

Université des frères Mentouri (Constantine 1)  
Faculté des sciences de la technologie  
Département d'électronique

*Master: Systèmes des Télécommunications*

# Traitements d'images

Semestre : 2

Unité d'enseignement : UEM 1.2

Matière 4 : Traitement d'images

VHS : 37h30 (Cours: 1h30, TP : 1h00)

Crédits : 3

Coefficient : 2

Contrôle continue 40% + examen 60%

Version 1.0

par Mohammed Khamadja et Said Benierbah

## **Préface**

Ce polycopie est le cours de traitement d'image pour les étudiants masters option "Systèmes des Télécommunications" de département d'électronique, faculté des sciences de la technologie, université des frères Mentouri (Constantine 1).

### **Objectifs de l'enseignement :**

Comprendre les concepts de la capture et la numérisation des images. Connaitre les différents paramètres et formats d'images numériques. Maitriser les fondements de base de l'analyse d'images. Apprendre à utiliser les outils préliminaires en traitement numérique d'images de bas niveau avec une introduction aux traitements de haut niveau.

### **Connaissances préalables recommandées :**

Traitement du signal.

## Table de matières :

### Introduction

#### Chapitre 1. Perception de la couleur

- Colorimétrie. Lumière et couleur dans la perception humaine
- Systèmes de représentation de la couleur : RGB, XYZ, YUV, HSV, YIQ
- Formats couleur et stratégies de traitement de l'image couleur

#### Chapitre 2. Capteurs d'images et dispositifs d'acquisition numérique

- Schéma de principe d'une chaîne de traitement d'images.
- Principe des capteurs CCD et CMOS
- Spécifications des capteurs couleur
- Numérisation d'une image
- Notions de définition, résolution et quantification d'une image numérique.
- Exemples de formats d'images numériques (BMP, TIFF, JPG, GIF et PNG)

#### Chapitre 3. Traitements de bases sur l'image

- Notion d'histogramme et de contraste
- Correction de la dynamique de l'image par les transformations affines sur l'histogramme
- Egalisation d'histogramme et correction gamma
- Opérations logiques et arithmétiques sur les images

#### Chapitre 4. Filtrage numérique des images

- Filtrage spatial et Convolution 2D : notion de masque (moyenneur, gaussien, binomial)
- Lissage linéaire puis non linéaire de l'image (médian...etc)
- Filtrage fréquentiel : (FFT 2D et propriété de séparabilité, filtre passe-bas, passe-haut ...etc)

#### Chapitre 5. Détection de contours

- Objectifs et généralités
- Types de contours
- Dérivées 1<sup>ère</sup>: masque de convolution (Opérateurs de gradient : masque de Roberts, Prewitt, Sobel ...etc)
- Dérivées 2<sup>ème</sup> d'une image (Opérateurs Laplacien, Filtre de Marr-Hildreth)
- Opérateurs Laplacien vs Opérateur de gradient (sensibilité aux bruits, localisation ...etc)
- Filtre optimal (critères d'optimalité, Canny et Deriche ...etc)

#### Chapitre 6. Segmentation et classification

- Principe et différentes approches de segmentation (par seuillage, par régions, approche de la classification ...etc)
- Seuillage d'images : seuillage global, seuillage local, seuillage par détection de Vallées, seuillage dynamique, seuillage par minimisation de variance, méthodes de classification bayésienne ...etc
- Opérations morphologiques
- Extraction de paramètres et classification d'objets

## **TP Traitement d'images**

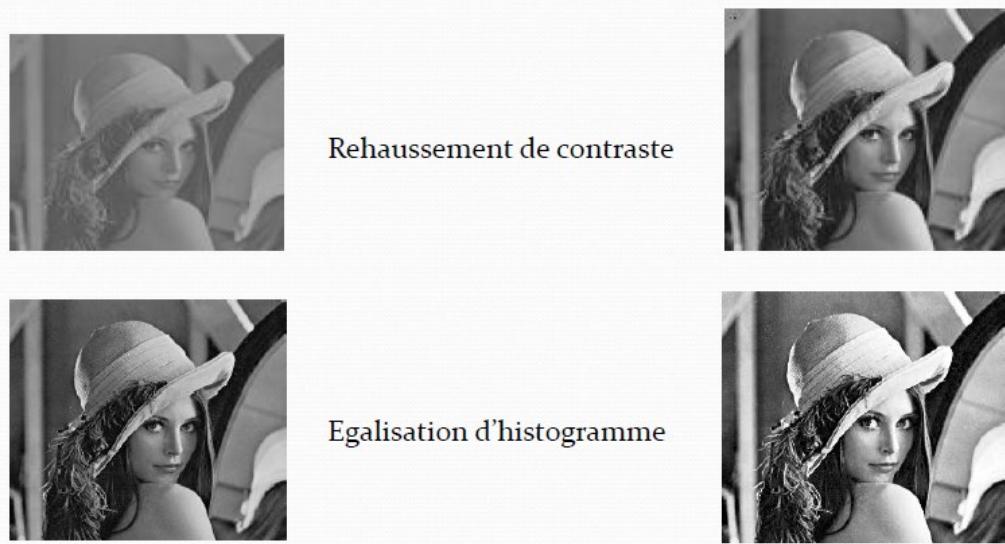
- TP1 : Toolbox de Matlab de traitement d'images et de la vidéo
- TP2 : Traitement numérique des images par MATLAB
- TP3 : Traitement fréquentiel des images sous matlab
- TP4 : Détection de contours et segmentation
- TP5 : Binarisation d'images et opérations morphologiques

## Introduction:

### I. C'est quoi le traitement d'images

Le traitement d'images est une branche du traitement de signal dédiée aux images et vidéo.

Le traitement d'images est l'ensemble des opérations effectuées sur l'image, afin d'en améliorer la lisibilité et d'en faciliter l'interprétation. C'est, par exemple, le cas des opérations de rehaussement de contraste, élimination du bruit et correction d'un flou. C'est aussi l'ensemble d'opérations effectuées pour extraire des "informations" de l'image comme la segmentation et l'extraction de contours.



Avant le traitement d'images, on peut aussi effectuer des opérations de prétraitement qui sont toutes les techniques visant à améliorer la qualité d'une image. De ce fait, la donnée de départ est l'image initiale et le résultat est également une image.

Les opérations de traitement peuvent être divisées en deux niveaux:

*Le traitement bas-niveau qui se construit autour des méthodes d'analyses d'image ayant pour but d'extraire des caractéristiques des images et d'analyser sans les interpréter (contours, texture, par exemple).* C'est des données de nature numérique

*Le traitement haut-niveau intègre l'ensemble des méthodes permettant d'interpréter les caractéristiques issues du bas-niveau (prise de décision, classification, IA)* C'est des entités de nature symbolique associées à une représentation de la réalité extraite de l'image.

### II. C'est quoi une image

#### II-1 Définitions

Une image est une représentation planaire d'un objet quelconque. Mathématiquement, c'est une fonction bidimensionnelle de la forme  $f(x, y)$ , où  $f(x_0, y_0)$  est la valeur de  $f$  aux coordonnées  $(x_0, y_0)$ . Donc, c'est un processus continu 2D résultant d'une mesure

physique. L'amplitude de  $f$  est appelée intensité (ou niveau de gris) de l'image au point de coordonnées  $(x, y)$ .

Si une image est générée par un processus physique,  $f(x, y)$  correspond à l'énergie irradiée par ce processus. Exemples de processus physiques: Emission et réflexion d'ondes lumineuses, Rayonnement infrarouge, rayons X, Echo ultrason, etc...

### *Exemples d'image:*



*-Photographie  
d'une scène*



*image médicale*



*image aérienne*



*image de synthèse*

Quand les valeurs de l'amplitude de  $f$  et des coordonnées  $(x, y)$  sont des quantités discrètes, l'image est appelée *image numérique*. Une image numérique est donc composée d'un nombre fini d'éléments, ayant chacun un emplacement et une valeur donnés. Ces éléments sont appelés *pixels* (contraction de PICture Element).

Différents catégories d'image:

- Images morphologiques: formes des objets et leur disposition en 2D ou 3D.
- Image volumiques: rendu volumique d'un objet ou d'une scène.
- Images dynamiques: séquence d'images en fonction du temps (video).
- Images fonctionnelles ou paramétriques: comportement d'un phénomène physique.
- Images multi spectrales: obtenues dans différentes bandes de fréquences du rayonnement de la source.

## **III- Représentation des images**

Une image est une fonction d'au moins deux variables réelles:

<i>Image : <math>f(x, y)</math></i>	<i>image 2D</i>
<i>Volume : <math>f(x, y, z)</math></i>	<i>image 3D</i>
<i>Séquence d'image : <math>f(x, y, t)</math></i>	<i>image 3D</i>
<i>Séquence de volumes : <math>f(x, y, z, t)</math></i>	<i>image 4D</i>

□

Les valeurs prises par  $f(.)$  peuvent être:

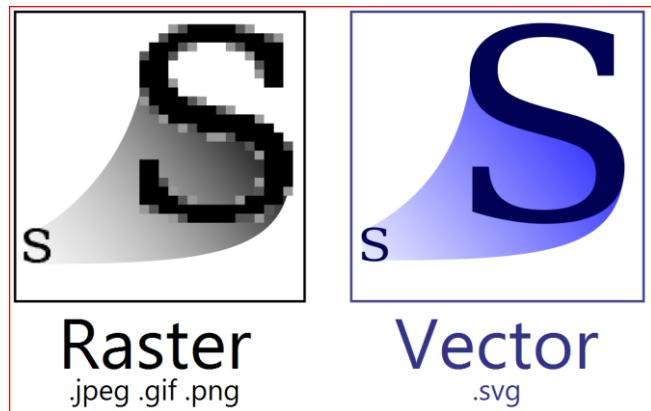
- Scalaires (intensité *lumineuse*)
- Vectorielles (*couleur (RVB), ...*), *imagerie multispectrale*, *image de paramètres ...*)
- Réelles ou complexes

□

### III-2 Types d'images

2.1 Images matricielles: Dans la description que nous avons faite jusqu'à présent des images nous avons utilisé une matrice. On dit alors que l'image est matricielle ou en anglais bitmap. Ce type d'image est adapté à l'affichage sur écran mais peu adapté pour l'impression car bien souvent la résolution est faible.

2.2 Images vectorielles : Le principe des images vectorielles est de représenter les données de l'image à l'aide de formules mathématiques. Cela permet alors d'agrandir l'image indéfiniment sans perte de qualité et d'obtenir un faible encombrement.



2.3 Représentation spatiale: Elle est faite directement à partir des échantillons d'une image dans le domaine spatial. Une image 2D  $f(x,y)$  scalaire réelle peut être vue comme une surface en 3D. en plus, cette représentation est utilisée quel que soit le paramètre représenté par  $f()$  (*Température, pression,....*). Ce qu'on voit lorsqu'on regarde l'image est une correspondance entre niveau de gris et grandeur physique.

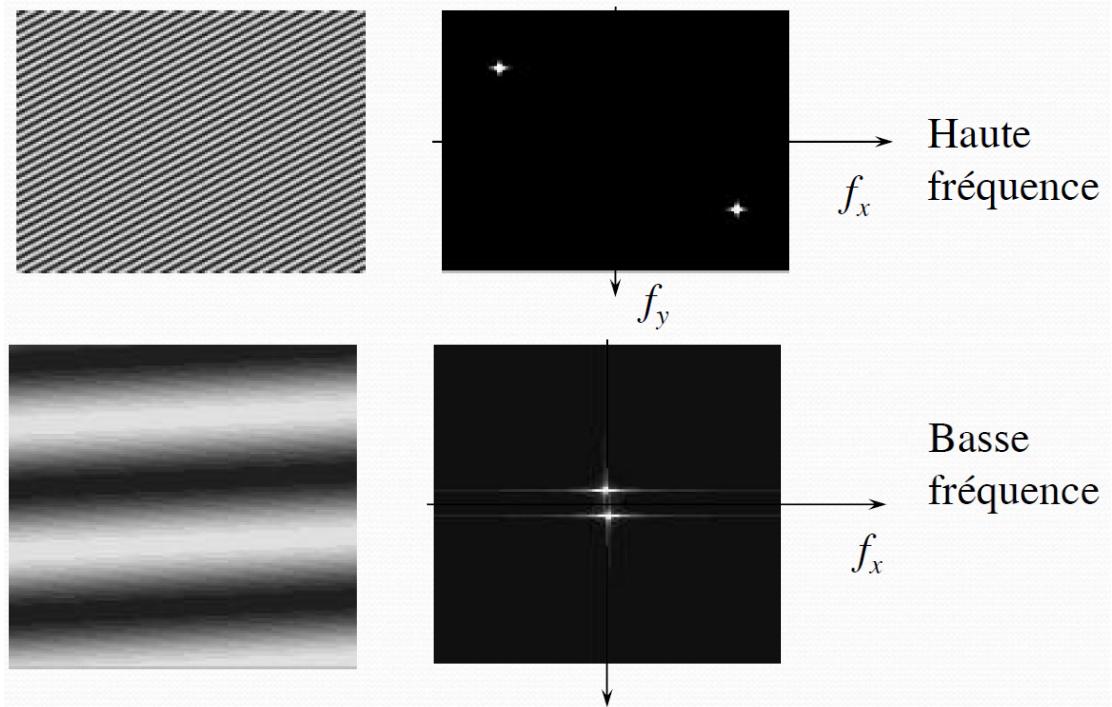


2.4 Représentation fréquentielle: C'est une représentation obtenue à partir d'une transformation de l'image dans le domaine fréquentiel

*Interprétation du spectre d'amplitude:*

- Si le spectre d'amplitude comporte de grandes valeurs pour les hautes fréquences, alors l'image contient des données qui varient sur une courte distance (textures)

- Si le spectre d'amplitude comporte de grandes valeurs pour les basses fréquences, alors l'image contient des données qui varient peu (régions de luminosité presque constante)



III-5 Représentation espace-fréquence: C'est une représentation fréquentielle «locale» de l'image. Elle dépend de deux paramètres l'un spatial et l'autre fréquentiel.

