

Interface graphique

Physiologie et matériel

Christian Nguyen

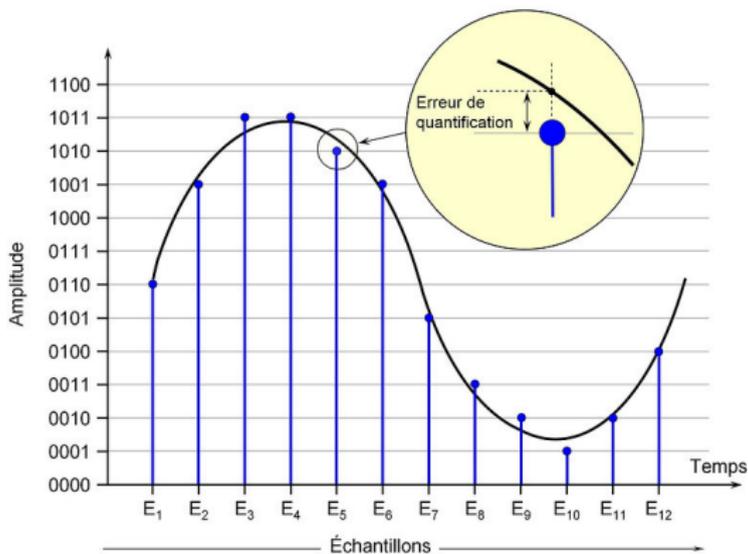
Département d'informatique
Université de Toulon

2017

Du continu au discret

Cette transformation doit prendre en considération des critères :

- mathématiques (travaux de Nyquist - 1924, Shannon - 1948)
- physiologiques et psychologiques (idiosyncrasie),
- matériel (hardware).



Plan

- 1 Physiologie
- 2 L'image
- 3 La couleur
- 4 Dispositifs d'entrée / sortie
- 5 Carte graphique

Physiologie, perception, cognition

La mémoire dépend de nos 5 sens (entrées) et l'activité sensorielle est guidée par notre mémoire¹.

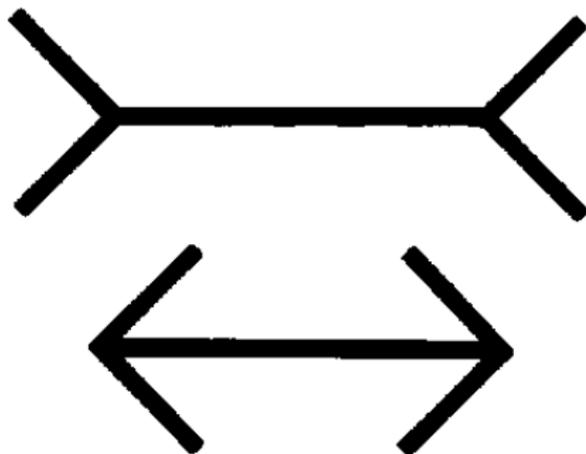
Des performances surprenantes :

- lueur d'une bougie à 27 km,
- 1/10ème de seconde pour mémoriser un visage,
- enfoncement d'amplitude 1 μm ,
- 30 % de chance de reconnaître une voix au bout de 50 ans,
- stimulation de l'odorat à partir de 10^{-12} g.

1. Proust - A la Recherche du Temps Perdu

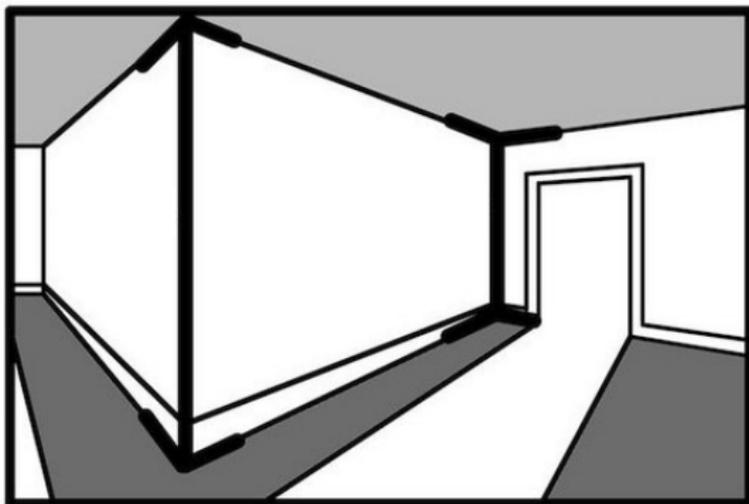
Physiologie, perception, cognition

Les processus de perception sont largement subjectifs (idiosyncrasie) voire dépendent de la culture.



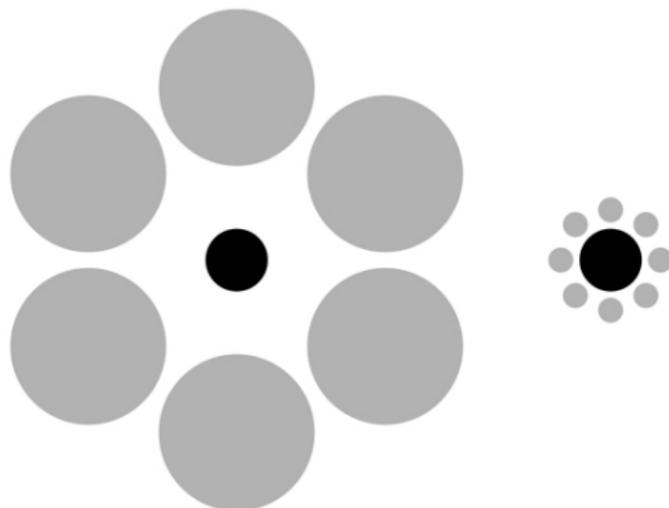
illusion optico-géométrique de Müller-Lyer (1889)

Physiologie, perception, cognition



Certains peuples (les San) du désert de Kalahari en Afrique australe ne sont pas sujets à cette illusion.

