

PLAN DU COURS

1. Introduction à la vision
2. Acquisition ou Formation des images
3. Traitement d'images
4. Analyse des images

2. Formation des images

- A) Formation de l'image
Energie lumineuse, radiométrie, photométrie, système de prise de vue.
- B) La vision humaine (la source d'inspiration)
Capteur œil, vision achromatique, vision 3D, perception du mouvement.
- C) Colorimétrie
- D) Différents formats d'images
- E) La caméra

2. Formation des images

1) Energie lumineuse

En optique, une image = une quantité d'information véhiculée par des ondes électromagnétiques.

Longueur d'onde et énergie

Ondes lumineuses = émission d'énergie sous forme de photons due aux transitions atomiques de corps chauffés.

2. Formation des images

1) Energie lumineuse- Loi de Planck

Un corps noir chauffé à une temp. T émet une puissance rayonnante P (W.m⁻²) :

$$P(\lambda) = C_1 / (\lambda^5 (\exp(C_2 / \lambda T) - 1))$$

avec $C_1 = 2c^2h$, $C_2 = c h/k$

c = vitesse de la lumière = $3 \cdot 10^8$ m.s⁻¹, h = constante de Planck = $6.62 \cdot 10^{-34}$ J.s

k = constante de Boltzmann = $1.38 \cdot 10^{-23}$ J.K⁻¹

T = temp. en kelvin,

λ = longueur d'onde en m⁻¹

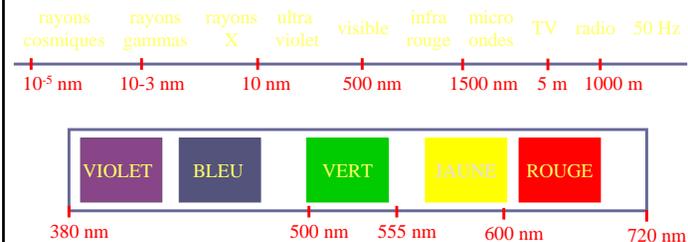
2. Formation des images

1) Energie lumineuse- Classification fréquentielle des ondes lumineuses

- Lumière visible : détectée par l'oeil
- Lumière chromatique : composée de plusieurs longueurs d'onde
- Lumière monochromatique : une seule longueur d'onde (LASER)
- Lumière achromatique : seule l'énergie est prise en compte.

2. Formation des images

1) Energie lumineuse- Classification fréquentielle des ondes lumineuses



2. Formation des images

1) Energie lumineuse- Température de couleur

Loi de Wien : un corps chauffé (noir) émet un spectre de lumière.

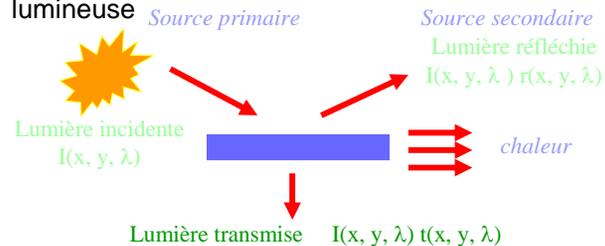
Flamme bougie	1900 K
Lampe à incandescence	2700 K
Soleil	6000 K (blanc parfait)
Tube cathodique	7000 K

Si $T \nearrow$ le spectre \rightarrow longueur d'onde courte.

2. Formation des images

2) Radiométrie

Vision d'un objet = interaction avec une source lumineuse



2. Formation des images

2) Radiométrie : réflexion et transmission

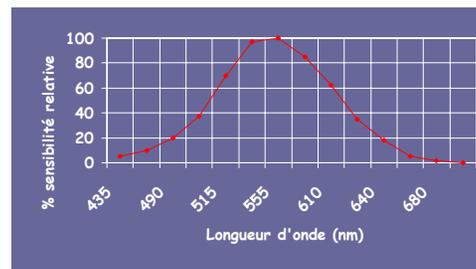
$r(x,y) = 0.01$ velours noir
 $r(x,y) = 0.8$ blanc mat
 $r(x,y) = 0.93$ neige fraîche
 $r(x,y) = 1$ miroir

$t(x,y) = 0$ objet opaque
 $t(x,y) = 1$ vitre

2. Formation des images

3) Photométrie

- Sensibilité spectrale de l'œil humain, standard CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)



2. Formation des images

3) Unités photométriques

Le candela : "Intensité lumineuse dans une direction donnée d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de 555 nm et dont l'IE dans cette direction est $1/683 \text{ W.sr}^{-1}$ «

Radiométrie

Flux éner. W

Intensité éner. W.sr^{-1}

Eclairement éner. W.m^{-2}

Luminance éner. $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$

Photométrie

Flux lumineux Lumen (L)

Intensité lumineuse Candela (cd)

Eclairement Lux ($=\text{Lm.m}^{-2}$)

Luminance nit ($=\text{cd.m}^{-2}$)

2. Formation des images

3) Quelques valeurs

nuit sombre 10^{-4} Lux

ciel étoilé 10^{-3} Lux

pleine lune 10^{-1} Lux

norme couloir >50 Lux

norme salle de lecture >300 Lux

jour ciel ouvert 10^3 Lux

table d'opération 10^5 Lux

minimum visible 10^{-5} nit

vert luisant 50 nits

flamme $15 \cdot 10^3$ nits

papier blanc soleil $30 \cdot 10^3$ nits

arc électrique $1.5 \cdot 10^8$ nits

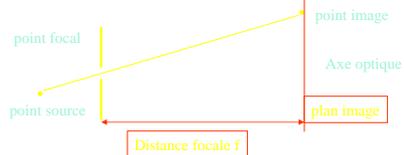
soleil $1.5 \cdot 10^9$ nits

2. Formation des images

4) Systèmes de prise de vue

Une scène 3D doit être représentée sur un support 2D (film, CCD, ...)