#### IV- Gammes du traitement d'images

Il est généralement admis que l'objectif de toutes ces manipulations peut être divisé en 3 catégories:

*Traitements bas niveau: Image In → Image Out*

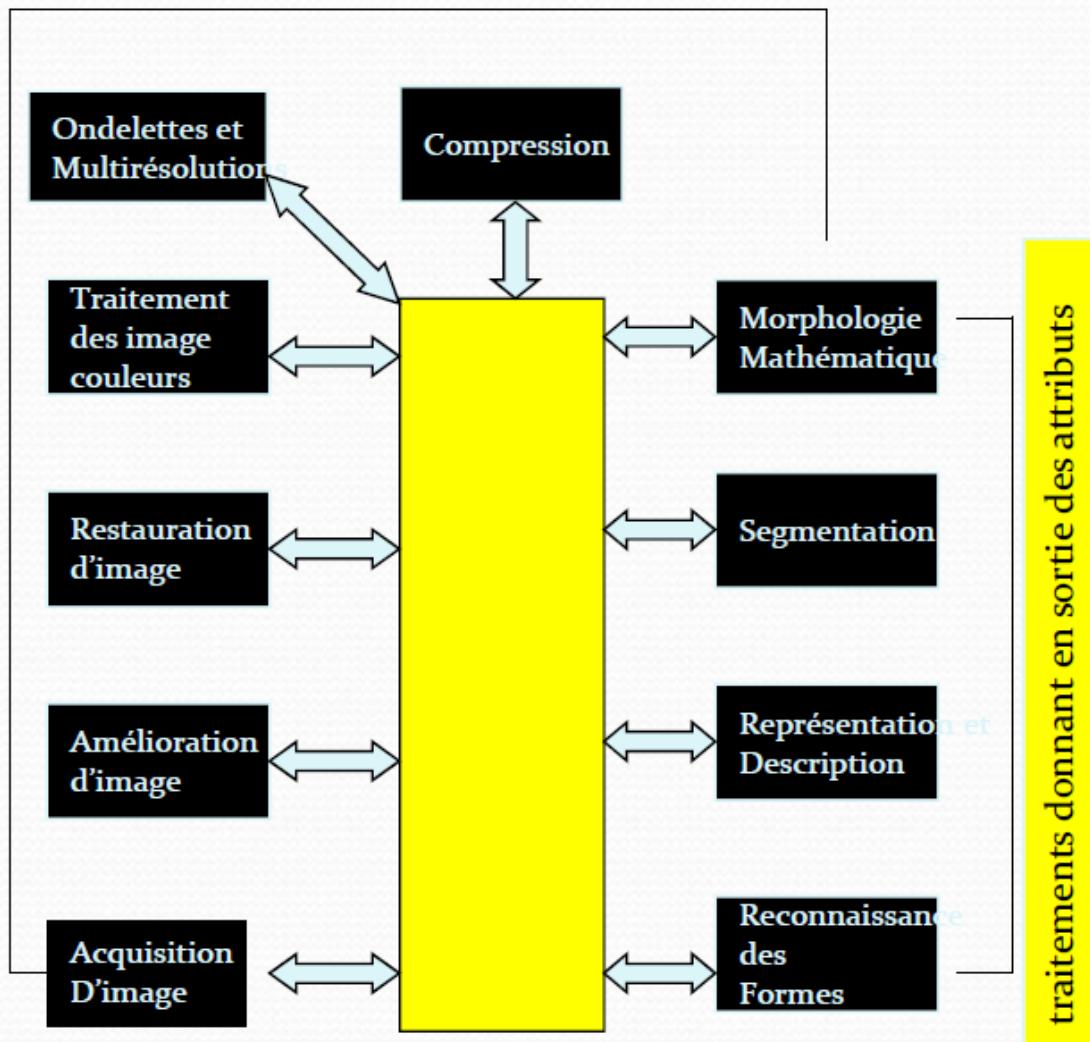
*Traitement de niveau médian: Image In → measurements out*

*Traitement de haut niveau: Image in → high-level description out*

On distingue généralement deux catégories de traitements:

- ceux qui donnent en sortie des images
- ceux qui donnent en sortie des attributs

## Traitements donnant en sortie généralement des images



- Ce diagramme résume l'ensemble des traitements qui peuvent être appliqués à l'image :
- Acquisition: c'est la première étape dans le traitement de l'image. Elle est essentielle : on ne peut décrire, extraire ou améliorer quelques choses qui n'existent pas
- Amélioration: parmi les traitements les plus simples et les plus utilisés: mettre en relief les détails ou faire ressortir certaines caractéristiques.
- Restauration d'images : amélioration de l'images ayant subies des dégradations: bougé de caméra
- Traitement des images couleurs: domaine qui prend de l'importance en raison du développement d'Internet
- Ondelettes et multirésolutions: fondements pour la représentation à différents degrés de résolution : représentation, extraction d'attributs, compression...
- Compression : réduction de la quantité d'informations véhiculées par une image: stockage, transmission de données...
- Traitements morphologiques: ensemble d'outils pour extraire des composantes de l'image: représentation et description des formes

- Segmentation: procédure de partitionnement de l'image en ses composantes ou objets: reconnaissance des formes...
- Représentation et description: intervient généralement après une segmentation. conversion des résultats obtenus sous une forme convenable pour la suite du traitement. La description peut être vue comme une sélection de caractéristiques : classification...
- Reconnaissance des formes: assignation d'un label à un objet en se basant sur ses descripteurs.

# Chapitre 1. Perception de la couleur

## I- La vision humaine

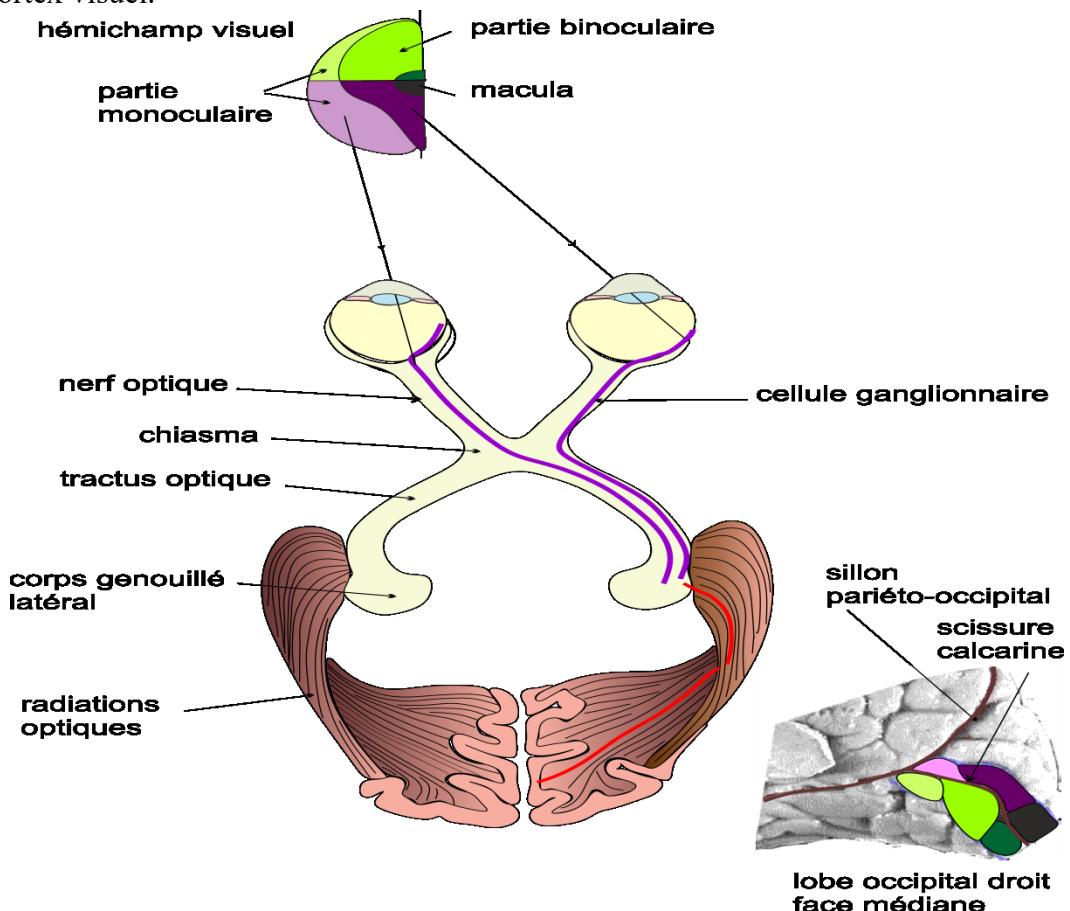
Le système visuel humain fait du traitement d'images. Le but de l'étudier est de comprendre et éventuellement simuler son action. En plus, l'image numérique est traitée pour qu'elle soit analysée par l'œil humain. Donc, quoique le traitement de l'image est basé sur une formulation mathématique et probabiliste, l'analyse et l'intuition humaine joue un rôle important dans le choix d'une technique de traitement par rapport à une autre. Ce choix est souvent basé sur un jugement visuel subjectif.

Aussi, avoir un aperçu sur la perception visuelle des humains est important pour:

- Savoir comment se forme l'image dans l'œil
- Quelles sont les limitations de la vision humaine?
- Comment les humains et les dispositifs électroniques s'adaptent aux changements d'éclairage (illuminations)?
- Leur résolution
- La perception de la couleur
- ...

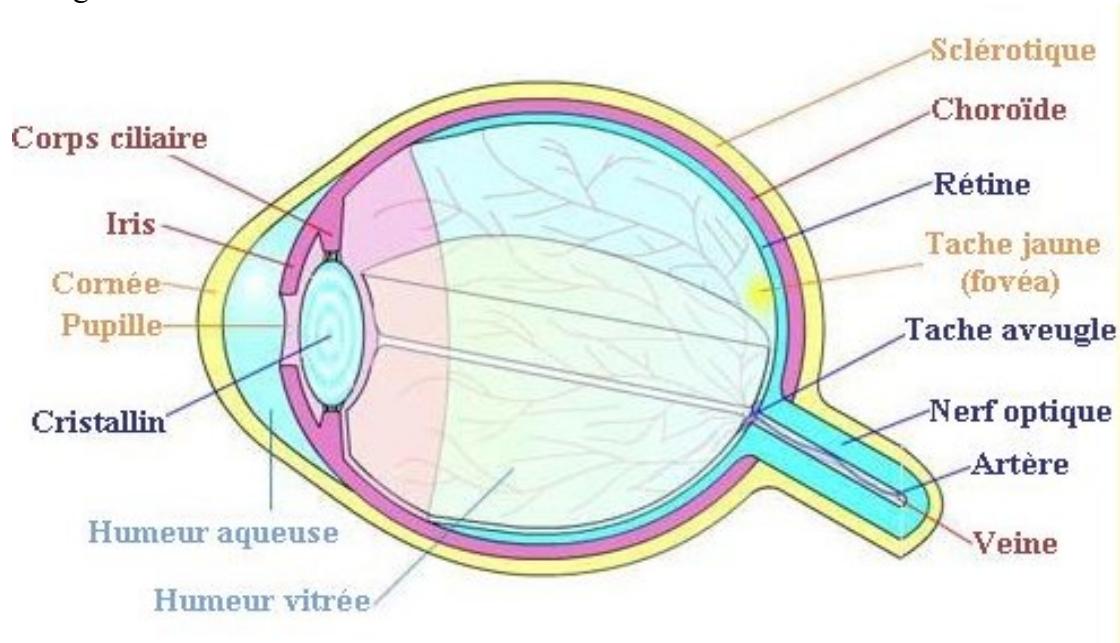
## Le système visuel humain

Le système visuel humain est une architecture composée de plusieurs types de cellules dédiés chacune à une fonction bien précise. Il commence par les cellules photo-réceptrices de la rétine (cônes et bâtonnets) qui sont sensibles à des variations de luminance locales. Elles transforment les signaux lumineux en une variation de potentiel électrique. Les signaux sont, ensuite, relayés par des cellules intermédiaires jusqu'aux cellules ganglionnaires qui les transmettent à travers le nerf optique vers le cortex visuel.