Physiologie, perception, cognition

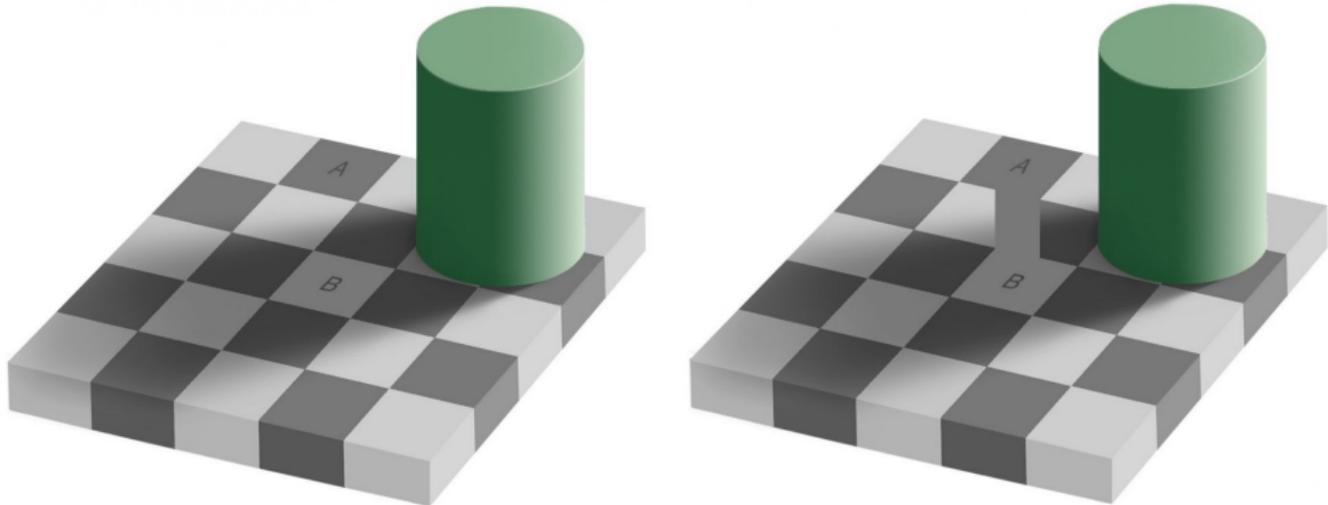


illusion visuelle d'Ebbinghaus² (1893)

Varie en fonction de la morphologie d'une région du cortex visuel primaire.

2. père de la psychologie expérimentale de l'apprentissage

Physiologie, perception, cognition

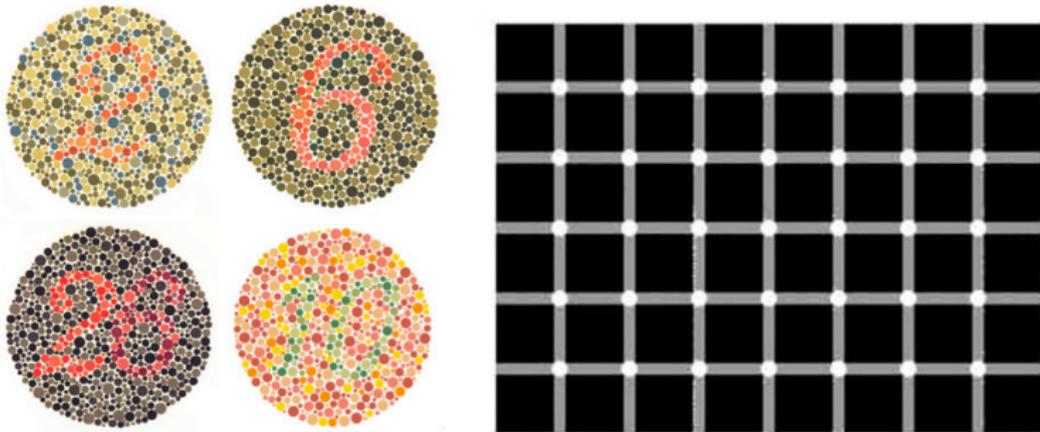


illusion visuelle d'Adelson (1995)

Vision humaine

Justification

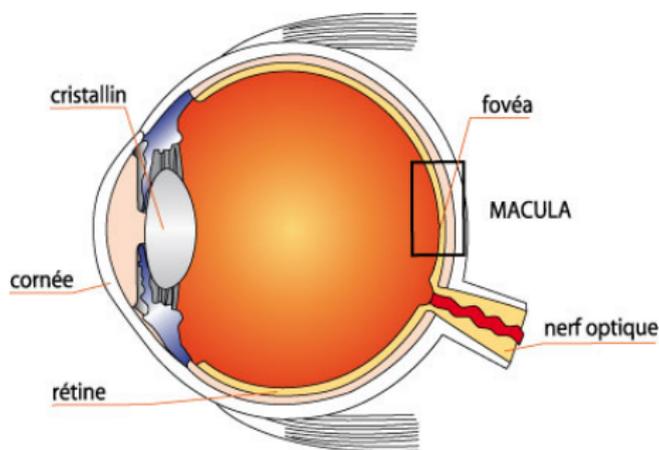
Inutile de perdre du temps à calculer des informations inutiles.
Particularités physiologiques (sensible aux contrastes, aux mouvements, etc.) et psychologiques (artefacts visuels, etc.).



Daltonisme, illusion d'optique

Vision humaine

Anatomie de l'œil



La **rétine** comporte deux types de cellules photosensibles : les cônes (3 catégories) et les bâtonnets.

La **fovéa** ne contient que des cônes (la densité la plus importante de l'œil, de l'ordre de 150000 cônes / mm²)

Vision humaine

Caractéristiques

L'*accomodation* joue un rôle primordiale (chaque couleur réclame un effort d'accomodation : "le rouge rapproche, le bleu éloigne").

Le *champ* de la perception visuelle est proche de 180° horizontalement (perception périphérique moins sensible aux couleurs et plus sensibles aux mouvements).

L'*acuité* visuelle mesure la capacité de résolution spatiale du système visuel (trait noir de 0,02 mm d'épaisseur sur fond blanc à 50 cm ; écrans 0,3 mm, imprimante 300 dpi 0,08 mm).

La *perception de la luminance* est plus logarithmique que linéaire (conversion de l'irradiance E (W/m^2) de façon non linéaire en une valeur de gris g : $g = E^{1/\gamma}$).

Vision humaine

Aspect spectral et temporel

La lumière visible varie de 380 à 780 nm en longueur d'onde.

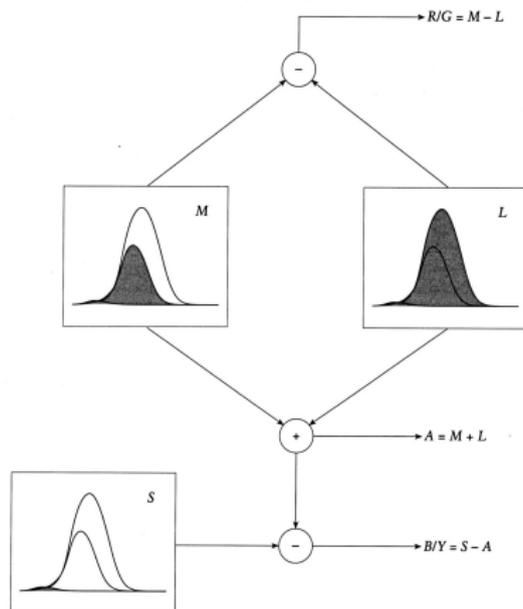
Les **bâtonnets** réagissent suivant une courbe en cloche centrée sur 500 nm.