4.1 Appareil à sténopé (trou d'épingle)



Tous les rayons passent par un seul et même point (le centre optique). La cellule photosensible (plan image) se situe à une distance f de ce centre et représente la distance focale ou tirage de l'objectif

2. Formation des images

4.1 Appareil à sténopé : système réel et conceptuel

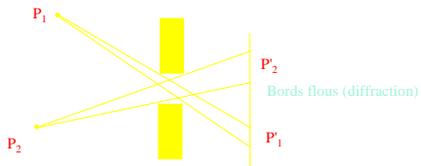


$$x_1 = f \frac{x_0}{z_0}$$

$$y_1 = f \frac{y_0}{z_0}$$

2. Formation des images

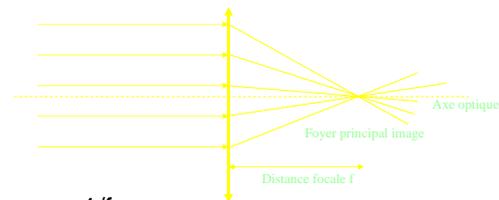
4.1 Appareil à sténopé : inconvénients



sensible : épaisseur de la plaque et aux positions des sources lumineuses.

2. Formation des images

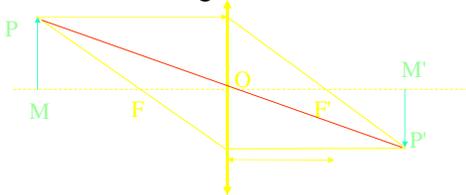
4.2 Systèmes optiques à lentilles lentille convergente



vergence = $1/f$

2. Formation des images

4.2 Formules de DESCARTES lentille convergente



$$\frac{1}{OM} + \frac{1}{OM'} = \frac{1}{OF} = \frac{1}{OF'}$$

$$\frac{M'P'}{MP} = \frac{OM'}{OM}$$

2. Formation des images

4.2 Aberrations optiques

● aberration sphérique : les rayons d'un point ne convergent pas tous en un seul point : **flou** .

Si taille lentille augmente alors le flou augmente : diaphragme

● astigmatisme : trajet différent en fonction des axes vertical et horizontal de la lentille.

● Le défaut de coma (forme en goutte d'eau) : grossissement différent par rapport à l'écart à l'axe.

2. Formation des images

4.2 distorsions géométriques

- liées à la qualité de l'optique
 - objectif grand angle
 - balayage d'une caméra
- distorsion tonneau
- distorsion coussin
- pour diminuer ces distorsions
 - augmenter le prix
 - correction par traitement d'images

2. Formation des images

La vision humaine

1. Le capteur œil

De forme approximativement sphérique, l'œil est l'organe de base de la vision. Il comporte un ensemble d'éléments destinés à recevoir le rayonnement incident, former l'image des objets perçus et traiter les informations recueillies.

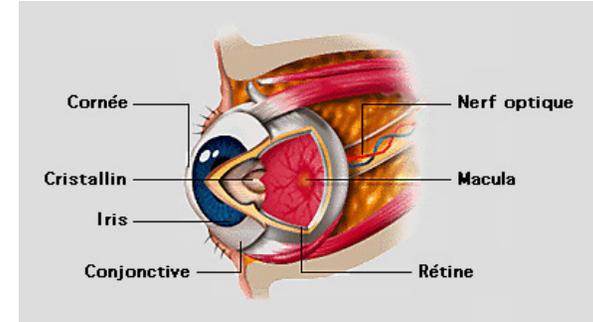
La vision humaine

Le capteur œil : composants principaux :

- cornée : protection filtre
- Iris : diaphragme (variation d'un facteur 10 en surface). Son ouverture centrale est la pupille.
- Cristallin : optique + focus (déformable, indice optique variable) : lentille à focale variable
- Rétine : couche photo-sensible (120 millions de récepteurs : cônes et bâtonnets)
- Macula : contient en son centre une petite dépression, la fovéa. zone d'acuité maximum de l'oeil.
- Nerf optique : transport de l'information (100000 neurones)

La vision humaine

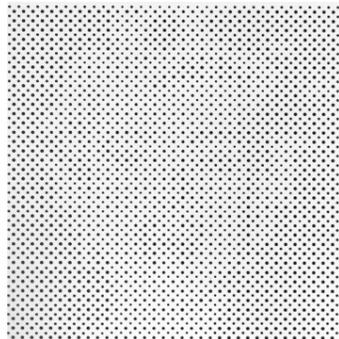
Le capteur œil : composants principaux :



La vision humaine

Illusions optiques

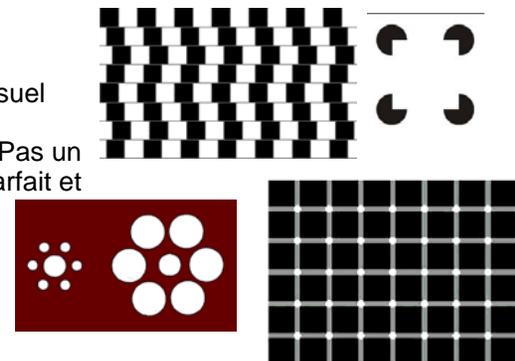
système visuel humain = référence. Pas un système parfait et piégeable : Que voyez-vous ? Rien, alors reculez-vous un peu ...



