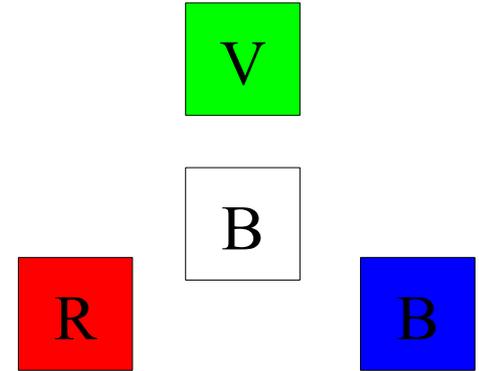


Images et techniques d'affichage

Synthèse des couleurs

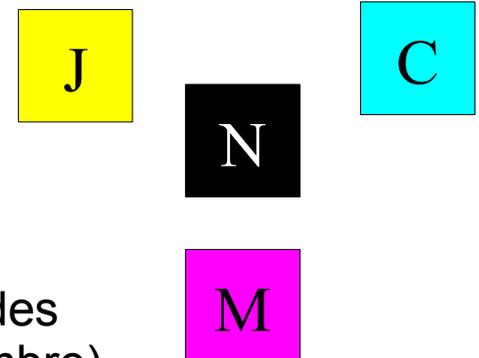
- Additive

- Utilisée pour les écrans (sources de lumières)
- Les photophores sont rouges , verts et bleus (Système RGB)
- Pas de signal -> pas de couleur -> noir



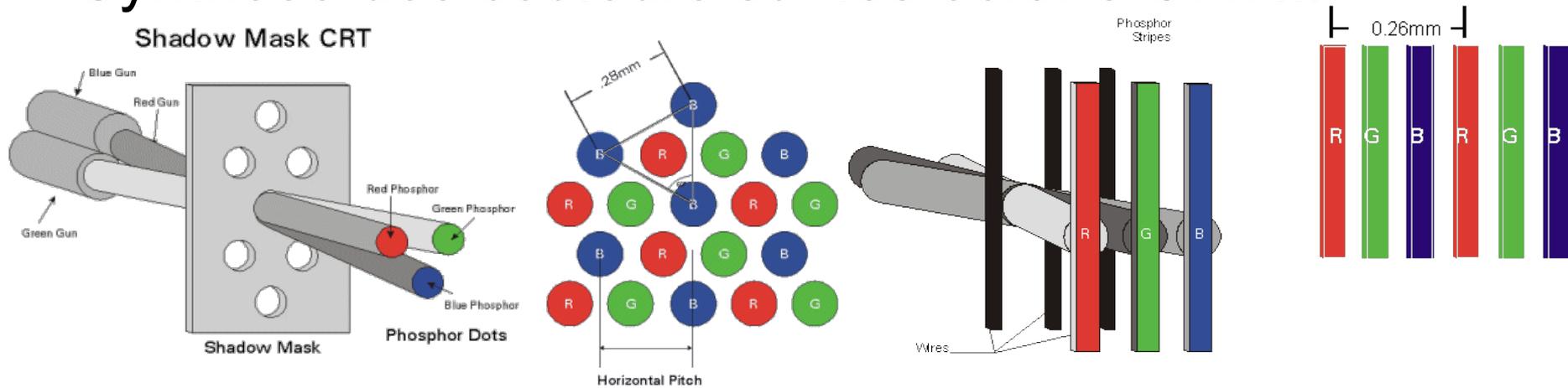
- Soustractive

- Utilisée pour l'impression, photo etc..
- Utilisation des couleurs complémentaires cyan, magenta, jaune (CMY)
- Pas de pigments -> blanc (couleur du support)
- On ajoute souvent un pigment noir (le mélange des pigment CMY donne seulement un brun très sombre)
- On parle alors d'impression en quadrichromie (CMYK = CMY+ black) 51

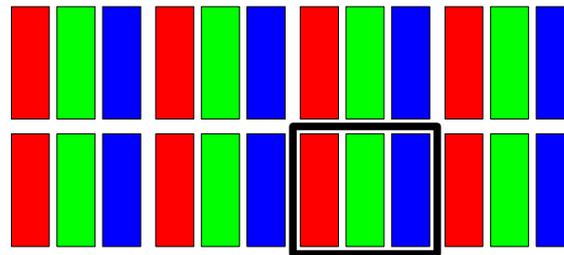


Images et techniques d'affichage

Synthèse des couleurs sur les écrans CRT...



... et LCD

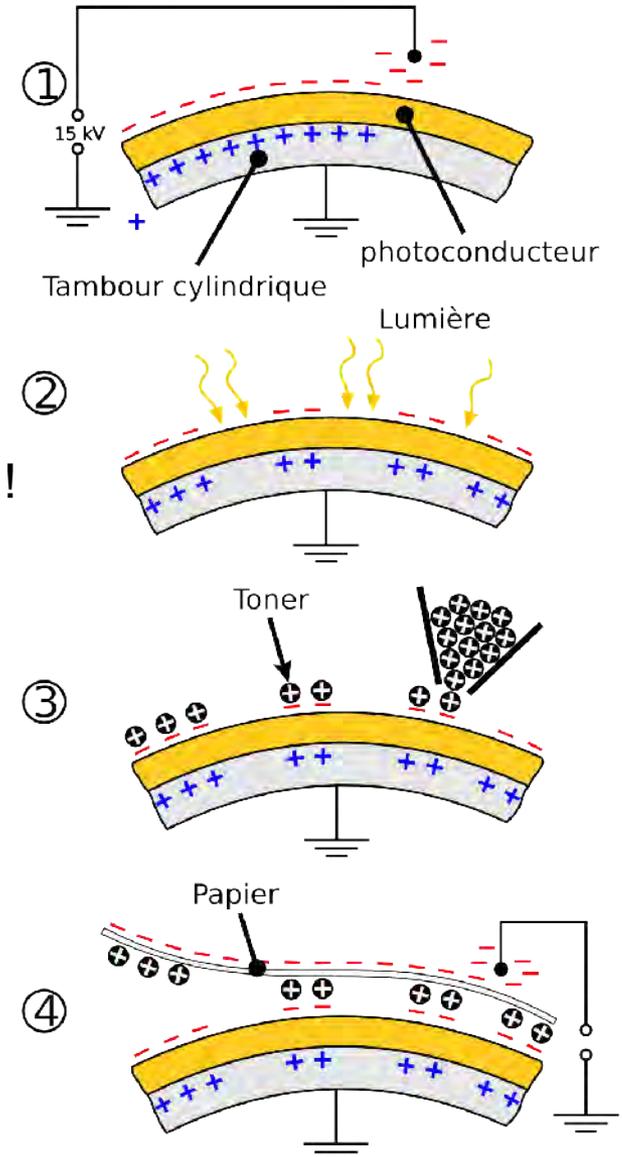


- Chaque lumiphore est contrôlable en intensité...
- L'oeil confond les lumiphores et croit voir une couleur unie.

Images et techniques d'affichage

Techniques d'impression

- Xerographie (laser)
 - Image binaire (noir ou blanc)
 - Haute résolution et rapidité
 - Points très petits et isolés impossibles !
 - Contrôle de la teinte par tramage
 - Couleur : l'opération est répétée 4 fois avec des toners CMYK

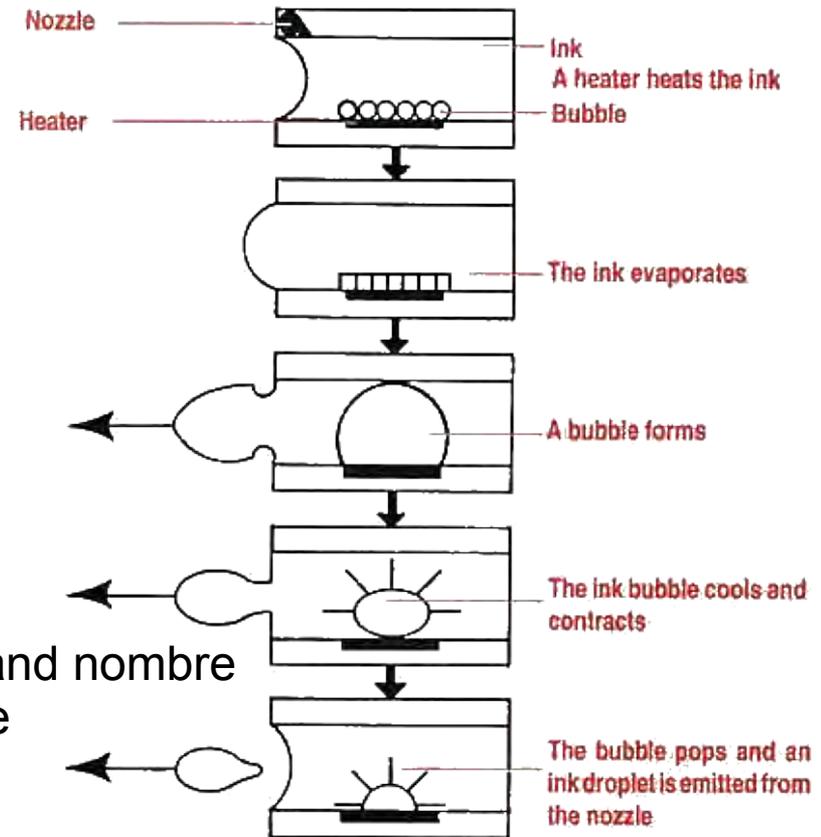


Images et techniques d'affichage

Techniques d'impression

■ Jet d'encre

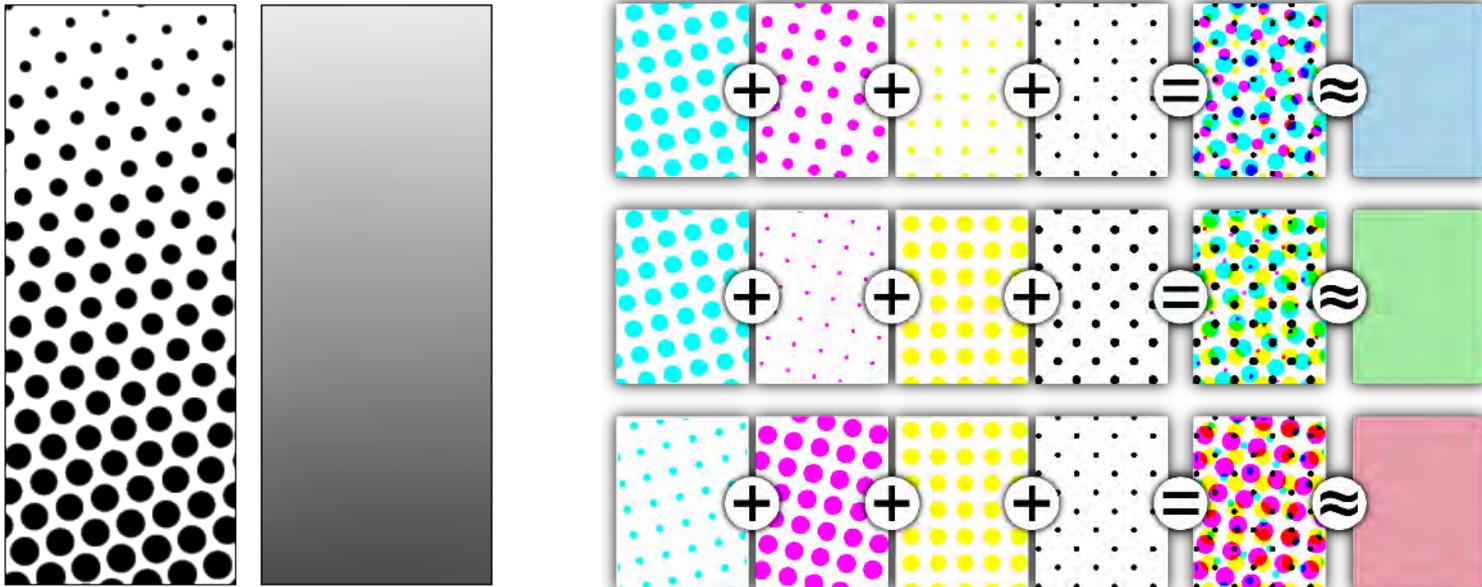
- Encre liquide projetée en très petites quantités (qq picolitres)
- Points isolés possibles
- Image binaire
- Contrôle de la teinte
 - Par le volume des gouttes
 - La densité de points
- Possibilité d'imprimer avec un grand nombre de pigments (parfois 7 !) pour une grande fidélité de reproduction.