## L'œil humain

La figure suivante montre l'anatomie de l'œil humain:

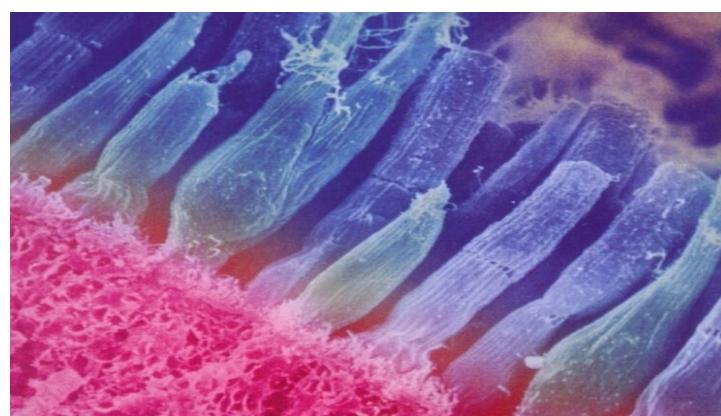


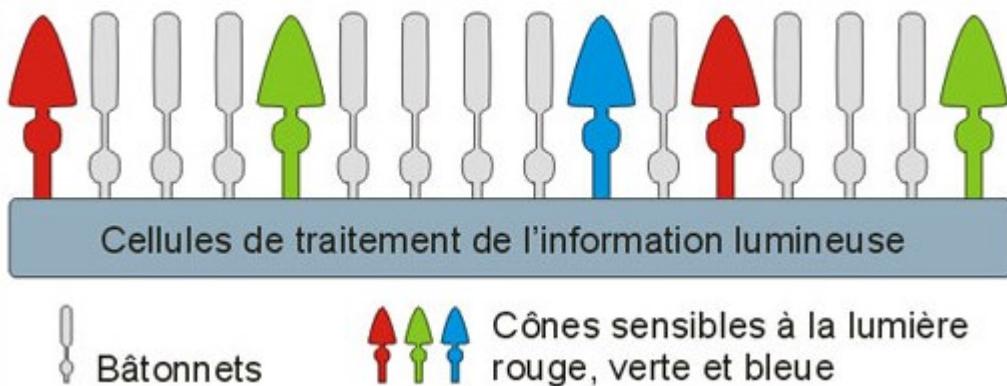
Le cristallin agit comme une lentille épaisse qui concentre les rayons lumineux sur la rétine. La rétine est un organe récepteur. Ce tissu nerveux est composé de huit espaces de cellules différentes organisées en couches superposées. L'information voyage des cellules dites photo-réceptrices aux cellules bipolaires puis aux cellules ganglionnaires. La rétine joue un rôle essentiel dans la perception visuelle aussi bien du point de vue du filtrage spatio-temporel que du codage de l'information visuelle.

L'image inversée ainsi obtenue n'est nette que dans la partie centrale de la rétine appelée fovea. La rétine tient compte de cette caractéristique optique puisque les récepteurs sont beaucoup plus nombreux dans la région nette (la fovea) que dans les régions périphériques. Comme la fovea est la région où la vision est la plus précise et sensible, alors l'œil se déplace pour aligner la fovea, l'axe optique et l'objet désiré.

Les photorécepteurs humains sont au total sensibles à une bande de longueurs d'ondes correspondant approximativement à un intervalle de 400-700 nm. Il existe deux types de photorécepteurs dans la rétine (répartition différente) :

- Les cônes : ils ont une réponse photométrique et chromatique, grâce à des pigments absorbant le bleu, le vert ou le rouge (base de la vision des couleurs trichromatiques).
- Les bâtonnets : responsables de la vision nocturne (vision Scotopique)



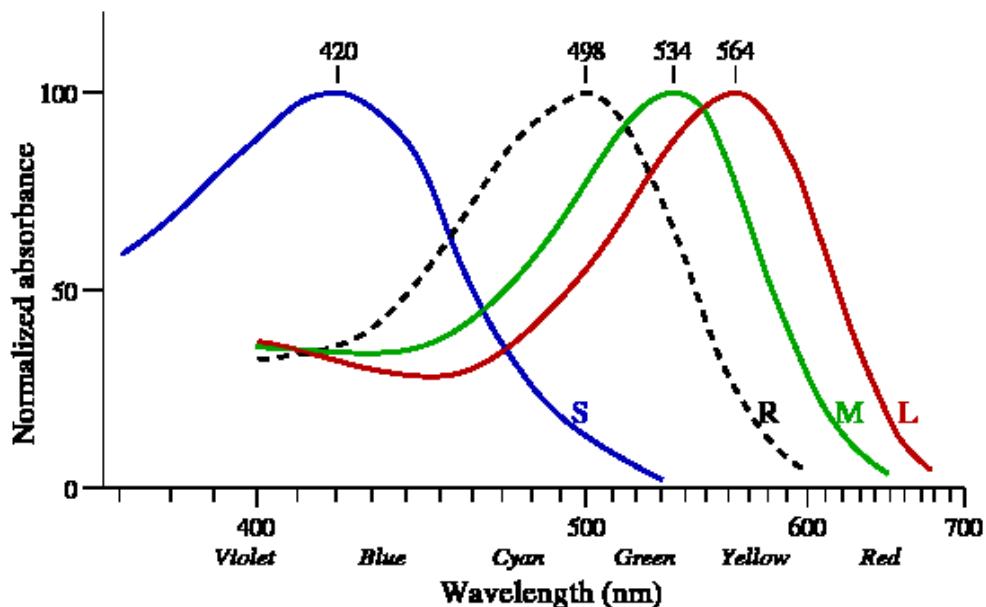


### I-2.1 Cônes

Les cônes sont peu nombreux (6 à 7 millions) avec une densité importante dans la fovéa. Elles permettent la vision haute résolution, vision diurne ou photopique (luminance élevée, au-dessus de  $10\text{cd}/\text{m}^2$ ). Les cônes de l'œil humain, sensibles dans une gamme allant de 415 à 555 nm (gamme de violet à vert) avec un maximum à 498 nm qui est un vert légèrement bleuté, permettent la vision en faible luminosité. Ils sont saturés à partir de 500 photons par seconde, et ne sont donc actifs que dans la pénombre.

Il y a 3 types de photo-pigments : 64% rouges, 32% verts et 2% bleus:

- Les cônes bleus (ou short wavelength) : 420 nm
- Les cônes verts (ou medium wavelength) : 530 nm
- Les cônes rouges (ou long wavelength) : 660 nm



### I-2.2 Bâtonnets

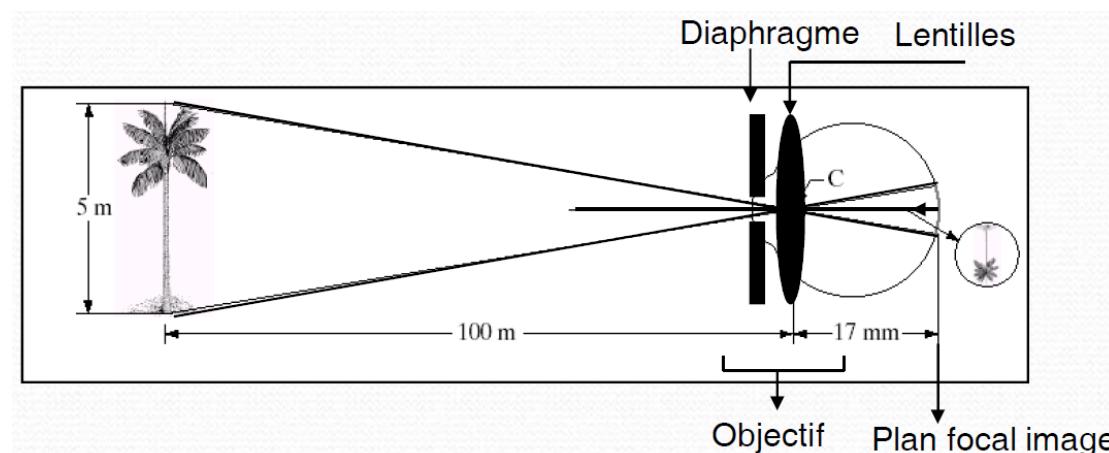
Ils sont très nombreux : de 75 à 10 millions et plus sensibles à la lumière que les cônes. Ils sont sensibles aux très faibles éclairages (luminance en dessous de  $10^{-6}\text{cd}/\text{m}^2$ ) et ils sont achromatiques, discrimination des contrastes : vision photopique (diurne). Il y a un seul type de pigment qui ne permet pas de distinguer les couleurs. Par contre ils sont répartis sur la surface de la rétine et ils sont responsables de la vision périphérique et ils sont très sensibles au mouvement.

### I-3 formation de l'image dans l'œil

La principale différence entre la lentille de l'œil et une lentille optique ordinaire est que la première est flexible. La distance entre le centre de la lentille et la rétine, appelée distance focale, varie approximativement de 17 à 14 mm, comme la puissance de réfraction de la lentille augmente à partir de son minimum à son maximum. Quand l'œil se concentre sur un objet plus loin que environ 3m, la lentille présente son plus bas pouvoir de réfraction. Par contre, quand l'œil se concentre sur un objet à proximité, la lentille présente la plus forte réfraction. A partir de ces informations on peut calculer la taille de l'image rétinienne d'un objet donné.

*Example:*

Un Observateur regarde un arbre de 15 m de hauteur, situé à 100 m. Calculer la hauteur  $h$  de l'image, de cet objet, qui se forme sur la rétine.



*Solution*

Objet situé à une distance supérieure à 3 m donc la distance focale est à son maximum c'est-à-dire 17 mm. A partir du théorème des triangles semblables on a:

$$\frac{15}{h} = \frac{100}{17}$$

Donc

$$h = \frac{15}{100} \times 17 = 2,55 \text{ mm}$$

*Remarques:*

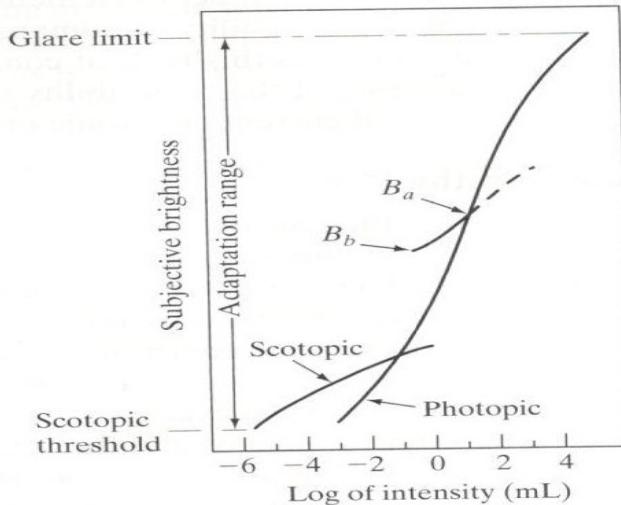
Réfraction = changements de direction des faisceaux lumineux incidents au contact des différents dioptrés de l'œil.

### I-4 Luminosité, Adaptation et Discrimination

Comme les images numériques sont visualisées à l'aide d'un ensemble discret d'intensité, le pouvoir de discrimination de l'œil joue un rôle très important (c'est le pouvoir de discerner entre différents niveaux d'intensité) pour « l'interprétation » des résultats de traitements.

Des mesures expérimentales montrent que la perception de la luminosité (telle que perçue par l'œil) est une fonction logarithmique de la lumière incidente sur l'œil.

La figure ci-après illustre certaines des caractéristiques de cette perception:

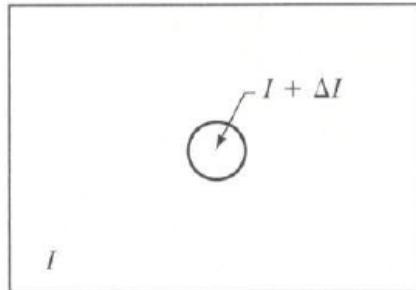


- La gamme des niveaux d'intensité lumineuse à laquelle le système visuel humain peut s'adapter est énorme : elle est de l'ordre de  $10^{10}$  entre le seuil scotopique et la limite l'éblouissement.
- Le système visuel humain ne peut pas couvrir, simultanément, cette large dynamique, mais il procède par adaptation.
- la vision (photopique) diurne est de l'ordre de  $10^6$
- La transition entre la vision scotopique et photopique est graduelle
- La gamme de niveaux d'intensité distincts qu'il peut discriminer simultanément est petite devant la gamme d'adaptation totale.