La vision humaine

Illusions optiques

système visuel humain = référence. Pas un système parfait et piégeable

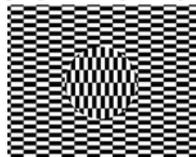


2. Formation des images

La vision humaine

Illusions optiques

système visuel humain = référence. Pas un système parfait et piégeable



2. Formation des images (la colorimétrie)

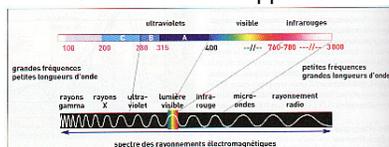
1. Lumière et Couleur .
2. Principe de définition .
3. Espace de coloration .
4. Fichier image et code couleur .
5. Formats d'images

2. Formation des images (la colorimétrie)

1. LUMIERE ET COULEUR .

Newton a émis la théorie corpusculaire de la lumière, Huygens a créé une théorie ondulatoire de la lumière, Maxwell a lui construit une théorie électromagnétique. Enfin, Louis de Broglie a proposé la mécanique ondulatoire en réussissant à concilier la dualité onde-corpuscule.

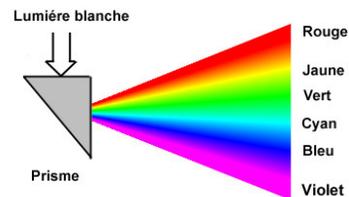
La lumière résulte de la sensation produite par les ondes électromagnétiques dans un domaine spectral allant de 380 nanomètres à 780 nanomètres. Cette bande est appelée "spectre visible".



2. Formation des images (la colorimétrie)

Chaque longueur d'onde correspond à une sensation perceptive appelée "couleur". Dans l'ordre des longueurs d'ondes décroissantes, les dénominations sont :

rouge, jaune, vert, cyan, bleu, violet

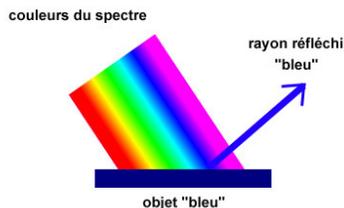


2. Formation des images (la colorimétrie)

La couleur est provoquée par la lumière que captent nos yeux, mais elle naît -et ne naît que- dans notre cerveau .

LA COULEUR EST UNE PERCEPTION DU CERVEAU .

La couleur blanche est composée des couleurs du spectre. La couleur d'un objet correspond a la longueur d'onde que cet objet réfléchit ou transmet; car les autres rayons de la lumière blanche sont absorbés.



Christophe BLANC – Cours Vision Industrielle – Licence ISACP

29

2. Formation des images (la colorimétrie)

2. PRINCIPE DE DEFINITION

Pour faire de la couleur en image calculée (informatique), il faut 2 facteurs :

- Il faut avoir une base.
- Il faut faire une quantification.

Premier facteur : UNE BASE .

Définition :

Une base est un ensemble fini d'éléments qui ont les propriétés suivantes :

1. Toutes les couleurs sont une combinaison des éléments de la base.
2. Aucun élément de la base ne puisse être une combinaison des autres éléments de la base (indépendance).

Il existe 2 sortes de base :

- une base composée de couleurs.
- une base composée d'attributs psycho visuels.

Christophe BLANC – Cours Vision Industrielle – Licence ISACP

30

2. Formation des images (la colorimétrie)

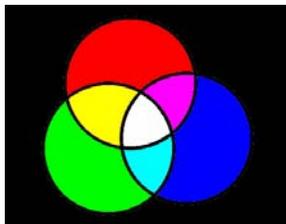
a) une base de 3 couleurs (trichromie) :

base additive (synthèse additive) :

< Rouge, Vert, Bleu > ou (R V B)

base soustractive (synthèses soustractive) :

< Cyan, Magenta, Jaune > ou (C M J)



Christophe BLANC – Cours Vision Industrielle – Licence ISACP

31

2. Formation des images (la colorimétrie)

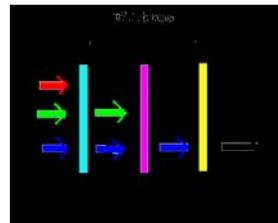
- Quadrichromie : base soustractive particulière (deuxième propriété de la base non vérifiée) :

< cyan, magenta, jaune, noir > ou (C M J K) .

Quand on mélange 3 produits chimiques, en proportion égale, de couleurs : cyan, magenta et jaune. On obtient une couleur grise au lieu de noire; ceci est dû aux propriétés physico-chimiques des produits. C'est pourquoi on ajoute le noir.

Remarque :

Mélange soustractive : on soustrait de la lumière blanche (RVB) la couleur complémentaire de la couleur du filtre.



Application :

B-> moniteur, scanner, shooting, video-projecteur
J -----> imprimante, tireuse.
adrichromie ----> imprimante, flasheuse.

Christophe BLANC – Cours Vision Industrielle – Licence ISACP

32

2. Formation des images (la colorimétrie)

b) une base de 3 attributs psycho visuels :

< Teinte, Saturation, Luminosité > ou (T S L)

La *teinte* est un attribut qui décrit immédiatement une couleur pure, comme le rouge pure, le bleu pure, etc. La teinte définit la couleur elle-même.

La *saturation* est un attribut qui décrit l'altération d'une couleur pure avec le blanc ou un niveau de gris. Elle mesure la proportion de couleur pure par rapport au blanc. Elle représente le facteur de pureté de la couleur. Cette notion permet de distinguer le rose du rouge.

La *luminosité* (intensité, nuance) est un attribut qui qualifie la luminosité d'une couleur. La luminosité détermine l'intensité lumineuse émise par la couleur (couleur claire ou foncée).

2. Formation des images (la colorimétrie)

Deuxième facteur : LA QUANTIFICATION :

Système de mesure des éléments de la base. Cette mesure dépend de la représentation des éléments.

En générale, on utilise un octet pour coder cette mesure, ainsi elle varie de 0 à 255 . On utilise donc un mot de 24 bits pour coder une couleur. Dans ce cas, le nombre de couleurs possibles est :

$$255 * 255 * 255 = 16\ 777\ 216$$

Proposition :

Une couleur peut être exprimée par 3 valeurs numériques.

