

Vision Industrielle

Dispositif d'éclairage



Vision Industrielle

Le dispositif d'éclairage

Lumière et sources lumineuses

Lumière et sources lumineuses

- La lumière
- Les sources halogènes
- Les sources fluorescentes
- Les sources électroluminescentes
- Les sources laser

La lumière

- Définitions

- Lumière

- ◆ La lumière est un ensemble d'ondes électromagnétiques (radiations) caractérisées par leur longueur d'onde (comme une onde radio) et produites par la propagation de particules lumineuses, les **photons**.
- ◆ La longueur d'onde λ se mesure en mètre (m) avec $\lambda = c / F$ où F représente la fréquence exprimée en Hertz (Hz) et c , la vitesse de la lumière ($c = 300000 \text{ Km/s}$).
- ◆ Le nanomètre (nm) est souvent utilisé pour exprimer une longueur d'onde.
- ◆ A chaque longueur d'onde correspond une couleur perçue par l'œil humain.
- ◆ La lumière visible est la partie du rayonnement électromagnétique émis par le soleil à laquelle nos yeux sont sensibles (environ entre 380 et 780 nm)

La lumière

Couleur	Teinte perçue	λ (nm)
Infrarouge		> 780
Rouge		~ 625 - 740
Orange		~ 590 - 625
Jaune		~ 565 - 590
Vert		~ 520 - 565
Cyan		~ 495 - 520
Bleu		~ 445 - 495
Magenta		~ 380 - 445
Ultraviolet		< 380

La lumière

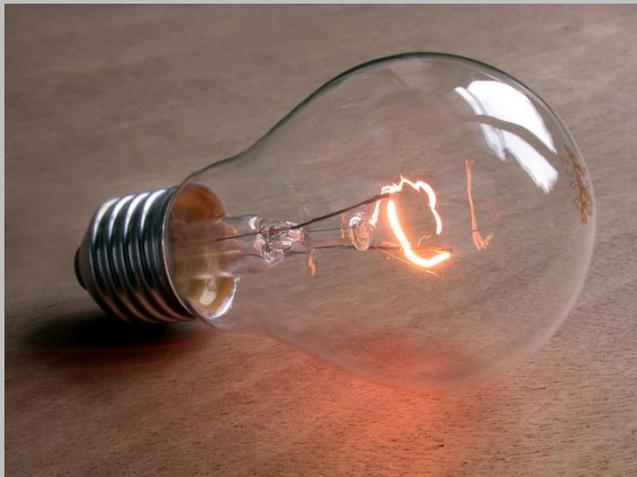
- Principales caractéristiques des sources lumineuses
 - Puissance lumineuse (Intensité lumineuse, flux lumineux, efficacité lumineuse...)
 - Durée de vie des sources
 - Stabilité à court terme et à long terme des sources
 - Spectre ou température de couleur de la source
 - Répartition de la lumière (direction de la lumière, homogénéité de l'intensité)

La lumière

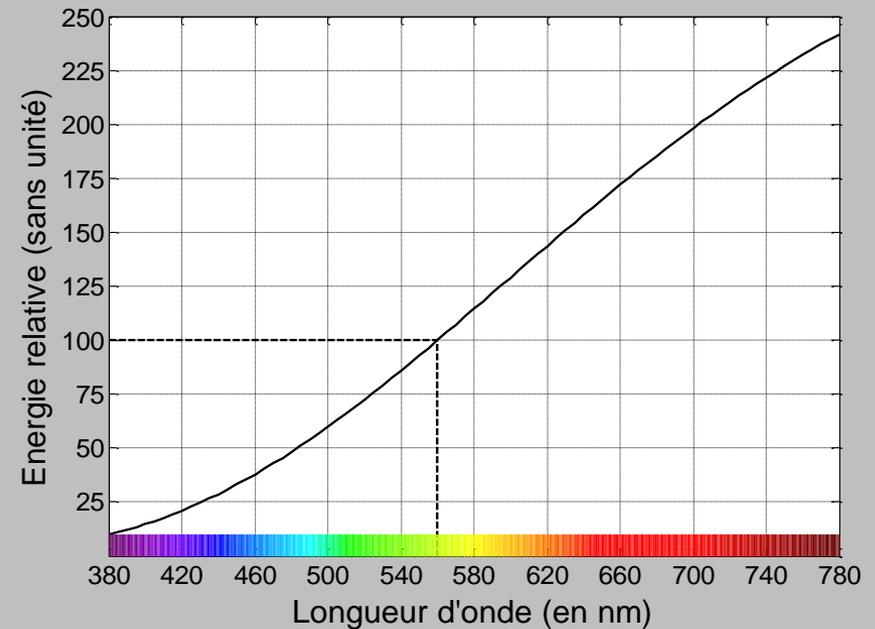
- Spectre (ou densité spectrale d'énergie)
 - Quantité d'énergie produite par une source lumineuse par intervalle de longueur d'onde.
 - Densité spectrale d'énergie **relative** : spectre normalisé de telle sorte à obtenir 100% d'énergie pour la longueur d'onde 560 nm.
 - Le spectre peut être **continu** (ampoules à incandescence, bougies, soleil), **discontinu** (lampes à décharge), **mixte** (tubes fluorescents) ou **de raies** (laser, diode).

La lumière

■ Exemple



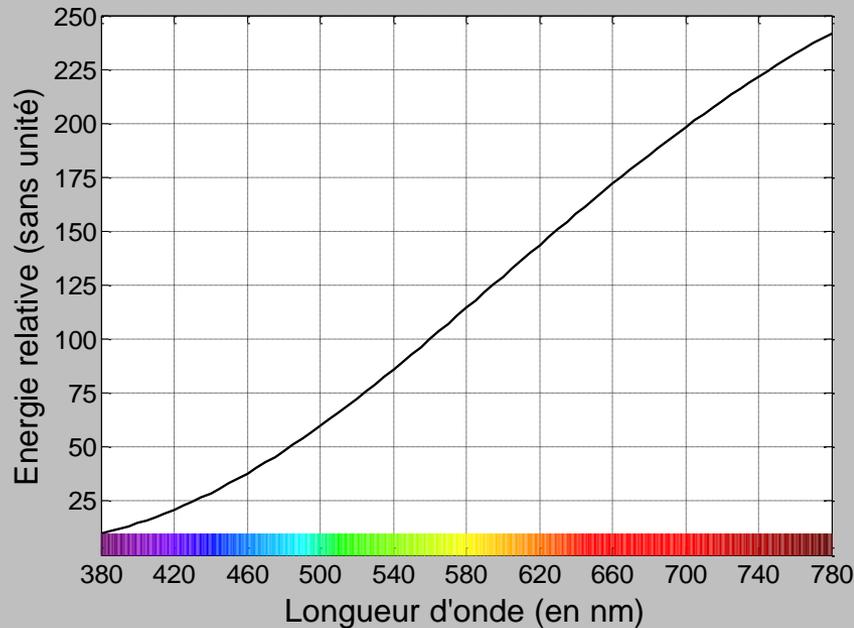
Lampe à filament de tungstène de 500 W (2856 K)



