

# Vision Industrielle

## Lumière et sources lumineuses



# Plan du cours

- 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  $\lambda$  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.

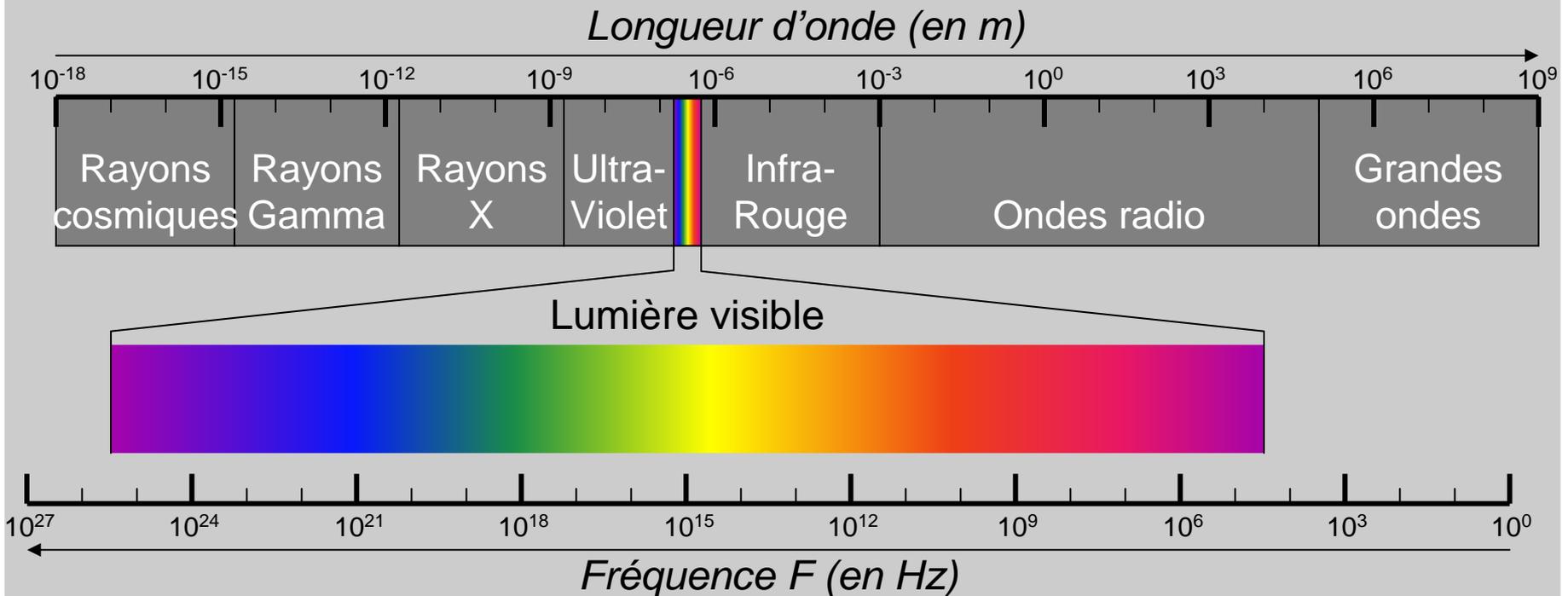
# La lumière

| Couleur     | Teinte perçue | $\lambda$ (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

## ■ Lumière visible

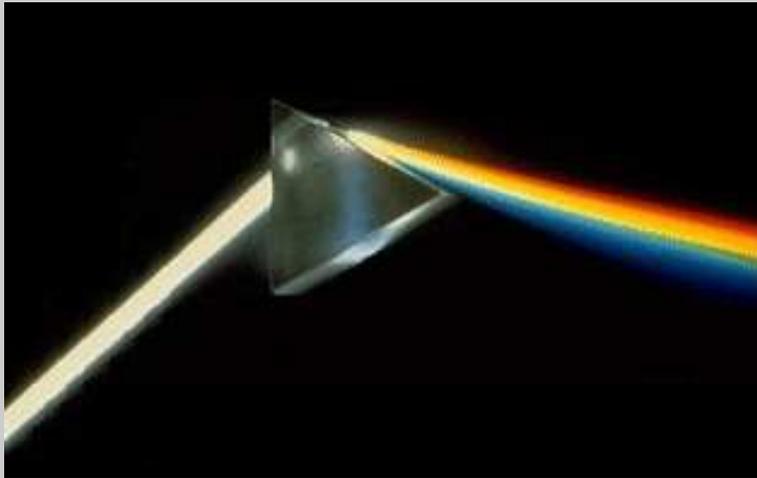
- ◆ Partie du rayonnement électromagnétique émis par le soleil à laquelle nos yeux sont sensibles (environ entre 380 et 780 nm)



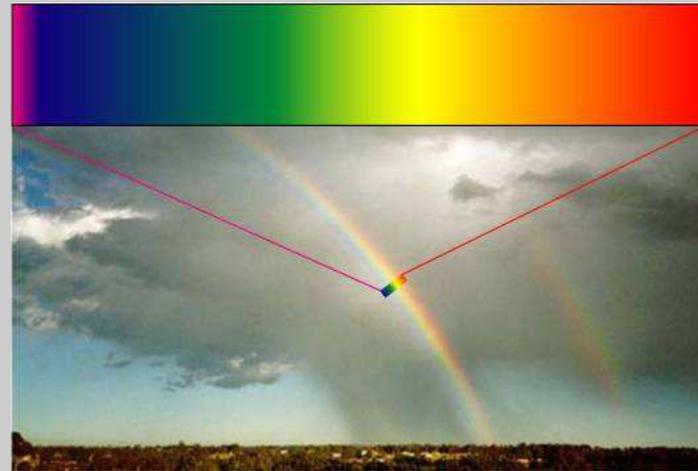
# La lumière

## ■ Spectre visible

- ◆ Décomposition de la lumière en une somme de radiations de même longueur d'onde, dites **monochromatiques** (par un prisme ou des gouttes d'eaux)