Images et techniques d'affichage

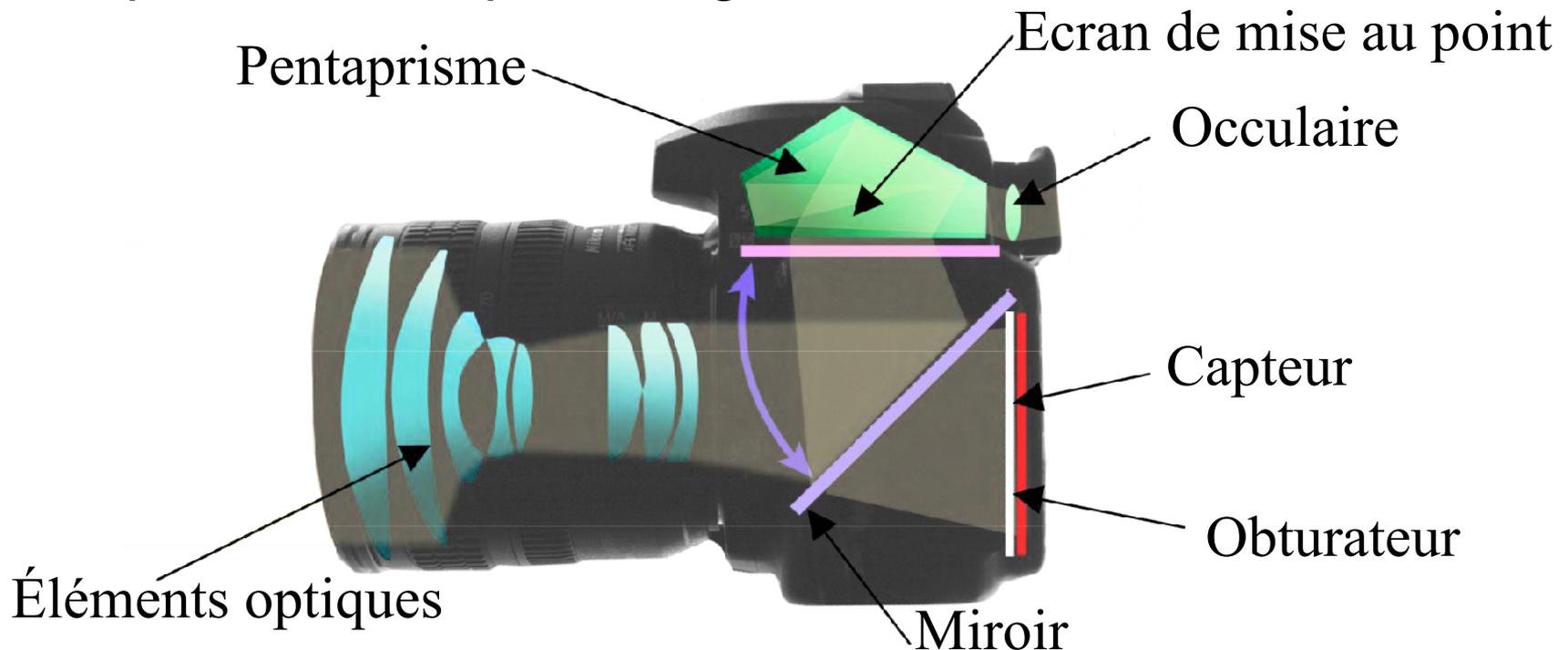
Impression et tramage

- Chaque point est une couleur pure
- On contrôle les teintes par la densité et / ou la surface des « points » (rapport entre la surface couverte et surface totale)



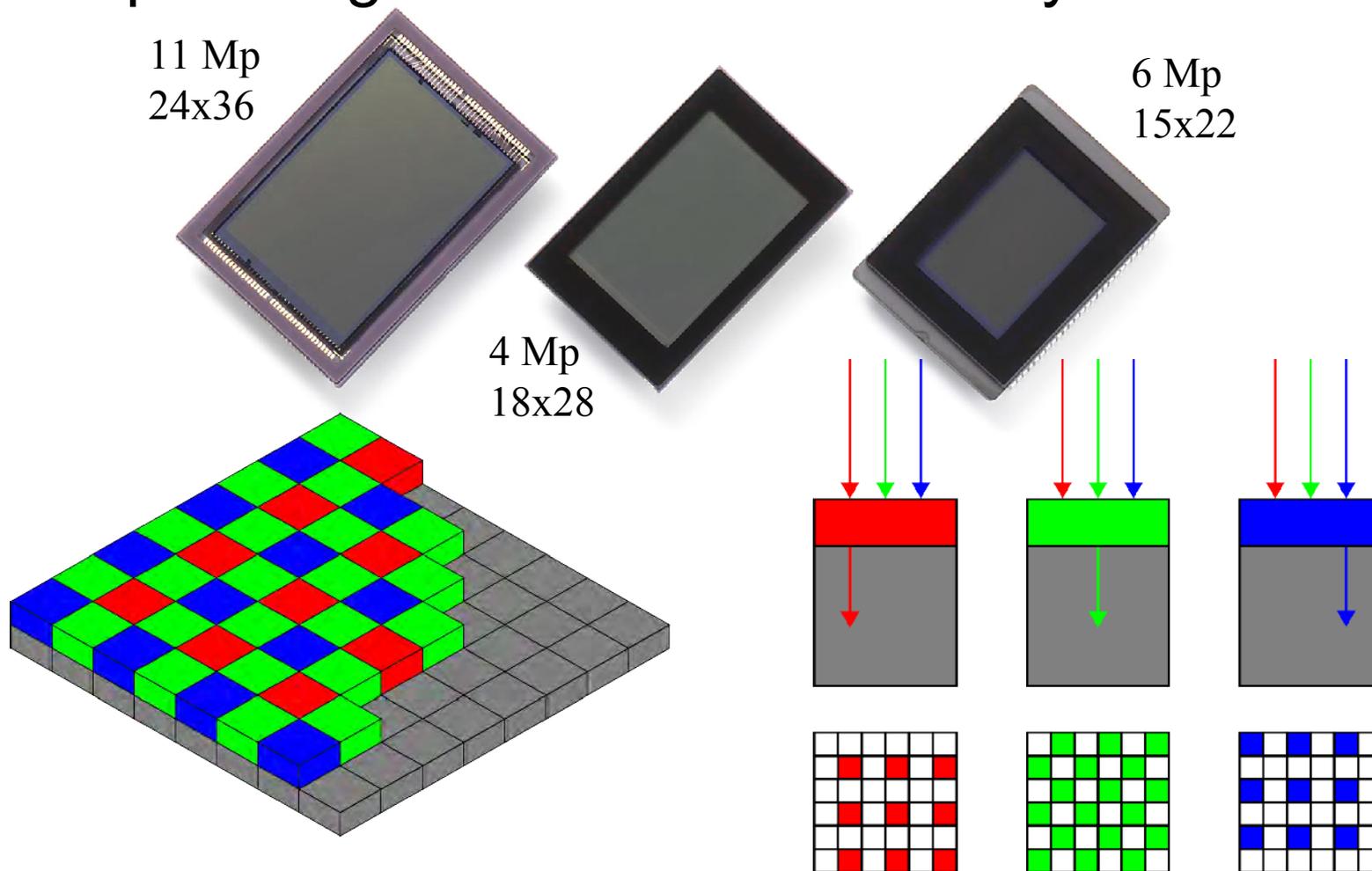
Images et techniques d'affichage

- Appareil photo numérique
 - Périphérique d'entrée matriciel
 - Le capteur d'image est une matrice de millions de photosites disposés régulièrement



Images et techniques d'affichage

- Capteur digital en « matrice de Bayer »



Images et techniques d'affichage

Il existe d'autres systèmes de prises de vue :

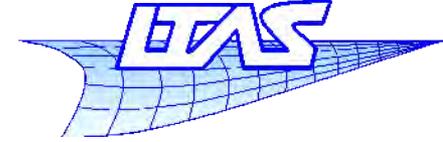
- Certains APN ont des capteurs plus complexes
 - RGBW (4 type de photosites)
 - Foveon (photosites RGB superposés)
 - 3 couleurs connues en chaque position
- Camera (souvent 3 CCD séparés)
- Scanners
 - Le capteur est constitué d'une seule ligne de photosites RGB
 - L'image finale est constituée d'une multitude de ces lignes mises côte à côte.
 - Chaque ligne est « photographiée » à un moment différent

Images et techniques d'affichage

Tous ces systèmes suggèrent un tableau 2D de nombres représentant l'image dans une mémoire

- **Avantage** : on peut représenter n'importe quelle image
 - Approximation d'autant meilleure que la résolution augmente
 - Cela marche car la mémoire est peu chère (approche « brute force »)
 - Il est toutefois possible de tirer parti de la structure de l'image pour réduire sa taille en mémoire





Images et techniques d'affichage

Signification d'une image matricielle

- Fonction sur le plan 2D
- Résultat d'un périphérique de sortie ???
 - Mais : il existe plusieurs types de périphériques de sortie
 - Mais : parfois on définit des images que l'on ne peut afficher (trop grosses p.ex.)
- Abstraction du périphérique, le pb est la reconstruction
 - Une image est une représentation discrète.
 - La valeur d'un pixel signifie « telle est l'intensité dans ce coin là »
 - Il s'agit d'une valeur échantillonnée
 - LCD : l'intensité est constante sur une région carrée
 - CRT : l'intensité varie continûment (gaussienne)
 - On discutera des pb de reconstruction plus tard