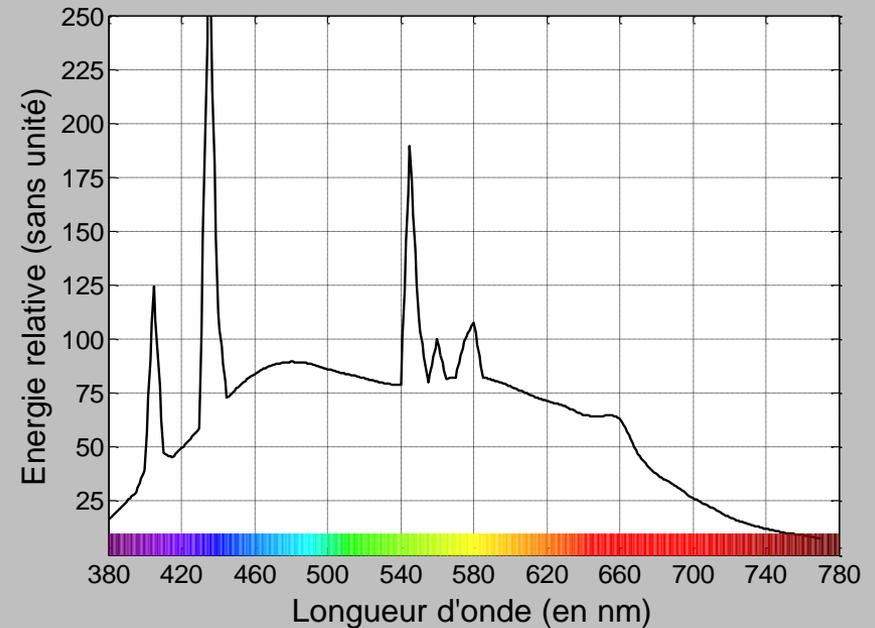
Densité spectrale d'énergie relative

La lumière

■ Exemple



Spectre continu

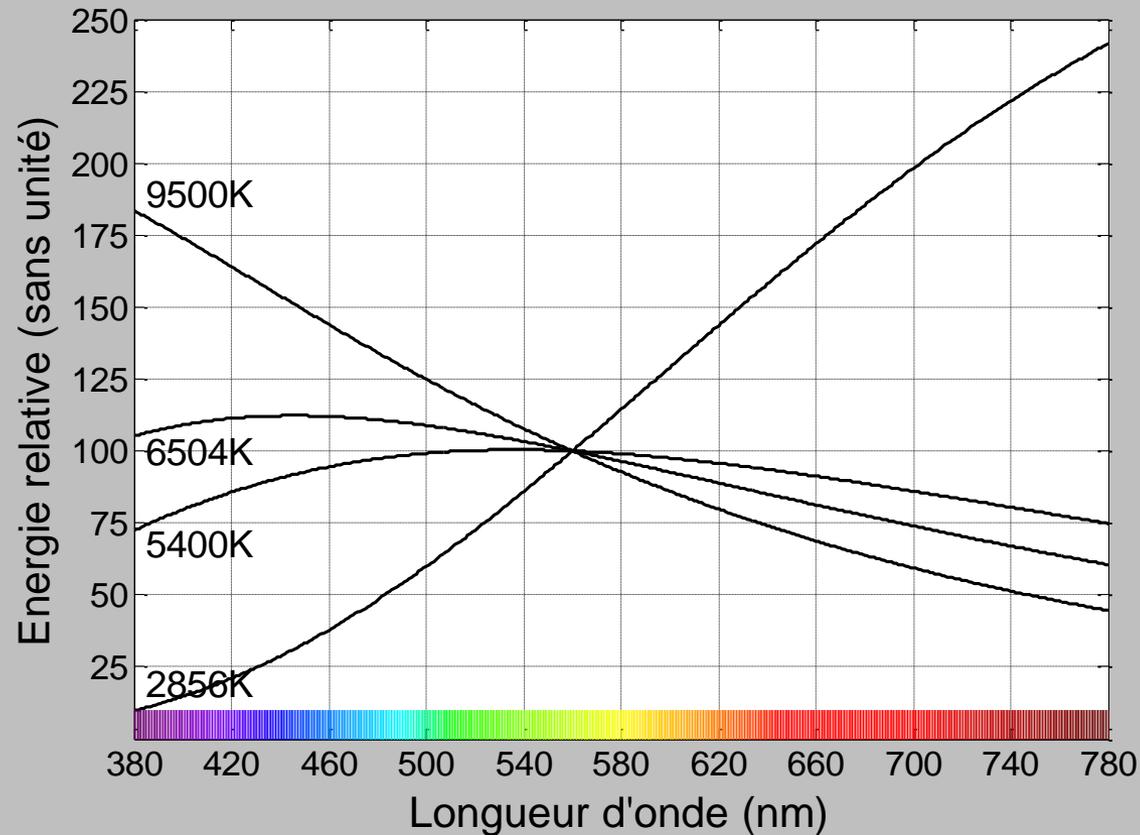


Spectre mixte

La lumière

- Température de couleur
 - Corps noir : objet idéal (modèle théorique) dont le spectre électromagnétique ne dépend que de sa température.
 - Température de couleur proximale : température à laquelle il faut porter un **corps noir** (rayonnement thermique) pour obtenir la sensation visuelle la plus proche de celle produite par une source lumineuse.
 - Spectre modélisé par une équation et représenté par une courbe

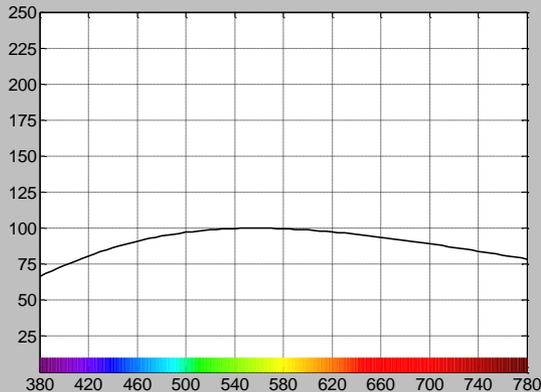
La lumière



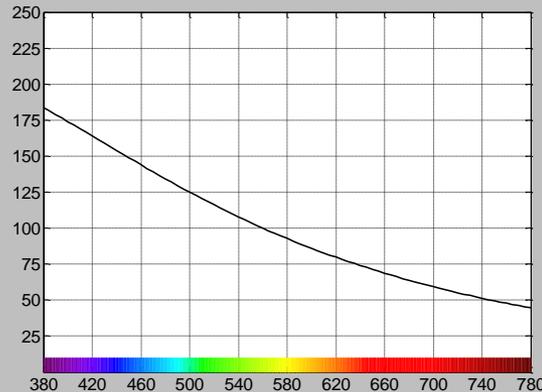
Courbes d'émission du corps noir

La lumière

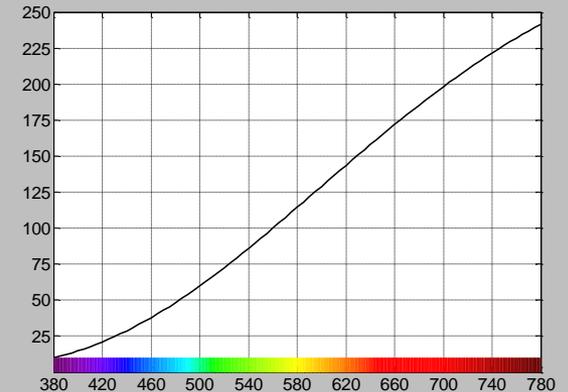
- Densité spectrale relative d'énergie et température de couleur



Lumière *blanche*
(5200 K)



Lumière *froide*
(9500 K)



Lumière *chaude*
(2856 K)

La lumière

- Indice de rendu des couleurs (IRC ou Ra)
 - Coefficient qui indique la capacité d'une source à restituer les couleurs qu'elle illumine.
 - Il varie de 0 à 100. L'indice maximum (IRC = 100) correspond à une lumière blanche avec un spectre équiténergétique et qui restitue donc toutes les nuances de couleur.
 - Il dépend donc du type de spectre.

Principe

- Lampes halogènes
 - L'éclairage fourni provient de radiations émises par **incandescence** (chauffage d'un filament dans une ampoule contenant un gaz de la famille des halogènes).



*Ampoule
halogène*



*Source
halogène*



*Fibre
optique*



*Éclairage
annulaire*

Caractéristiques

Avantages

- **Forte puissance**
- Éclairage déporté grâce à la **fibres optique** et à géométrie variable grâce à l'utilisation de différents embouts
- Intensité lumineuse constante à court terme (alimentation continue) et à long terme
- Spectre continu

Inconvénients

- Faible durée de vie (2000 h. en moyenne)
- Émet davantage dans le rouge et l'infrarouge (lumière chaude)
- Consommation

Principe

- Lampes fluorescentes
 - L'éclairage fourni provient de radiations émises par **luminescence** (passage d'électrons à travers un gaz contenu dans un tube linéaire ou annulaire).
 - Dans la lampe fluorescente, le rayonnement ultraviolet résultant de la décharge gazeuse est transformé en rayonnement visible en excitant du phosphore appliqué en une mince couche à l'intérieur du tube (**fluorescence**).
 - Lampe **fluo-compacte** : le tube est replié sur lui-même.

Caractéristiques

Avantages

- **Éclairage de grandes surfaces**
- Eclairage uniforme (blanc) avec davantage d'émission dans le bleu et l'ultraviolet (lumière froide)
- Peu coûteux

Inconvénients

- Mauvaise stabilité à long terme, l'intensité lumineuse décroît au cours du temps
- Mauvaise stabilité à court terme, la luminosité fluctue à la fréquence de l'alimentation
- Faible durée de vie (5000 h. environ, 8000 h. maximum)
- Éclairage inhomogène nécessitant des réflecteurs ou plusieurs sources
- Inadaptées à l'éclairage par flash

Principe

- Lampes électroluminescentes
 - L'éclairage fourni provient de radiations émises par **électroluminescence** (courant continu à basse tension traversant une diode électroluminescent ou DEL (Led)).
 - La Lampe électroluminescente est un ensemble de Leds mises côte à côte permettant une grande variété de configurations géométriques et de couleurs.



Éclairage plan



Éclairage linéaire



Éclairage ponctuel



Éclairage annulaire

Utilisation en mode pulsé

- Définition
 - En mode pulsé, la diode est alimentée par un courant très fort (5 fois supérieur à l'intensité normale) pendant un très court instant, ce qui crée un effet **stroboscopique** (flash) et engendre une très forte intensité lumineuse.
 - Ce type de fonctionnement ne détériore pas la diode et n'altère pas sa durée de vie.

Caractéristiques

Avantages

- Longue durée de vie (50 000 h. en moyenne et jusqu'à 100 000 heures pour les leds rouges)
- Couleurs d'éclairage variées
- Éclairage stable dans le temps
- Nombreuses configurations géométriques possibles
- Adaptées à l'éclairage par flash (mode pulsé)
- Fibres optiques possibles

Inconvénients

- (Coûteux)
- Puissance réduite sauf en **mode pulsé**

Principe

- Définition

- C'est un **amplificateur de lumière** (par émission stimulée de rayonnement) dont la sortie est branchée sur l'entrée.
- Les sources laser permettent de projeter un ensemble de faisceaux sur un objet.

- Sécurité

- Selon la puissance et la longueur d'onde d'émission du laser, celui-ci peut provoquer des lésions.
- Des classes ont été déterminées en fonction de la dangerosité des sources laser.