La capacité d'un œil à percevoir tous les changements de l'intensité lumineuse (discrimination) à un quelconque niveau d'adaptation est aussi une caractéristique importante. Pour la mesurer on utilise le rapport de Weber:

$$\frac{\Delta I_C}{I}$$

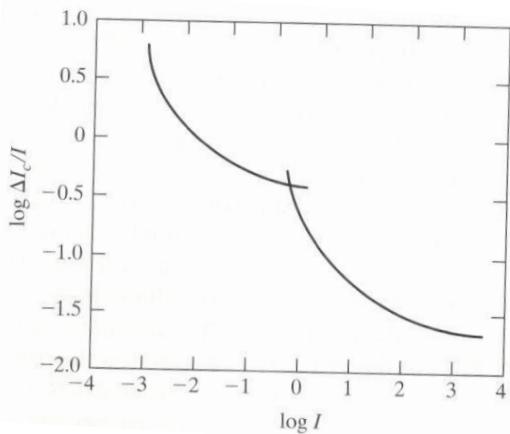
Où  $\Delta I_C$  est l'incrément de luminosité discriminé 50% du temps par rapport à la luminosité du fond.



- Une faible valeur de ce rapport signifie qu'un faible pourcentage de changement dans la luminosité est discernable : *le sujet possède un bon pouvoir de discrimination*.
- Une forte valeur de ce rapport signifie qu'au contraire il faut qu'il y ait un fort pourcentage de variation pour qu'il puisse discerner le changement: *le sujet possède à un faible pouvoir de discrimination*.

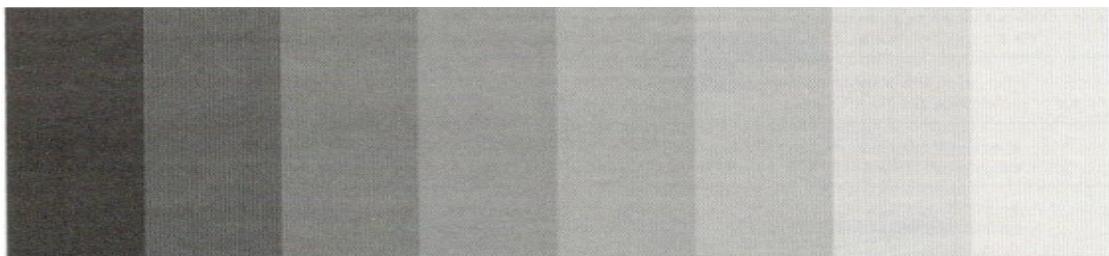
La courbe ci-dessous montre que:

- La discrimination de la luminosité est faible pour les niveaux bas de l'illumination.
- La discrimination augmente significativement quand l'illumination du fond augmente.
- Les deux branches de la courbe montrent que pour les faibles niveaux d'illumination ce sont les bâtonnets qui assurent la vision, alors que pour les hauts niveaux (meilleure discrimination), ce sont les cônes qui assurent la vision.



Deux autres phénomènes montrent clairement que la luminosité n'est pas une simple fonction de l'intensité de la lumière:

- Le premier est illustré par la figure ci-dessous.



Que voyez-vous de particulier sur cette figure?

A la limite entre deux surfaces de clarté différente, on perçoit deux étroites bandes, augmentant la différence entre les deux teintes:

- la plus claire étant bordée par une bande plus claire.
- la plus sombre par une bande plus sombre.

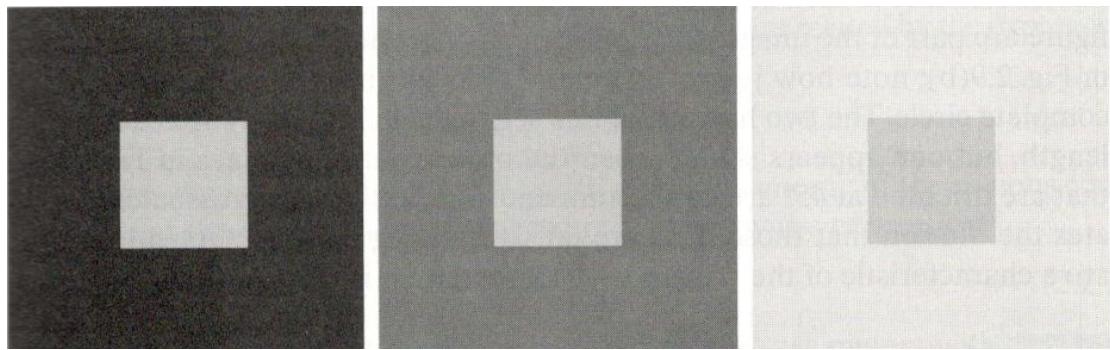
Donc :

- Le premier phénomène est basé sur le fait que le système visuel tend à percevoir plus ou moins de brillance autour des contours séparant deux régions.

En effet, si l'on observe les bandes sur un fond neutre, on se rend compte que ces bandes n'existent pas. Ce phénomène est connue sous le nom de : *bandes de Mach*.

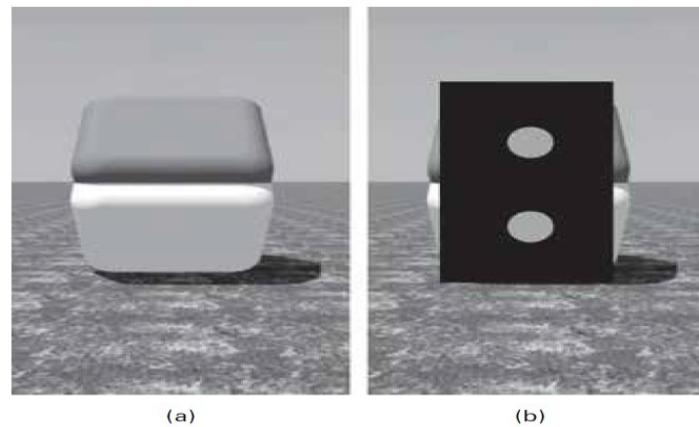
*Remarque:* Les bandes de Mach peuvent perturber l'interprétation des radiographies, laissant croire à une carie dentaire ou une fracture osseuse à proximité d'un changement de densité du cliché, par exemple.

- Le second phénomène, appelé contraste simultané, est dû au fait que la perception de la luminosité d'une région ne dépend pas simplement de son intensité.

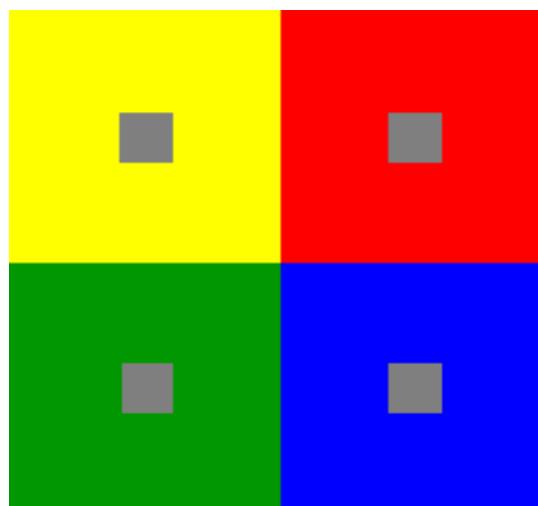


A votre avis des trois carrés intérieurs quel est celui qui est le plus clair?

- Tous les 3 ont la même intensité. Cependant, ils paraissent de plus en plus sombres à mesure que le fond devient de plus en plus clair.
- Si les plages diffèrent par la luminosité, la juxtaposition augmente la perception de la différence de luminosité ;
- Si les plages diffèrent par la teinte, la différence de teinte est magnifiée.



Les deux effets peuvent se produire simultanément.

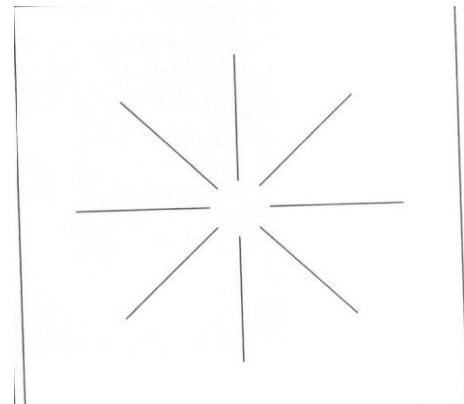
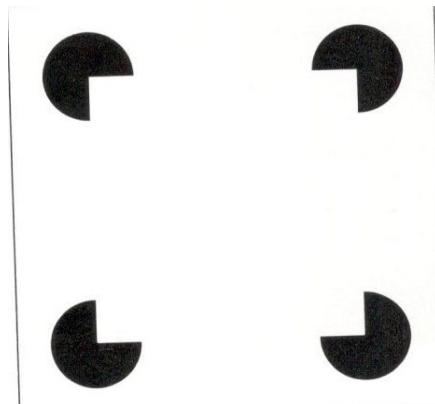


- Une surface de luminosité moyenne paraît plus sombre sur un fond clair, et plus claire sur un fond sombre.
- Le ton de deux plages de couleur paraît plus différent lorsqu'on les observe juxtaposées que lorsqu'on les observe séparément, sur un fond neutre commun.

## I-5 Les illusions d'optique

C'est des phénomènes dus à la perception humaine des choses: l'œil voit des informations inexistantes ou perçoit mal les propriétés géométriques des objets.

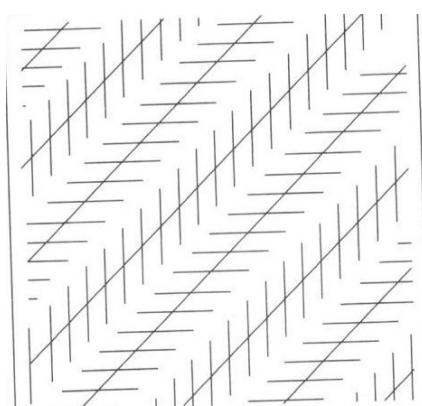
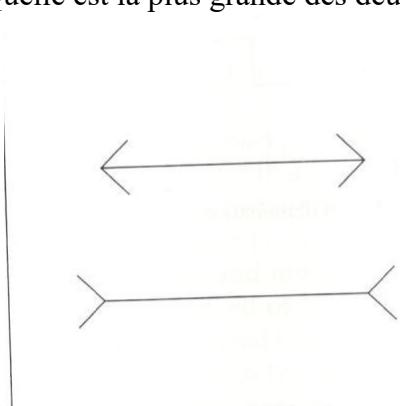
- Quelles sont les différentes formes que vous voyez sur ces deux images?



Sur la première, il n'y a que les pacman, il n'y a pas de carré.

Sur la seconde il n'y a que des segments de droite, il n'y a pas de cercle au milieu

Quelle est la plus grande des deux flèches?



La distance entre les différentes diagonales est-elle identique?

Les angles que font entre elles les diagonales sont-elles aiguës ou obtus?



(a)



(b)

Cratère ou rochet?

## II- Couleur

La couleur est une caractéristique importante en imagerie, car elle permet d'introduire et de distinguer beaucoup de détails. Elle rend le contenu informationnel de l'image très riche. Par ailleurs, alors que la vision humaine ne permet de discriminer, pour une plage donnée, qu'une douzaine de nuances différentes de niveaux de gris, elle permet de différencier un nombre beaucoup plus grand de couleurs.

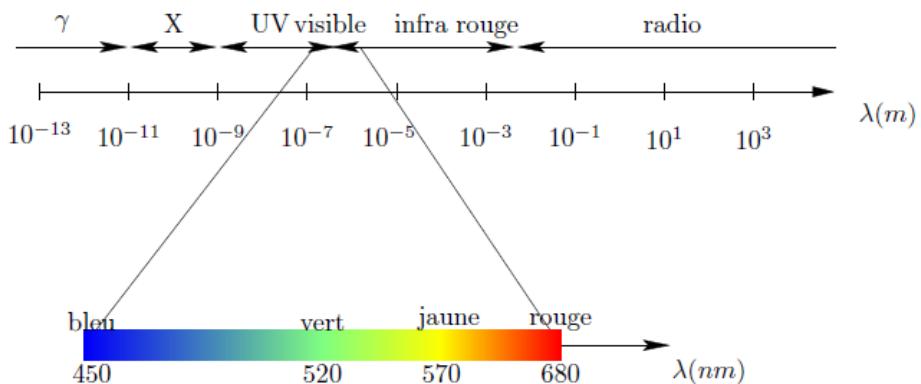
### II-1 définition de la couleur

*Définition 1:* La couleur est un phénomène physiologique provoqué par l'excitation de photorécepteurs situés sur la rétine par une onde électromagnétique.

*Définition 2:* La couleur est la perception visuelle de la répartition spectrale de la lumière visible.

Cette sensation prend son origine dans la stimulation de cônes de la rétine. La longueur d'onde de l'énergie électromagnétique détermine donc la chrominance alors que la puissance de l'onde détermine la luminance. Les impressions de couleur en fonction des longueurs d'ondes se répartissent approximativement comme suit :

- Autour de 450 nm : Impression de bleu.
- Entre 500 et 570 nm : impression de vert.
- Entre 570 et 600 nm : impression de Jaune.
- Entre 600 et 700 nm : impression de rouge.