Images et techniques d'affichage

Types d'images et données associées

- N&B : 1 booléen par pixel (1 bit) $I : \mathbb{R}^2 \rightarrow \{0,1\}$
 - Interprétation : image de fax
- Niveaux de gris : 1 valeur par pixel $I : \mathbb{R}^2 \rightarrow [0,1]$
 - Photo noir & blanc. Image télé N&B
 - Précision : habituellement 8 bits (mais parfois 10, 12 ou 16 bpp)

$$I : \mathbb{R}^2 \rightarrow \left\{ 0, \frac{1}{2^n - 1}, \dots, \frac{2^n - 1}{2^n - 1} \right\}$$

- Couleur : 3 valeurs par pixel $I : \mathbb{R}^2 \rightarrow [0,1]^3$
 - Photo couleur
 - Précision : habituellement 3*8 bits (24 bits/pixel)
 - Parfois 16 (5+6+5) ou 30,36,48 bits
 - Couleurs indexées : parfois utile (line-art)

Images et techniques d'affichage

Types d'images et données associées

- Parfois on utilise des nombre à virgule flottante au lieu d'entiers
 - $I : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}_+$ ou $I : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}_+^3$
 - Plus abstrait, aucun périphérique de sortie ne possède une échelle infinie
 - Permet de représenter les image à grand contraste (*High dynamic Range* = HDR)
 - Représente les scènes indépendamment du périphérique de sortie
 - Devient un intermédiaire standard dans le traitement d'images

Images et techniques d'affichage

Types d'images et données associées

- « Clipping » et « point blanc »
 - Il est habituel de calculer en virgule flottante et puis de convertir en entiers à n bits (habituellement $n=8$) pour l'affichage
 - L'échelle totale peut ne pas rentrer dans l'échelle du dispositif de sortie (écran ou imprimante)
 - Solution simple : choisir une valeur maximale (point blanc) qui devient l'intensité maximale (2^n-1 dans une représentation à n bits)
 - Tout ce qui dépasse la valeur maximale est blanc (perte de détails = *clipping* en anglais)

Images et techniques d'affichage

- Exposition +0 f stops
 - f/8, 1 s

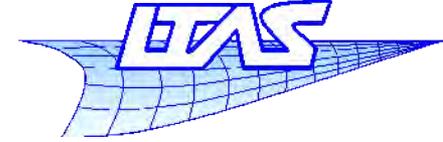
ce ve be D. El ua P





Université
de Liège

Infographie



Images et techniques d'affichage

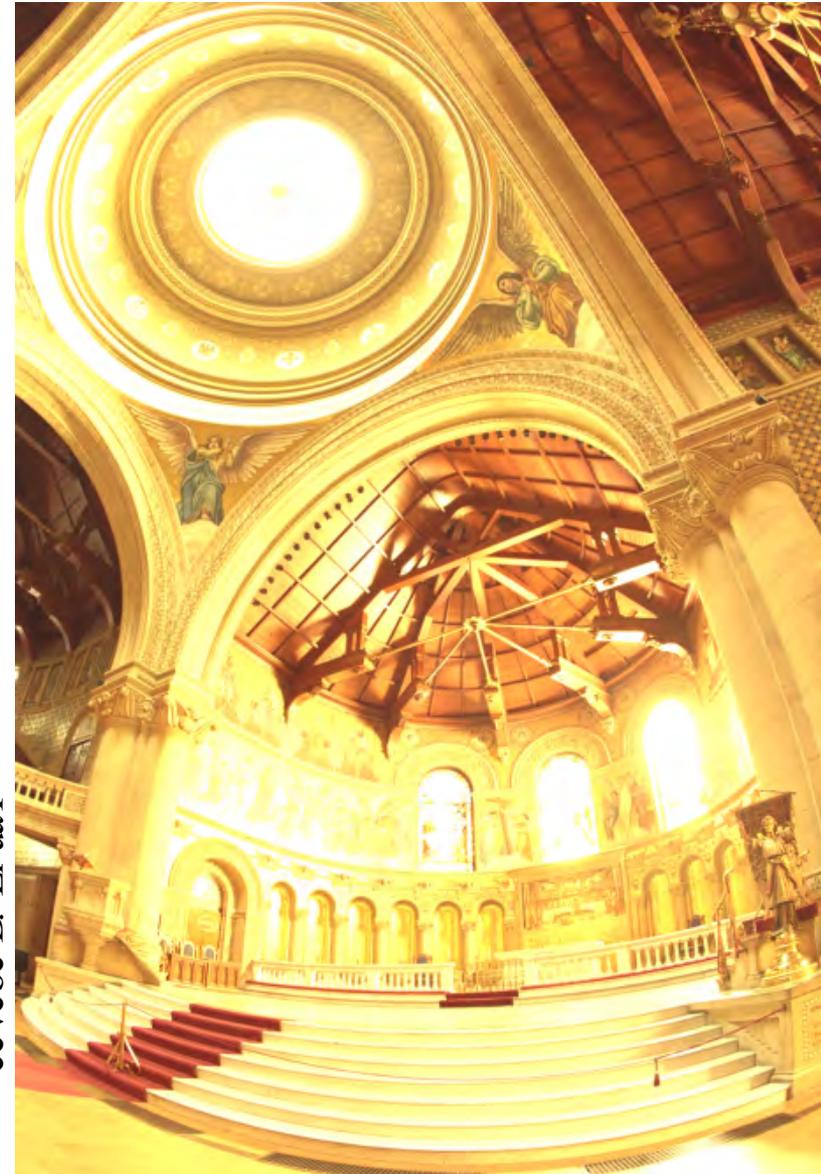
- Exposition : -8 f stops
 - $f/8$, $1/250$ s

ce ve be D. El ua P



Images et techniques d'affichage

- Exposition +5 f stops
 - f/8, 30 s



cevebe D. El uaP

Images et techniques d'affichage

Types d'images et données associées

- Pour les images couleur et en niveaux de gris, on ajoute parfois un canal alpha
 - Alpha représente la transparence
 - Compris entre 0 et 1
 - Habituellement codé avec la même précision que les couleurs RGB



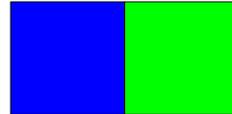
Images et techniques d'affichage

- Contraintes de stockage pour les images
 - Image 1024x1024 pixels (1 mégapixels)
 - N&B = 128 KB
 - Niveaux de gris 8 bpp : 1 MB
 - Niveaux de gris 16 bpp : 2 MB
 - Couleur 8 bpp : 3 MB
 - Couleur 8 bpp +alpha : 4 MB
 - Couleur 12 bpp : 4.5 MB
 - Couleur HDR Virgule flottante (32x3 bpp): 12 MB
 - Les appareils photo reflex actuels (2012) prennent des images entre 16 mégapixels (24x36) et 50 mégapixels (moyen format)

Images et techniques d'affichage

Conversion entre types d'images

- Couleur vers niveau de gris de même « précision » (ex. 24 bits vers 8bits)
 - Prendre 1 des canaux (R, G ou B)
 - Apparence parfois étrange
 - Combiner les canaux est meilleur
 - Les couleurs élémentaires RGB contribuent différemment à la *luminance*
 - Qui est le plus clair : 100% bleu ou 100 % vert?



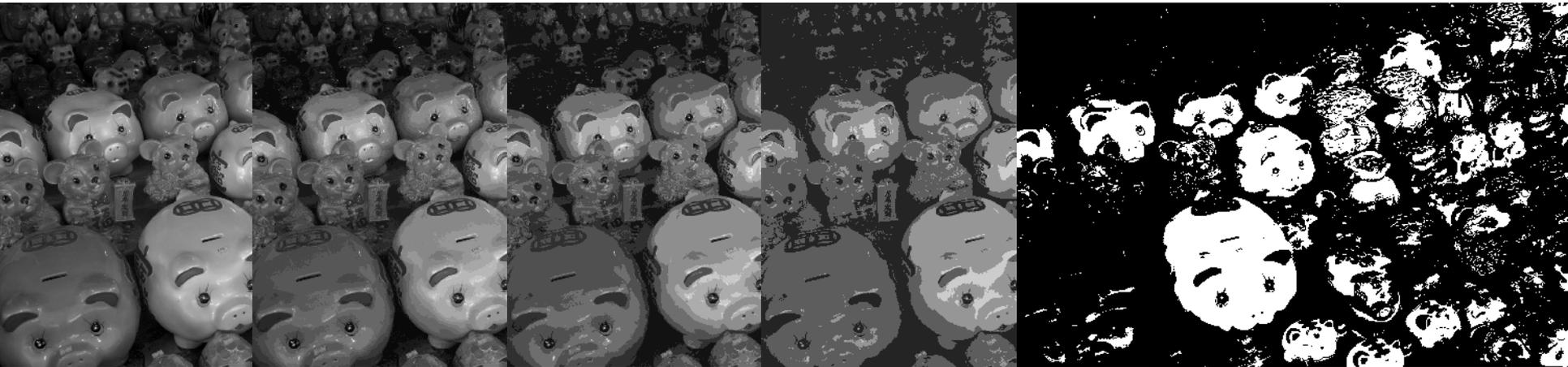
- Un bon choix :
$$\text{gris(luminance)} = 0.2 R + 0.7 G + 0.1 B$$
- On reparlera de cela...



Canal luminance

Images et techniques d'affichage

- Changement de nombre de bits / plan (précision)
 - Vers le haut est facile
 - Pas de perte d'information
 - Vers le bas : attention !



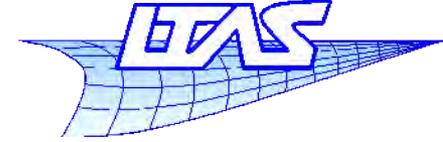
Bcp de niveaux

16 niveaux

8 niveaux

4 niveaux

2 niveaux



Images et techniques d'affichage

- En réduisant le nombre de bits par pixels (bpp) on *quantifie*.
 - Si la quantification est *consistante*, on observe des bandes
 - On peut ne pas être consistant – effectuer un tramage
 - On allume seulement certains pixels dans les zones grises
 - On fait un compromis entre la **résolution spatiale** et la **résolution tonale**.
 - On peut choisir le type de tramage en fonction du périphérique de sortie.
 - Laser, impression offset : aiment les paquets de points (demi ton)
 - Écran LCD, Jet d'encre : peuvent afficher / imprimer des petits points isolés à la limite de la résolution

Images et techniques d'affichage

- Exemples d'algorithmes de tramage 8 → 4 bpp
 - Consistant (par seuil)
 - Apparition de bandes. Si le choix du seuil est judicieux et que l'image s'y prête, pas trop de perte de détails