Source laser



Caractéristiques

Avantages

- Permet de caractériser la forme et les dimensions d'une pièce en 3 dimensions
- Forte intensité concentrée autorisant une distance de travail importante

Inconvénients

- N'éclaire pas la globalité d'un objet
- Coûteux
- Précautions d'utilisation

Vision Industrielle

Le dispositif d'éclairage

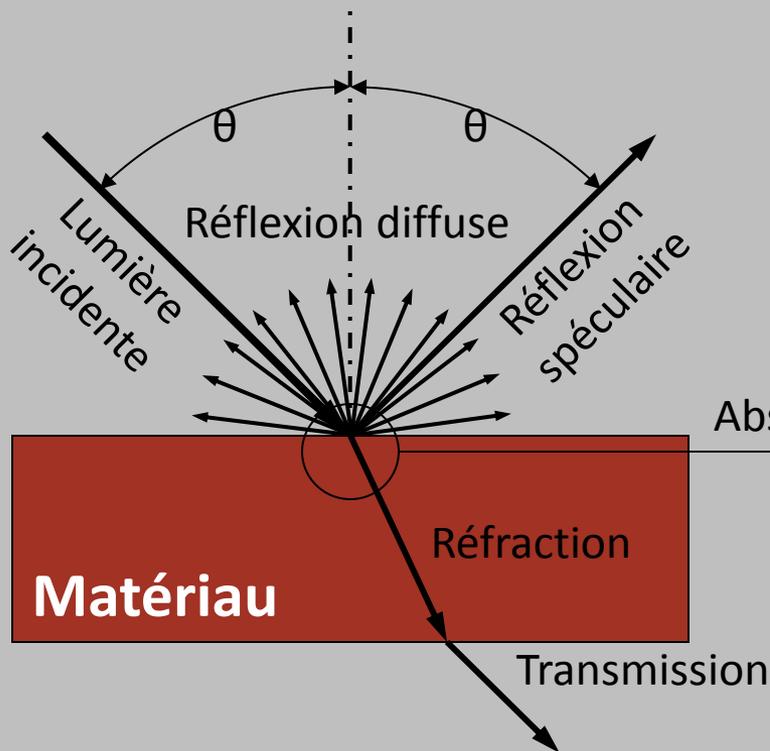
Techniques d'éclairage

Technique d'éclairage

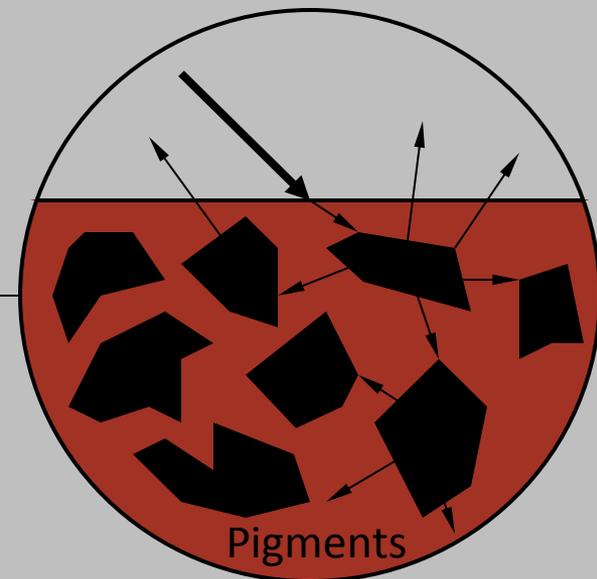
- Lumière réfléchiée, absorbée ou transmise
- Géométrie d'éclairage
- Mise en forme de la lumière
- Filtres d'éclairage
- Contrôle de l'éclairage
- Choix de l'éclairage

Lumière réfléchiée, absorbée ou transmise

- Interaction lumière-matière

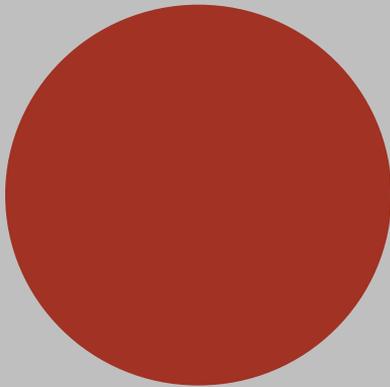


Les pigments absorbent une partie de la lumière incidente et réfléchissent ou transmettent le reste. Le matériau agit alors comme un filtre.

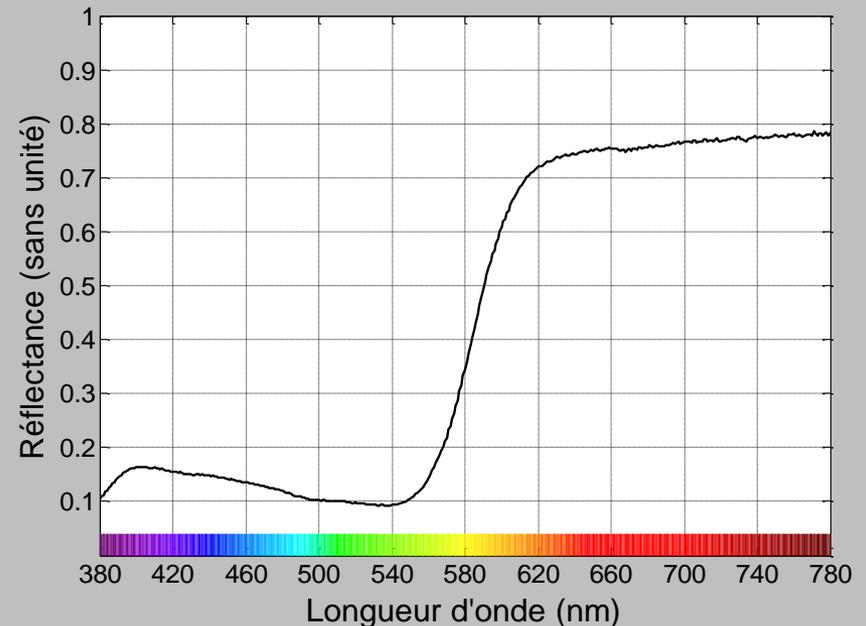


Lumière réfléchiée, absorbée ou transmise

- Selon sa nature (opaque, transparent, translucide), un matériau peut être caractérisé, soit par sa capacité à réfléchir (**réflectance**) ou à transmettre (**transmittance**) l'énergie incidente, soit par sa capacité à l'absorber.