En effet:

- Si l'œil reçoit une lumière de faible longueur d'onde (aux alentours de 450 nm), donc on excite essentiellement les *cônes S*, le sujet percevra une couleur bleue.
- Si l'œil reçoit une lumière de longueur d'onde moyenne (entre 500 et 600 nm), il percevra une couleur verte (*cônes M*).
- Enfin les longues longueurs d'ondes (entre 600 et 700 nm) correspondent à la perception du rouge (*cônes L*).

La combinaison des signaux émis par ces trois types de cônes permet la vision colorée. Cette décomposition du spectre lumineux en trois composantes est à la base de la colorimétrie.

Le but de la colorimétrie est de décrire un ensemble de couleurs à l'aide de plusieurs (généralement trois) composantes réelles. Ces composantes sont habituellement déduites de la décomposition spectrale de la lumière.

## II-2 Combinaison des couleurs

Selon la loi de Grassman, toute couleur  $Z$  peut être représentée comme une combinaison linéaire de trois couleurs primaires  $A, B$  et  $C$  indépendantes.

$$Z = a \cdot A + b \cdot B + c \cdot C$$

$a, b$  et  $c$  sont des coefficients réels.

Un mélange quelconque de ces trois couleurs engendre une autre couleur, qu'on peut qualifier en termes de nuances selon différents critères plus ou moins intuitifs:



« teinte »

« foncéclair »

« pure/délavé »

*Remarques:*

- Des couleurs sont appelées indépendantes si l'une d'elle ne peut être obtenue par la combinaison linéaire des deux autres.
- La donnée d'un triplet représentant une couleur n'a de sens que si l'on connaît les 3 primaires qui ont servi à la définir.

La combinaison des couleurs de bases peut se faire de deux manières:

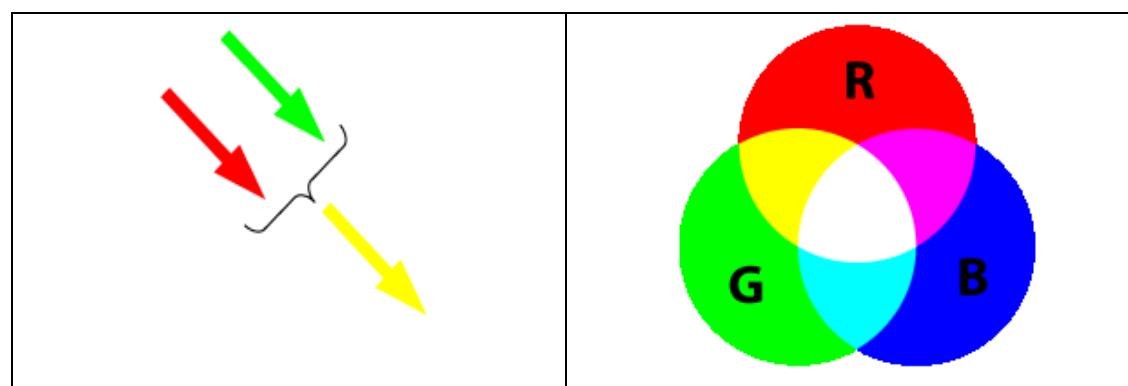
- par synthèse additive
- par synthèse soustractive

*Remarque:*

Ne pas faire de confusion entre la synthèse additive qui est réalisée par des sources lumineuses chromatiques et la synthèse soustractive qui est opérée par le mélange de pigments colorés.

### II-2-1 synthèse additive

Elle utilise les 3 couleurs primaires : rouge, vert et bleu. Elle est utilisée dans tous les moniteurs.



### II-2.2 Synthèse soustractive

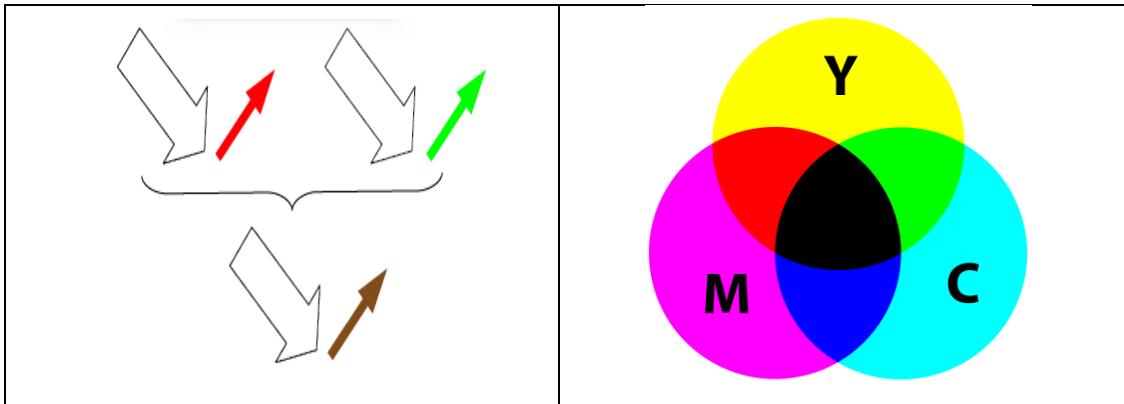
Elle fait appel aux couleurs C (cyan), M (magenta) et Y (yellow) complémentaires aux couleurs primaires RVB, auxquelles elles sont reliées théoriquement par les relations linéaires suivantes:

$$C = 1 - R$$

$$M = 1 - V$$

$$Y = 1 - B$$

En pratique cette synthèse est plutôt non linéaire. Elle est utilisée par exemple dans les imprimantes.



## II-3 Les espaces de couleur

Toute couleur peut être représentée comme une combinaison linéaire de trois primaires  $p_1, p_2, p_3$ . Mais, la donnée d'un triplet représentant une couleur n'a de sens que si l'on connaît les 3 primaires qui ont servi à les définir.

La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) a donc défini un ensemble de standards permettant une communication entre les différents utilisateurs de la colorimétrie. Les plus connus sont :

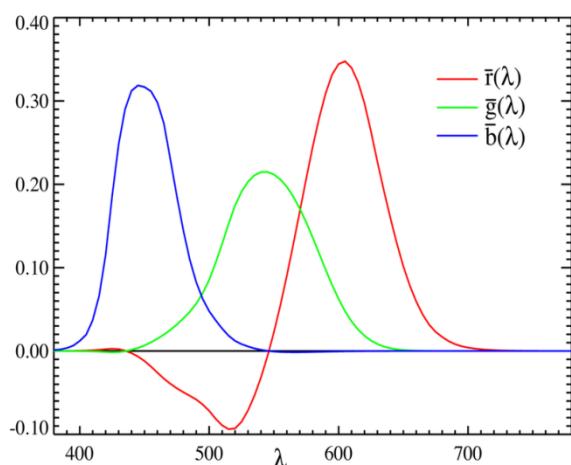
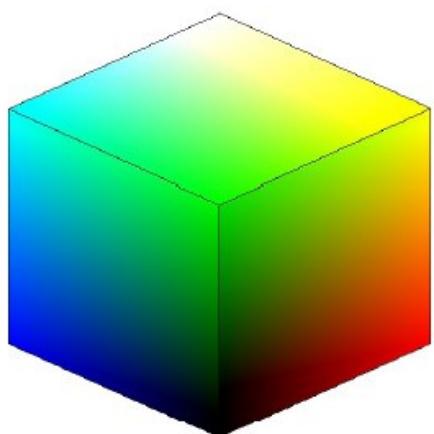
### II-3.1 L'espace CIE RGB

Cet espace est défini à partir de trois primaires monochromatiques de couleurs rouge, verte et bleu. Les longueurs d'ondes associées à chacune des primaires sont les suivantes :

- 700,0 nm pour le rouge,
- 546,1 nm pour le vert,
- 435,8 nm pour le bleu

Une couleur est un point du cube :

- L'origine du repère (0,0,0) représente le noir
- L'opposée (1,1,1) représente le blanc
- Chaque axe code une couleur primaire (R,G,B)



C'est un modèle qui est basé sur la perception humaine (couleurs primaires en synthèse additive). Il n'est pas toujours intuitif pour sélectionner une couleur, mais il très répandu.

Dans cet espace, la luminance de toute couleur est (en principe) donnée par:

$$L = 0,3R + 0,59G + 0,11B$$

L c'est la luminance.

#### II-3.1.1 Exemple de décomposition d'une image suivant les 3 axes



#### II.3.1.2 Image en couleurs vraies

Le codage de la couleur est réalisé sur trois octets, chaque octet représentant la valeur d'une composante couleur par un entier de 0 à 255. Ces trois valeurs codent généralement la couleur dans l'espace RGB.

*Exercice:*

- 1- Quelles seront les composantes de la couleur noire
- 2- Quelles seront les composantes de la couleur blanche
- 3- Quelles seront les composantes de la couleur bleue
- 4- Quelles seront les composantes de la couleur rouge
- 5- Quelles seront les composantes de la couleur verte
- 6- Quelles seront les composantes de la couleur grise du milieu de la dynamique des couleurs?

*Réponse:*

Le codage de la couleur est réalisé sur trois octets, chaque octet représentant la valeur d'une composante couleur par un entier de 0 à 255.

Ces trois valeurs codent généralement la couleur dans l'espace RVB.

R	V	B	Couleur
0	0	0	noir
0	0	1	nuance de noir
255	0	0	rouge
0	255	0	vert
0	0	255	bleu
128	128	128	gris
255	255	255	blanc

Remarque:

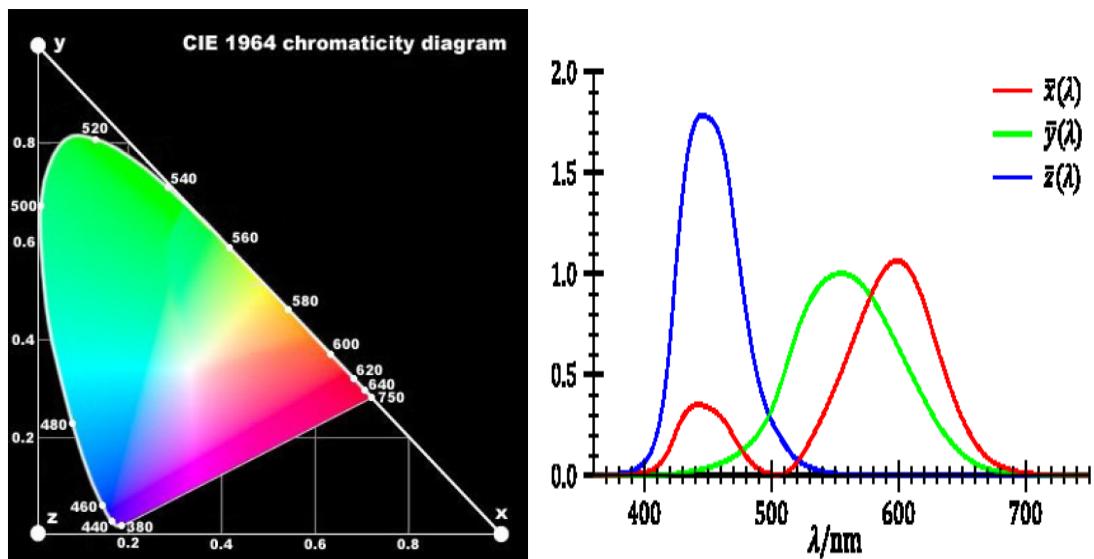
On parle alors de couleurs indexées : la valeur associée à un pixel ne véhicule plus la couleur effective du pixel, mais renvoie à l'entrée correspondant à cette valeur dans une table (ou palette) de couleurs (*look-up table* (LUT), dans laquelle on dispose de la représentation complète de la couleur considérée.

*Exercice:*

*Proposez une représentation de cette LUT*

### II-3.2 L'espace CIE XYZ

L'espace XYZ (CIE 1931) est défini à partir d'une transformation linéaire sur l'espace RGB telle que toutes les couleurs du spectre visible soient contenues dans le triangle XYZ. Les coordonnées XYZ des couleurs naturelles ont ainsi toujours des valeurs positives.



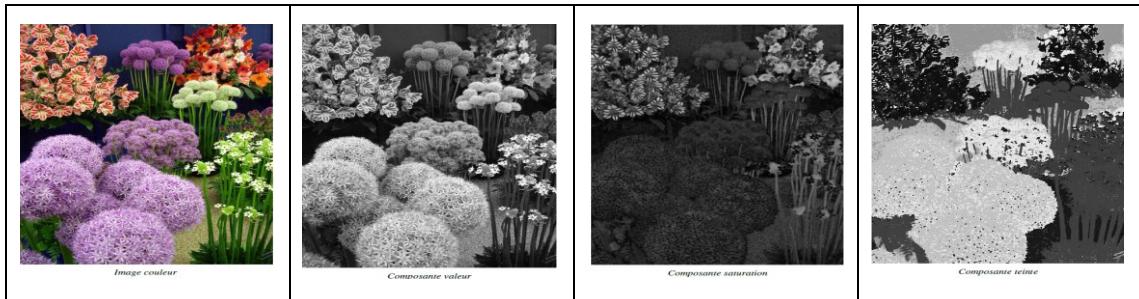
### II-3.3 L'espace HSV

Le principe de l'espace HSV est de caractériser les couleurs de façon plus intuitive, conformément à la perception naturelle des couleurs, en termes de:

- 1- Teinte: c'est le nom qu'on utilise pour désigner la couleur, ' vert ', ' mauve ', etc...
- 2- Saturation (intensité ou chroma): c'est le taux de pureté de la couleur, qui doit varier entre la pureté maximale (couleur éclatante) et l'achromatisme (niveau de gris).
- 3- Valeur (appelée aussi luminance): c'est la mesure de l'intensité lumineuse de la couleur, qui doit varier entre le noir absolu et le blanc. Elle indique si une couleur est claire ou sombre et dans quelle mesure elle se rapproche du blanc ou du noir.