*Décomposition de la lumière  
par un prisme*



*L'arc-en-ciel*

# La lumière

- Nature de la lumière

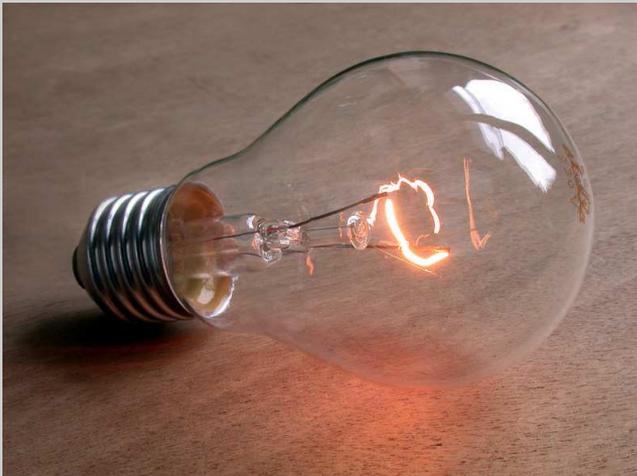
- Elle peut être **naturelle** (soleil, flammes) ou **artificielle** (ampoules, lampes halogènes, tubes fluorescents) si elle correspond à une transformation d'énergie.
- Elle est **primaire** si elle produit un rayonnement électromagnétique (lumière du soleil) ou **secondaire** si elle émet des rayons lumineux issus de la réflexion ou de la transmission par un matériau des rayons d'une source primaire (lumière de la lune) ou issus de la combinaison de rayons lumineux provenant de plusieurs sources.

# La lumière

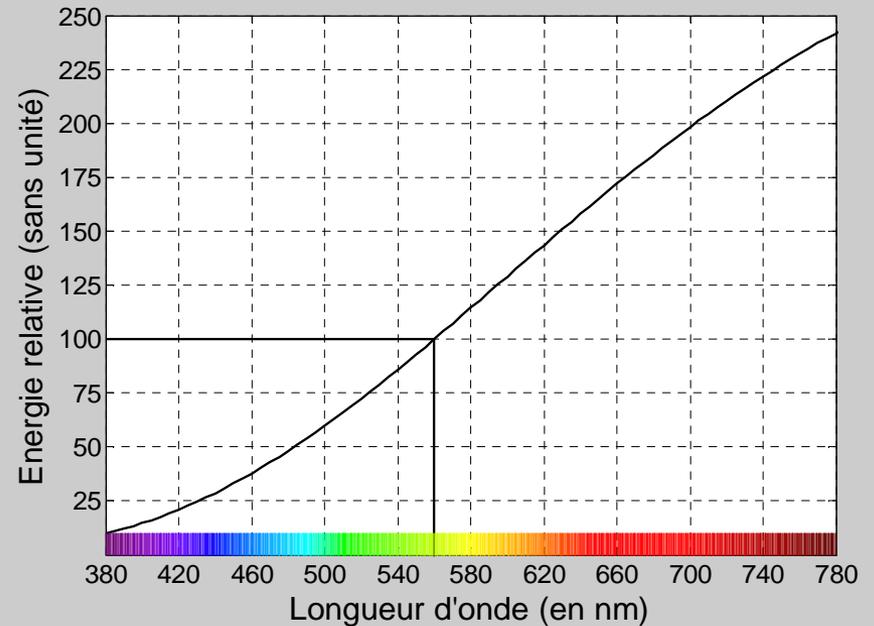
- Densité spectrale d'énergie relative (ou spectre)
  - Quantité d'énergie produite par une source lumineuse par intervalle de longueur d'onde et normalisée de telle sorte à obtenir 100% d'énergie pour la longueur d'onde 560 nm.
  - Le spectre peut être **continu** (ampoules à incandescence, bougies,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

# La lumière

## ■ Exemple



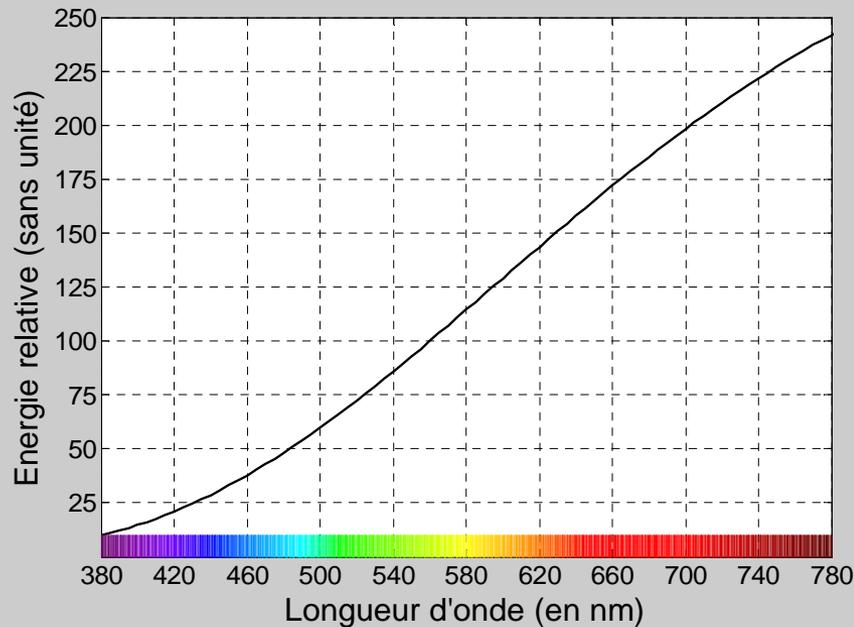
*Lampe à filament de tungstène de  
500 W (2856 K)*