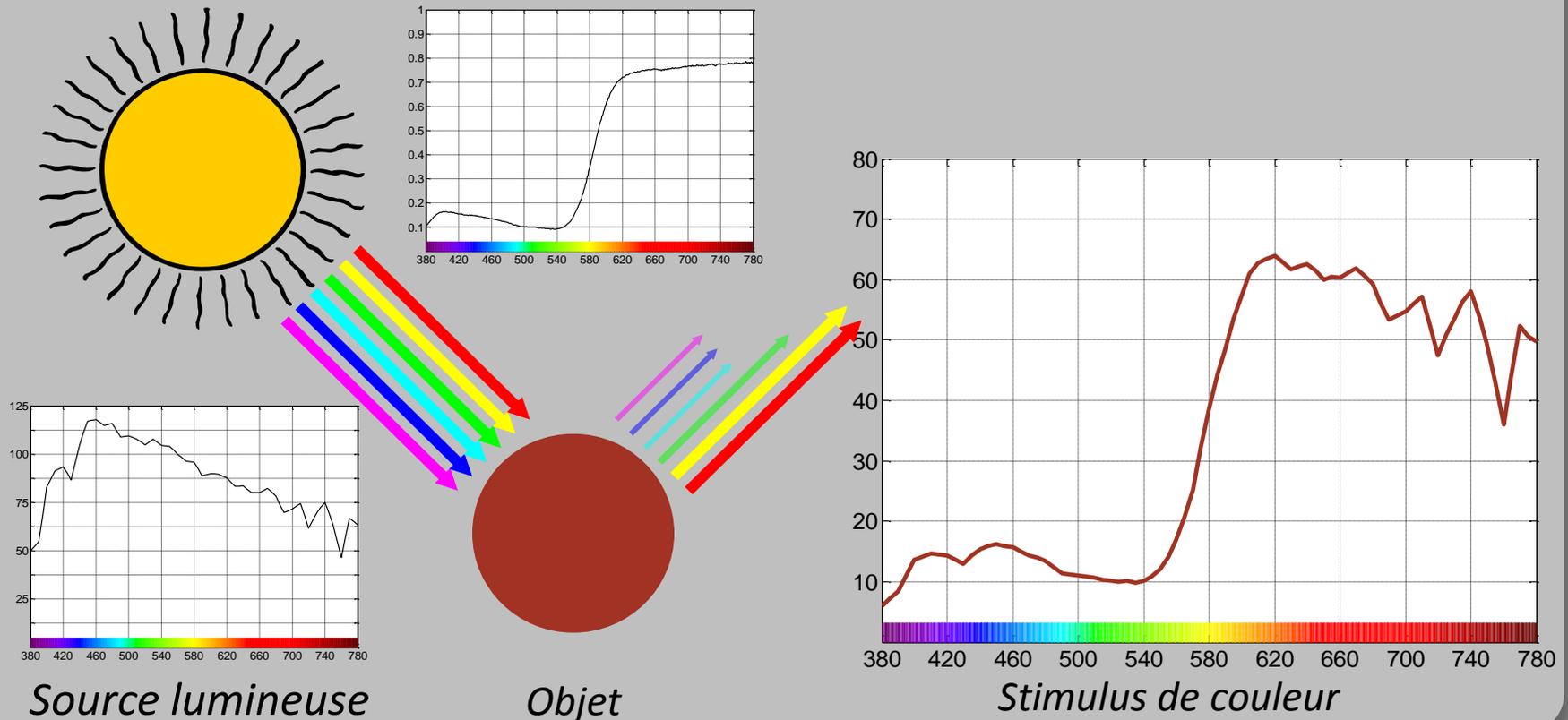


Réflectance d'une pastille de couleur de l'atlas de Munsell

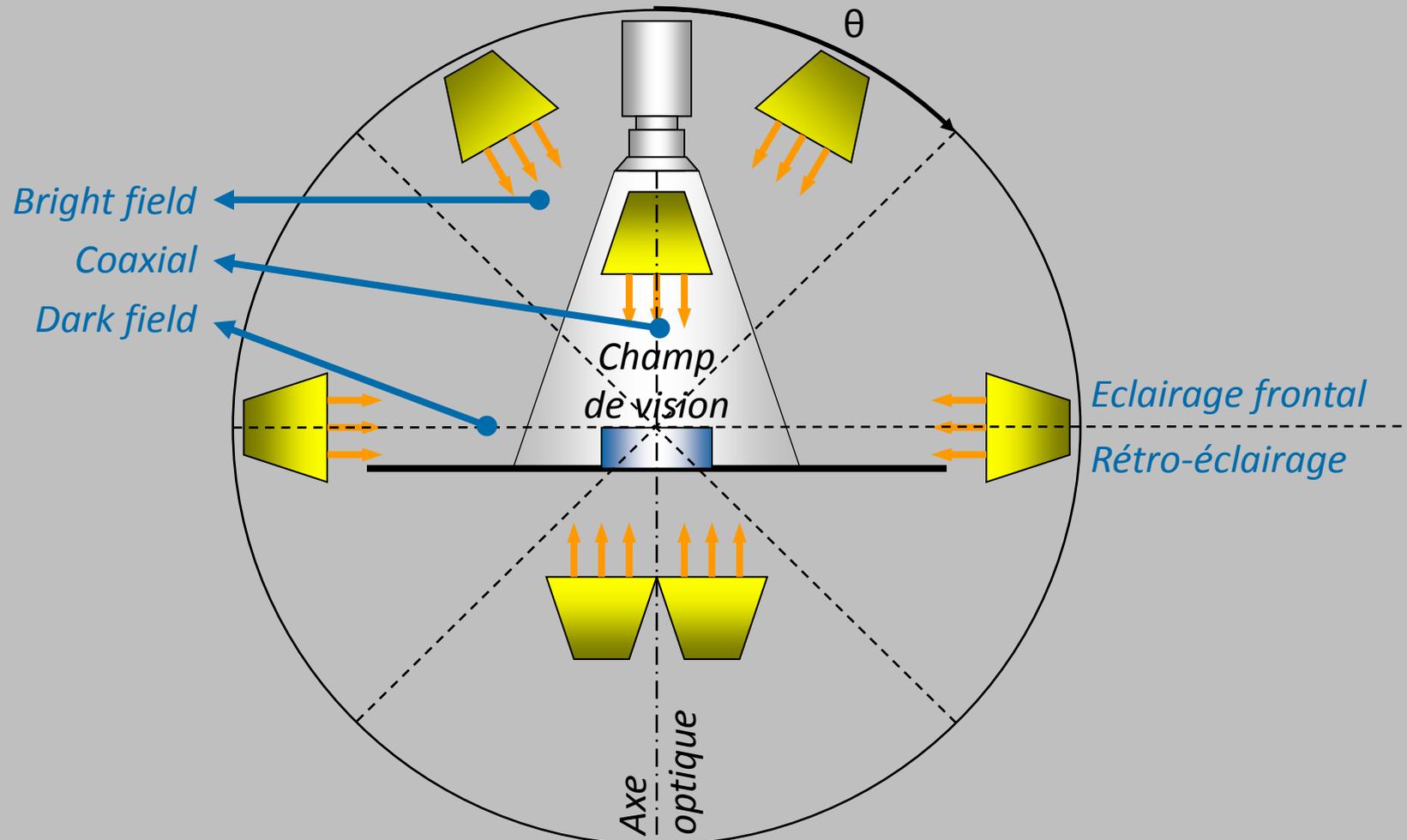


Lumière réfléchie, absorbée ou transmise

- Le stimulus de couleur



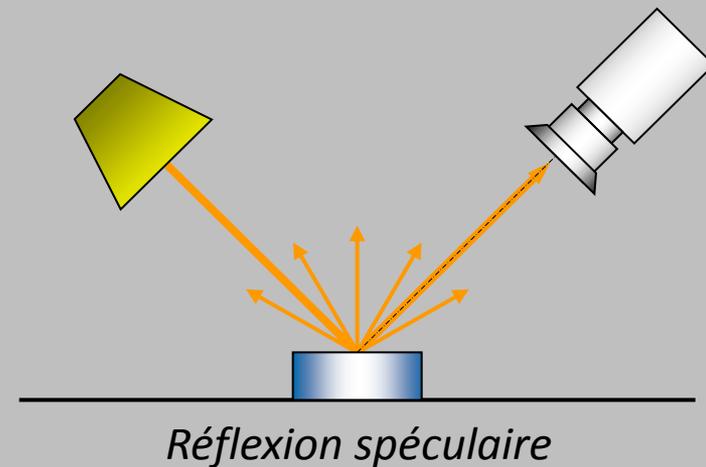
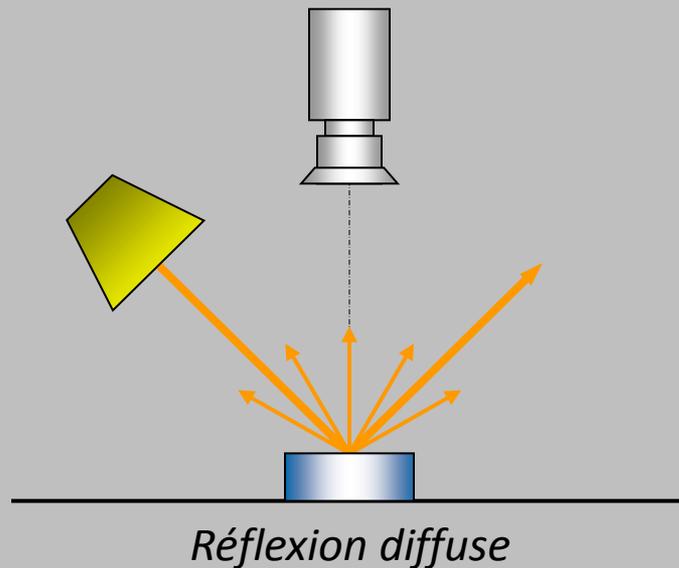
Introduction



Éclairage frontal

Éclairage épiscopique (*front light*)

- Éclairage directionnel (*bright field*)



Éclairage frontal

Avantages

- Avec un bon contraste et une image nette, il permet de réaliser du contrôle de présence et de la mesure
- En réflexion spéculaire, il permet de détecter des défauts de surface
- En réflexion diffuse, il permet de contrôler les surfaces brillantes de métaux polis ou en plastique

Inconvénients

- Génère des contours, des ombres et des reflets
- Ne convient pas pour les pièces transparentes ou translucides
- Effet de perspective en réflexion spéculaire

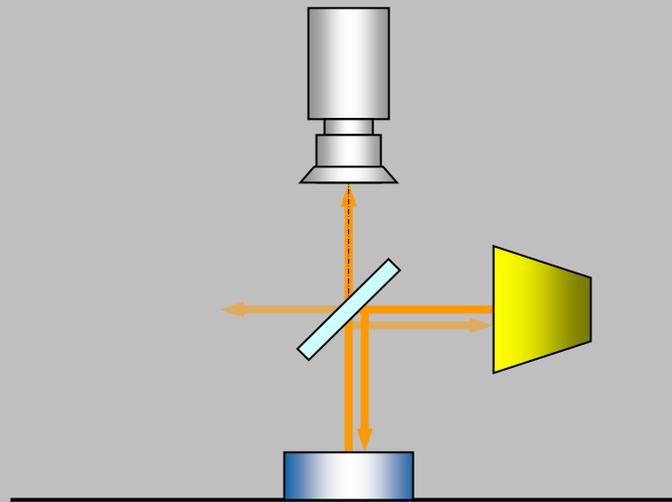
Éclairage frontal

- Exemple : éclairage frontal directionnel direct **ponctuel**



Éclairage frontal

- Éclairage coaxial (On Axis Lighting (AOL))



Éclairage frontal

Avantages

- Même avantage que l'éclairage directionnel
- Ne génère ni ombres ni reflets

Inconvénients

- Avec un AOL, l'épaisseur du miroir peut produire une image double mais il permet d'éclairer de petite cavité
- Nécessite d'avantage de puissance lumineuse

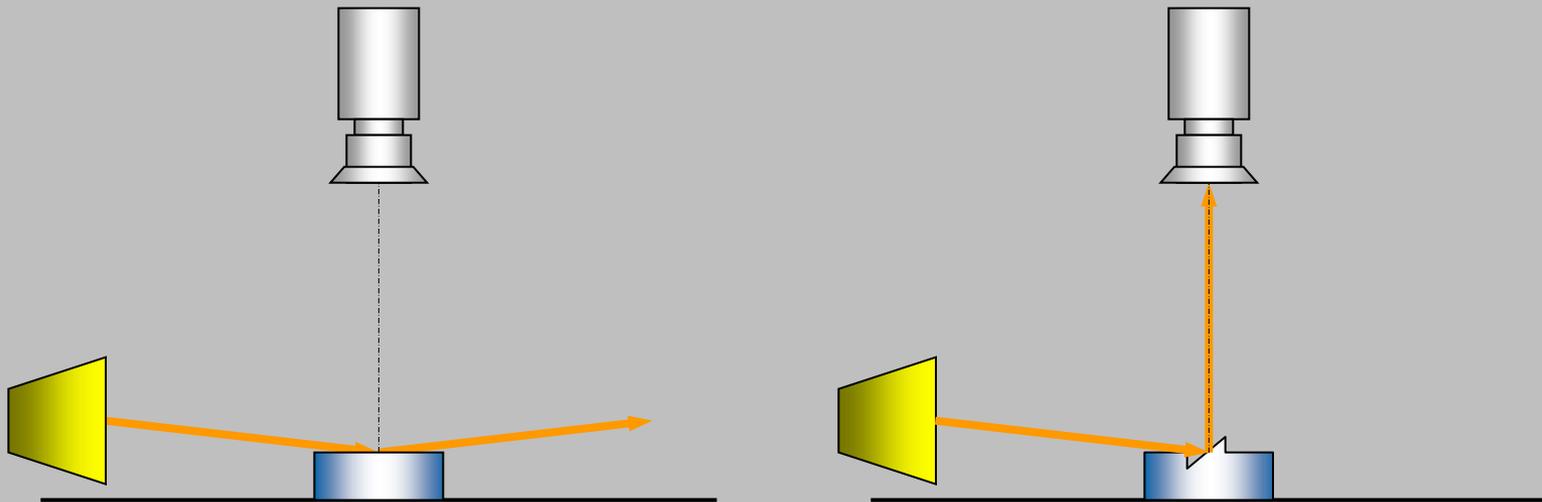
Éclairage frontal

- Exemple : éclairage frontal **coaxial** diffus plan



Éclairage frontal

- Éclairage rasant (dark field)