Le passage de l'espace RGB à l'espace HSV se fait par une transformation non linéaire:

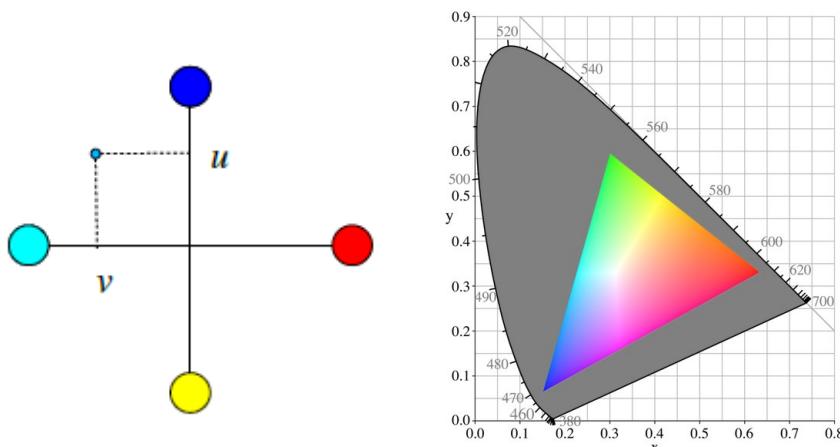
$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,769 & 1,7518 & 1,1300 \\ 1,0000 & 4,5907 & 0,0601 \\ 0,0000 & 0,0565 & 5,5943 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$



#### II-3.4 L'espace Yuv

Le principe de l'espace Yuv est de représenter les couleurs en utilisant une composante de luminance Y et deux composantes de chrominance (u, v) correspondant aux composantes bleue et rouge.

Les composantes de chrominance u et v représentent respectivement le contraste Bleu/Jaune et le contraste Rouge/Cyan

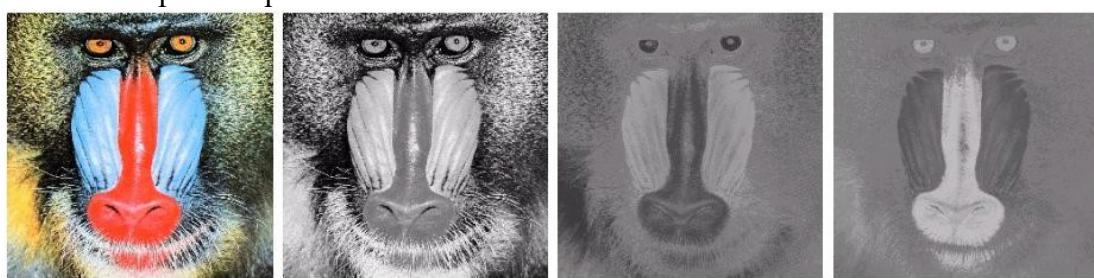


La conversion entre l'espace Yuv et RGB est donnée par:

$$\begin{aligned}
 Y &= 0,2989 r + 0,5866 g + 0,1145 b \\
 u &= 0,5647(b - Y) = -0,1687 r - 0,3312 g + 0,5000 b \\
 v &= 0,7132(r - Y) = 0,5000 r - 0,4183 g - 0,0817 b
 \end{aligned}$$

La composante de luminance Y est une moyenne pondérée par la sensibilité humaine des primaires.

Les composantes de chrominance u et v correspondent à la différence normalisée entre la composante primaire et la luminance.



*Image couleur*

*Luminance Y*

*Chrominance bleue u*

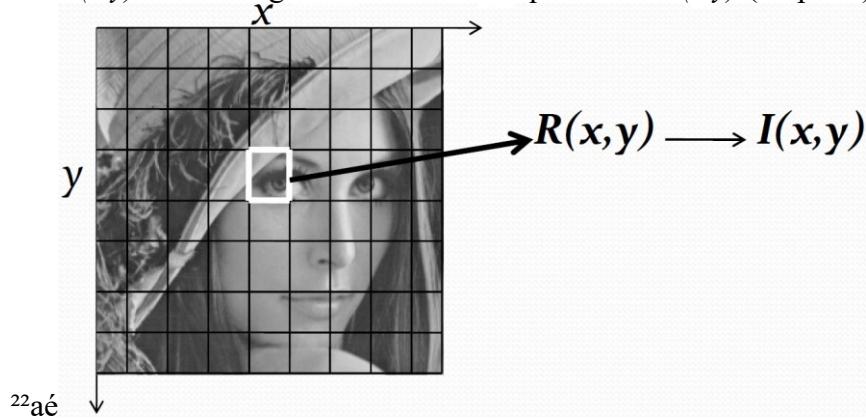
*Chrominance rouge v*

### III- Acquisition

L'acquisition correspond donc au processus de formation de l'image. Pour disposer d'une image sous forme numérique on a besoin de deux opérations: échantillonnage et quantification

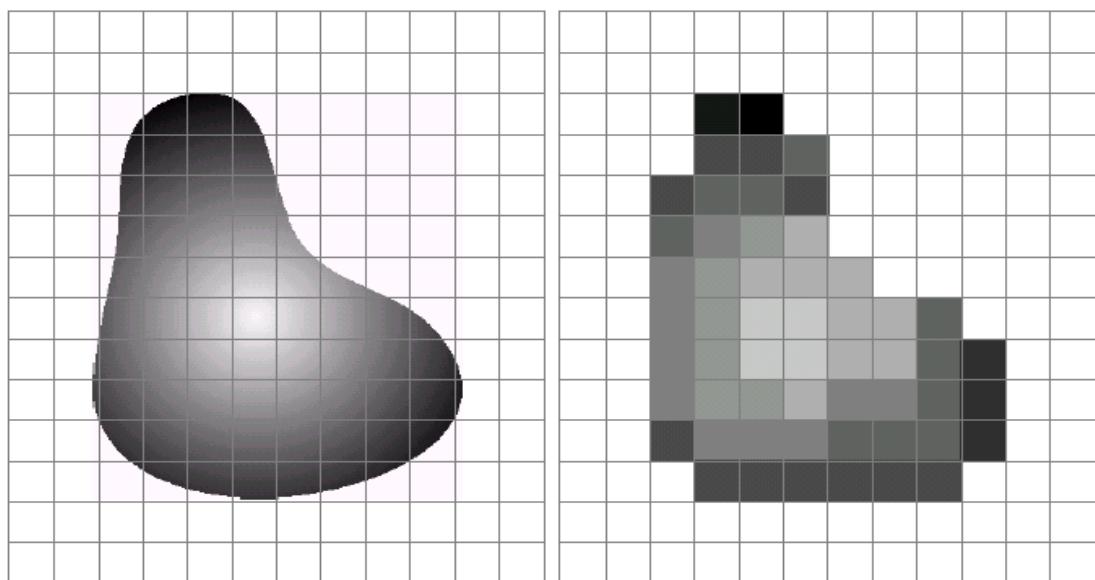
#### III-1 Echantillonnage

L'échantillonnage (discréétisation spatiale) consiste à associer à chaque zone rectangulaire  $R(x,y)$  d'une image continue une unique valeur  $I(x,y)$  (un pixel).



#### III-2 Quantification

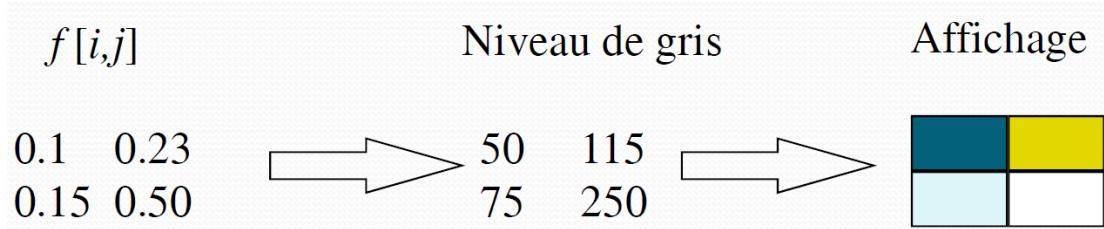
La quantification désigne la limitation du nombre de valeurs différentes que peut prendre  $I(x,y)$ . Donc, la Quantification d'une image consiste, pour chaque pixel, à lui associer une valeur discrète d'amplitude. Cette valeur de l'amplitude s'exprime en « bit » et l'action de transformer la valeur numérique de l'amplitude en valeur binaire s'appelle le codage.



a b

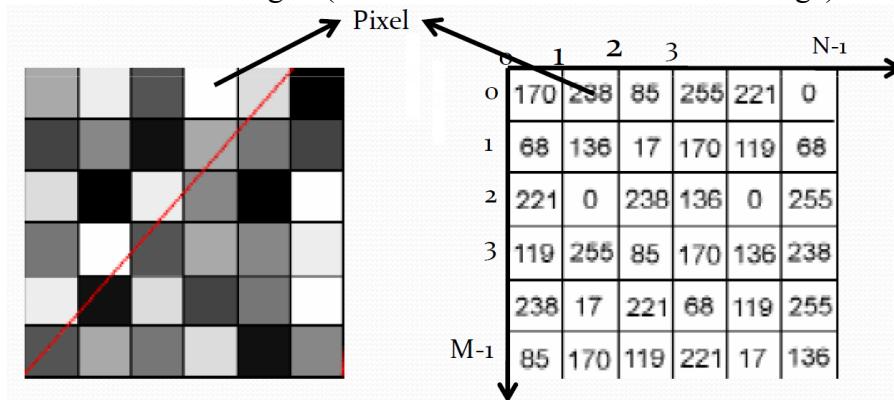
**FIGURE 2.17** (a) Continuos image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

Pour visualiser une image, on remplit une région rectangulaire (Pixel) avec un niveau de gris (ou de couleur) correspondant à la valeur du pixel. En général les niveaux de gris (ou de couleur) utilisés pour la visualisation sont compris entre 0 et 255 (code de longueur fixe sur 8 bits).



Par conséquent, une image se présente comme une matrice à deux dimensions, dont les composantes sont généralement des nombres entiers. Cette matrice est définie par:

- Sa résolution spatiale (taille du pixel)
- Sa résolution en niveau de gris (nombre de bit nécessaire à son codage)



Le processus de discréétisation nécessite de connaitre la valeur de  $M$  et  $N$  (les dimensions de l'image numérisée), ainsi que le nombre  $L$  de niveaux de gris (la dynamique de l'image).  $M$  et  $N$  doivent être des entiers positifs.

Pour différentes considérations  $L$  doit être une puissance de 2, donc  $L=2^k$ .

Comme généralement on utilise une quantification linéaire, les niveaux de gris sont des entiers positifs et sont également répartis dans l'intervalle:

$$[0, L-1]$$

Exercice:

- 1- Que représente le nombre  $k$  ?
- 2- Dans le cas d'une image ayant les caractéristiques ci-dessus, quel est le nombre de bits nécessaire pour stocker cette image?

$k$  représente le nombre de bits nécessaire pour coder les différentes amplitudes contenues dans l'image.

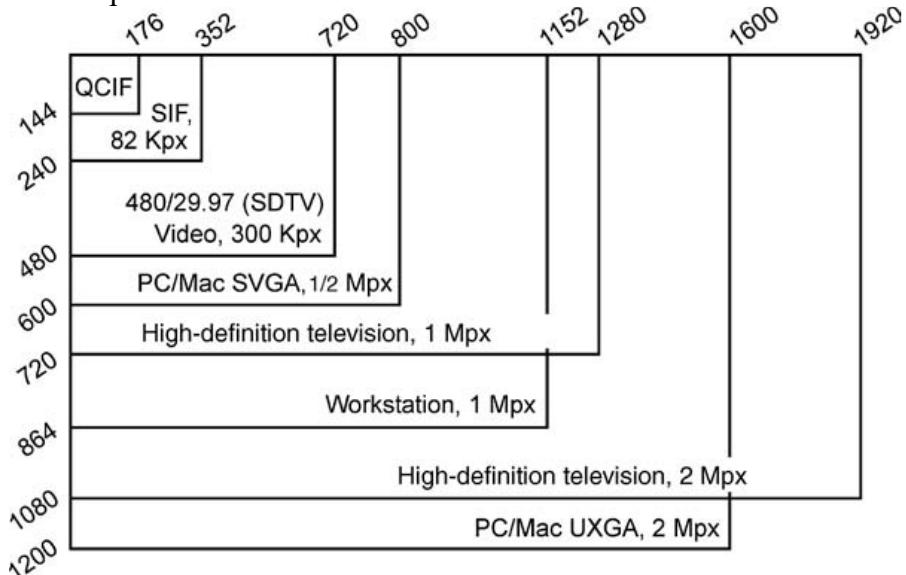
Le nombre  $b$  de bits nécessaire pour stocker cette image est:  $b = M \times N \times k$

### III-4.1 Définition d'une image

On appelle *définition* (on parle aussi de taille de l'image) le nombre de points (pixels) constituant une image. C'est le nombre de colonnes de l'image que multiplie son nombre de lignes.