Soit la base additive : { Rouge Vert Bleu }

vecteur couleur = $r * \text{Rouge} + v * \text{Vert} + b * \text{Bleu} = (r\ v\ b)$

r, v, b sont 3 nombres (scalaires).

2. Formation des images (la colorimétrie)

Exemples en trichromie :

Rouge Vert Bleu ---- Couleur obtenue .

000 000 000 ----- noir 
255 255 255 ----- blanc
255 000 000 ----- rouge claire 
128 000 000 ----- rouge foncé 
255 255 000 ----- jaune claire 
128 128 000 ----- jaune foncé 
etc

Proposition :

Soit la base additive : { Rouge Vert Bleu } .

Une couleur est exprimée par les 3 intensités des 3 couleurs de la base.

2. Formation des images (la colorimétrie)

Les couleurs de base additive, on les appelle aussi des primaires, des primitives.

Définition :

Deux couleurs sont "complémentaires", si leur combinaison linéaire donne la couleur blanche.

Proposition 1 :

Le complément d'une couleur est le blanc moins cette couleur.

Proposition 2 :

En mélangeant 2 des 3 primitives, on obtient la couleur complémentaire de la troisième primitive.

Proposition 3 :

Dans le cercle chromatique.

Deux couleurs complémentaires, si elles sont diamétralement opposées.

Corollaire :

Dans le cercle chromatique. On a :

- le rouge et le cyan sont complémentaires;
- le vert et le magenta sont complémentaires;
- le bleu et le jaune sont complémentaires.

2. Formation des images (la colorimétrie)

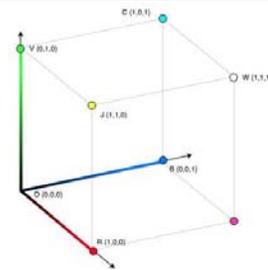
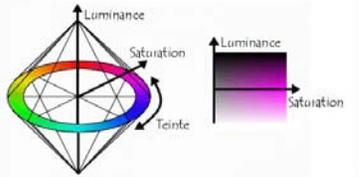
3. ESPACE DE COLORATION

Représentation graphique des couleurs.

* Espace 3D :

- R V B et C M J (cube des couleurs)

- T S L (double cône ou cylindre).



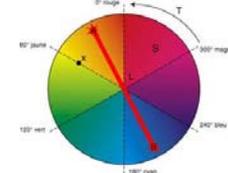
2. Formation des images (la colorimétrie)

* Espace 2D :

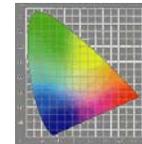
Les représentations graphiques 2D sont utilisables pour choisir les couleurs.

* R V B et C M J :

- Cercle chromatique :



- Graphe CIE



L'espace couleurs CIE XYZ, avec les rouges sur l'axe X et les verts sur l'axe Y. La pureté spectrale diminue de l'extérieur vers l'intérieur. Manque la luminosité, située sur un axe perpendiculaire.

2. Formation des images (la colorimétrie)

4. FICHIERS IMAGES ET CODES COULEURS .

La *définition* d'une image, c'est le nombre de lignes par nombre de colonnes. La définition se mesure en nombre de points sur la surface totale de l'image.

La *résolution* de l'image est le nombre de points (pixels) par unité de longueur (pouce).

dpi (dot per inch) = nombre de points pouvant être juxtaposés sur un pouce (2.54 cm).

La *taille* (le poids) de l'image est fonction de sa définition (dimension), de sa résolution (le carré), de sa nature (code couleur).

Plus on veut de couleur et de finesse (trame), et plus la résolution doit être élevée.

2. Formation des images (la colorimétrie)

En résumé :

-la résolution détermine la *finesse* de l'image.

Quelques références :

-La résolution de l'écran : 72 DPI

-La résolution imprimante laser : 300 DPI

-la résolution des machines professionnelles : 1200 DPI

Quand on redimensionne une image, on modifie la *densité* des points, pas le *nombre* de points.

Par contre si on double la résolution, la taille de l'image quadruple : Si on digitalise (Scanner) à 400 DPI plutôt qu'à 200 DPI, la taille mémoire qu'occupe l'image est *quadruplée*.

Il faut donc adopter un compromis entre qualité et place mémoire.

Pour conclure concernant les images:

-Il est en général suffisant de scanner à 200 DPI pour des images imprimées à leur taille d'origine.

-La meilleure qualité est obtenue à 300 DPI pour les imprimantes laser et à jet d'encre.

2. Formation des images (Formats d'images)

Les formats images :

Il existe plus d'une centaine de formats d'images, les plus couramment utilisés sont le BMP, le GIF, le JPEG, l' EPS, et le PSD.

Certains de ces formats sont compressés afin de réduire l'espace physique nécessaire au stockage du fichier ou pour diminuer le temps de transfert sur le réseau.

2. Formation des images (Formats d'images)

Le BMP :

Une image bitmap (ou image en mode point) est une représentation sous forme d'une matrice de bits. A chaque pixel de l'image correspond un groupe de bits du bitmaps. Il supporte un code de couleurs jusqu'à 24 bits par pixel (16.7 M).

Malgré qu'il soit volumineux, il ne permet de gérer ni la transparence, ni le CMJN, et le format BMP ne peut être exploité que par un logiciel fonctionnant sous Windows.

2. Formation des images (Formats d'images)

Le GIF :

C'est un format à l'origine adapté au transfert d'image sur le réseau CompuServe ; il est très répandu pour sa facilité et sa rapidité de lecture.

Son faible volume est dû d'une part, à la compression systématique (LZW) d'autre part, au codage de la couleur sur 8 bits/pixel. Ce format ne gère donc que 256 couleurs ou niveaux de gris, mais il possède la caractéristique de pouvoir définir une couleur comme transparente.