Éclairage frontal

Avantages

- Permet une très bonne détection de défauts sur surfaces planes opaques ou translucides
- Bords des objets mis en évidence

Inconvénients

- Nécessite une source lumineuse très puissante

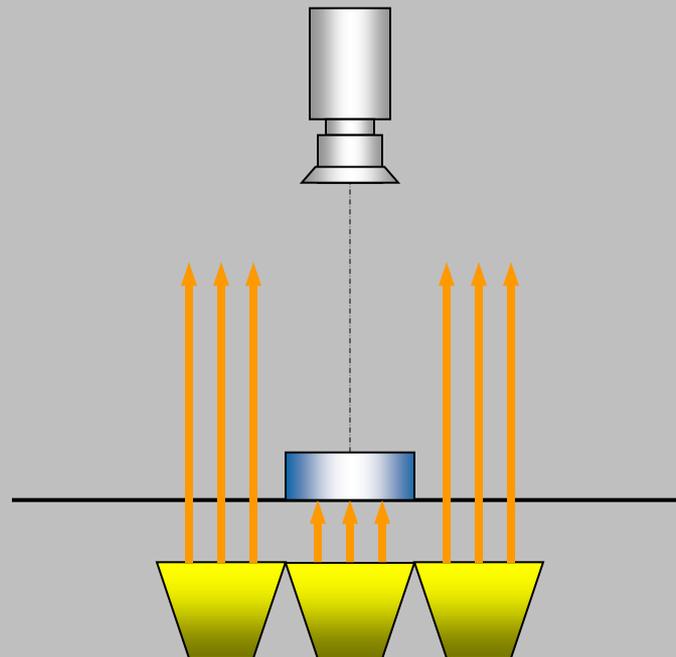
Éclairage frontal

- Exemple : éclairage frontal **rasant** direct annulaire



Rétro-éclairage

Éclairage diascopique (backlight)



Rétro-éclairage

Avantages

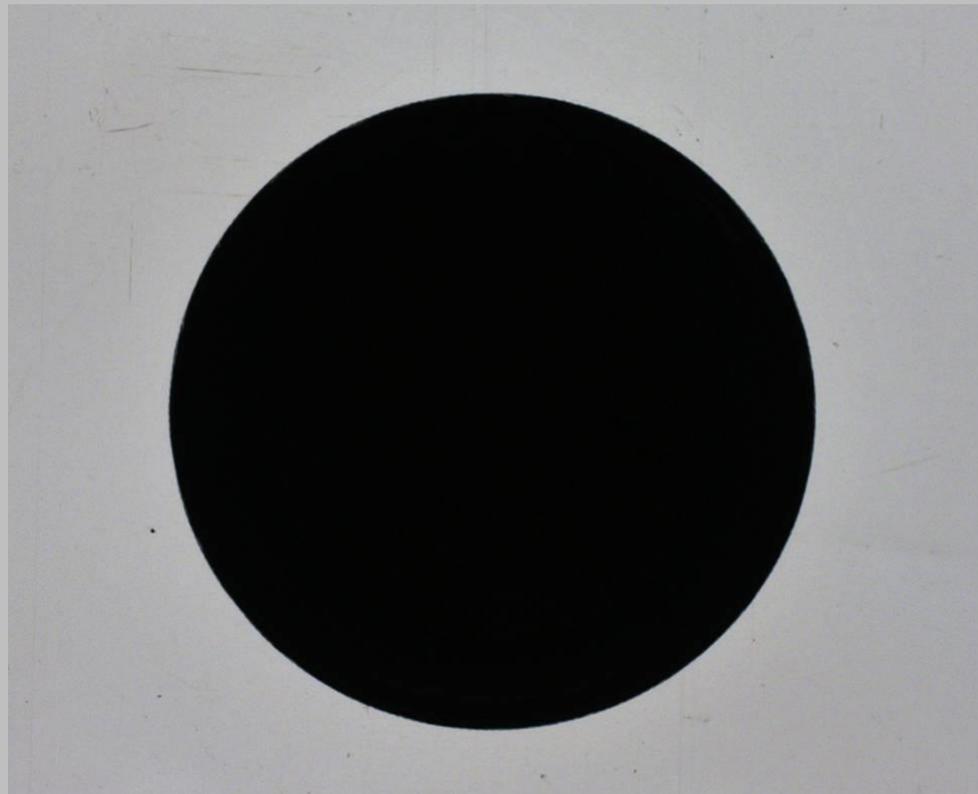
- Mise en évidence de la silhouette (contraste maximum entre le fond, blanc et la forme, noire)
- Permet le contrôle dimensionnel et l'absence/présence de trous
- Permet de contrôler les matériaux transparent et translucide (verre, tissu, circuit imprimé)

Inconvénients

- Les détails de la surface sont perdus

Rétro-éclairage

- Exemple : **rétro** éclairage coaxial diffus plan



Mise en forme de la lumière

1. Lumière directe

- La lumière est dirigée de façon rectiligne directement depuis une ou plusieurs sources lumineuses vers l'objet à observer autour de quelques directions privilégiées.

2. Lumière diffuse

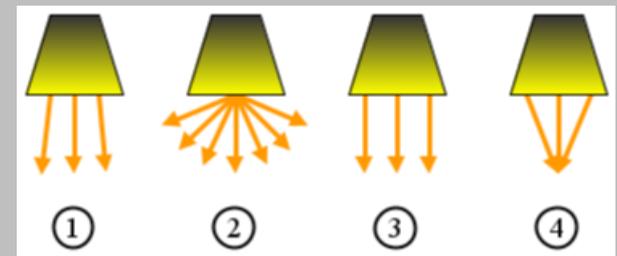
- La lumière éclairant l'objet provient d'un maximum de direction. Les rayons lumineux se dispersent.

3. Lumière collimatée ou télécentrique

- Les rayons lumineux sont parallèles.

4. Lumière focalisée

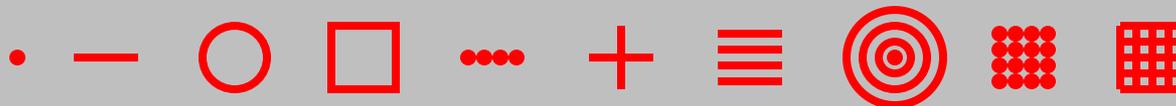
- Les rayons lumineux convergent.



Mise en forme de la lumière

5. Lumière structurée

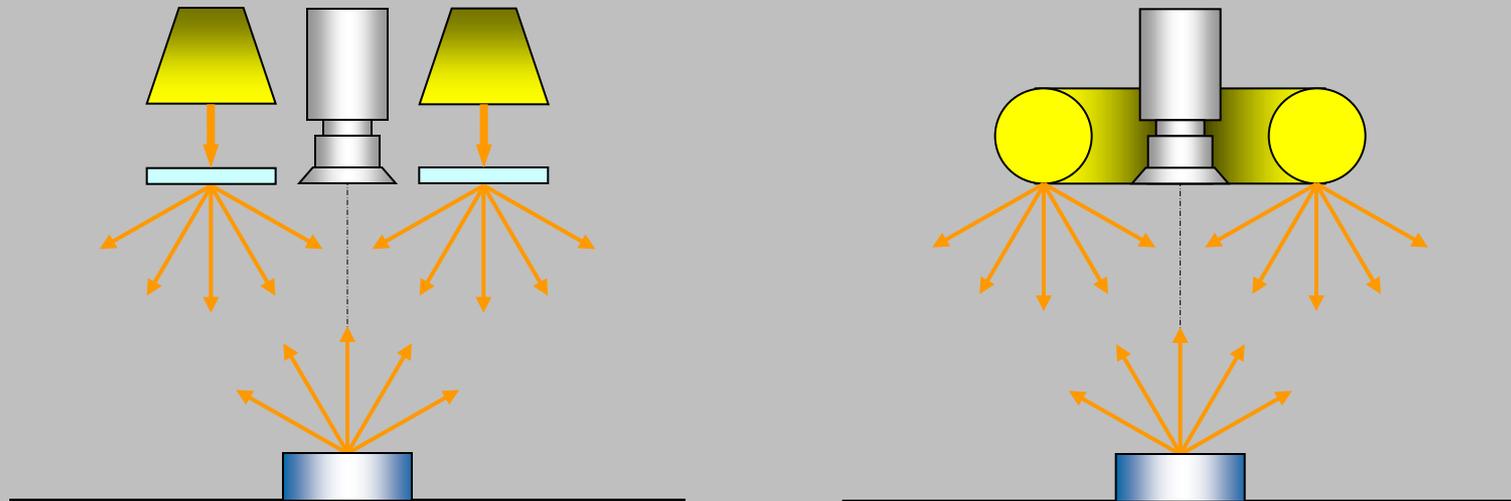
- La lumière projetée sur l'objet à observer présente une structure parfaitement définie. Cette structure représente un motif connu qui se déforme si la surface de l'objet observé présente un relief.