Exercice: quelle est la définition d'une image possédant 40 colonnes et 40 lignes?

Taille = 40 x 40 pixels.



### III-4.2 Résolution d'une image

La *résolution* de l'image est le nombre de pixels par unité de longueur. Elle s'exprime en dpi (dot per inch).

Exercice : une image de taille 21 x 27 est numérisé avec une résolution de 300 dpi. Donnez le nombre de pixels par ligne et par colonne, ainsi que sa taille.

Réponse :

- 1- nombre de pixels par ligne :  $21 \times 300 / 2,54 = 2480$  pixels
- 2- nombre de pixels par colonne:  $27 \times 300 / 2,54 = 3188$  pixels
- 3- taille de l'image:  $2480 \times 3188 = 7906240$  pixels

Exercice:

Quelle serait la définition en pixel d'une feuille scannée d'une largeur de 8,5 pouces sur une hauteur de 11 pouces en 300dpi?

Réponse:

$$300 \times 8,5 = 2550 \text{ pixels}$$

$$300 \times 11 = 3300 \text{ pixels}$$

La définition de l'image serait donc de 2550 X 3300 pixels

*Remarque:*

Pour choisir la bonne résolution, il faut connaître l'utilisation de l'image :

- est-elle destinée à être simplement visualisée
- doit-elle servir pour des mesures scientifiques?
- Sera-t-elle vue sur un écran d'ordinateur personnel ou dans une salle de cinéma?
- La qualité de l'image est-elle primordiale pour l'application visée ou une qualité limitée suffit-elle?

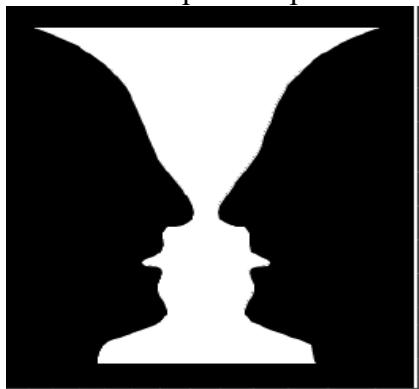
### III-5 Codages des couleurs

Nous l'avons vu une image apparaît comme une matrice où chaque case contient des nombres associés à une couleur. Usuellement on distingue 3 grands types de couleurs pour une image:

- Le noir et blanc ;
- Les niveaux de gris ;
- La couleur.

#### III-5.1 Image noir et blanc

Le noir et blanc est le type de couleur le plus simple.



Exercice:

- 1- à votre avis quel serait le contenu de chaque case de l'image?
- 2- quel est alors le nombre de couleurs dans ce cas?
- 3- quelle est alors la qualité de l'image dans ce cas?

Réponse:

- 1- Le contenu de chaque case de la matrice est soit un 0 (noir) soit 1 (blanc).
- 2- Le nombre de couleurs n'est que de 2
- 3- Le rendu de l'image le moins performant, mais parfois suffisant dans le cadre par exemple de documents scripturaux. .

#### III-5.2 Niveaux de gris

Le codage dit en niveaux de gris permet d'obtenir plus de nuances que le simple noir et blanc. Il offre des possibilités supplémentaires pour coder le niveau de l'intensité lumineuse. La couleur est codée souvent sur un octet, soit 8 bits.



Exercice:

- 1- a votre avis quel serait le contenu de chaque case de l'image?
- 2- quel est alors le nombre de couleurs dans ce cas?
- 3- Comment évolue le « contenu » de l'image avec le nombre de couleurs?

Réponse:

- 1- des valeurs variant de 0 à 255
- 2- 256 couleurs (Niveaux de gris)
- 3- Plus le niveau de gris est élevé, meilleur est la distinction des détails sur l'image.

### III-5.3 Image couleur

Dans le cas du codage RGB, le principe consiste à mélanger les 3 couleurs : rouge, vert et bleu. A l'aide de ces 3 couleurs, on obtient toute une palette de nuances allant du noir au blanc. A chaque couleur est associé un octet (donc 256 niveaux de luminosité) de chacune des couleurs fondamentales. Un pixel ‘couleur’ est alors codé avec 3 octets.

*Exercice :*

Quel est le nombre de couleurs que l'on peut obtenir dans ce cas-là?



Réponse:

Avec un codage en RGB 8 bits par bande, chaque bande utilise 8 bit (1 octet), soit 256 nuances possibles. Donc utilisation de  $3 \times 8\text{bits} = 24$  bits utilisées au total =>  $256 \times 256 \times 256 = 2^{24}$ .

On a alors la possibilité d'obtenir  $2^{24}$  possibilités de couleurs soit de l'ordre de 16 millions (16777216) de couleurs différentes.

On dit que les images obtenues sont en couleurs « vraies ».

Pour 10 bit par pixel par band (TV), on peut représenter :

$$1024 \times 1024 \times 1024 = 1073741824 = 10.7 \text{ milliard de couleurs.}$$

### III- 6 Formats d'image

Lors de son enregistrement une image est stockée suivant un format d'image précis. Ce format doit permettre de stocker l'information de l'image avec un minimum de perte d'informations. Il existe ainsi différents formats qui pourront favoriser soit la conservation de la qualité soit la diminution de la taille du fichier informatique. Le

tableau suivant donne les principales caractéristiques des principaux standards utilisés.

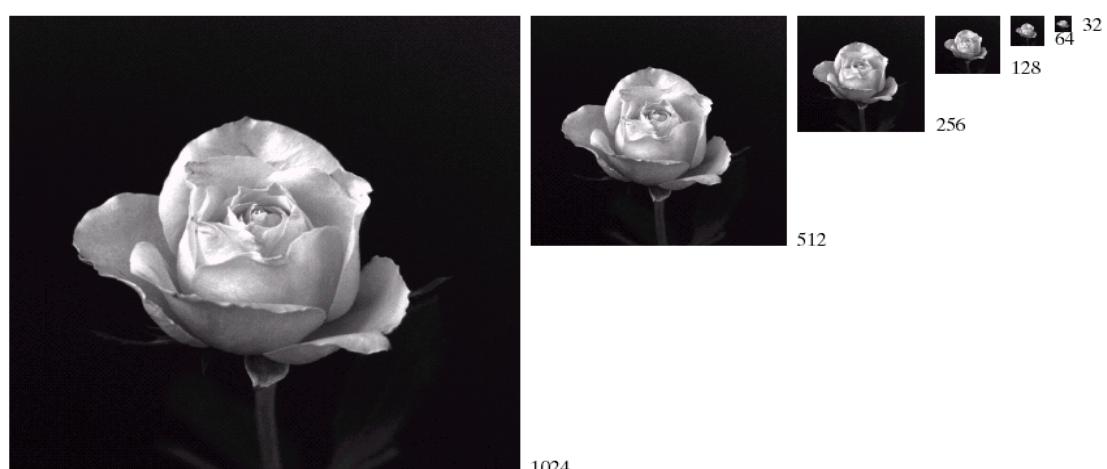
<b>Format</b>	<b>Type</b>	<b>Compression données</b>	<b>Nombre couleurs</b>	<b>Affichage progressif</b>	<b>Usage</b>
BMP	Matriciel	non	2 à 16 M	non	Image non dégradée; Taille fichier importante
JPG	Matriciel	oui	16 M	oui	Taux de compression réglable ; Perte de qualité.
GIF	Matriciel	oui	2 à 256 couleurs	oui	Pas de perte de qualité ; Usage pour Internet.
TIFF	Matriciel	oui	16 M	non	Pas d'usage Internet
SVG	Vectoriel	oui	16 M	non	Usage cartographie, animations

### III-7- Résolution spatiale et en niveaux de gris

#### III-7.1 Résolution spatiale:

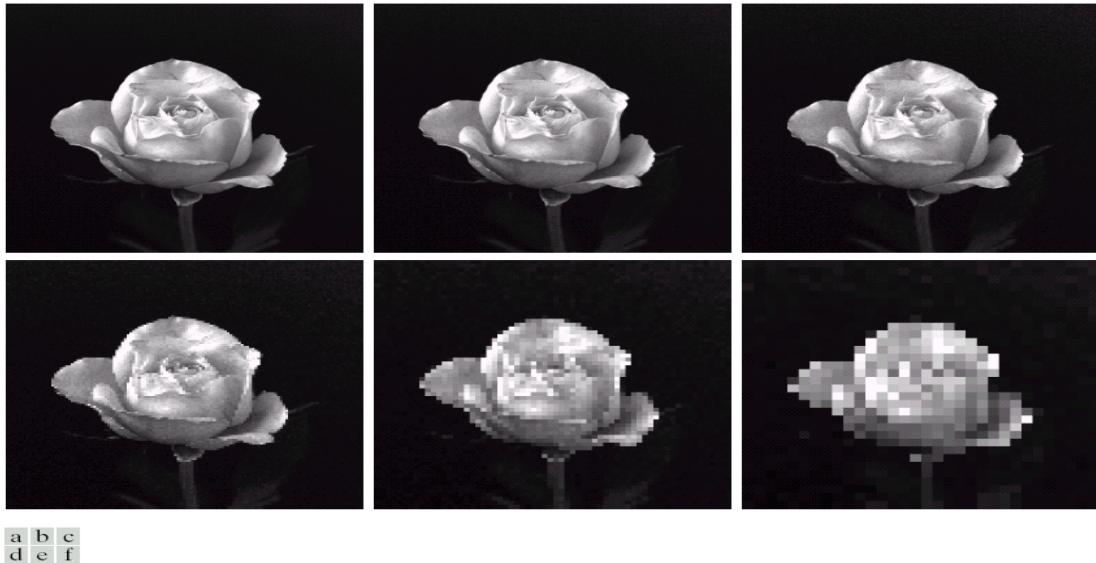
La résolution d'une image est définie par le nombre de pixels par unité de longueur ou de surface. Il est généralement admis que la résolution spatiale correspond au plus petit détail discernable dans une image. Plus le nombre de pixels par unité de longueur est élevé, plus la quantité d'information décrivant l'objet est importante donc la résolution est grande. Son corolaire est une taille de fichier plus importante.

Le nombre de points par unité de mesure spécifie la taille d'un pixel individuel. Si la taille du pixel est maintenue constante, la taille de l'image aura une influence sur la résolution spatiale.



**FIGURE 2.19** A  $1024 \times 1024$ , 8-bit image subsampled down to size  $32 \times 32$  pixels. The number of allowable gray levels was kept at 256.

#### III-7-1.2 Taille fixe de l'image, différentes tailles des pixels



**FIGURE 2.20** (a)  $1024 \times 1024$ , 8-bit image. (b)  $512 \times 512$  image resampled into  $1024 \times 1024$  pixels by row and column duplication. (c) through (f)  $256 \times 256$ ,  $128 \times 128$ ,  $64 \times 64$ , and  $32 \times 32$  images resampled into  $1024 \times 1024$  pixels.

Quels commentaires peut-on faire sur ces différentes images?

- Entre les figures a et b: très difficile de différencier les 2 images. Les détails qui manquent sont trop fins pour être vue facilement.
- Entre les figures a et c: une sorte de damier très fin apparaît sur les bordures des pétales et des grains commencent à apparaître à travers la fleur.
- Entre les figures a et d: les mêmes effets que précédemment deviennent plus visible sur l'image d.
- Entre les figures a et e, f: les mêmes effets deviennent de plus en plus prononcés. On obtient ce que l'on appelle le phénomène de pixellisation (figure f).