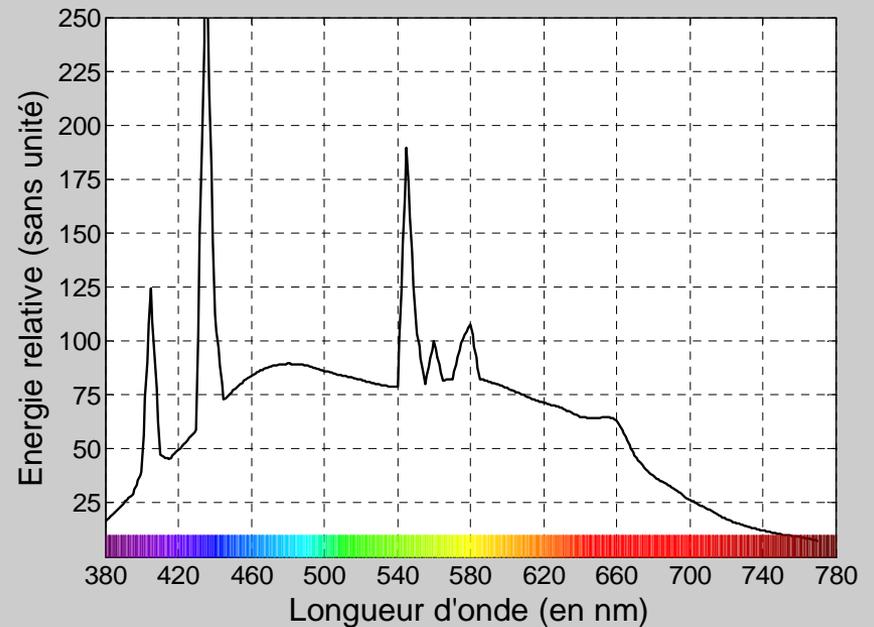
*Densité spectrale d'énergie relative*

# La lumière

## ■ Exemple



*Spectre continu*

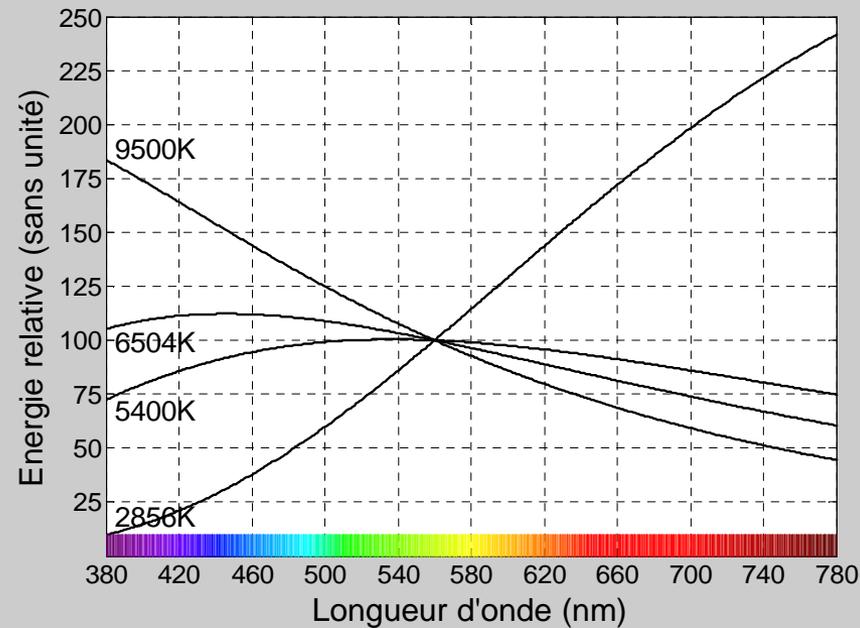


*Spectre mixte*

# 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.

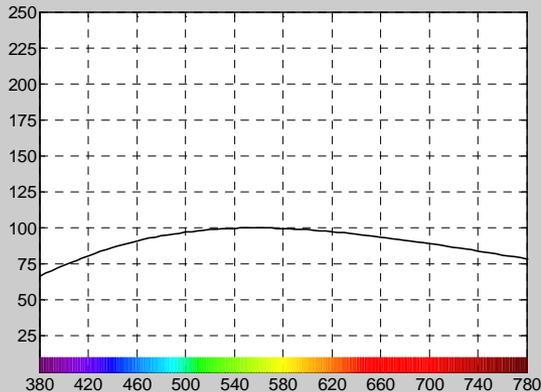
# La lumière



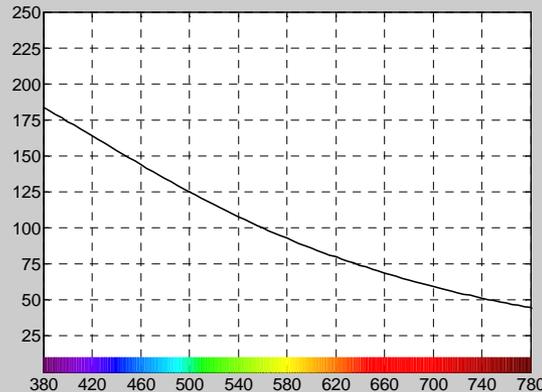
*Courbes d'émission du corps noir*

# La lumière

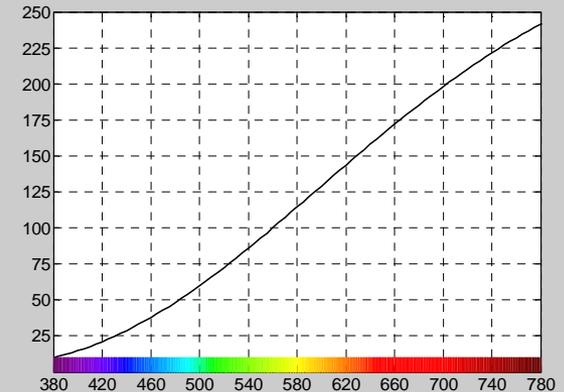
- Densité spectrale relative d'énergie et température de couleur