Les trois types de **cônes** ont des pics de réponses à 420 (S), 530 (M) et 560 (L) nm (équilibre entre résolution et plage de fréquence).

Le seul message émis par les photo-récepteurs est une stimulation.

Vision humaine

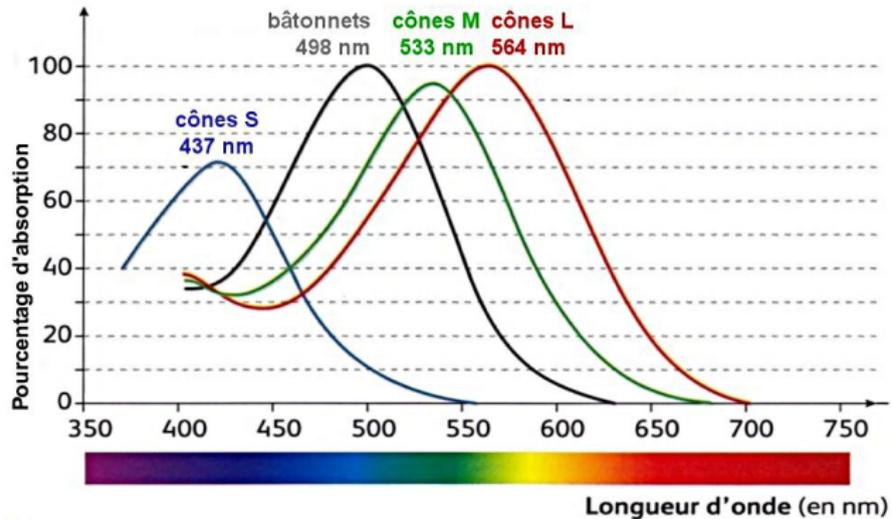
Aspect spectral et temporel



Couleurs transmises dans un espace 3D : luminance, R/V et B/J.

Vision humaine

Aspect spectral et temporel - Effet Purkinje



Vision humaine

Aspect spectral et temporel - Echantillonnage et adaptation

Le processus chimique au sein d'un photo-récepteur dure plusieurs ms.

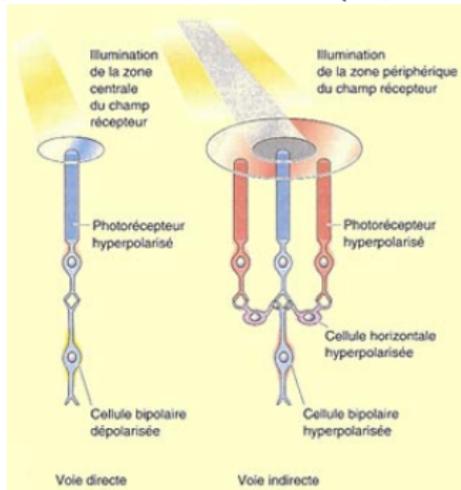
Le signal de sortie est en fait une moyenne temporelle (*temporal smoothing*) qui induit un **seuil de perception de clignotement** (*critical flicker frequency*) de l'ordre de 60 Hz.

L'*adaptation* fait que l'œil devient très sensible aux variations d'intensité lumineuse quand l'illumination globale est basse ($3 \cdot 10^{-5}$ cd) et peu sensible quand elle est haute ($3 \cdot 10^4$ cd).

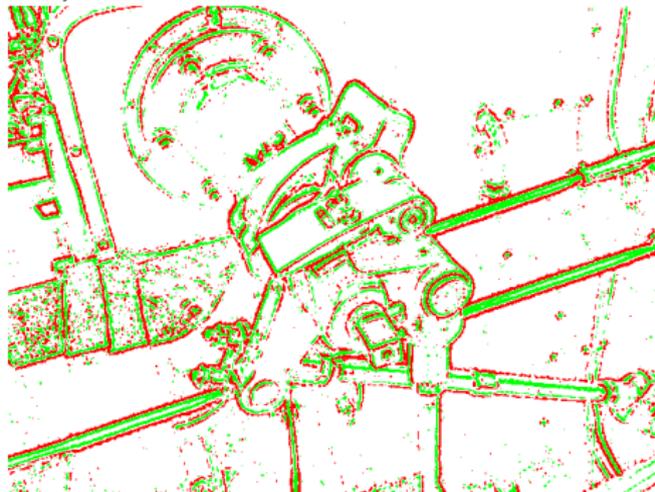
Vision humaine

Aspect spectral et temporel - Echantillonnage et adaptation

La limite physique de l'**acuité visuelle** est de 6". Or les cônes font 10-20" de diamètre à leur sommet. Explication : l'œil »tremble« à une fréquence de 70-103 Hz (super-résolution).



champ récepteur d'un neurone sensoriel



simulation informatique centre on-off

Interaction gestuelle

Quels gestes ?

Trois fonctions du geste [Cadoz 1994]³ :

- épistémique : il sert à connaître,
- sémiotique : il sert à faire connaître,
- ergotique : il sert à déplacer, modifier, construire.

Ce canal est bi-directionnel, un moyen d'action et de communication (à la différence des canaux visuels, auditifs et vocaux).

Deux types de reconnaissance :

- analyse de la trace réalisée par le geste,
- analyse du geste lui-même.

3. Le geste canal de communication homme-machine, Sciences Informatiques - numéro spécial Interface Homme-Machine, vol. 13, no. 1, pp. 31-61, 1994. 

Interaction gestuelle

Limites

Avantages :

- naturelle (manipulation directe, langages des signes)
- concise (commande et paramètres),
- directe (pas d'intermédiaire entre l'intention et le geste).

Inconvénients :

- limites intrinsèques (inconfort, imprécision, apprentissage),
- limites technologiques (segmentation, fusion multimodal).