### III-7.2 Résolution en niveaux de gris

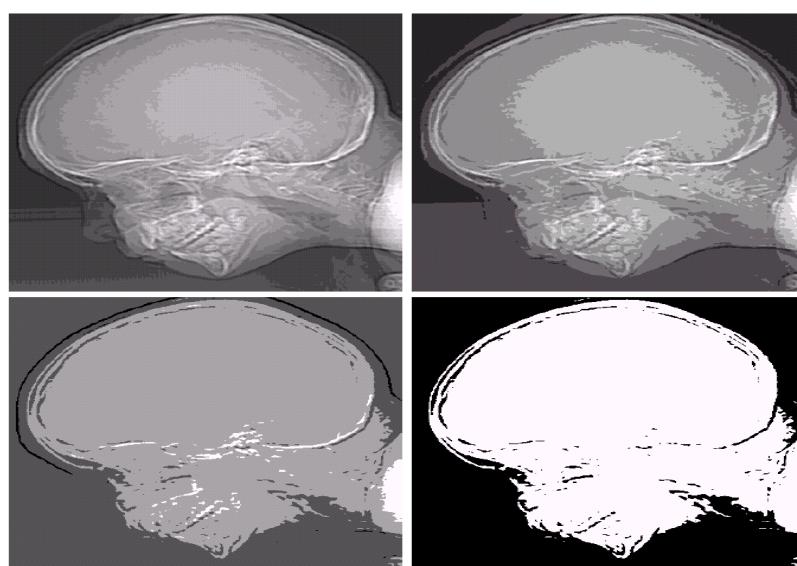
C'est le nombre de bits par pixel. Usuellement c'est 8 bits.

Pour les images couleurs on a 24 bits par pixels (à cause des 3 composantes RGB)

Peu de niveaux de gris affectent la netteté de l'image: on a des faux contours.

#### III-7-2.1 Différentes résolutions en niveaux de gris

**FIGURE 2.21**  
(Continued)  
(e)-(h) Image displayed in 16, 8, 4, and 2 gray levels. (Original courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology & Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)

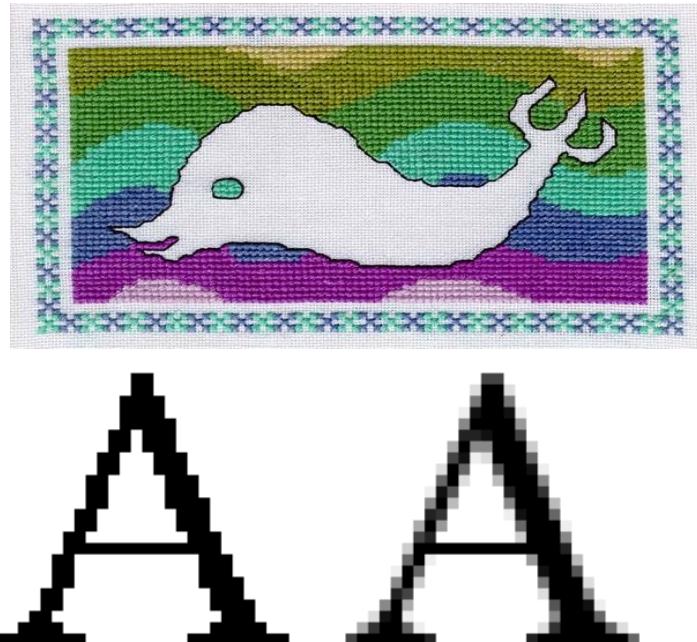


Commentez ces images?

### III-8 Aliasing et effets de Moiré

#### III-8.1 Aliasing

Ce terme peut être traduit comme effet d'escalier.



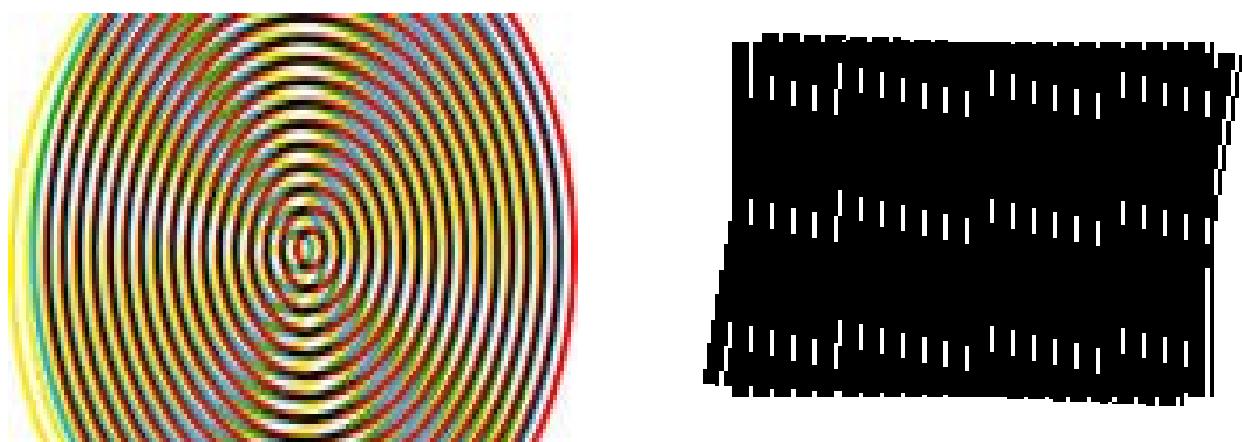
En traitement du signal il est plus connu sous l'appellation « repliement de spectre ». C'est un phénomène qui introduit dans un signal échantillonné des fréquences qui ne devraient pas s'y trouver.

Le théorème de Shannon stipule que :

« Si une image est échantillonné avec une fréquence qui est égale ou supérieure à deux fois la plus grande fréquence contenue dans l'image, celle-ci peut être “parfaitement” reconstruite à partir de ses échantillons »

#### III-8.2 Effets de Moiré

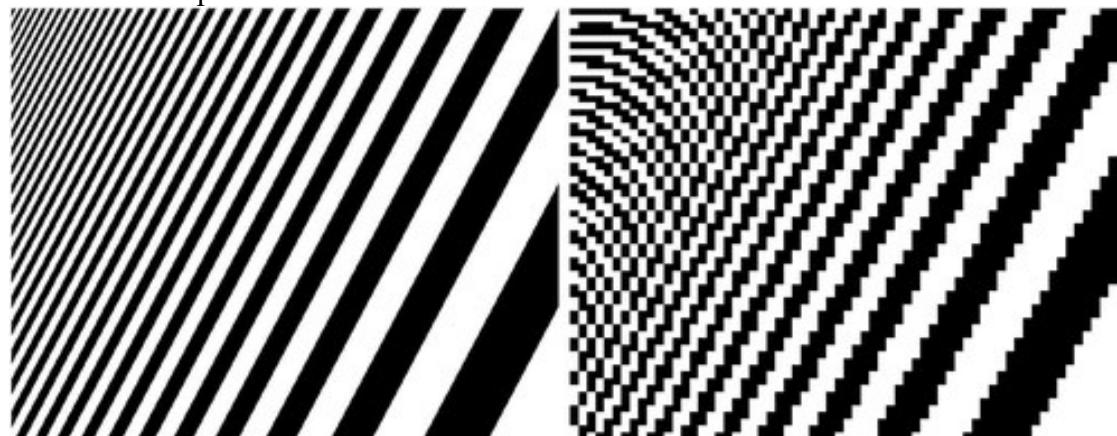
Il est dû au problème d'aliasing



Ceci explique l'effet étrange produit par une chemise à rayures à la télévision (superposition de la trame de la chemise et de la trame de l'écran).

### III-8.2 Effets de Moiré

Un autre exemple



### III-9 Agrandissement et Réduction d'une image

#### III-9.1 Agrandissement (Zoom)

Ce phénomène peut être considéré comme un sur-échantillonnage de l'image.  
L'agrandissement se fait en deux étapes:

- Créer une nouvelle grille de positionnement des pixels (aux dimensions voulues)
- Affecter des niveaux de gris à ces positions

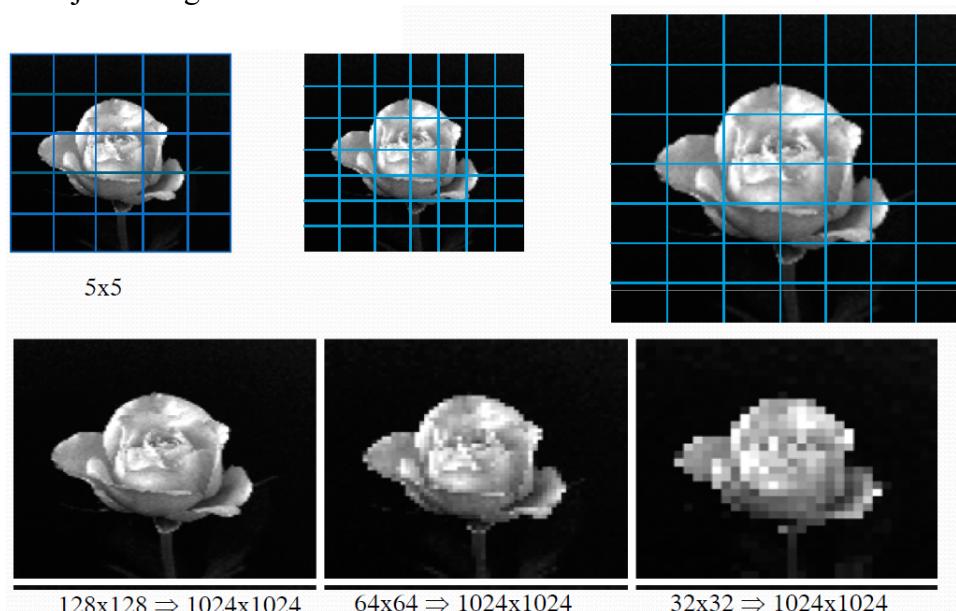
Exemple:

Soit à zoomer 1,5 fois une image 500x500  $\Rightarrow$  750x750.

Concept :

- ajuster une grille 750x750 sur l'image.
- attribuer à chaque noeud la valeur du pixel le plus proche.
- Étendre la grille.

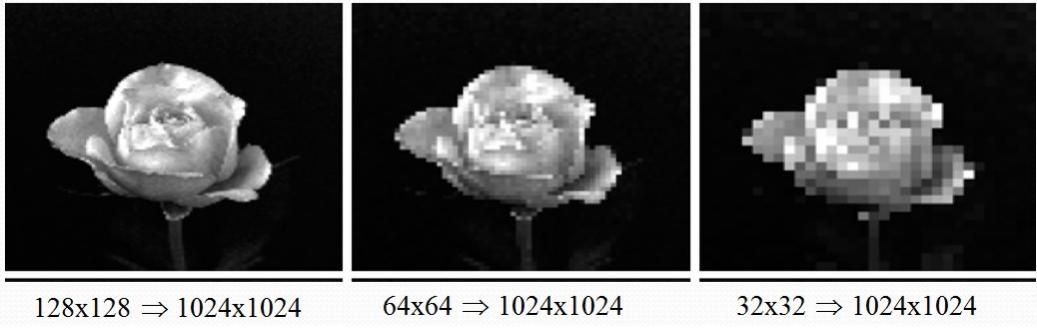
##### III-9.1.1 Ajuster la grille



##### III-9.1.2 Assignment des niveaux de gris

- 1- Interpolation au plus prochain

C'est une méthode simple et très rapide. Cependant, elle a l'inconvénient d'introduire des effets indésirable à grande échelle.

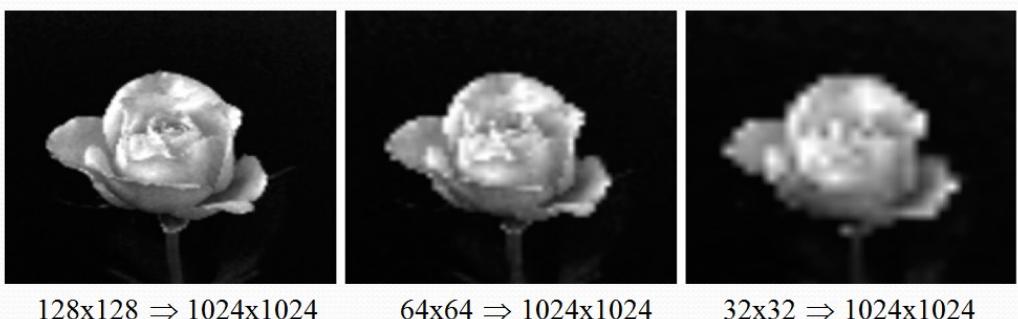


## 2- Interpolation bilinéaire

C'est une méthode légèrement plus sophistiquée. Elle utilise les quatre pixels voisins du point considéré.



a, b, c et d sont déterminés à partir d'un système d'équations utilisant ces 4 pixels.



Exercice:

Que remarquez-vous dans ce cas par rapport au cas précédents?

Réponse:

L'amélioration dans le rendu de l'image est claire dans ce cas.

## 3- Duplication de pixels:

C'est une technique particulière d'interpolation linéaire. Elle est utilisée pour zoomer un nombre entier de fois l'image. On duplique les lignes et les colonnes jusqu'à atteindre les dimensions voulues. L'assignement des niveaux de gris se fait automatiquement, puisque les valeurs sont les mêmes à chaque duplication.

*Remarque:*

On ne peut pas faire cela indéfiniment car l'image ne sera plus « lisible »

### III-9.2 Réduction

C'est le processus inverse de l agrandissement.

*Remarque:*

Dans un cas comme dans l'autre, on peut utiliser plus de points voisins pour faire l'interpolation. Mais, cela complique la méthode sans apporter un meilleur résultat.