Lumière **blanche**  
(5200 K)



Lumière **froide**  
(9500 K)



Lumière **chaude**  
(2856 K)

# La lumière

- Illuminant

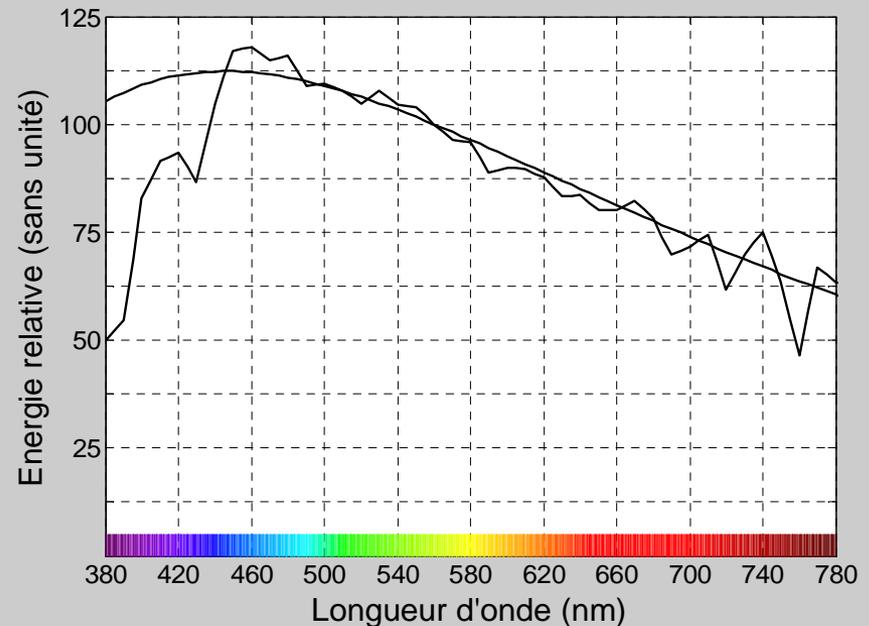
- Certaines sources correspondant à des conditions d'observation courantes ont été normalisées par la CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) sous le nom d'**illuminant**.
- Le terme « source » se réfère à un objet physique qui émet de la lumière, tels une lampe ou le soleil et le ciel.
- Le terme « illuminant » se réfère à une répartition spectrale d'énergie particulière, non nécessairement fournie directement par une source ni obligatoirement réalisable à l'aide d'une source.

# La lumière

## ■ Exemple

|   |  |
|---|--|
| A | lumière émise par un corps noir porté à 2856 K |
| D | différentes lumières du jour                   |
| E | lumière d'énergie constante                    |
| F | lumières émises par des lampes fluorescentes   |

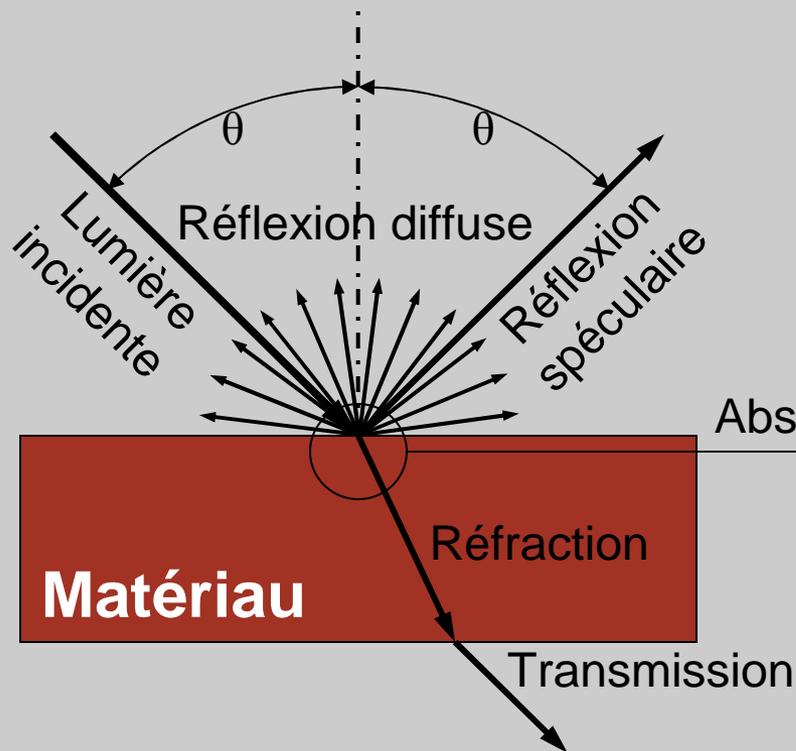
*Principaux illuminants*



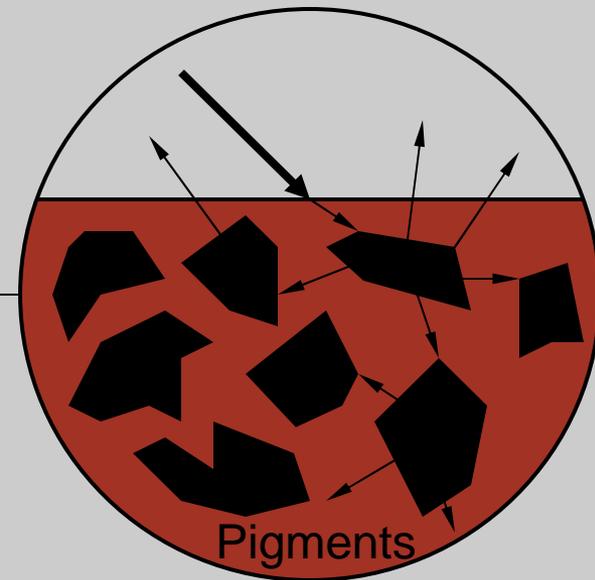
*Densité spectrale d'énergie relative de l'illuminant D65 (6500 K)*