Plusieurs géométries possibles

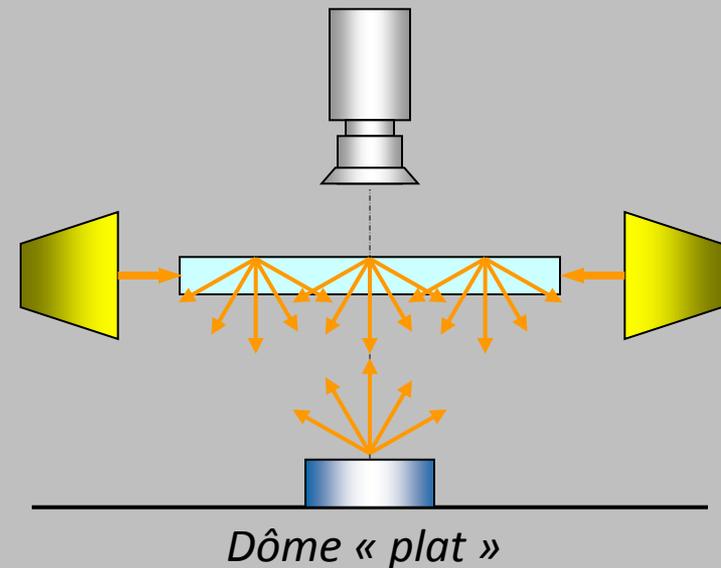
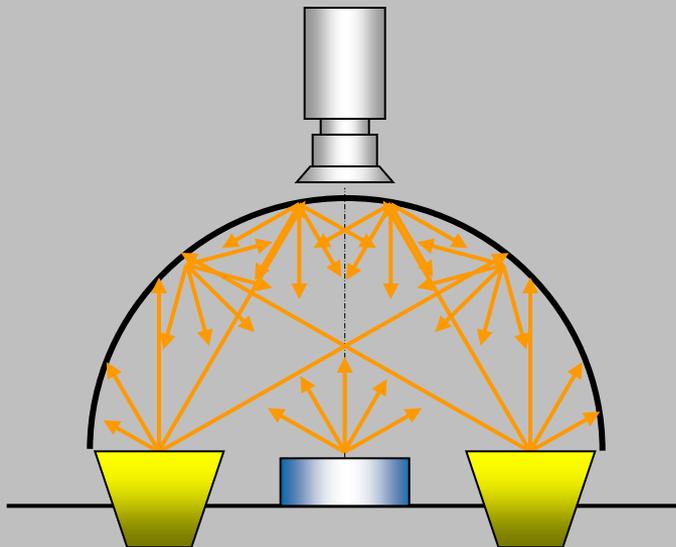
Lumière diffuse

- Diffuseur et sources diffuses



Lumière diffuse

- Sphère d'intégration (Dome Illuminator, Cloudy Day Illuminator)



Lumière diffuse

Avantages

- Éclairage uniforme
- Peu ou pas d'ombres et de reflets
- Existe aussi en DAOL (Diffuse On Axis Lighting)

Inconvénients

- Contours flous
- Faible contraste

Lumière diffuse

- Exemple : éclairage frontal directionnel direct **annulaire**



Lumière diffuse

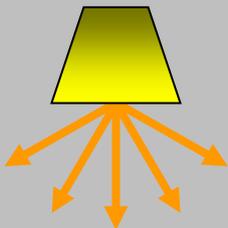
- Exemple : éclairage frontal coaxial diffus **dôme**



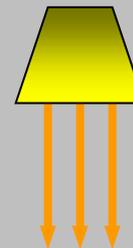
Lumière collimatée (ou télécentrique)

- Définition

- Les rayons lumineux émis par une source ponctuelle se dispersent selon différentes directions.
- Avec l'augmentation de la distance de la source, la surface éclairée augmente tandis que l'éclairement diminue.
- Dans une lumière collimatée, un dispositif optique à base de lentilles permet de rendre parallèles les rayons lumineux provenant d'une source ponctuelle.



*Lumière non collimatée :
Les rayons lumineux se
dispersent*



*Lumière collimatée :
Les rayons lumineux sont
parallèles*

Lumière collimatée (ou télécentrique)

Avantages

- La surface éclairée et l'intensité lumineuse restent les mêmes quelque soit la distance
- Permet de mettre en évidence les reliefs (creux, bosses, ...) sur des surfaces planes et réfléchissantes
- En rétro-éclairage, permet de mettre très nettement en évidence les bords des objets quelque soit leur opacité (pas de phénomène de réfraction)

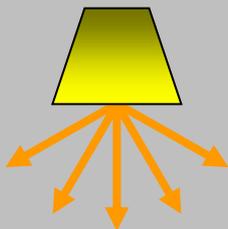
Inconvénients

- Nécessite un dispositif optique
- Prix

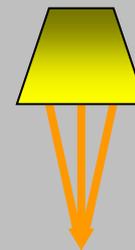
Lumière focalisée

- Définition

- Dans une lumière focalisée, les rayons lumineux incidents sont concentrés sur une surface de petite dimension, en générale un point ou une ligne en utilisant :
 - ♦ soit des réflecteurs qui dirigent les rayons lumineux dans une ou plusieurs directions
 - ♦ soit un dispositif optique à base de lentilles convergentes qui concentre les rayons lumineux provenant d'une source lumineuse



Lumière non focalisée :
Les rayons lumineux
divergent



Lumière focalisée :
Les rayons lumineux
convergent

Lumière focalisée

Avantages

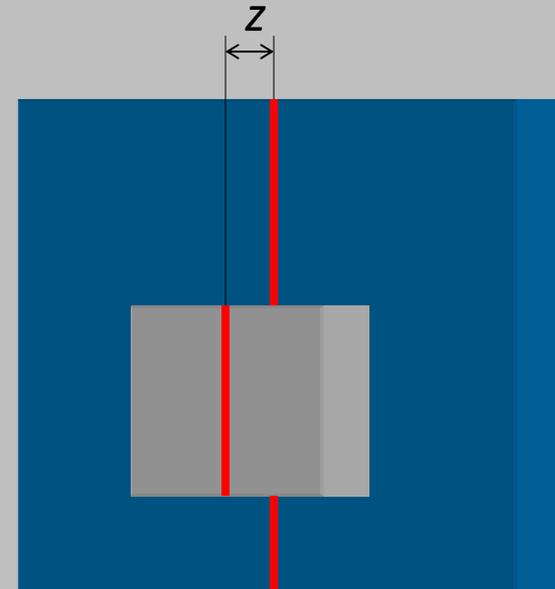
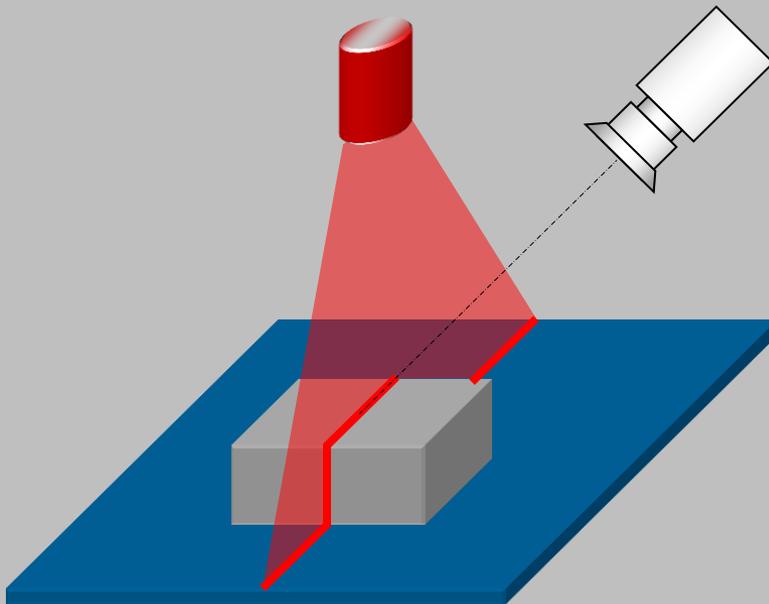
- Augmente l'intensité lumineuse émise sur la surface éclairée
- Eclaire une partie spécifique d'un objet
- Permet l'éclairage structuré
- Particulièrement bien adapté à la vision linéaire nécessitant d'éclairer la ligne de visée de la caméra avec une forte intensité lumineuse

Inconvénients

- N'éclaire pas la totalité de l'objet

Lumière structurée

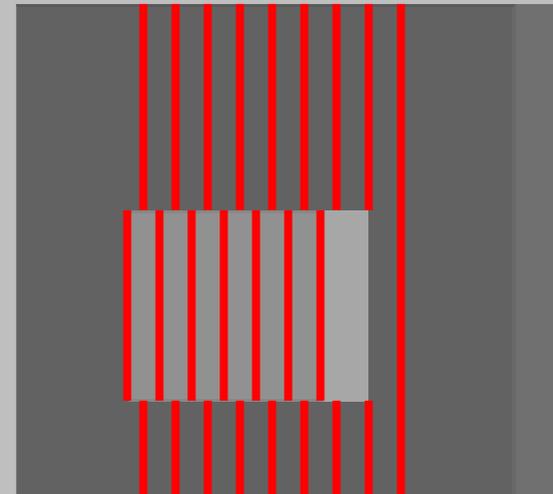
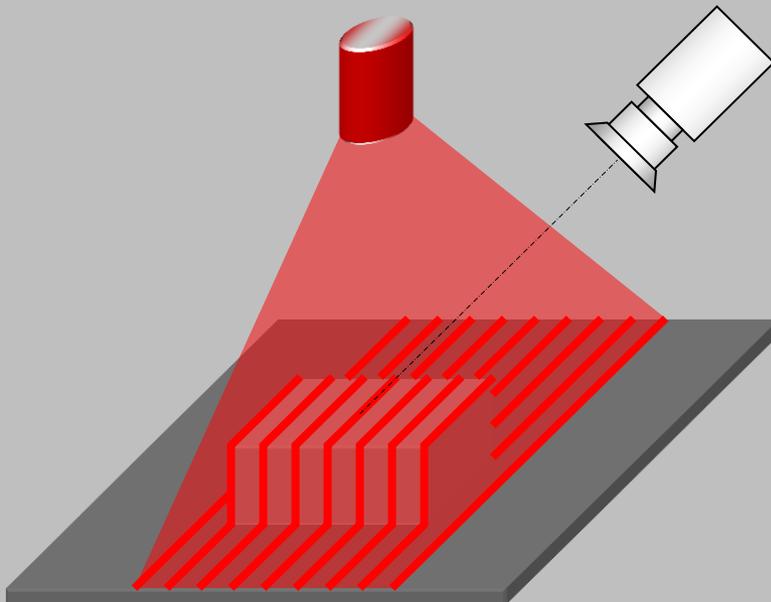
- Principe de triangulation