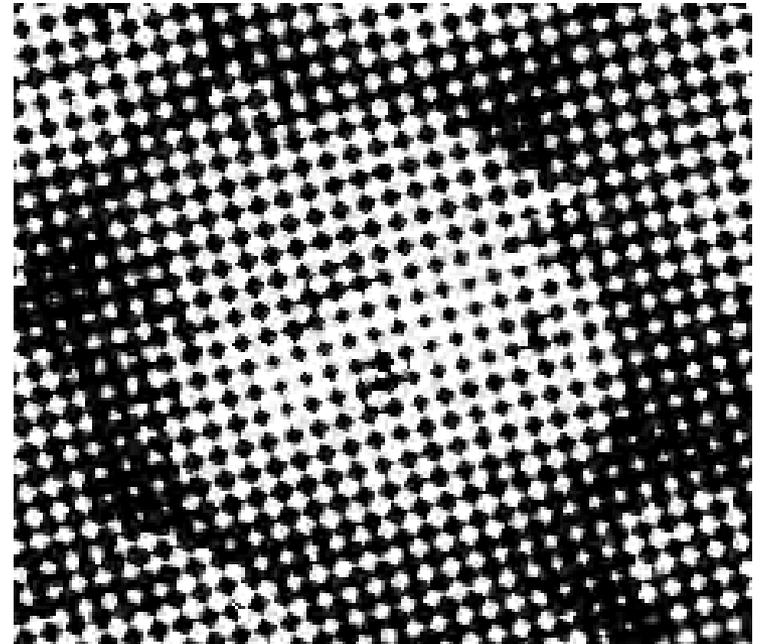
Images et techniques d'affichage

- Exemples d'algorithmes de tramage 8 → 1 bpp
 - Consistant (par seuil)
 - Apparition de bandes. Si le choix du seuil est judicieux et que l'image s'y prête, pas trop de perte de détails



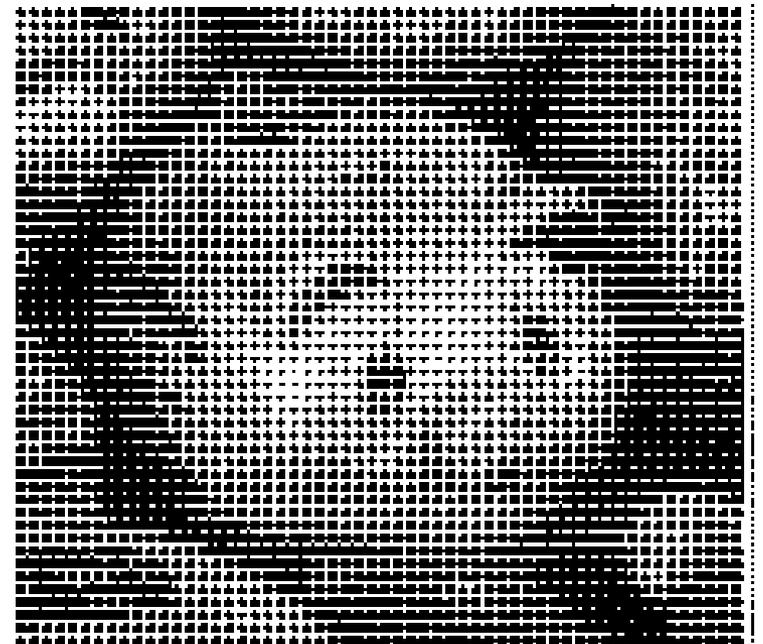
Images et techniques d'affichage

- Tramage demi-ton ou « *Halftone* »
- Basé sur des solutions optiques traditionnelles
 - Produit de gros points adaptés aux imp. Laser et offset mais résolution effective est une fraction de la résolution de l'imprimante (1200 dpi → 75 dpi, typiquement)



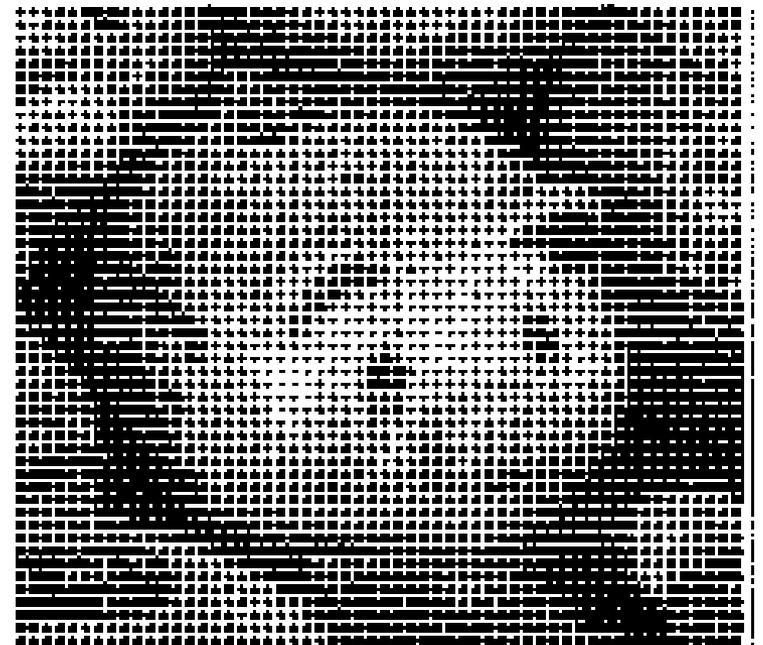
Images et techniques d'affichage

- Tramage positionné
- Avantageux pour les périphériques capables de reproduire des points isolés
 - Technique assez ancienne mais encore utilisée sur les écrans LCD...



Images et techniques d'affichage

- Tramage par diffusion (algorithme de Floyd-Steinberg)
- Avantageux pour les périphériques capables de reproduire des points isolés
 - Remplace le « halftoning » pour les imprimantes à jet d'encre



Images et techniques d'affichage



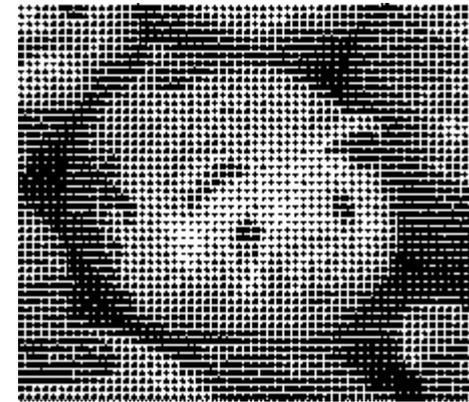
Original



Seuil

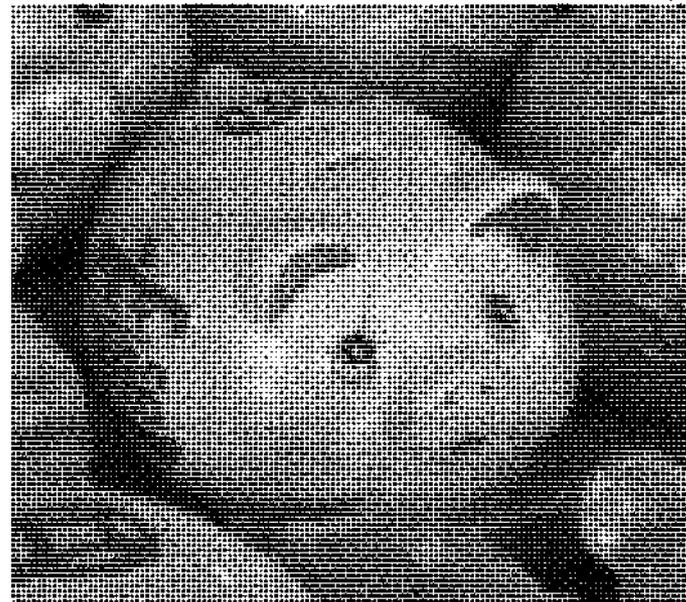


Demi-ton



Diffusion
(floyd steinberg)

- Pour ne pas perdre en résolution, on peut artificiellement l'augmenter avant le tramage ... Mais on ne peut dépasser la résolution de l'imprimante !



Images et techniques d'affichage

Algorithmes de tramage digital

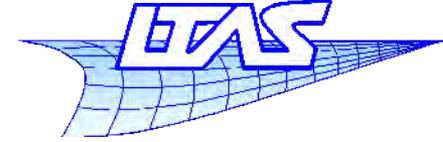
- Tramage consistant

Principe

- On balaye l'image dans n'importe quel ordre (le résultat pour chaque pixel ne dépend pas des voisins)
- Pour chaque valeur de pixel, on recherche la valeur la plus proche dans une palette et on affiche cette valeur.

```
Pour y de 0 à nblignes-1
  Pour x de 0 à nbcolonnes-1
    vieuxpixel = pixel[x,y]
    nouvpixel = arrondi(vieuxpixel)
    pixel[x,y] = nouvpixel
  Finpour
Finpour
```

Arrondi vers la valeur
admissible la plus proche



Images et techniques d'affichage

- **Tramage positionné**

Principe (N&B)

- On balaye l'image dans n'importe quel ordre (le résultat pour chaque pixel ne dépend pas des voisins)
- Pour chaque point, on vérifie que sa valeur est supérieure ou inférieure à une valeur test contenue dans une matrice (la matrice de Bayer)
 - Si inférieur, on trace noir, si supérieur, on trace blanc
- On peut bien sûr faire un tramage vers 4, 9 ou 16 nuances cibles, cf algo suivant

Images et techniques d'affichage

- Algorithme général du tramage positionné
 - Les intensité des pixels sont ramenées à des valeurs réelles entre 0 et 1
 - La sortie est booléenne : 0 ou 1

$$\frac{1}{17} \begin{pmatrix} 1 & 9 & 3 & 11 \\ 13 & 5 & 15 & 7 \\ 4 & 12 & 2 & 10 \\ 16 & 8 & 14 & 6 \end{pmatrix} \begin{matrix} m \\ \downarrow \\ n \end{matrix}$$

Pour y de 0 à nblignes-1

 Pour x de 0 à nbcolonnes-1

 vieuxpixel = pixel[x,y] +

 matrice_bayer[x modulo n,y modulo m]

 nouvpixel = floor(vieuxpixel)

 pixel[x][y] = nouvpixel

 Finpour

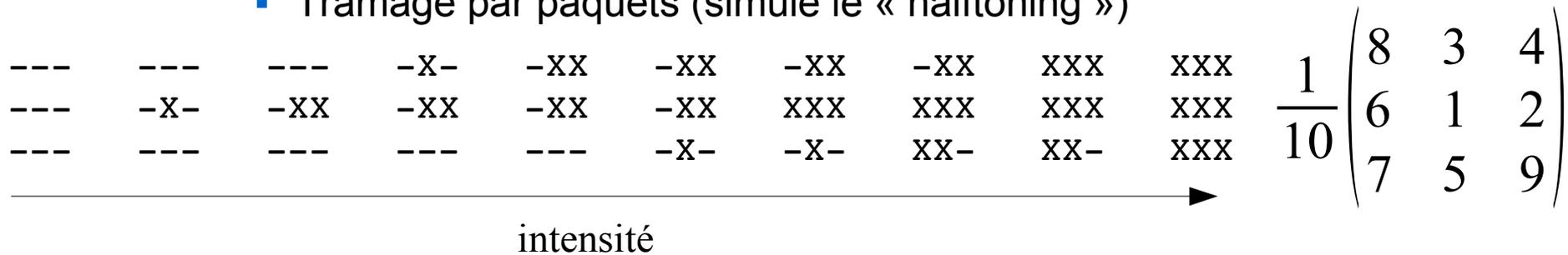
Finpour

Arrondi vers la valeur admissible inférieure

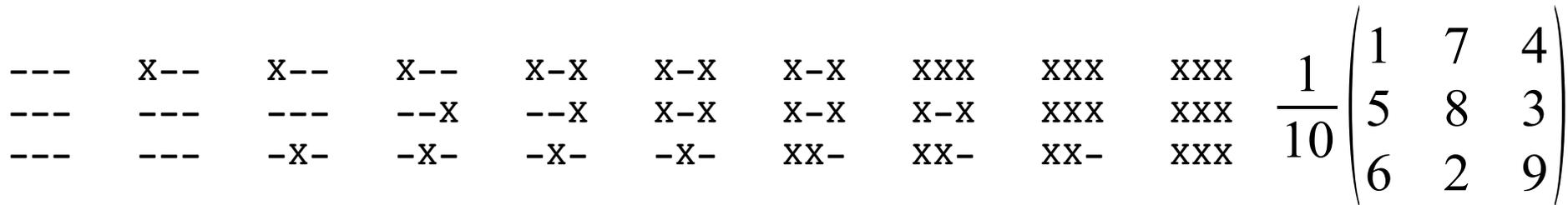
Images et techniques d'affichage

- Génération des matrices de Bayer pour le tramage positionné

- Tramage par paquets (simule le « halftoning »)