# La lumière

- Interaction lumière-matière

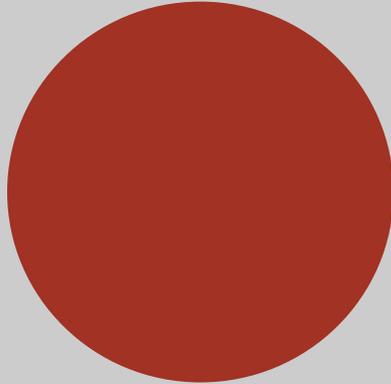


*Les pigments absorbent une partie de la lumière incidente et réfléchissent ou transmettent le reste. Le matériau agit alors comme un filtre.*

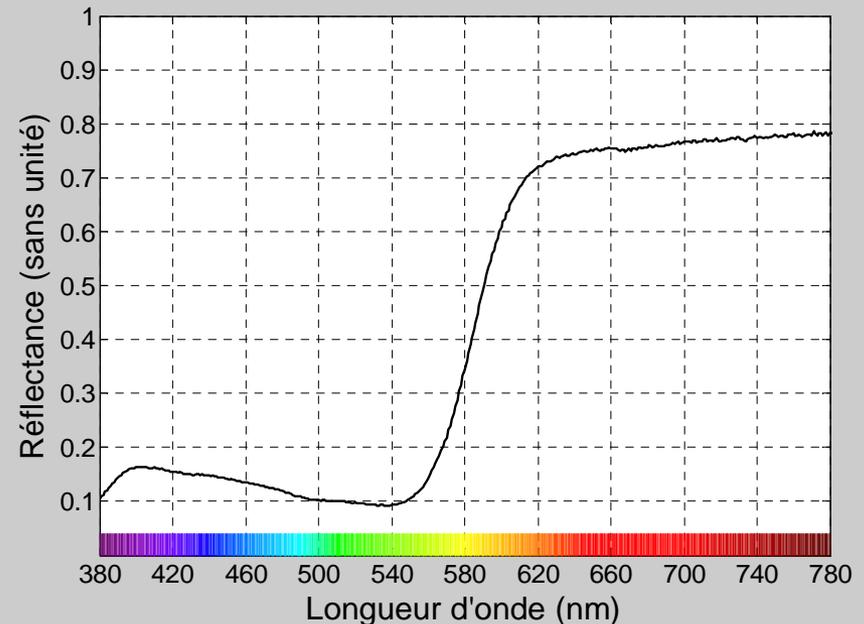


# La lumière

- 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.