Plan

- 1 Physiologie
- 2 L'image**
- 3 La couleur
- 4 Dispositifs d'entrée / sortie
- 5 Carte graphique

Définition

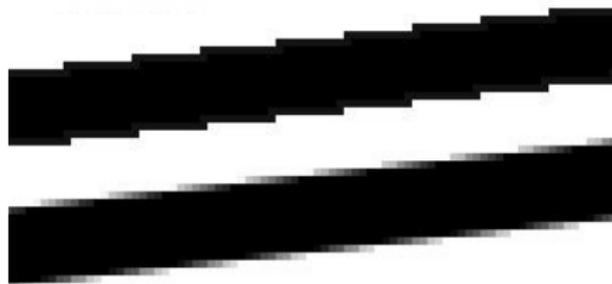
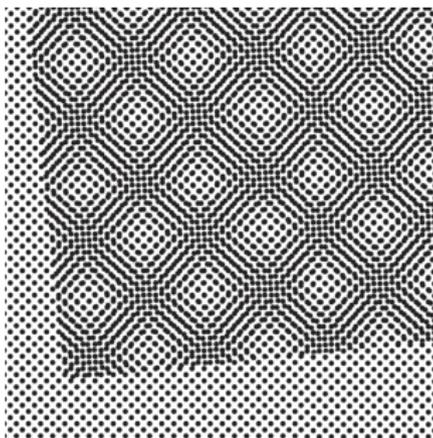
Représentation en deux dimensions d'une grandeur physique mesurée point par point sur une surface.

A une mesure correspond à un point élémentaire de l'image (*pixel*, abréviation de *picture element*).

La **résolution** recouvre indissociablement les termes « définition », « contraste » et « stigmatisme ».

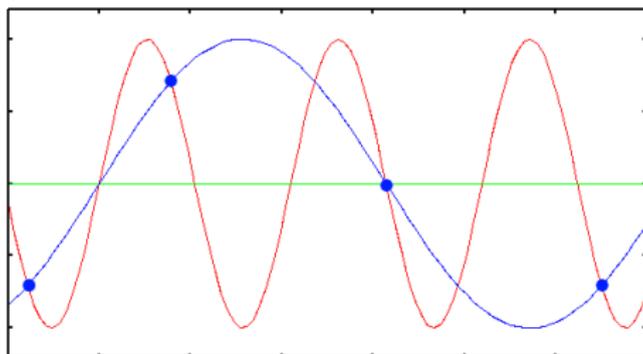
Dégradations : géométrique, ondulatoire et mécanique.

Dégradations



Moiré et aliasing (antialiasing)

Aliasing



Problème d'échantillonnage ne respectant pas le théorème de Shannon : soit f la fréquence la plus élevée du signal, alors la fréquence d'échantillonnage doit être de $2f$.

Codage

Une matrice de couleurs représentée sous la forme d'un vecteur (il faut donc connaître sa largeur).

Codage RVB **direct** : chaque pixel est décomposé en 3 composantes R, V, B (par exemple (73, 0, 170) sur 3 octets).

Codage RVB **indirect** : utilisation d'une table des couleurs (LUT *Look Up Table*).

0	27	255
38	66	104
97	187	39

00	06	1200	0
61	36	255	85
62	36	255	170
63	36	255	255
64	73	0	0
65	73	0	85
66	73	0	170
67	73	0	255
68	73	36	0
69	73	73	0

Final Color
73
0
170

Dispositifs de stockage

4 façons de stocker une image :

- l'*image elle-même* : enregistrement sur bande vidéo, pellicule photographique, etc,
- l'*image mémoire* : stockage de la représentation numérique de l'image
- la *compression de l'image mémoire*, plus la compression est forte plus la complexité et le temps de restitution augmente
- la *description de l'image* : suite de commandes formant l'ensemble des opérations de construction de l'image (PS, PDF, etc.).
 - ▶ *meta-fichiers* graphiques indépendants de l'application et des périphériques utilisés (CGM - *Computer Graphics Metafile*, norme ISO 8632 (1992)).

Plan

- 1 Physiologie
- 2 L'image
- 3 La couleur**
- 4 Dispositifs d'entrée / sortie
- 5 Carte graphique

Introduction

Conjugaison de 3 facteurs : source de lumière, sujet et observateur.

La lumière du jour, dite "lumière blanche", est en fait constitué d'un intime mélange de toutes les couleurs que nous pouvons distinguer [Newton, 1666].

L'étude de la perception a été initiée par Maxwell (fin 19ième) puis normalisé par la CIE⁴.

Une majorité des couleurs perçues peut être générée par une combinaison adéquate de trois couleurs (700 nm (R), 546,1 nm (V) et 435,8 nm (B)).

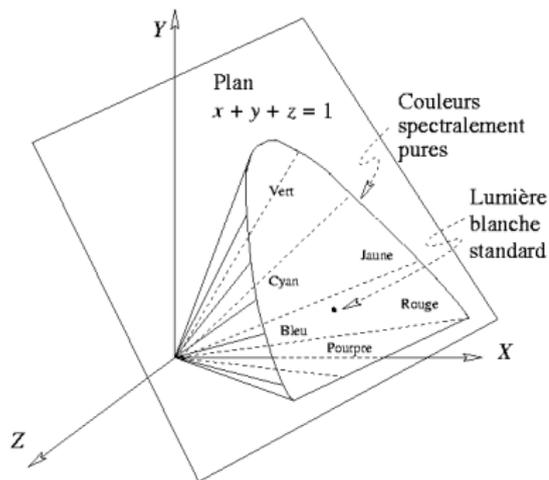
Deux spectres très différents peuvent évoquer la même couleur : les *métamers*.

4. Commission Internationale de l'Éclairage

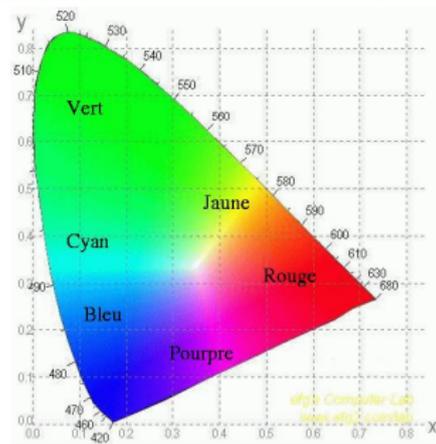
Espace des couleurs

Ensemble qui permet de représenter numériquement des couleurs.

La plupart des espaces sont incapables de représenter la totalité des couleurs.