- Tramage dispersé (classique)



Images et techniques d'affichage

- Tramage par diffusion d'erreur (type Floyd Steinberg)

Principe :

- On balaye les pixels de gauche à droite et de haut en bas
- On cherche la valeur du pixel admissible la plus proche (arrondi)
- On calcule pour chaque pixel l'erreur commise
- Cette erreur est reportée sur les pixels voisins

Matrice de Floyd & Steiberg

$$\frac{1}{16} \begin{pmatrix} 0 & (0) & 7 \\ 3 & 5 & 1 \end{pmatrix}$$

Diagram illustrating the matrix and scanning process:

- A horizontal arrow labeled 'n' points from the bottom-left to the bottom-right of the matrix.
- A vertical arrow labeled 'm' points from the top-right to the bottom-right of the matrix.
- A curved arrow points from the top-right element (7) to the text 'Pixel courant k=1, l=0'.

Images et techniques d'affichage

- Algorithme du tramage par diffusion d'erreur

```
Pour y de 0 à nblignes-1
  Pour x de 0 à nbcolonnes-1
    vieuxpixel = pixel[x,y]
    nouvpixel = arrondi(vieuxpixel)
    pixel[x,y] = nouvpixel
    erreur = vieuxpixel-nouvpixel
    Pour j de 0 à m-1
      Pour i de 0 à n-1
        Si matrice[i,j]<>0
          pixel[x+i-k,y+j-l] = pixel[x+i-k,y+j-l] +
            erreur*matrice[i,j]
        Finsi
      Finpour
    Finpour
  Finpour
Finpour
```

Arrondi vers la valeur
amissible la plus proche

Images et techniques d'affichage

- Variantes de l'algorithme de Floyd-Steinberg

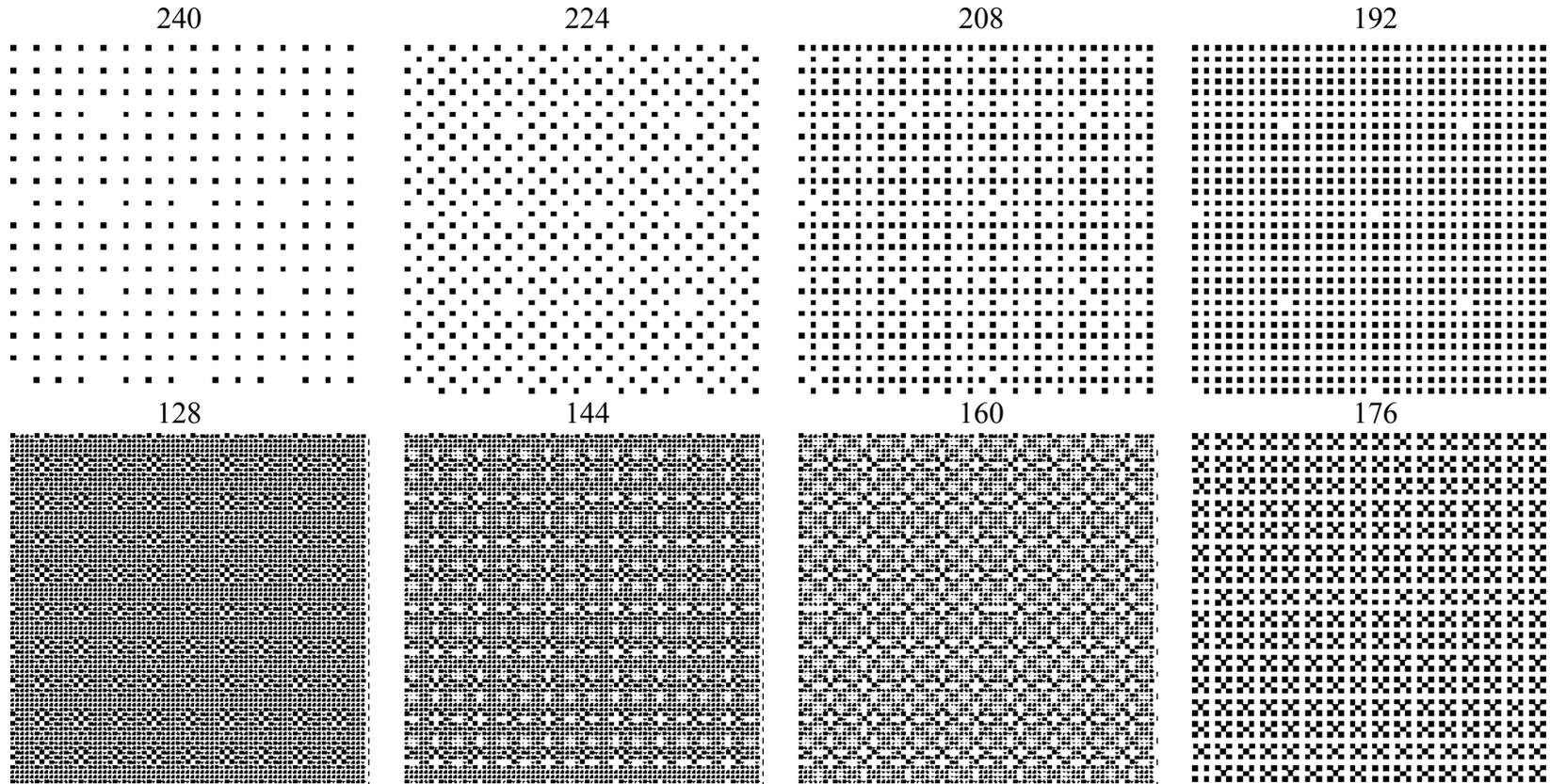
Matrice de Jarvis et al. $\frac{1}{48} \begin{pmatrix} 0 & 0 & (0) & 7 & 5 \\ 3 & 5 & 7 & 5 & 3 \\ 1 & 3 & 5 & 3 & 1 \end{pmatrix}$ Pixel courant
k=2, l=0

Matrice de Stucki $\frac{1}{42} \begin{pmatrix} 0 & 0 & (0) & 8 & 4 \\ 2 & 4 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \end{pmatrix}$ Pixel courant
k=2, l=0

Matrice de Sierra $\frac{1}{32} \begin{pmatrix} 0 & 0 & (0) & 5 & 3 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 0 & 2 & 3 & 2 & 0 \end{pmatrix}$ Pixel courant
k=2, l=0

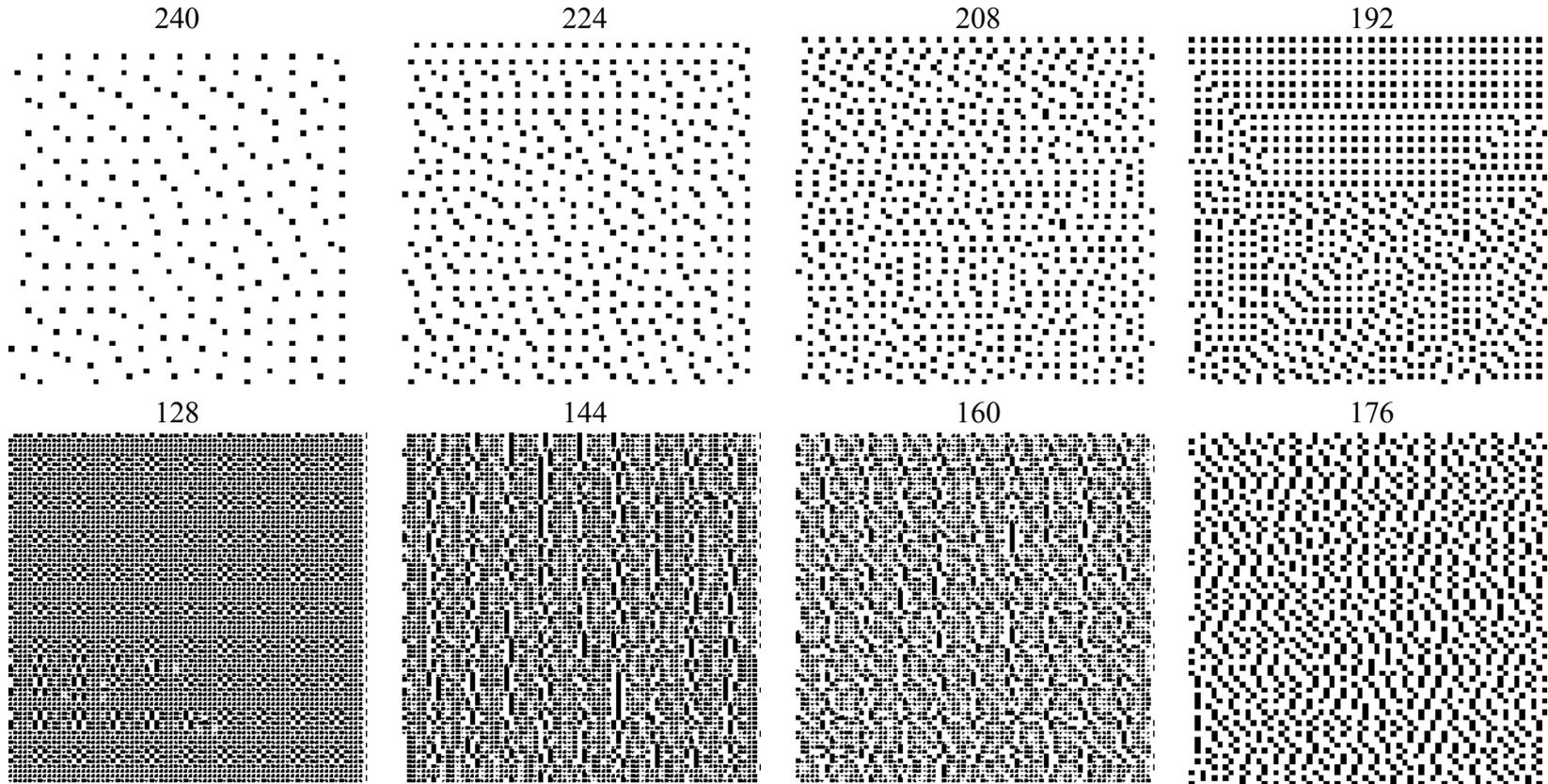
Matrice de Sierra (« Lite ») $\frac{1}{4} \begin{pmatrix} 0 & (0) & 2 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$ Pixel courant
k=1, l=0