Le format GIF est assez bien adaptée aux images graphiques tels que les logos, qui ne nécessitent pas une palette de couleurs très étendue.

2. Formation des images (Formats d'images)

Le JPG (jpeg):

Le format JPEG a été mis au point par le Joint Photographic Expert Group pour répondre au besoin de trouver un moyen de compression pour les images photographiques de haute qualité.

La compression JPEG est une méthode de compression dite avec perte : elle assure un stockage plus économique des données, mais identifie et supprime aussi les données "récurrentes" dans un fichier image.

La compression des images au format JPEG supprime certaines informations qui ne peuvent être récupérées au moment de la décompression. La qualité de l'image peut donc être altérée. La compression des images au format JPEG est donc ajustable, qualité de l'image et ratio de compression étant inversement proportionnel. Plus la compression est élevée (et donc plus le fichier est petit), plus la qualité de l'image baisse.

2. Formation des images (Formats d'images)

L'EPS :

Ce format utilise le langage postscript qui est un langage de description de page ; il donne une description géométrique d'une image. Une image bitmap est "encapsulée" dans du postscript.

Il peut coder la couleur sur 8, 16, 24 ou 32 bits. Ce format est capable de gérer le noir et blanc, le RVB, et le CMJN.

2. Formation des images (Formats d'images)

Le PSD :

C'est un format natif au logiciel Adobe Photoshop, mais, vu la grande diffusion des produits Adobe dans le domaine de l'image, le PSD est reconnu par plusieurs logiciels de traitement d'image.

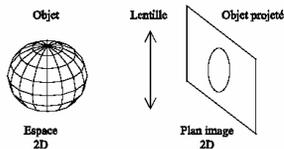
C'est surtout un format de travail, car il permet de conserver les calques, les masques et les couches de transparence. Il peut coder la couleur sur 8, 16, 24 ou 32 bits. Ce format est capable de gérer le noir et blanc, le RVB, et le CMJN.

2. Formation des images (La caméra)



Ces capteurs, plus connus sous le nom de caméras, effectuent une transformation des objets de l'espace tridimensionnel en image numérisée sur un plan bidimensionnel.

Ils convertissent l'énergie lumineuse en signaux électriques.



2. Formation des images (La caméra)

Principe des caméras CCD

❑ Dans les caméras CCD les charges électriques obtenues en fonctions de l'intensité lumineuse sont issues de points élémentaires qui sont appelés Pel ou Pixel (Picture element).

❑ Ces charges électriques dans chaque pixel sont obtenues par effet photo électrique. C'est le principe que l'on retrouve dans les cellules photovoltaïques (Il transforme les rayons lumineux en courant électrique) ou dans les photo-résistances (la résistance ohmique d'un composant sensible à un flux lumineux est modifié par les rayons lumineux).

❑ Dans la pratique deux types de structure sont couramment utilisés :

- Les photodiodes
- Les photomos

Principe des caméras CCD

● **Photodiode** : constituée d'une jonction PN exposée aux rayons lumineux. Elle est associée à une capacité qui joue le rôle de réservoir. Plus la quantité de lumière reçue pendant la période d'intégration est importante, plus la quantité d'électrons sera grande dans le pixel.

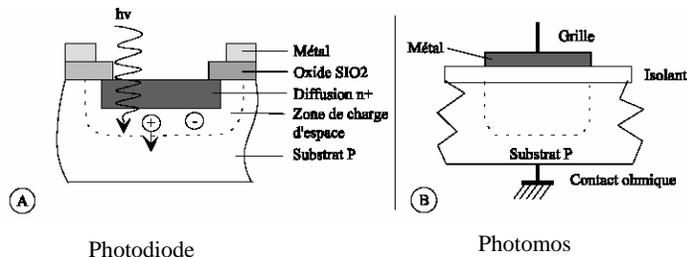
- Bon rendement
- Sujet à la rémanence (Temps mis par un point de l'écran pour passer de l'état allumé à l'état totalement éteint Plus la rémanence est importante plus le confort visuel est altéré.)

Principe des caméras CCD

● **Photomos** : constitué d'une électrode, d'un isolant et d'un substrat semi-conducteur. Lorsque l'électrode est portée à un potentiel positif, le champ électrique induit donne naissance au puits de potentiel. Les photons incidents accèdent au substrat semi-conducteur au travers de l'électrode. Ils créent, dans ce substrat, les électrons qui vont s'accumuler dans le puits de potentiel.

- Leur architecture permet d'obtenir des capteurs où toute la surface est photosensible (impossible pour photodiodes).
- Cette architecture provoque une moins bonne uniformité de la réponse spectrale

Principe des caméras CCD



Limites du CCD : agitation thermique

● Dans un détecteur CCD, l'agitation thermique génère des électrons qui s'ajoutent aux charges formées par la lumière. Leur nombre est fonction de la température et de la période d'intégration. Lorsque l'application nécessite des temps de pose élevés (>1 seconde à 25°) il est nécessaire de refroidir le capteur pour éviter une perte importante de dynamique

● Afin d'éliminer le signal correspondant à ces charges excédentaires, les capteurs intègrent des pixels de références de noir. Ces derniers sont recouverts d'un écran opaque. Les charges qu'ils contiennent sont créées essentiellement par l'agitation thermique. Les circuits électroniques externes au capteur peuvent prendre en compte le signal correspondant à ces pixels, pour réagir sur le signal de sortie.

2. Formation des images (La caméra)

Limites du CCD : efficacité de transfert

Entre le pixel photosensible et l'étage de sortie, il est essentiel que l'information ne subisse aucune transformation. Chaque transfert doit déplacer la totalité des charges contenues dans le puits de potentiel. Cette opération est limitée par :

- les pièges d'interface (impuretés isolant-substrat).
- la fréquence de lecture (mobilité des électrons).