Le spectre visible dans le diagramme de chromaticité de la CIE (1931)

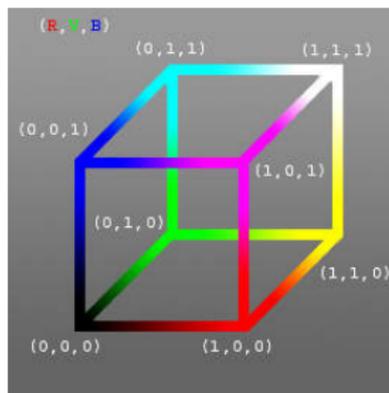


L'espace RVB

Synthèse additive : toute couleur peut être obtenue à partir d'au plus trois primaires R, V et B.

Lorsque les trois composantes varient dans un intervalle réel $[0, 1]$, on parle d'espace RVB normalisé (sRVB).

On obtient ainsi un espace des couleurs continu mais fini, soit un espace vectoriel. Cet espace chromatique n'est pas uniforme.

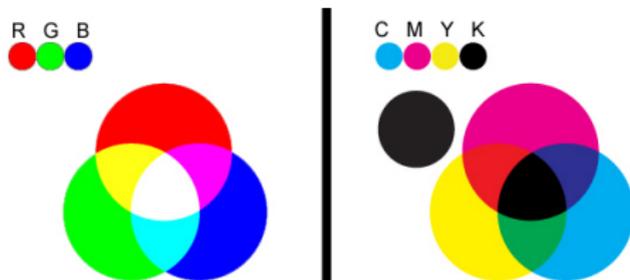


L'espace CMJ(N)

Synthèse soustractive : les pigments agissent comme des filtres (ils absorbent le complémentaire de la couleur).

Le modèle CMJ étant le complémentaire de RVB, la conversion des couleurs pour passer d'un espace à l'autre est très simple, c'est une simple soustraction entre deux vecteurs.

$$\begin{pmatrix} C \\ M \\ J \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} R \\ V \\ B \end{pmatrix}$$

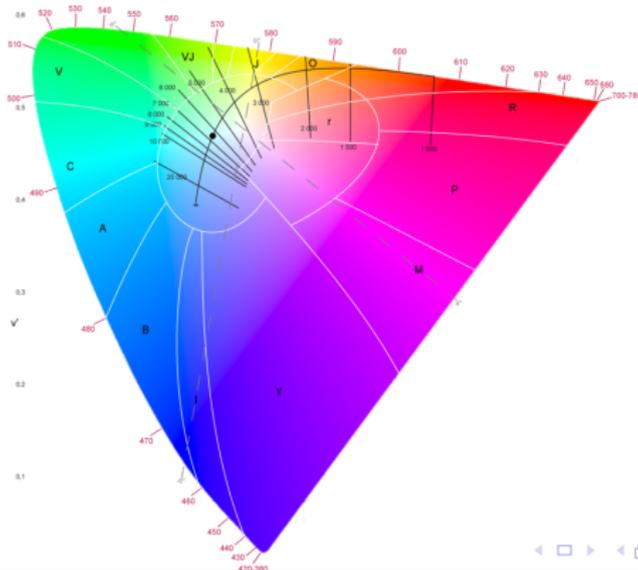


L'espace CIE $L^*a^*b^*$ et $L^*u^*v^*$

Espace colorimétrique absolu comme l'espace CIE XYZ.

Prend en compte la réponse logarithmique de l'oeil, possède un espace colorimétrique uniforme (UCS - *Uniform Color Scale*).

L luminosité, a axe rouge-vert et b axe bleu-jaune.



Pourquoi un espace absolu ?

Pour une couleur XYZ ou Lab donnée : coordonnées RVB / CMJN différentes selon son espace de visualisation.

Calibration d'un périphérique : espace des couleurs ou [profil ICC](#) (1995) (*International Color Consortium*).

La conversion entre RVB et Lab nécessite le passage par XYZ.
Calcul pour passer de XYZ à Lab :

$$L^* = \begin{cases} 116 * (Y/Y_n)^{1/3} - 16 & \text{si } Y/Y_n > 0.008856 \\ 903.3 * Y/Y_n & \text{sinon} \end{cases}$$

$$a^* = 500 * (f(X/X_n) - f(Y/Y_n))$$

$$b^* = 200 * (f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n))$$

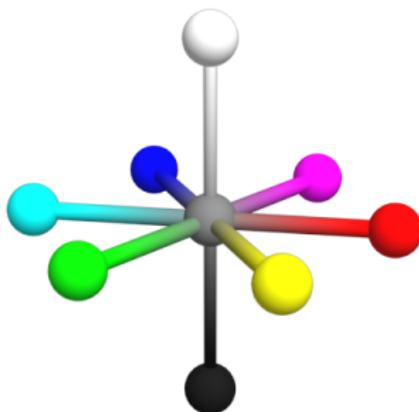
$$\text{avec } f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & \text{si } t > 0.008856 \\ 7.787 * t + 16/116 & \text{sinon} \end{cases}$$

(X_n, Y_n, Z_n) correspond à la couleur blanc de référence de l'espace XYZ.

L'espace TSL (HSL)

Plus intuitif et plus proche de la perception naturelle des couleurs (peintre [Munsell 1915]). C'est un espace non homogène :

- teinte : longueur d'onde dominante,
- saturation : énergie émise à la longueur d'onde de tonalité dominante / ensemble de l'énergie émise,
- luminosité : quantité totale d'énergie du spectre de la couleur.



Autres espaces

Modèles qui s'appuient sur la forme *luminance - double chrominance* :

- espace YUV (espace de référence pour la télévision en Europe), standard connu sous le nom de PAL (*Phase Alternating Line*, 576 lignes effectives, 25 im/s).
- espace YIQ (standard de la télévision aux États-Unis), plus connu sous le nom de NTSC (*National Television System Committee*, 525 lignes, 30 im/s).

L'information de luminance maintient l'intensité lumineuse totale constamment à sa valeur exacte. Les signaux de chrominance sont obtenus en soustrayant des signaux primaires le signal de luminance.

Plan

- 1 Physiologie
- 2 L'image
- 3 La couleur
- 4 Dispositifs d'entrée / sortie**
- 5 Carte graphique

Dispositifs d'entrée

Saisie **analogique** : conversion des mouvements de l'utilisateur en variation de la résistance d'un circuit ou du champ électrique.

- souris (optique 1999),
- *joystick*,
- écran tactile (résistif, capacitif),
- tablette graphique (RAND Tablet 1964, KoalaPad 1984).

Saisie **numérique** :

- clavier,
- manette (*joypad*).