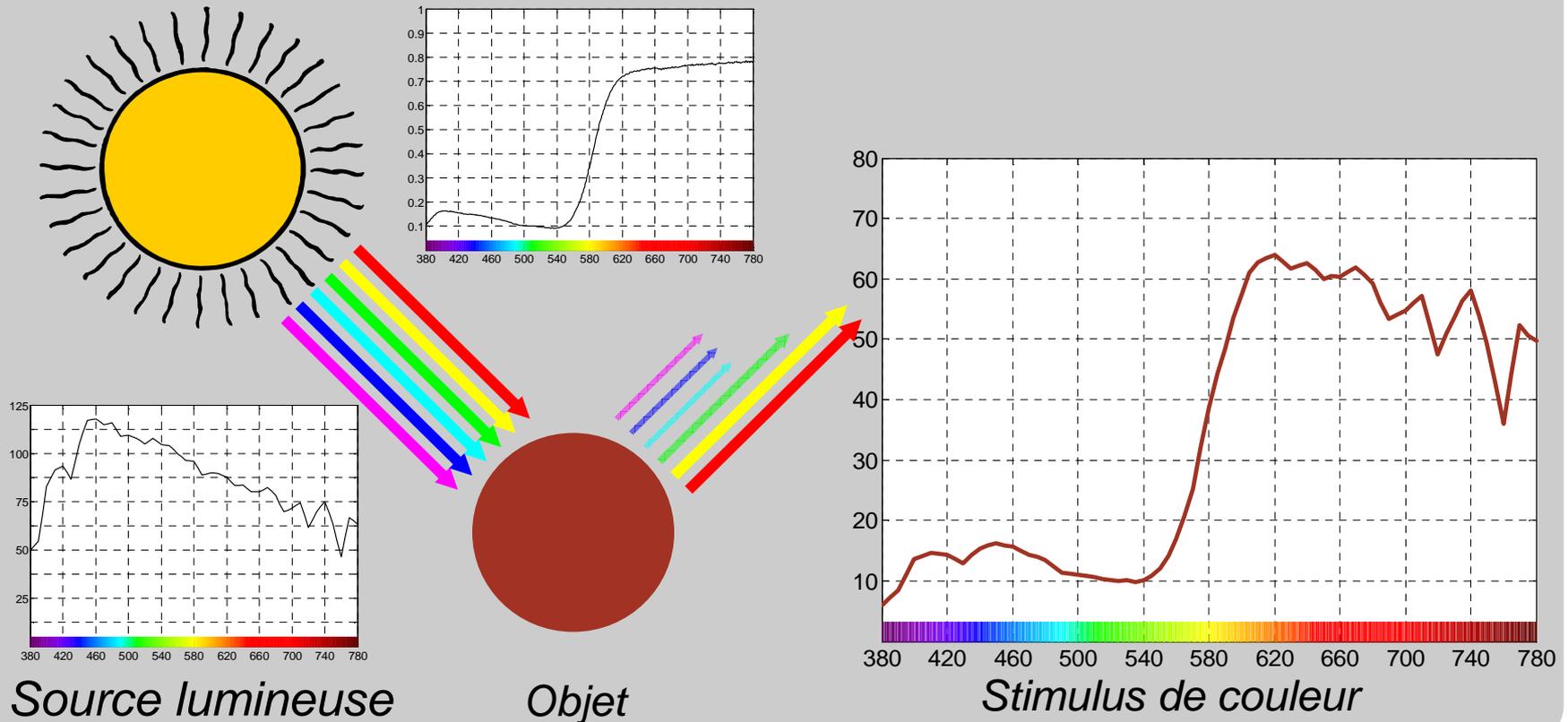


*Réflectance d'une pastille de couleur de l'atlas de Munsell*



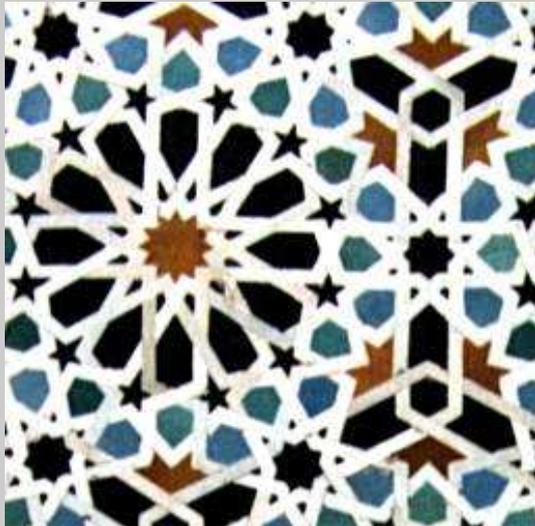
# La lumière

- Le stimulus de couleur

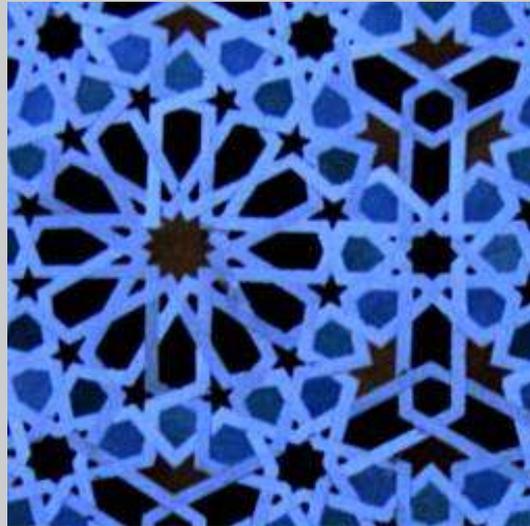


# La lumière

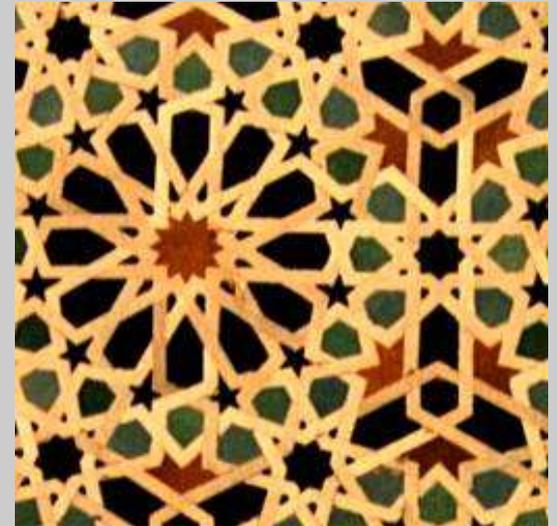
- Conditions d'éclairage et d'observation
  - Elles modifient les caractéristiques d'un stimulus de couleur :