2. Formation des images (La caméra)

Limites du CCD : Blooming (éblouissement)

Lorsque le puits de potentiel atteint la saturation, les charges créées en supplément débordent et se regroupent dans les pixels voisins. Leur contenu est modifié ; ils sont éblouis.

Pour éviter ce phénomène, les capteurs sont équipés de réseau anti-éblouissement. Les charges en excès sont évacuées vers une diode particulière située à côté du photo-élément (drain latéral) ou dans le substrat (drain vertical)

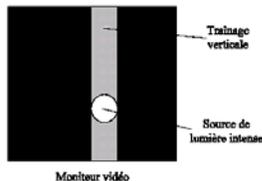
L'adjonction du réseau anti-éblouissant modifie la sensibilité (perte d'une partie de la surface photosensible du Pixel).

2. Formation des images (La caméra)

Limites du CCD : Smearing (traînage vertical)

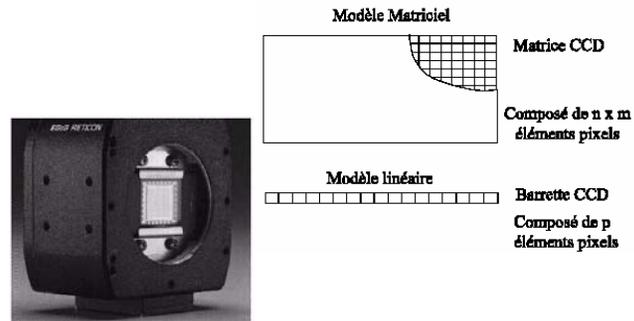
L'effet de "Smearing" apparaît au moment du transfert lorsqu'un puits de potentiel passe dans une zone sur éclairée.

L'erreur due à ce phénomène dépend de l'intensité lumineuse et du temps où le puits de potentiel se trouve dans cette zone. Cette caractéristique est particulièrement visible sur des images à forts contrastes (image d'une lumière infrarouge par exemple).



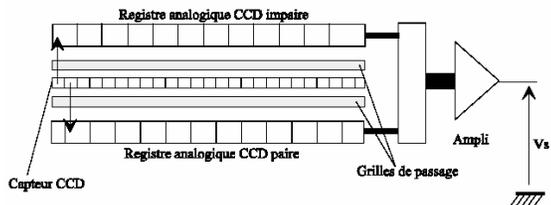
2. Formation des images (La caméra)

Caméra : Matrice et barrette CCD



2. Formation des images (La caméra)

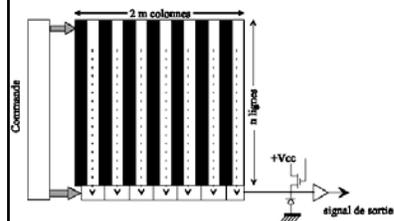
Dispositifs de transfert



Les dispositifs à transfert de charges linéaires

2. Formation des images (La caméra)

Dispositifs de transfert



Dispositifs à transfert interligne : constitués d'une zone image entrelacée avec une zone mémoire, et d'un registre de lecture.

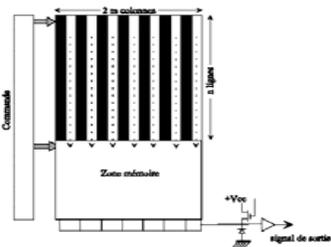
Les charges sont transférées de manière instantanée (quelques micro-secondes) dans la zone mémoire adjacente à la fin de la période d'intégration.

La lecture est exécutée ligne à ligne via le registre de lecture.

réduit sensiblement l'effet de traînage vertical constaté avec les capteurs à transfert de trame. L'entrelacement de la zone image et de la zone mémoire diminue la surface photosensible de chaque pixel.

2. Formation des images (La caméra)

Dispositifs de transfert



Dispositifs de transfert de trame interligne :

Cette organisation regroupe les deux structures précédentes dans le but d'éliminer l'effet de traînage vertical. Un transfert des charges dans une zone mémoire adjacente (Transfert interligne) et un déplacement rapide ligne à ligne vers une zone de stockage (Transfert de Trame) permettent de réduire considérablement cet inconvénient.

L'entrelacement de la zone image et de la zone mémoire donne comme pour la structure interligne, une diminution de la surface photosensible et une augmentation de l'effet de moiré.

2. Formation des images (La caméra)

Les caméras linéaires

Les caméras linéaires sont généralement employées pour capter très précisément une seule ligne d'image. Elles sont de préférence choisies pour mesurer un niveau ou une côte bien particulière. Elle peuvent servir :

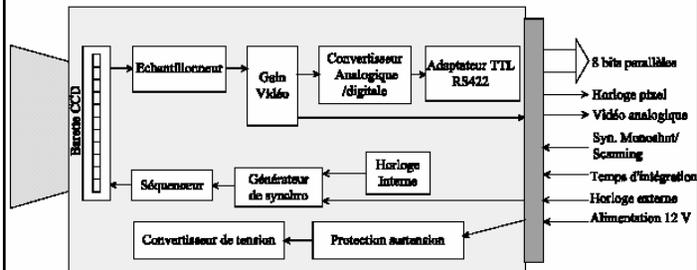
- Dans des processus en continu comme la mesure du papier, du carton, des plaques de fer, des panneaux de laine de verre en défilement,
- Pour contrôler des produits convoyés en vrac tels que de la poudre des graines des légumes des fruits,

Pour inspecter des parois de produit cylindrique tel que des tuyaux, des boîtes de conserve, des bouteilles.

Dans la surveillance pour éviter l'accès dans des zones dangereuses, Etc.