Dispositifs de sortie

Visus

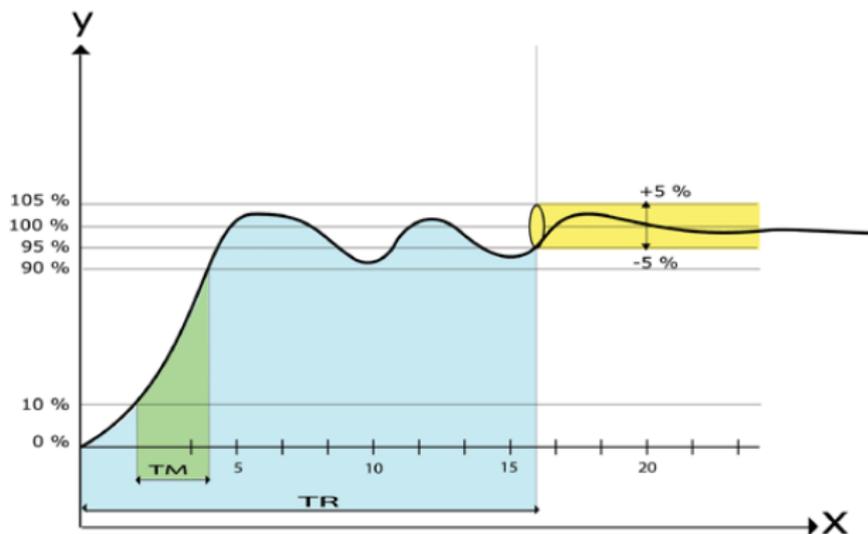
Les plus répandus : à cristaux liquides, à plasma, LED, OLED, SED, etc. Quelques définitions :

- *fréquence de synchronisation verticale* ou *rafraîchissement* (en Hz) : nombre d'images *complètes* affichées en 1 s,
- *fréquence de synchronisation horizontale* (en kHz) : nombre de lignes affichées en 1 s,
- *pas de masque* (ou *pitch*) : distance entre deux points, détermine le nombre maximum de points affichables (*définition* en *dpi*).
- *diagonale* (en pouce, symbole "),
- *rapport d'aspect* : ratio largeur/hauteur (4/3, 3/2, 16/9, 16/10),
- *mémoire de trame* : réduit le scintillement interligne.

Dispositifs de sortie

La visu à cristaux liquides

Norme ISO 13406-2 (révisée par la norme ISO 9241-305) : règles à suivre en matière de pixels morts, de taux de contraste, d'angles de vision, etc. Exemple : le *temps de réponse*.



Dispositifs de sortie

La visu à cristaux liquides

Luminosité et taux de contraste :

- on préconise de ne pas excéder une luminosité de 110 cd/m^2 dans le blanc.
- avec un blanc à 250 cd/m^2 et un noir à $0,5 \text{ cd/m}^2$, on obtient un taux de contraste de 500 :1,

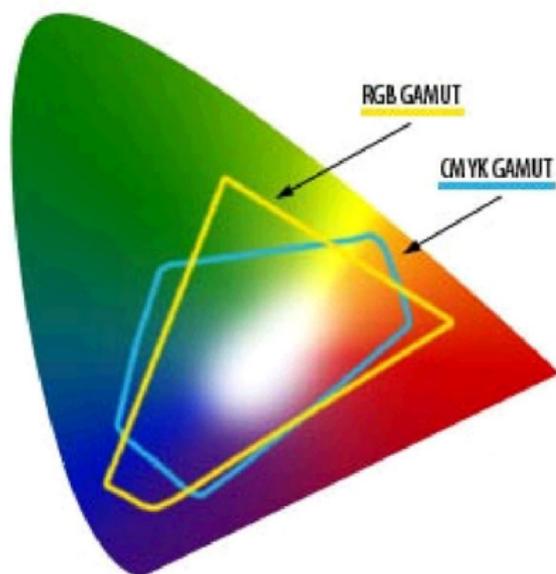
16,2 ou 16,7 millions de couleurs ?

- codage des couleurs sur 18 bits ou sur 24 bits,
- *dithering* : affichage en alternance de deux couleurs bien choisies afin d'en reproduire une troisième,
- $(256 - 3)^3 = 16194277$ couleurs possibles.

Dispositifs de sortie

Gamut

Espace des couleurs disponibles pour un dispositif d'affichage particulier.



Dispositifs de sortie

Correction gamma

Lorsqu'on calcule une couleur, on fait l'hypothèse que ce sont des quantités linéaires. Malheureusement, la plupart des périphériques sont non-linéaires.

Correction la plus courante :

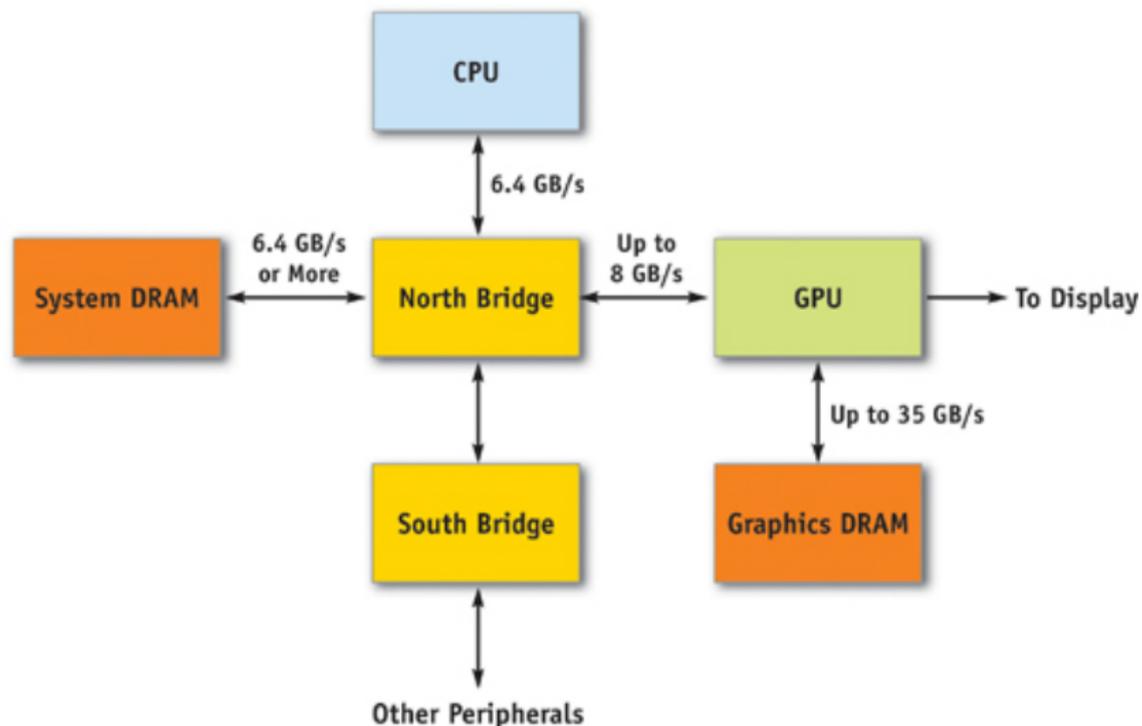
$$y = x_{min} + \Delta x \left(\frac{x - x_{min}}{\Delta x} \right)^{1/\gamma}$$

soit $y = x^{1/\gamma}$ si $0 \leq x \leq 1$.