*En fonction de l'orientation de la caméra
et la hauteur de l'objet la distance z
varie*

Lumière structurée

- Projection de franges



Lumière structurée

Avantages

- Mesure de distances par rapport à une ligne de référence
- Analyse de forme des objets
- Mesure de hauteur par triangulation ou projection de franges
- Différentes formes à projeter

Inconvénients

- N'éclaire pas l'objet
- Nécessite parfois une mécanique de déplacement du faisceau ou au contraire, un arrêt du défilement de l'objet

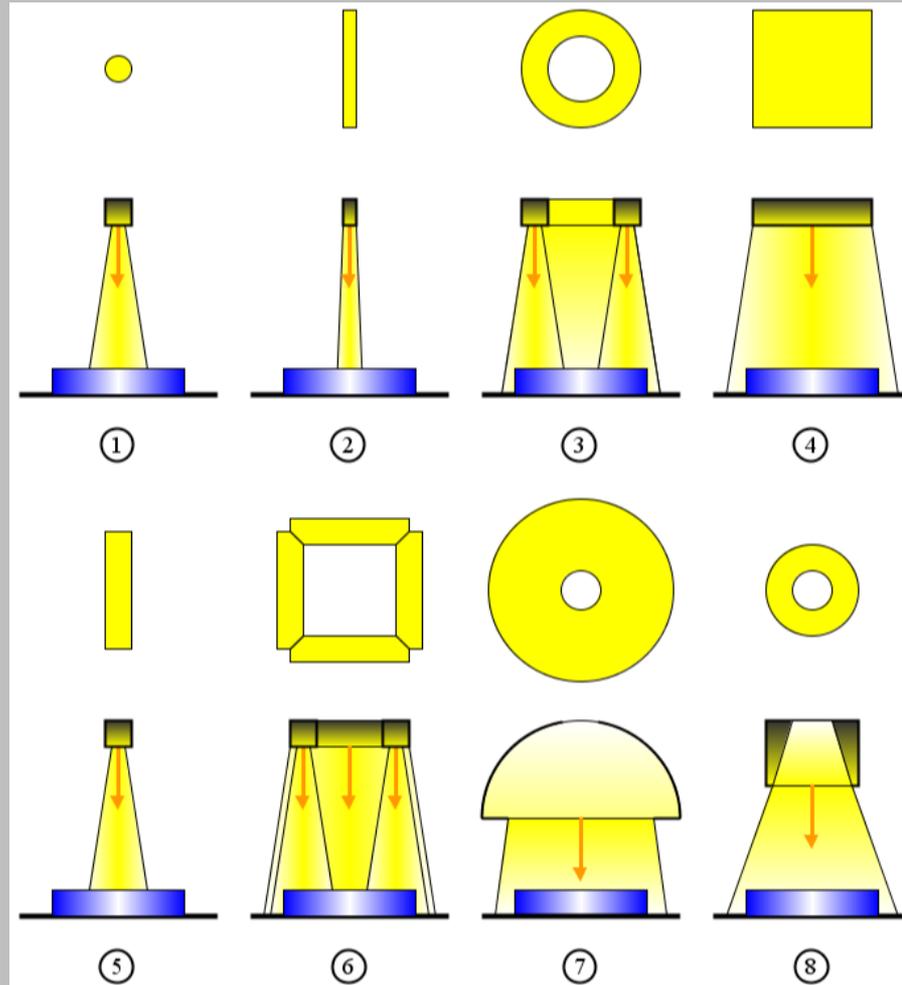
Vision 3D

Méthode	Déplacement	Résolution	Caractéristiques
Triangulation laser	oui	élevée	Image 3D par acquisition de profils
Projections de franges	non	élevée	Arrêt du défilement nécessaire
Temps de vol	non	faible	Distance de travail importante
Stéréovision	non	élevée	Difficulté de l'appariement
Stéréovision par projection de franges	non	élevée	Utilise deux caméras et la lumière structurée

Les principales méthodes de vision 3D

Répartition de la lumière

1. Ponctuelle
2. Linéaire
3. Annulaire
4. Plane
5. Barre
6. Carré
7. Dôme
8. Cône



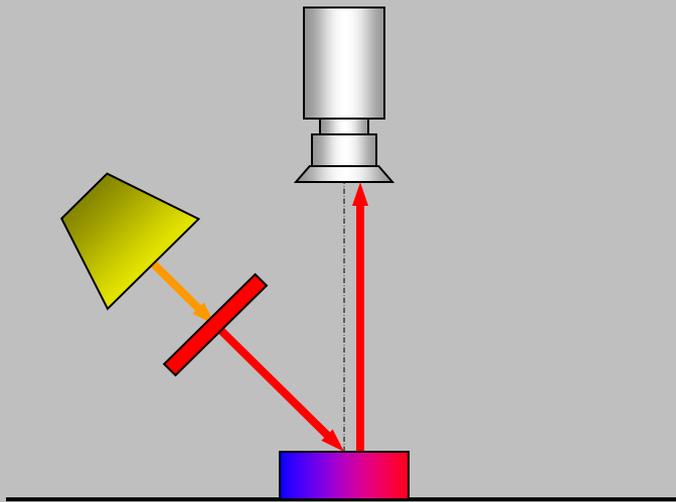
Les filtres couleur, UV et IR

- Lumière colorée
 - Les filtres couleur, IR ou UV permettent de sélectionner certaines longueurs d'ondes de la lumière.
 - On distingue les filtres qui laissent ou empêchent de passer les rayons UV et IR des filtres couleurs qui permettent principalement d'augmenter le contraste sur des pièces de couleur.

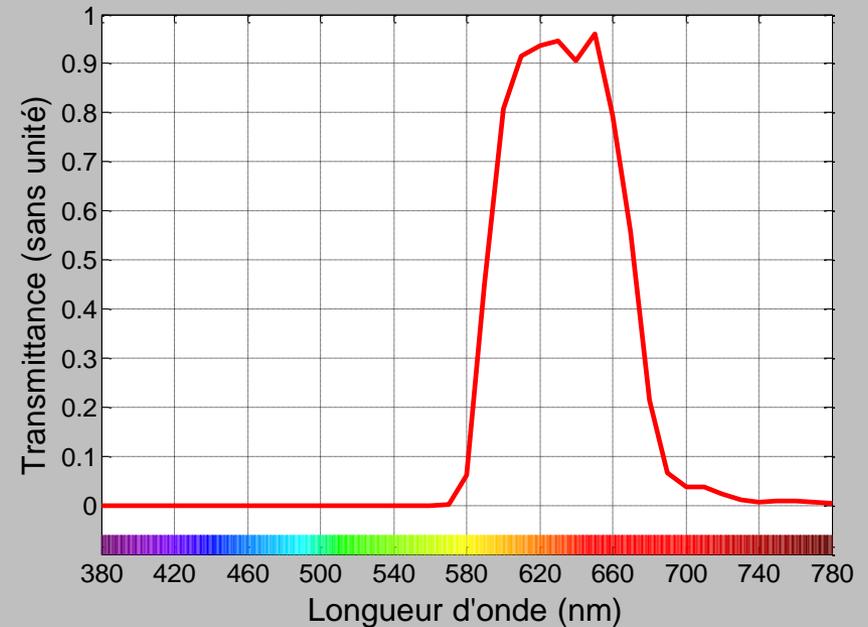


Filtres couleurs

Les filtres couleur, UV et IR



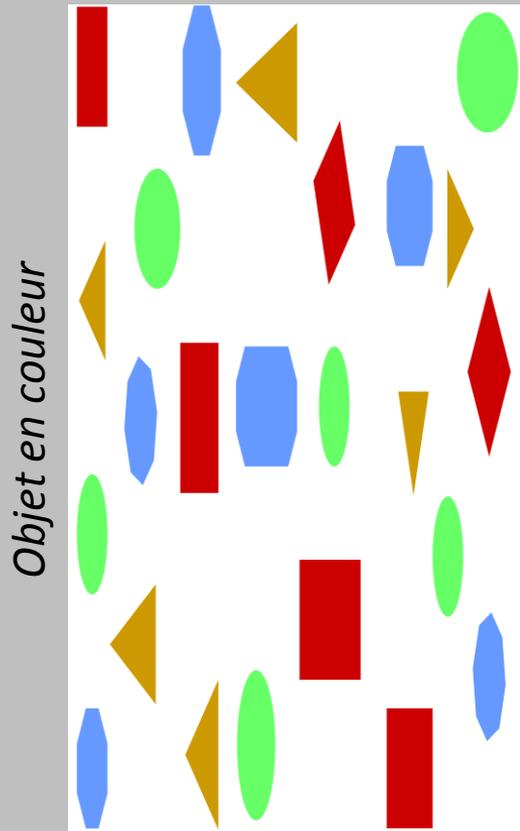
*Filter couleur rouge :
il accentue le rouge
et assombrit le bleu*