Images et techniques d'affichage



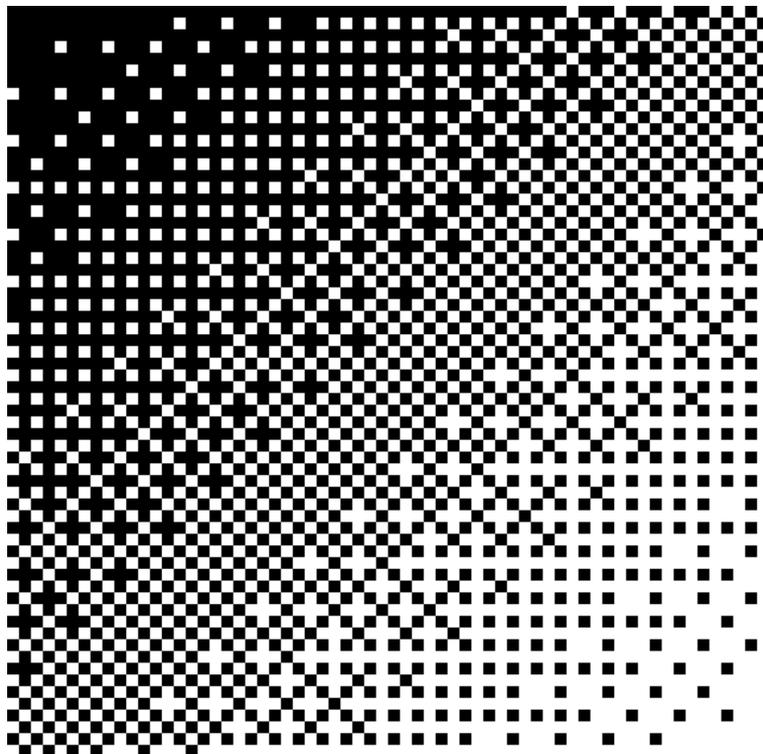
Tramage positionné

Images et techniques d'affichage

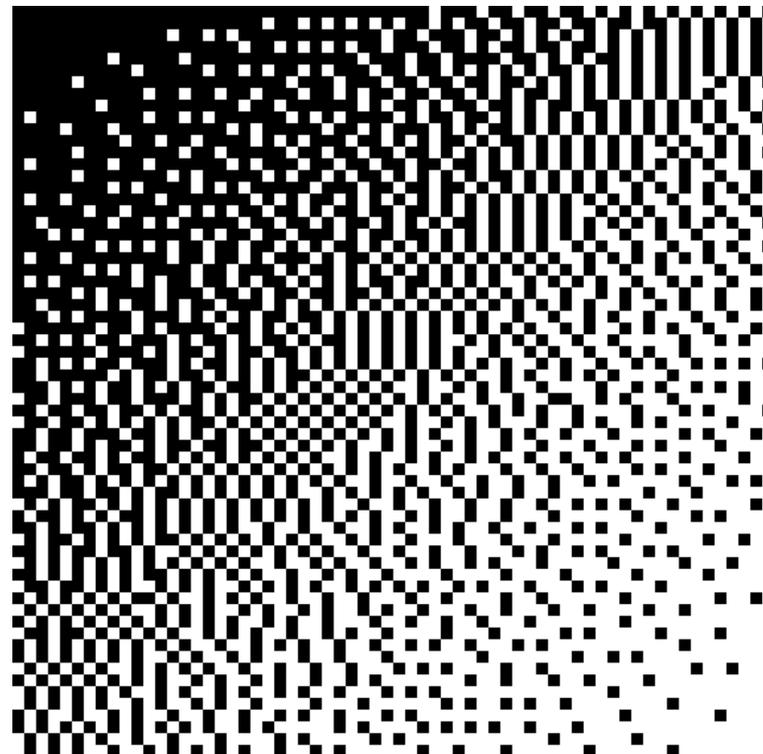


Tramage de Floyd - Steinberg

Images et techniques d'affichage



Tramage positionné



Tramage de Floyd - Steinberg

Images et techniques d'affichage

Encodage de l'intensité dans les images

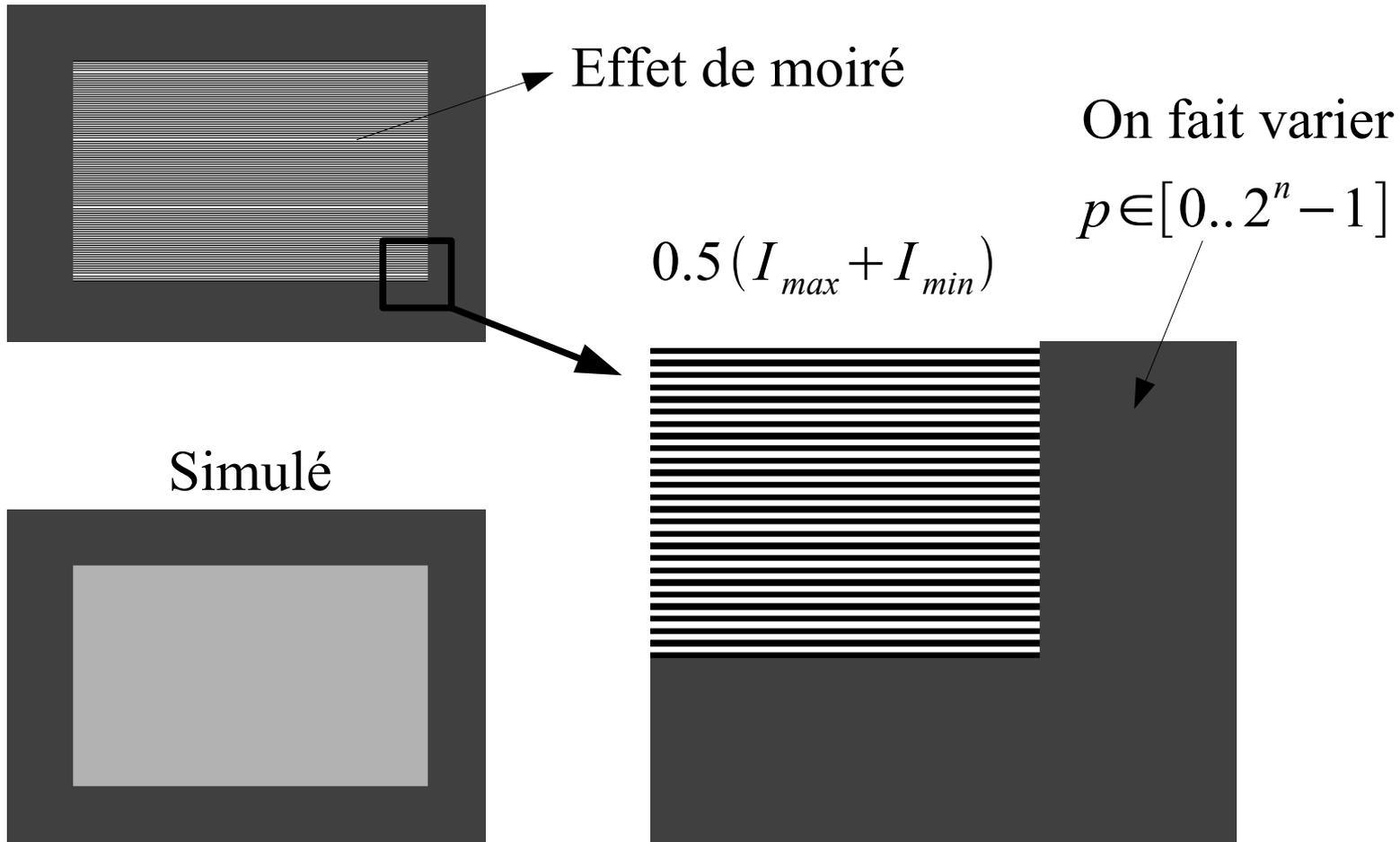
- Quelle est la signification des pixels dans l'image ?
 - Ils déterminent la clarté
 - Plus le nombre est grand, plus c'est lumineux (habituellement)
- *Fonction de transfert* : Fonction qui à une valeur de pixel associe la luminance de l'image affichée du pixel

$$I = f(p) \quad f : [0, N] \rightarrow [I_{min}, I_{max}]$$

- Qu'est ce qui détermine cette fonction?
 - Contrainte physique dans le support ou le périphérique
 - L'œil par exemple a une fonction de transfert non linéaire !
 - Des caractéristiques visuelles désirées

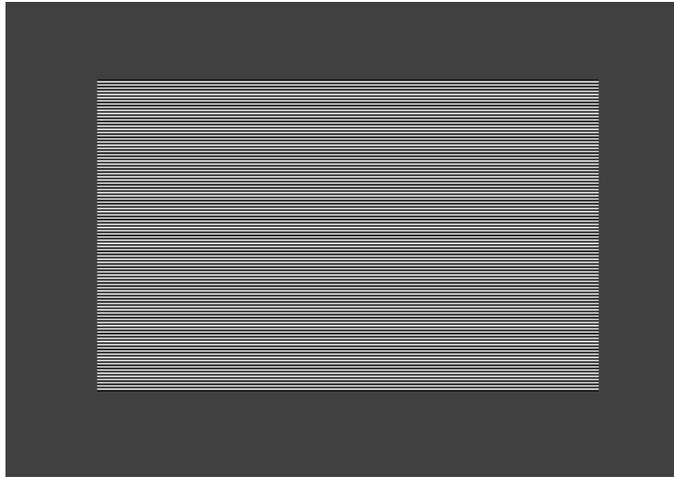
Images et techniques d'affichage

- Une petite expérience...