Plan

- 1 Physiologie
- 2 L'image
- 3 La couleur
- 4 Dispositifs d'entrée / sortie
- 5 Carte graphique**

Architecture générale



Caractéristiques d'une carte graphique

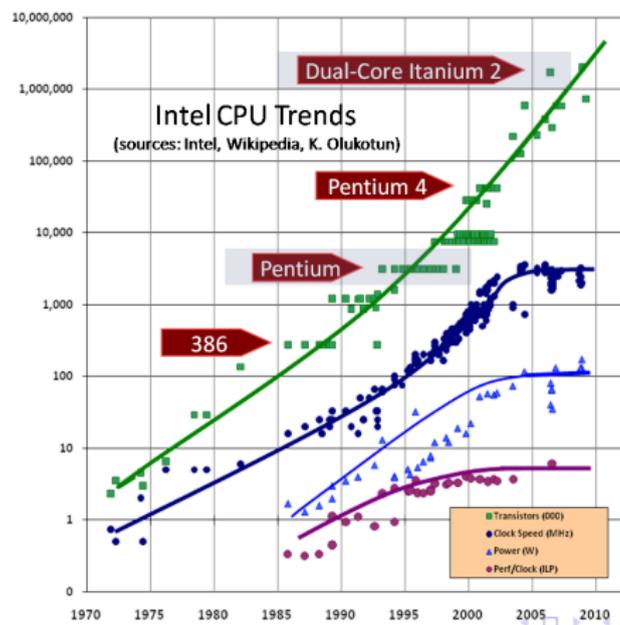
- bus de connexion,
- circuit intégré (chipset) : gère l'affichage, souvent appelé GPU,
- mémoire (technologie employée, type et quantité),
- convertisseur digital-analogique (DAC), souvent appelé RAMDAC,
- taux de rafraîchissement maximum (vitesse d'échantillonnage du signal suivant la résolution).
- possibilités 2D et 3D,
- BIOS vidéo,
- connecteurs externe : VGA (écrans analogiques), DVI et HDMI (modèles numériques), S-Video ou RCA (télévisions).

CPU vs GPU

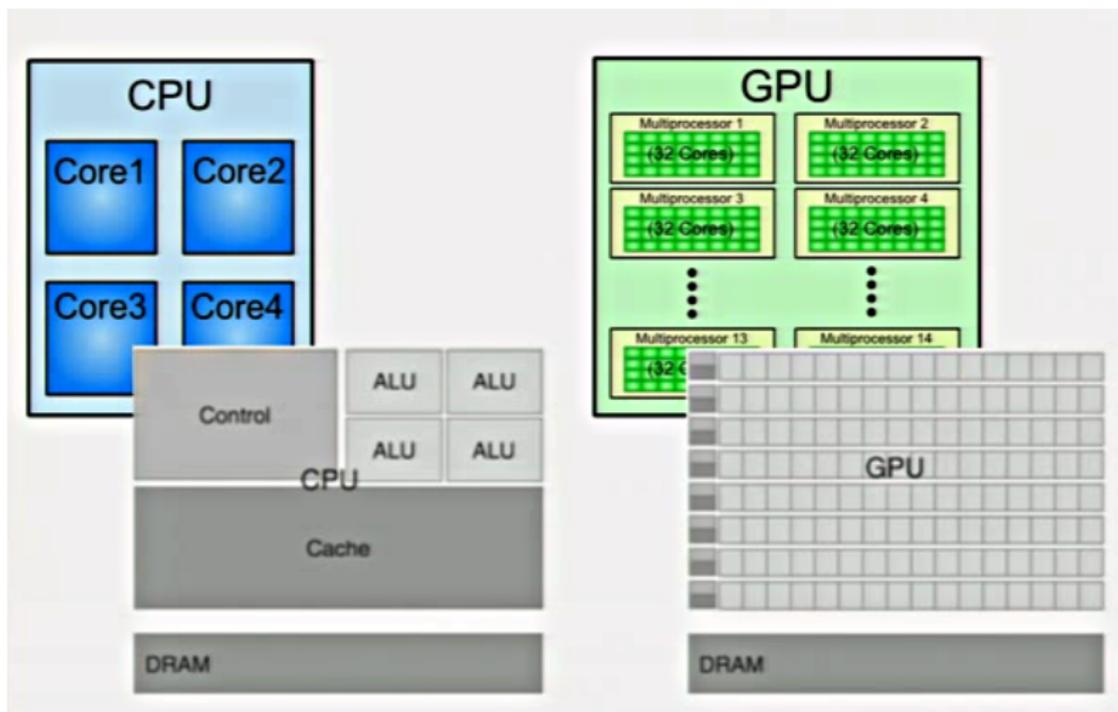
« Loi » de Moore : transistors $\times 2 / 2$ ans (de 1971 à 2001).

Depuis 2004 : fréquence des processeurs quasi-stable

► multiplication du nombre de cœurs.



CPU vs GPU



Le contrôleur vidéo

Affiche l'image définie en mémoire d'image en accédant à la mémoire aussi souvent que la vitesse de balayage l'exige.

- il lit cycliquement la mémoire d'image ligne par ligne, au moins 50 fois par seconde (92 M pixels/s pour un écran 1280×1024 à 70 Hz),
- les adresses de référence de la mémoire sont générées de façon synchrone avec le balayage,
- le contenu de la mémoire est utilisé pour contrôler l'intensité,
- il possède souvent une table des couleurs (ou table de correspondance LUT : *LookUp Table*),
- le signal de sortie peut être de plusieurs types (RVB, PAL, NTSC, HDMI, etc.) associé à une matrice de conversion.

Le bus

Exemple : écran 24", 1920 × 1080, 91 dpi (pitch 0,28), 75 Hz
⇒ 155 M pixels/s ou 466 Mio/s.