*Transmittance spectrale
d'un filtre couleur rouge*

Les filtres couleur, UV et IR

- Exemple : feuille de papier avec motifs colorés

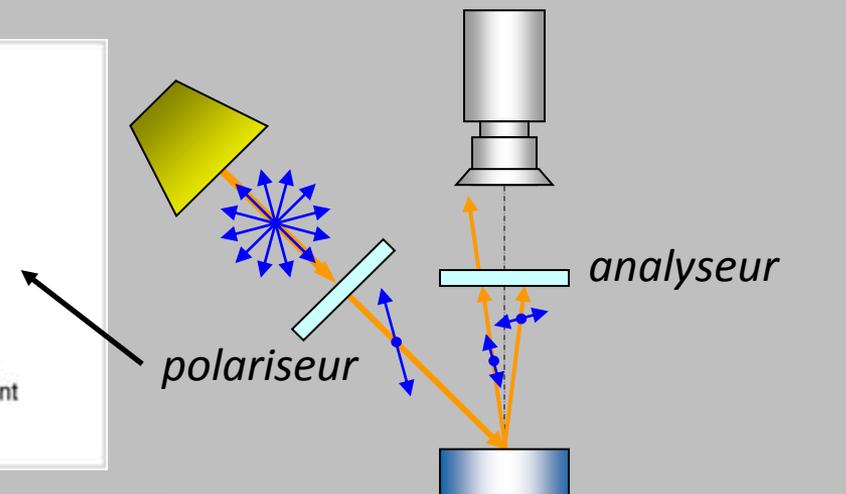
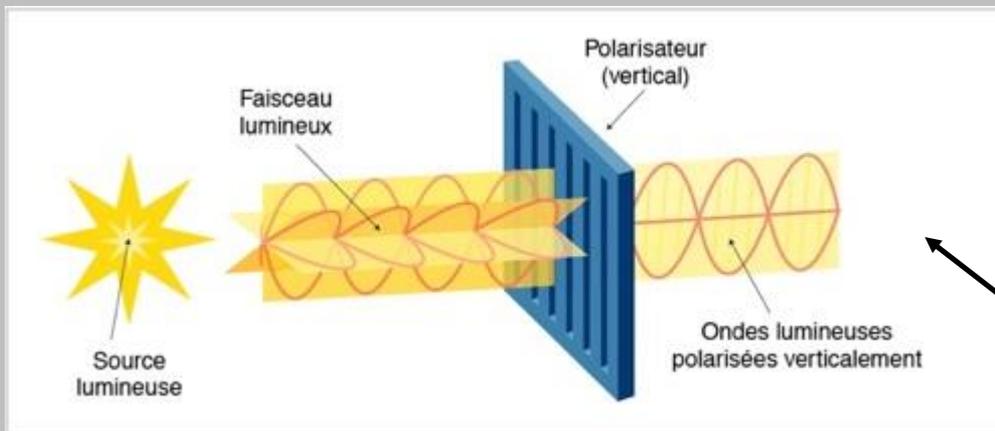


Les filtres polarisants

- Lumière polarisée
 - La lumière est une onde électromagnétique qui se propage le long de différents plans situés autour de la **direction de propagation**.
 - Pour la lumière naturelle, les **plans de polarisation** des ondes sont distribués autour de l'axe de propagation avec une égale probabilité.
 - Dans une lumière polarisée, les ondes se propagent selon un seul plan de propagation.
 - La réflexion de la lumière sur certains matériaux transforme sa polarisation. Elle dépend de la polarisation de la lumière incidente et de l'angle d'incidence.

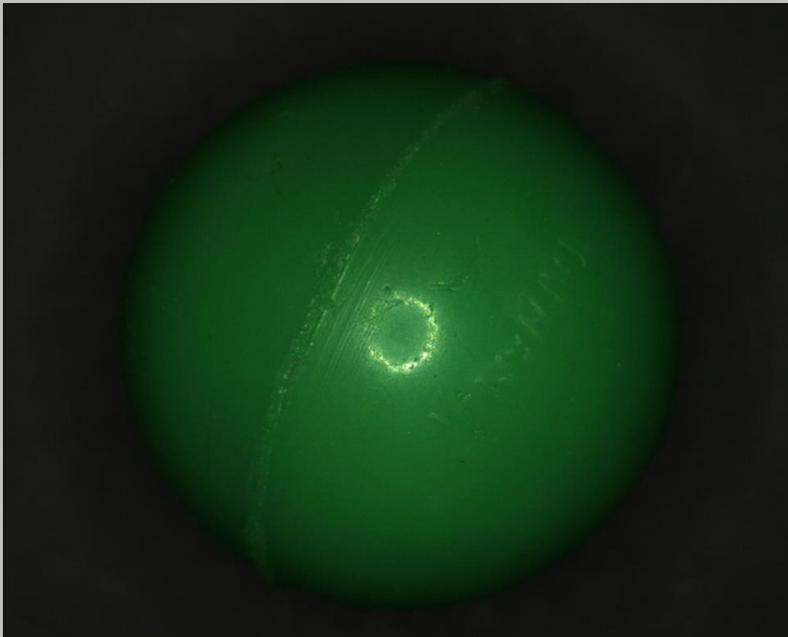
Les filtres polarisants

- Les filtres polarisants créent une **lumière polarisée** et permettent de supprimer la réflexion spéculaire responsable des reflets qui apparaissent sur les surfaces lisses (l'atténuation est maximum lorsque les filtres sont croisés).
- L'effet de filtrage demande une intensité d'éclairage accrue.

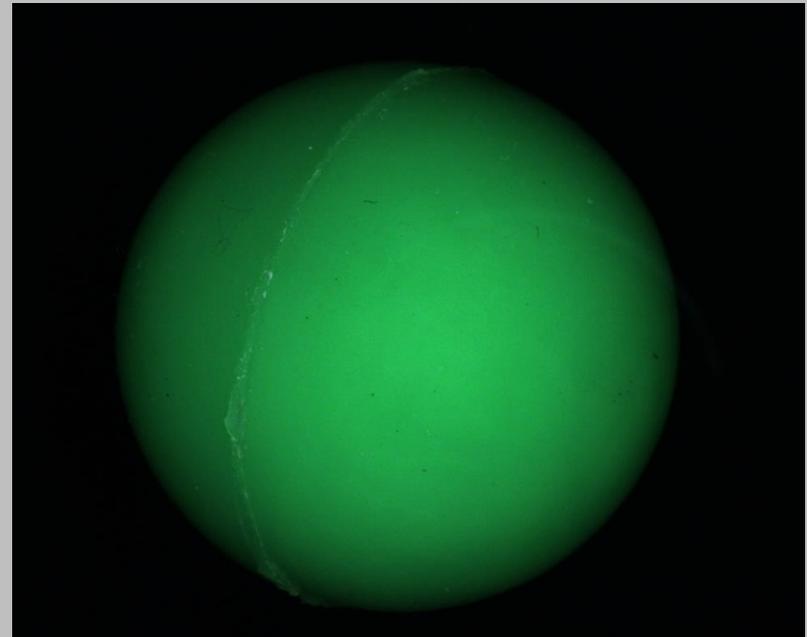


Les filtres polarisants

- Exemple : balle plastique rebondissante



*Eclairage frontal directionnel
direct annulaire **sans** polariseur*



*Eclairage frontal directionnel
direct annulaire **avec** polariseurs*

Eclairage continu

- Alimentation continue
 - L'intensité lumineuse de la source reste constante
- Alimentation alternative
 - L'intensité lumineuse fluctue au rythme de l'alimentation
 - Nécessité d'utilisation une alimentation haute fréquence
- Flou de bougé
 - Lorsqu'un objet est en mouvement très rapide il n'est pas possible de figer l'image de cette objet car il faut un certain temps pour exposer le capteur d'images.
 - L'image acquise peut être floue.

L'éclairage stroboscopique

- Principe
 - Pour pallier le problème du flou, l'éclairage stroboscopique consiste à émettre un flash de lumière de forte intensité pendant un temps très court afin de geler le mouvement d'une pièce en déplacement.



Stroboscopes

L'éclairage stroboscopique

- Exemple : véhicule en déplacement



Eclairage continu



Eclairage stroboscopique

Caractéristiques

- Caractéristiques des sources lumineuses
 - Puissance lumineuse (Intensité lumineuse, flux lumineux, efficacité lumineuse)
 - Durée de vie des sources
 - Stabilité à court terme et à long terme des sources
 - Spectre ou température de couleur de la source
 - Répartition de la lumière (direction de la lumière, homogénéité de l'intensité)
- Caractéristiques de la caméra
 - Sensibilité spectrale
 - Type (matricielle ou linéaire, monochrome ou couleur)

Caractéristiques

- Caractéristiques de l'objet à inspecter
 - Couleur
 - Opacité, rugosité, type de matériaux, état de surface
 - Vitesse de déplacement
 - Forme et dimension de la surface éclairée
- Milieu industriel
 - Eclairage ambiant
 - Distance de travail (implantation, encombrement, place)
 - Cadence de production
 - Poussière, salissures, vibrations, glissement, température, humidité

Caractéristiques

- Distance de travail
 - Avec l'augmentation de la distance de la source, la surface éclairée augmente tandis que l'éclairement diminue.
- Prix
- Plusieurs configurations géométriques doivent parfois être combinées
 - Eclairage frontal pour lire le code à barre d'une étiquette sur un flacon + rétro-éclairage pour discerner le contour du flacon et le niveau du liquide.
 - Éclairage rasant pour contrôler l'état de surface d'un produit et rétro-éclairage pour le contrôle dimensionnel.

Exemples

- Quelle est la couleur d'éclairage la plus efficace pour distinguer la silhouette d'un objet de couleur **rouge** défilant sur un convoyeur de couleur **grise** si la surface de cet objet est inspectée avec une caméra **monochrome** ? Expliquer pourquoi et représenter le spectre d'énergie relative de la source lumineuse ainsi choisie.
- Quelle filtre d'éclairage faut-il utiliser pour distinguer l'**or** de l'**argent** avec une source de lumière **blanche** et une caméra **monochrome** ? Expliquer pourquoi ?