Images et techniques d'affichage

p=63



Images et techniques d'affichage

$p=127$



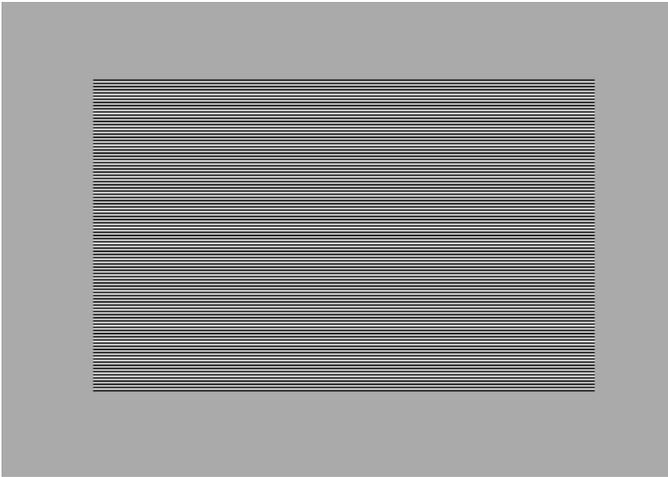
Images et techniques d'affichage

p=191



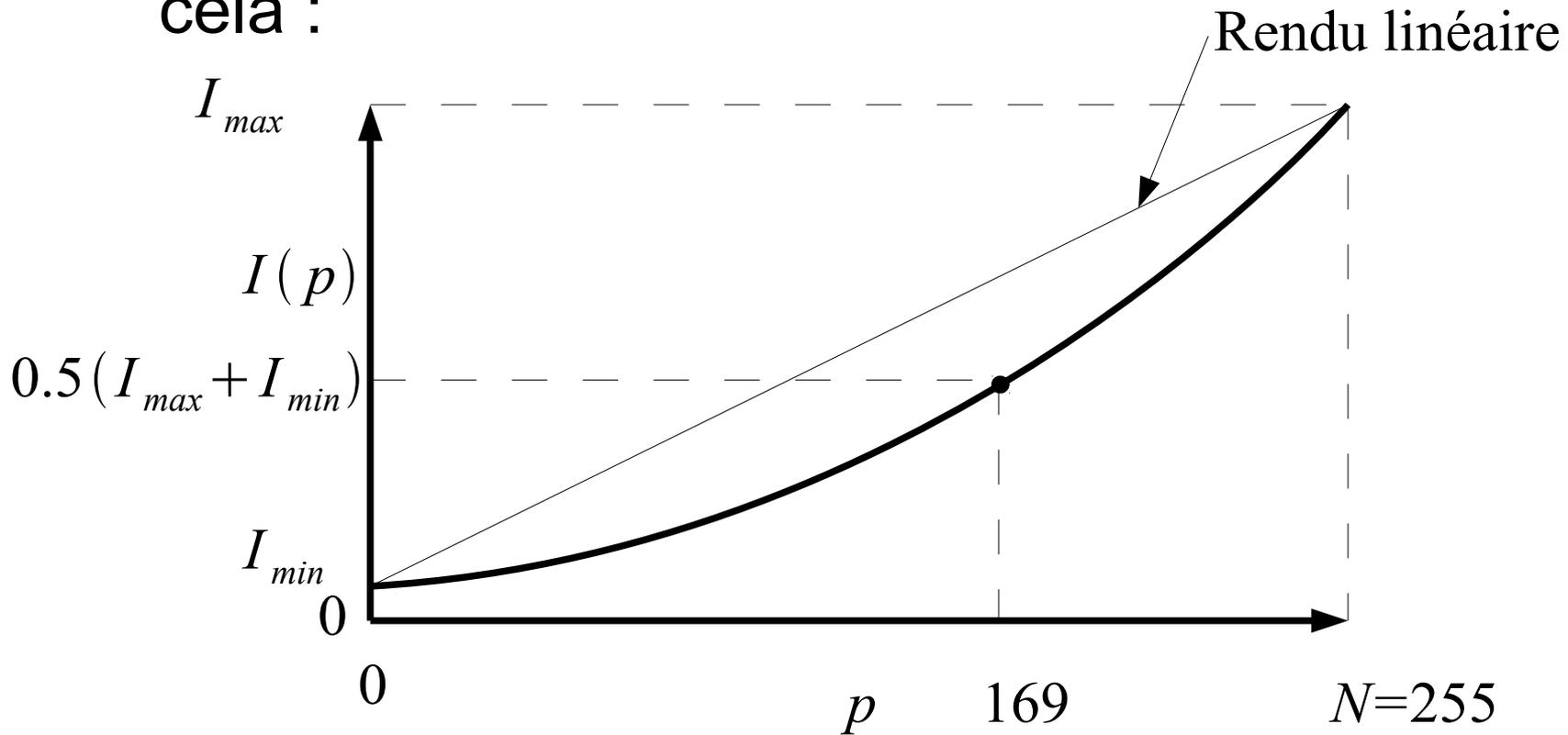
Images et techniques d'affichage

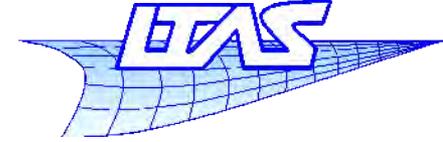
p=169



Images et techniques d'affichage

En fait, le projecteur fait quelque chose comme cela :





Images et techniques d'affichage

Paramètres de la fonction de transfert

- Intensité maximale I_{max}
 - Quelle puissance lumineuse peut être transmise par un pixel ?
 - LCD : efficacité de la transmission : moins de 10% !!!
 - Projecteur : bien entendu meilleur
- Intensité minimale I_{min}
 - C'est l'intensité émise lorsque le pixel est éteint
 - Dépend de la qualité des polariseurs sur un écran LCD
- Reflets de la lumière ambiante r
 - Facteur très important déterminant le contraste apparent
 - 5% I_{max} typique, 1% I_{max} pour un environnement dédié à la création
 - Explique pourquoi les écrans vidéo ont tendance à être noirs (le plus possible) car l'environnement est non contrôlé
 - Et pourquoi on réduit la lumière dans un cinéma (l'écran étant blanc !)

Images et techniques d'affichage

Taux de contraste maximal

- $C_d = I_{max} / I_{min}$ ou $(I_{max} + r) / (I_{min} + r)$
 - Facteur important de la qualité d'une image
- Valeurs « à la louche »
 - Écran dans un environnement habituel: 20:1 (norme sRGB)
 - Photo papier 30:1
 - Écran dans des conditions d'éclairage contrôlées: 100:1 (sRGB)
 - Diapositive/film (projetés dans de bonnes conditions) 1000:1
 - Ecran HDR 10000:1 (mesures labo sans facteur r)

Images et techniques d'affichage

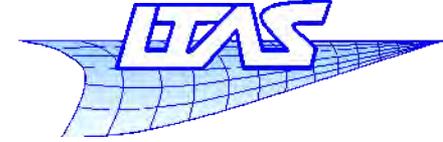
Forme de la fonction de transfert

- Propriété désirée : le changement d'intensité d'une valeur à une autre ne doit pas se voir
 - Élimine les effets de bandes (bandes « de Mach ») sur des images « lisses ».
- Quel contraste minimal est visible par l'homme ?
 - Dans de bonnes conditions, 1 à 2% en intensité relative
 - 2% relatifs, et non absolus
 - On doit donc avoir des valeurs d'intensité plus serrées dans les « gris foncés » que dans les « gris clairs »
 - Fonction de transfert en exponentielle « optimale »

Images et techniques d'affichage

Combien de niveaux sont nécessaires ?

- Dépend du taux de contraste maximal
 - Intervalles (inégaux) de 2% :
 $0 \rightarrow I_{min} ; 1 \rightarrow 1.02 I_{min} ; 2 \rightarrow (1.02)^2 I_{min} ; \dots$
 - $\log_{10} 1.02 = 0.086 \approx 1/120$
Il faut donc environ 120 niveaux distincts par décade du taux de contraste maximal
 - 240 pour un écran en éclairage contrôlé
 - 360 pour du film diapo
 - 480 pour un écran de grande qualité (HDR)
 - Si on veut des intervalles **égaux** : chaque intervalle doit être $< 2\% I_{min}$
 - On doit aller de ~ 0 à I_{min} Cd donc à peut près $50 \cdot I_{min}$ intervalles.
 - 1500 pour impression papier, 5000 pour un écran en éclairage contrôlé, 500 000 pour un écran HDR



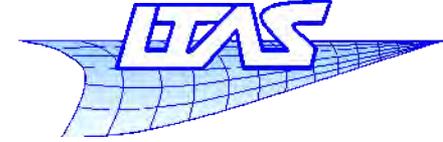
Images et techniques d'affichage

- **Moralité**
 - Une quantification sur 8 bits est juste suffisante pour des application « bas de gamme »
 - Et encore, si la fonction de transfert (quantification) est correcte !
 - En aucun cas cette quantification n'est suffisante pour effectuer un traitement d'image impliquant la couleur
 - Ajustement de contraste etc...
 - C'est ok comme format final pour l'affichage sur un écran dans un environnement de bureau.

Images et techniques d'affichage

Quantification en pratique :

- Quantification linéaire $I(n) = (n/N) I_{max}$
 - Simple, pratique, arithmétique entière possible
 - Grand nombre d'intervalles nécessaires
 - Minimum 12 bits, 16bits ou nombres en virgule flottante pour HDR
- Quantification en loi puissance $I(n) = (n/N)^{\gamma} I_{max}$
 - Encore simple; approximation d'une quantification exponentielle
 - Besoin de linéariser au voisinage de zéro avant de faire les calculs
 - 8bits sont OK, 12 bits pour application critiques
- Quantification exponentielle $I(n) = I_{min} C_d^{\frac{n}{N}}$
 - Quantification idéale
 - Coûteux
 - Nécessite de choisir une intensité minimale non nulle...(ambiance)