*Lumière du jour  
(lumière blanche)*



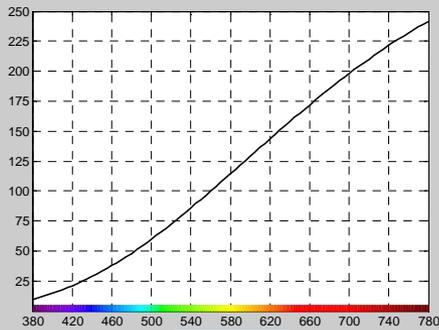
*Lumière froide  
(haute température)*



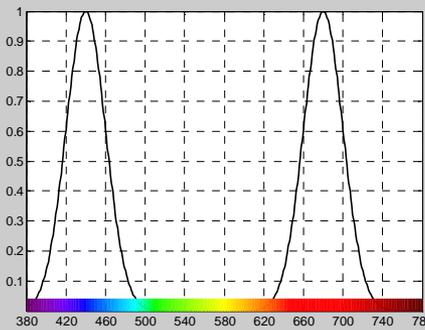
*Lumière chaude  
(basse température)*

# La lumière

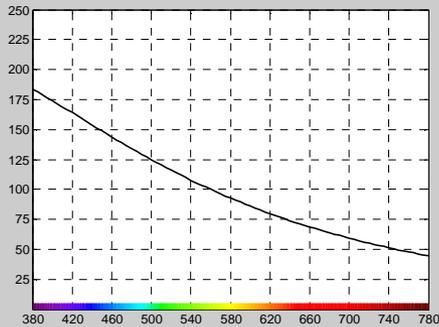
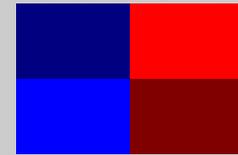
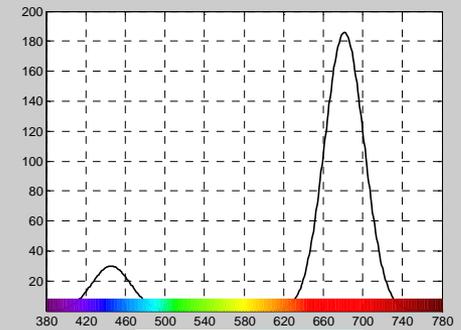
## ■ Exemples



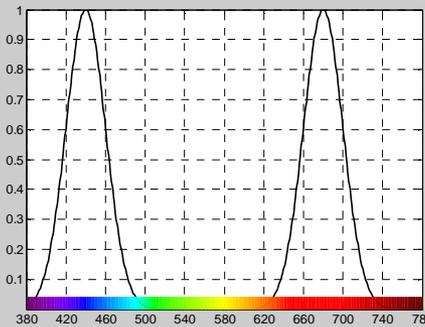
×



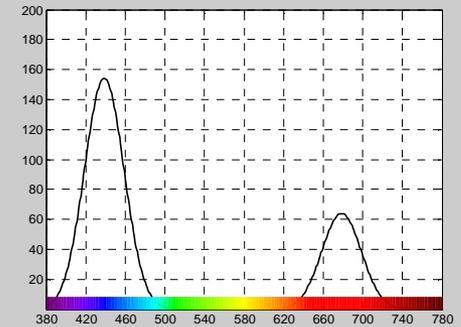
=



×



=



# Principe

- L'incandescence
  - Tout solide ou liquide émet un rayonnement visible dès qu'il est porté à des températures supérieures à 1000K.
  - A mesure que la température augmente, l'intensité lumineuse augmente et l'objet apparaît plus blanc.
- Lampes incandescentes et halogènes
  - L'éclairage fourni provient de radiations émises par le chauffage d'un filament (en tungstène le plus souvent) dans un environnement gazeux pour les sources halogènes (gaz de la famille des halogènes comme l'argon, le krypton, l'iode).

# Principe



*Ampoule  
halogène*



*Lampe  
halogène*



*Source  
halogène*

# La fibre optique



*Fibre*



*Éclairage diffus*



*Éclairage ponctuel*



*Éclairage plan*



*Éclairage annulaire*



*Éclairage linéaire*

# Caractéristiques

| Avantages  | Inconvénients   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Forte puissance (150 W)</li><li>• Éclairage déporté grâce à la <b> fibre optique </b> et à géométrie variable grâce à l'utilisation de différents embouts</li><li>• Intensité lumineuse constante à court terme et à long terme grâce une grande inertie (éclairage continu)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Faible durée de vie (2000 h. en moyenne)</li><li>• Émet plus dans le rouge et l'infrarouge (lumière chaude)</li></ul> |

# Principe

- La luminescence

- La luminescence est l'émission de lumière à basse température sans incandescence.
  - ♦ **Décharge électrique ou gazeuse** : lorsqu'un courant électrique traverse un gaz, les atomes et les molécules émettent un rayonnement dont le spectre est caractéristique des éléments présents.
  - ♦ **Fluorescence** : c'est la propriété de certains corps d'émettre de la lumière lorsqu'ils reçoivent un rayonnement. Le rayonnement est absorbé (en général par un solide) à une longueur d'onde donnée, puis réémis à une longueur d'onde différente.

# Principe

- Lampes à décharge
  - L'éclairage fourni provient de radiations émises par le passage d'électrons à travers un gaz et/ou une vapeur (ou halogénure) métallique (néon, hélium, argon, xénon, mercure, sodium) contenus le plus souvent dans une ampoule, un tube linéaire ou annulaire.
- Lampes fluorescentes
  - 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.

# Principe

- Le spectre de la lumière émise dépend du type de gaz (ou vapeur métallique), de sa pression (basse ou haute) et du revêtement interne à l'ampoule qui est constitué de composés phosphorés.