Dépend du bus :

- PCI (1992) 132 Mio/s,
- AGP (1997) 8x, 2 Gio/s (théorique)
- PCIe (2004) 4 Gio/s en 1.1, 8 Gio/s en 2.0 (2007), 16 Gio/s en 3.0 (2011).

Rappels :

- largeur de bande : transmission d'un éventail défini de fréquences sinusoïdales,
- bande passante : espace de fréquence des signaux transmis sans affaiblissement.

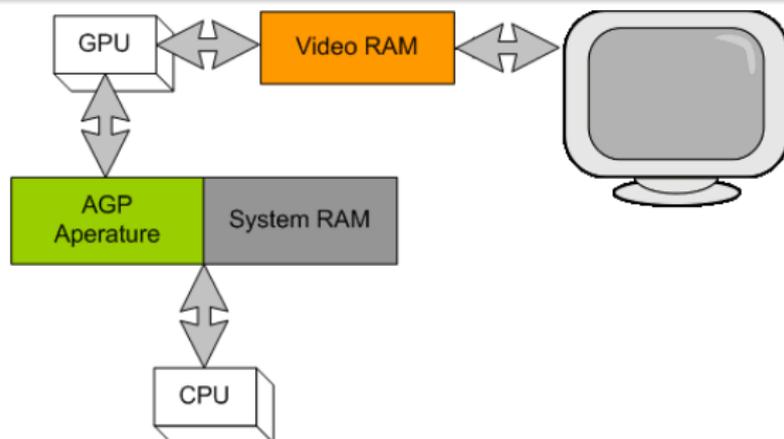
Les technologies mémoire

Le processeur graphique est relié à la mémoire à travers un bus de données de 64, 128 voire 256 bits (utilise également une partie de la mémoire RAM standard en mode DMA).

Les types de mémoires utilisées ont également leur importance :

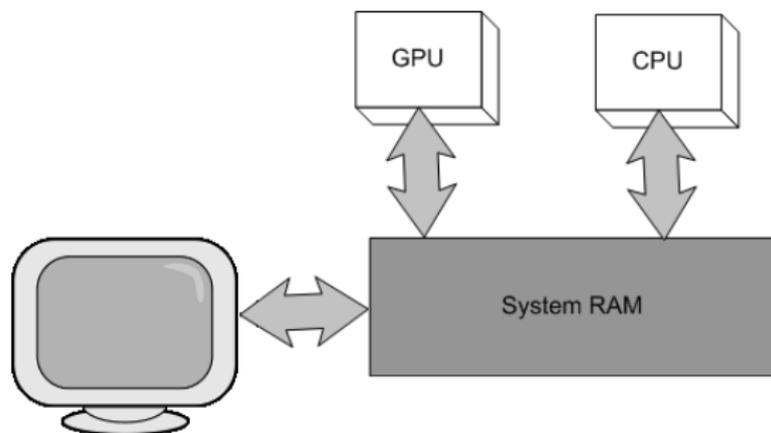
- VRAM (Video RAM) : Texas Instrument (1983), mémoire double port (*Dual Ported RAM*,
- SGRAM (*Synchronous Graphics RAM*) : mémoire simple port (bande passante élevée permettant un partage de cycle),
- 3DRAM (3D RAM) : mémoire double accès avec cache et UAL intégrés (blending, Z-buffer, ...),
- DDR (2000, GeForce 256 de Nvidia 64 Mio), DDR3 10 Gio/s (théorique)
- GDDR (Graphics Double Data Rate) : GDDR5 de 1 Gio à 160 Gib/s sur un bus de 256 bits.

Architecture avec processeur périphérique d'affichage



- ⊕ mémoire d'image (double port),
- ⊕ non concurrence entre le contrôleur vidéo et l'U.C. pour l'accès à la mémoire.
- ⊖ charge importante pour le système d'exploitation,
- ⊖ 4 couples source-destination,
- ⊖ déplacement des blocs entre mémoire centrale et mémoire d'image lent.

Architecture avec processeur d'affichage intégré (UMA)



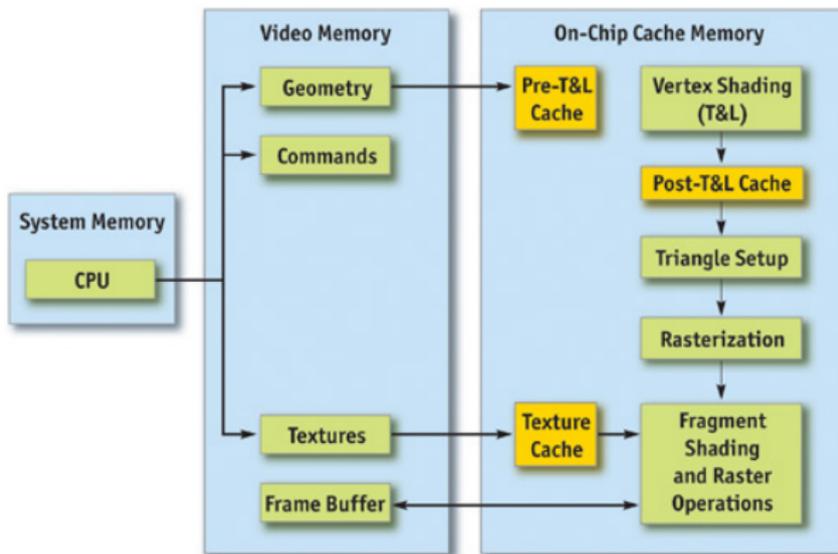
Mémoire double port avec une partie réservée à l'image ; efficace si la bande passante de la mémoire est suffisamment élevée.

- ⊕ à comparer à la solution précédente.
- ⊖ conflit d'accès à la mémoire centrale.

Architecture des cartes graphiques actuelles

ATI (AMD) vs nVidia

A l'heure actuelle, on distingue chez les deux constructeurs des architectures classiques, unifiées et GPGPU (General Purpose GPU).



Architecture des cartes graphiques actuelles

ATI (AMD) vs nVidia

Les *vertex shaders* (*Transform & Lightning*) traitent les sommets définissant chaque polygone constituant les faces des objets modélisés (*backface culling*, *clipping*, *perspective divide*, *viewport transform*, *setup engine*).

Les *fragment shaders* (*multi-texturing*) se chargent du mélange de textures et de l'éclairages (modèles d'ombrage, textures procédurales, *bump mapping*).

Ces deux unités sont "alimentées" par des bus particuliers, les *quad pipelines* (*pixel pipelines*).

Entre les deux shaders, se sont ajoutés les *geometry shaders* qui modifient la géométrie de chaque polygone ou créent de nouveaux polygones.