2. Formation des images (La caméra)

Les caméras linéaires



Christophe BLANC – Cours Vision Industrielle – Licence ISACP

61

2. Formation des images (La caméra)

Les caméras matricielles

Les caméras matricielles captent l'image d'une scène tridimensionnelle sans avoir recours comme avec les caméras linéaires à un mécanisme de défilement de la scène. Elles peuvent se classer en deux catégories:

- les caméras matricielles monochromes,
- les caméras matricielles couleurs.

Christophe BLANC – Cours Vision Industrielle – Licence ISACP

62

2. Formation des images (La caméra)

les caméras matricielles monochromes

Elles permettent d'analyser la luminance d'un objet ou d'une scène (clair / sombre) et de mettre en évidence les contours d'après les niveaux de gris captés.

Dans le monde industriel, elles permettent principalement :

- de reconnaître un objet par sa forme ou sa surface,
- de déterminer la position ou l'orientation d'une pièce,
- de vérifier un montage après un assemblage,
- de qualifier un état de surface ou une impression,
- de calibrer des fruits, graines, légumes ou autres pièces fabriquées.

Les capteurs CCD étant très sensibles aux infrarouges, la plupart des caméras incorporent des filtres amovibles.

Christophe BLANC – Cours Vision Industrielle – Licence ISACP

63

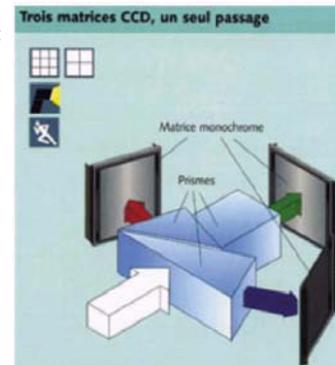
2. Formation des images (La caméra)

les caméras matricielles couleurs

Elles permettent d'analyser un objet par sa couleur décomposée en trois parties: la teinte, la luminance et la saturation.

Le capteur a les mêmes caractéristiques de base que les capteurs monochromes

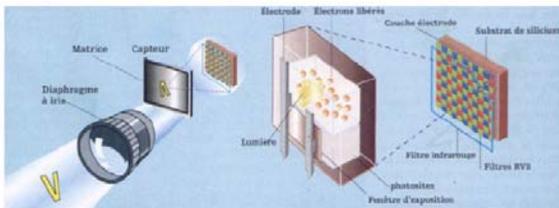
Il possède, en plus des capteurs monochrome, des filtres chromatiques disposés sur sa surface (mono CCD), ou d'un prisme de séparation chromatique renvoyant l'image vers deux ou trois capteurs(Tri CCD).



Christophe BLANC – Cours Vision Industrielle – Licence ISACP

2. Formation des images (La caméra)

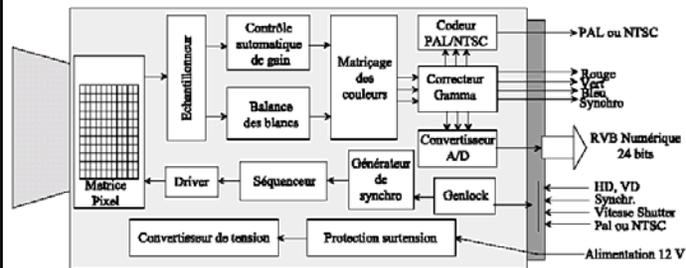
les caméras matricielles couleurs



Mono-CCD

2. Formation des images (La caméra)

les caméras matricielles couleurs



Constitution d'une caméra couleur

Choix d'une caméra

Type d'application	Type de caméra
Contrôle dimensionnel	Caméra linéaire
Inspection de surface	
Asservissement de position	
Contrôle de niveau	
Digitalisation d'images	Caméra matricielle monochrome
Vision sur process haute vitesse	
Imagerie stroboscopique	
Imagerie scientifique	
Vision assisté par ordinateur	
Tracking	Caméra matricielle couleur
Surveillance	
Identification d'objet en tri colorimétrie	
Contrôle de qualité en agroalimentaire	
Suivi de motif (textile imprimerie etc)	
Microscopie	
PAO	

2. Formation des images (La caméra)

Choix d'une caméra

Pour les caméras linéaires

Elle peuvent effectuer des acquisition d'images à des cadence très élevées et ceci avec une précision beaucoup plus grande que les autres types de caméra ce qui les imposent dans le monde industriel dans les process de contrôle.

Leur simplicité (aussi bien électronique que pour la quantité d'information à traiter) permettent des coûts moindres.

Par contre il faut impérativement que la scène soit en défilement pour obtenir une image 2D du produit à contrôler.

2. Formation des images (La caméra)

Choix d'une caméra

Pour les caméras matricielles

- Prise d'une image en mode photo rapide (Monoshot) déclenchée sur le passage de l'objet, temps d'exposition bref pour éviter le flou lorsque la caméra prend des images en mouvement.
- Prise d'une image cyclique avec un temps d'exposition court présélectionné par l'opérateur (Electronic Shutter).
- Il faudra faire attention au choix de la focale qui est fonction de la taille du capteur de la caméra (1/2 ou 2/3 de pouce) ; de la hauteur de l'objet à contrôler (profondeur de champ); de la taille de l'objet et de l'éloignement possible de la caméra.
- De plus la distance minimum de mise au point doit être inférieure à l'éloignement de la caméra, et enfin l'utilisateur devra veiller à l'éclairage possible de la scène qui conditionne l'ouverture du diaphragme et donne la profondeur de champ (une caméra couleur nécessite plus d'éclairage qu'une caméra monochrome).