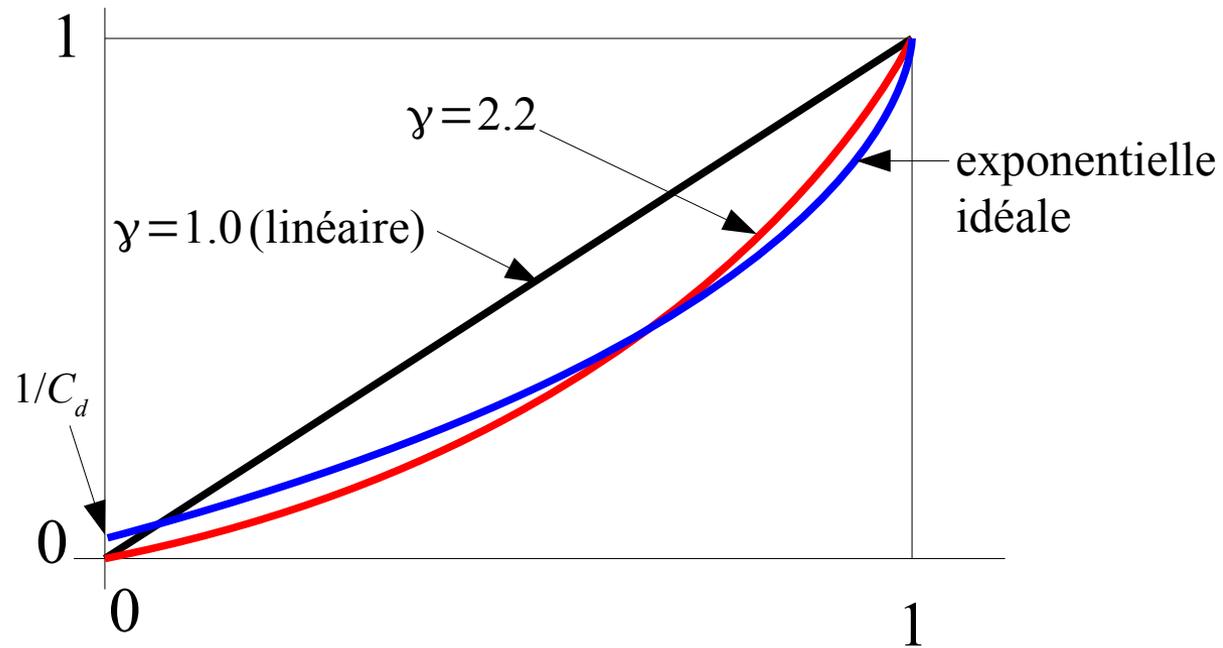
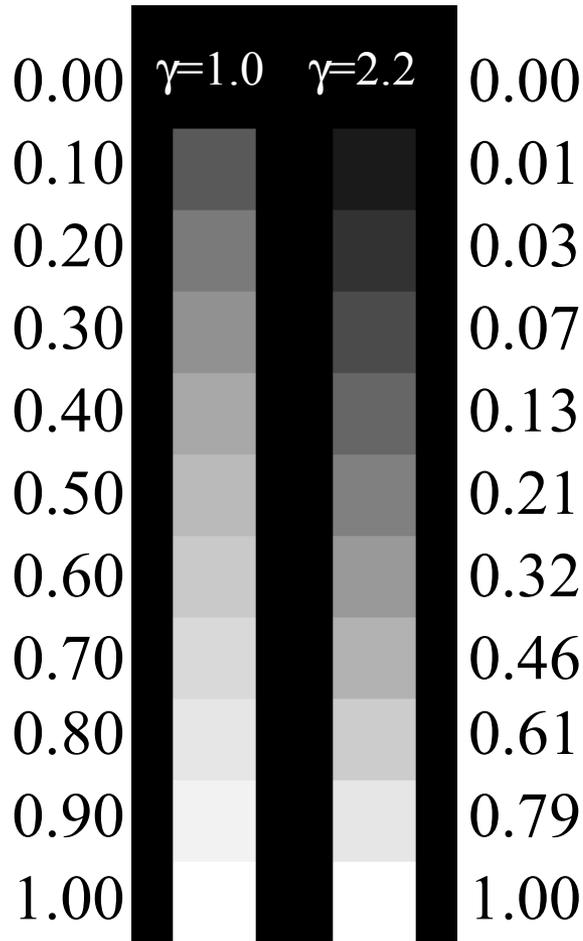


Images et techniques d'affichage

- En pratique la quantification en loi puissance est utilisée (quantification gamma)
 - Mauvaise raison : les tubes CRT fonctionnent ainsi !
$$I_{\text{écran}} \propto V^{2.2}$$
 - Vraie raison : l'œil humain est un capteur non linéaire. Les tubes CRT ont aussi été conçus ainsi.
- Raison actuelle : inertie et faible exigences mémoire
 - Inertie : la correction gamma est proche d'une correction exponentielle, pas de raison de changer pour peu d'amélioration.
 - Mémoire : Avec la correction gamma, il est possible de coder une image sur 8 bits/canal pour un résultat acceptable (puisque c'est le cas de 99% des images sur PC)
 - C'est adapté à la transmission d'images sur le web.

Images et techniques d'affichage

Quantification gamma



Assez proche de la quantification idéale...

Images et techniques d'affichage

L'affichage et la perception sont non linéaires

- Les écrans peuvent être en général approximés par un coefficient gamma de 2.2
 - Ceci est devenu un standard de fait
 - Tout ce qui est affiché suppose une quantification suivant ce principe.
- Plus précisément, le matériel non étalonné est supposé répondre selon le profil IEC sRGB
 - IEC = International Electrotechnical Commission
 - Standard IEC 61966-2-1:1999
 - Les fichiers d'images sont supposés être selon ce profil si rien n'est indiqué.
 - On verra dans la suite du cours ce que cela signifie

Images et techniques d'affichage

Pourquoi ce coefficient 2.2 ?

- Il provient précisément de la physiologie de l'œil.
 - En gros, une intensité lumineuse égale à 18% d'une intensité de référence *apparaît* moitié moins brillante.
 - La sensibilité de l'œil peut être approchée par la formule*:

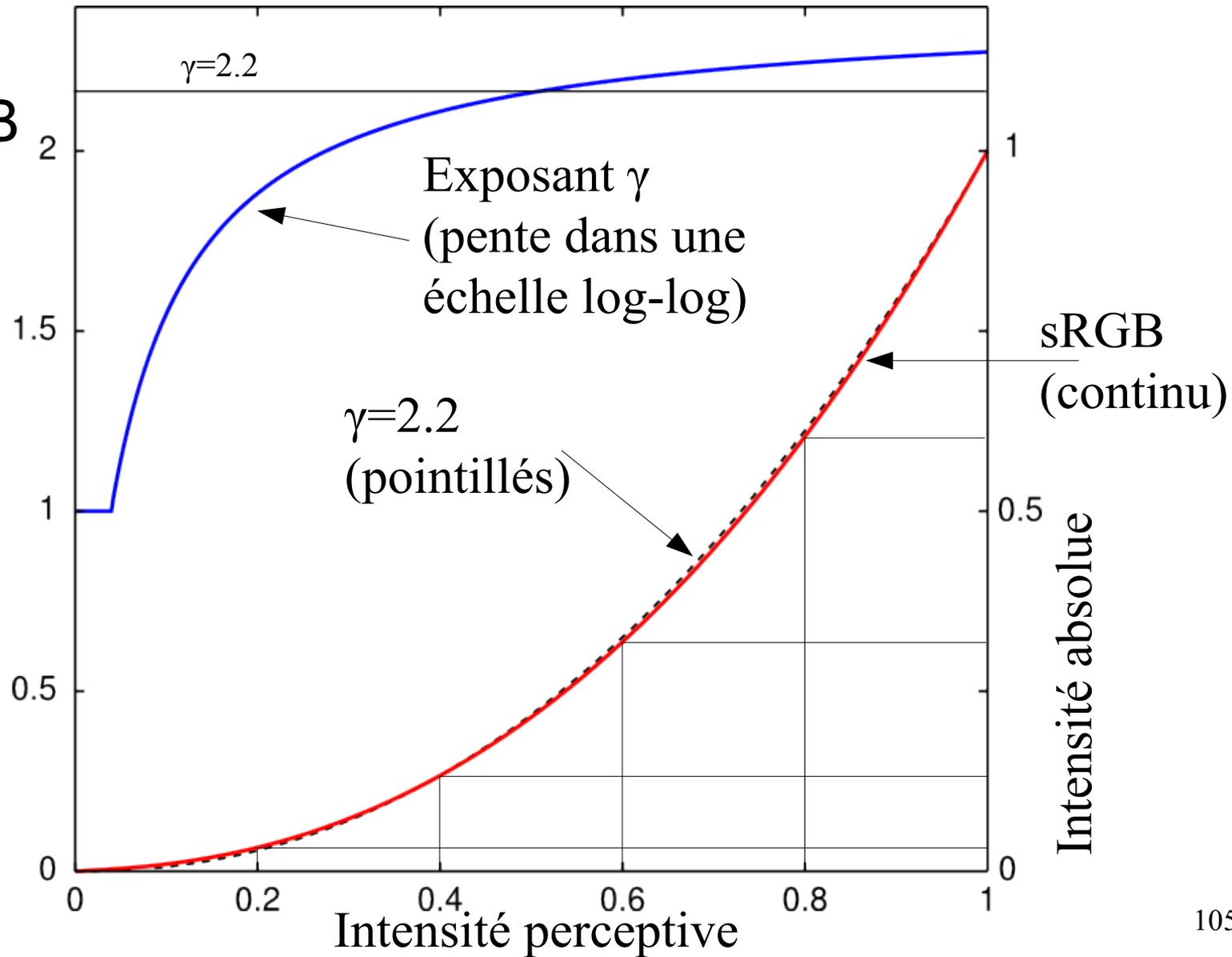
$$\left\{ \begin{array}{ll} L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 & ; \frac{Y}{Y_0} > \left(\frac{6}{29} \right)^3 \\ L^* = \frac{116}{3} \left(\frac{29}{6} \right)^2 \left(\frac{Y}{Y_0} \right) & ; \frac{Y}{Y_0} \leq \left(\frac{6}{29} \right)^3 \end{array} \right.$$

*Cette formule est utilisée pour passer d'un espace colorimétrique linéaire (*i.e* intensités lumineuses mesurées physiquement) à un espace colorimétrique perceptuel (*i.e.* intensités exprimées par rapport à l'impression relative de luminosité pour l'œil).

Y est l'intensité lumineuse (luminance) , L^* est la luminosité apparente

- Cela correspond plutôt à un gamma de 2.4. Pourquoi 2.2 alors ?
 - On regarde souvent la TV dans une pièce à l'environnement non contrôlé.... et dans ces conditions, un peu de contraste en plus ne gêne pas.
 - Pour des raisons numériques, en début de courbe, gamma=1 (évite la pente infinie de la relation inverse). Il faut compenser avec le reste...

■ sRGB



Images et techniques d'affichage

Correction Gamma

- On veut parfois afficher des images dont les valeurs représentent des intensités réelles « I_r » .
 - Soit elles ont été calculées ainsi (ray tracing, etc..)
 - Soit elles ont été acquises sous cette forme (photo numérique)
- On doit alors tenir compte de la quantification gamma (implicite) du système d'affichage !
 - Moniteur avec un niveau zéro pour le noir : $I(n) = I_r = (n/N)^\gamma$
On résout pour avoir : $n = N I_r^{\frac{1}{\gamma}}$
 - C'est ce que l'on appelle la correction gamma qui doit être appliquée à des données brutes avant la conversion sur 8 bits pour l'affichage.
 - Si on ne le fait pas, on a des images sombres et sursaturées.

Images et techniques d'affichage

Correction Gamma



Non corrigé ou corrigé pour γ
inférieur à l'écran (1.0)



Corrigé pour γ
égal à l'écran (2.2)



Corrigé pour γ
supérieur à l'écran (3.5)

Images et techniques d'affichage

Correction Gamma et tramage

- Si une image en niveaux de gris 8bits est tramée (pour être imprimée par exemple), il faut tenir compte du gamma utilisé dans l'encodage de l'image
- Cause : on utilise uniquement les niveaux min et max de pour l'impression, qui sont indépendants du gamma. Or, le rendu intentionnel dépend du gamma...

Pour y de 0 à nblignes-1

Pour x de 0 à nbcolonnes-1

vieuxpixel = $I(\text{pixel}[x,y])$ +

matrice_bayer[x modulo n, y modulo m]

nouvpixel = floor(vieuxpixel)

pixel[x][y] = invI(nouvpixel)

Finpour

Finpour

$$I(n) = (n/N)^{\gamma}$$

$$n(I) = N I^{\frac{1}{\gamma}}$$

Images et techniques d'affichage

Connaître le gamma approximatif d'une chaîne de reproduction...(ce projecteur par exemple)