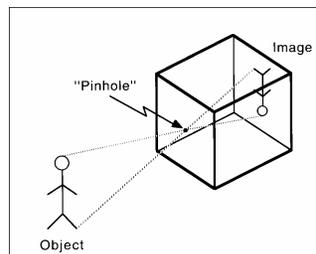
2. Formation des images (La caméra)

La caméra: modèle d'acquisition

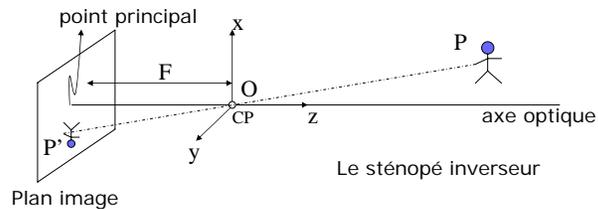
2. Formation des images (La caméra)

Projection perspective

- Le modèle du sténopé (pinhole)
 - Brunelleschi (début 15^{ième} siècle)



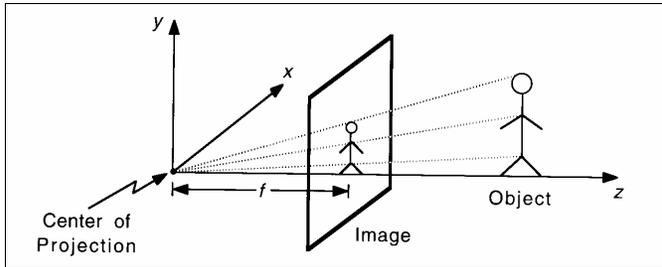
2. Formation des images (La caméra)



- un seul rayon atteint chacun des points du plan image (profondeur de champ infinie)
- l'ouverture ne peut être infiniment petite

2. Formation des images (La caméra)

Le sténopé non-inverseur



- Les équations sont les mêmes sans le signe négatif
- Cette forme ne peut être réalisée en pratique – modèle -

Christophe BLANC – Cours Vision Industrielle – Licence ISACP

73

2. Formation des images (La caméra)

La caméra avec lentille

● Inconvénients du sténopé (3)

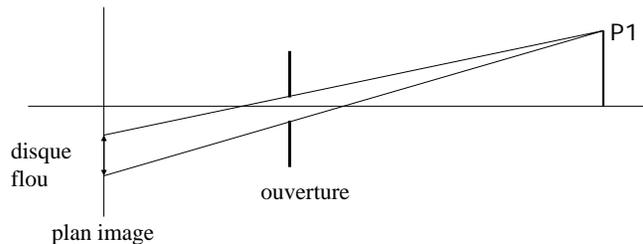
1. Petite ouverture -> peu de lumière
2. Effet de diffraction, i.e. courbure des rayons à cause des rebords d'objets opaques. La diffraction crée un flou. L'effet augmente si le diamètre de l'ouverture diminue.
3. Si on augmente la taille de l'ouverture, la profondeur de champ diminue.

Christophe BLANC – Cours Vision Industrielle – Licence ISACP

74

2. Formation des images (La caméra)

Flou créé par l'augmentation de l'ouverture



Christophe BLANC – Cours Vision Industrielle – Licence ISACP

75

2. Formation des images (La caméra)

Exemple d'une image floue



Christophe BLANC – Cours Vision Industrielle – Licence ISACP

76

2. Formation des images (La caméra)

Solution: utiliser une lentille

- avantage: modèle équivalent au sténopé
- inconvénient: seuls des points à une distance donnée de la lentille sont au focus -> profondeur de champ limitée

profondeur de champ: distance en z telle que le disque flou a un diamètre inférieur à 1 pixel (dépend de la taille de l'ouverture)

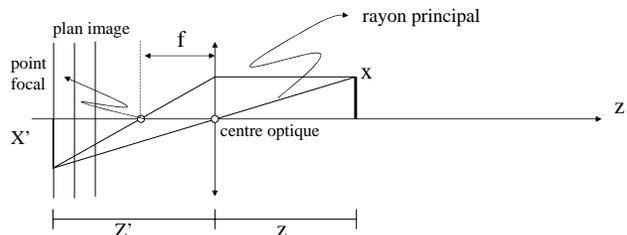
2. Formation des images (La caméra)

Modèle de lentille mince convergente

- On peut en faire la démonstration par l'application de la loi de la réfraction (Snell-Descartes) - voir Forsyth et Ponce. Un rayon entrant réfracté sur la frontière droite de la lentille est immédiatement réfracté sur la frontière gauche
- Corollaires:
 - un rayon parallèle à l'axe optique passe par le point focal
 - le rayon principal (passe par le centre optique) n'est pas dévié

2. Formation des images (La caméra)

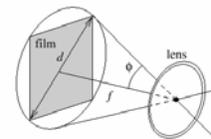
Schéma et équations



2. Formation des images (La caméra)

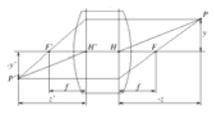
Terminologie

- *champ de vue*
- lentilles
 - téléphoto
 - grand angle
 - télécentrique
- *f-number* d'une lentille: rapport $f/\text{diamètre}$
*permet de comparer les lentilles de focales différentes
ex: 2.8 (ouverture max), 4, 5.6, 8, 11
- *résolution*: distance minimum entre deux caractéristiques (objets) pour pouvoir les distinguer (1 pixel entre les deux), donc 2^* taille d'un pixel
- *plage dynamique*: écart entre le plus petit et le plus grand niveau d'illuminance (exemple: 256 niveaux pour une image 8 bits)



Lentilles réelles:terminologie

• *lentilles épaisses*



- *aberrations*: caractéristiques d'une lentille qui l'empêche de former l'image d'un point objet en un seul point du plan image. Un point a plutôt comme image une petite région floue.
- *aberrations sphériques*: s'appliquent aux points qui devraient être imagés sur l'axe optique (netteté -, dépend de l'ouverture).
 - le "coma" est le type d'aberration pour les points hors axe
- *distorsion radiale*: souvent importante pour les grands angles
 - indépendant de l'ouverture, n'affecte pas la netteté
- *aberration chromatique*: liée à la dépendance de l'indice de réfraction à la longueur d'onde