*Lampe à halogénures métalliques*



*Lampe au xénon*



*Lampe à vapeur de sodium*



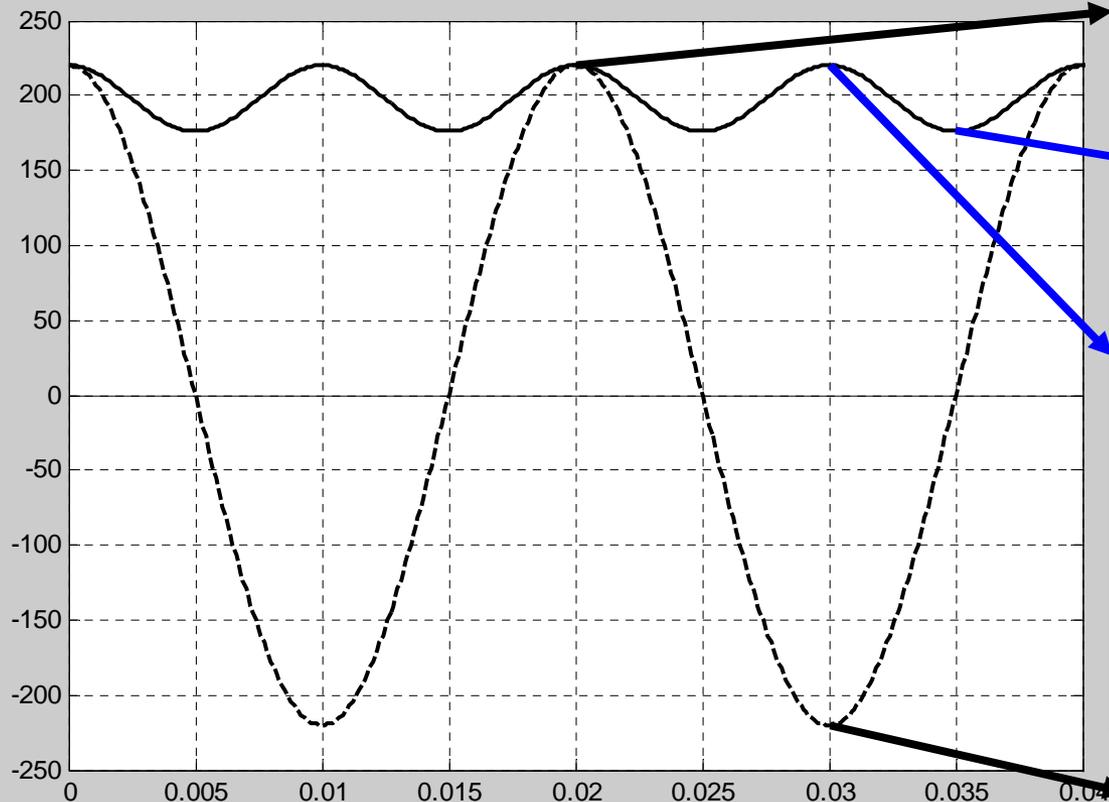
*Tube fluorescent linéaire*



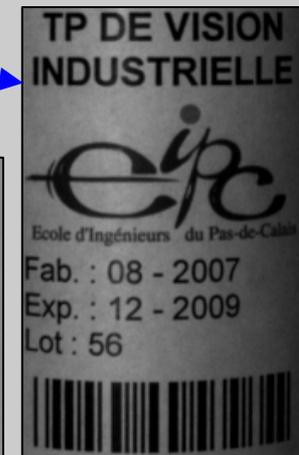
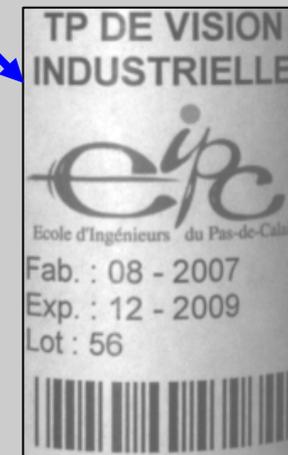
*Tube fluorescent circulaire*

# L'éclairage néons hautes fréquences

- Stabilité à court terme



*L'intensité lumineuse  
Fluctue au rythme  
de l'alimentation*



*Alimentation électrique  
50 Hz – 220 V*

# L'éclairage néons hautes fréquences

## ■ Ballast

- ◆ La faible inertie des sources fluorescentes et leur alimentation en 50 Hz engendrent des variations d'intensité lumineuse de l'éclairage. Les fréquences d'acquisition d'images étant nettement supérieur à 50 Hz (environ 1 kHz), l'utilisation d'un ballast permet d'alimenter la source lumineuse en hautes fréquences (jusqu'à 100 kHz) et élimine les effets de scintillement.



*Ballast ferromagnétique*



*Ballast électronique*

# Caractéristiques

| <b>Avantages</b>   | <b>Inconvénients</b>  |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Éclairage de grandes surfaces</li><li>• Éclairage uniforme (blanc)</li><li>• Peu coûteux</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Mauvaise stabilité à long terme, l'intensité lumineuse décroît au cours du temps</li><li>• Mauvaise stabilité à court terme, la luminosité fluctue à la fréquence du secteur à cause de sa faible inertie</li><li>• Faible durée de vie (5000 h. environ, 8000 h. maximum)</li><li>• Éclairage inhomogène nécessitant des réflecteurs</li></ul> |

# Principe

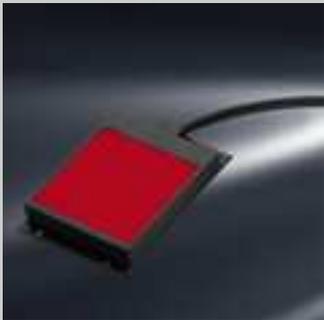
- Électroluminescence

- L'électroluminescence est l'émission de lumière produite lorsqu'un courant continu à basse tension traverse un dispositif à semi-conducteurs contenant un cristal et une jonction P–N.
- Le dispositif électroluminescent le plus courant est la diode électroluminescente ou DEL (Led).

- Lampes électroluminescentes

- C'est un ensemble de Leds mises côte à côte permettant une grande variété de configurations géométriques et de couleurs.

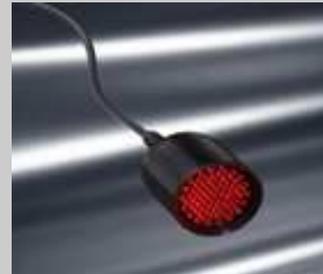
# Principe



Éclairage  
plan



Éclairage  
linéaire



Éclairage  
surfaccique



Éclairage  
annulaire

# Utilisation en mode pulsé

- Définition

- En mode pulsé, la diode est alimenté 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 de type **stroboscopique**
- Fibres optiques possibles

## Inconvénients

- Coûteux
- Faible puissance sauf en **mode pulsé**

# Principe

- Définition

- **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (en français : **amplification de la lumière** par émission stimulée de rayonnement).

- 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.



# Principe

- Les sources laser
  - Elles permettent de projeter un ensemble de faisceaux laser sur un objet



*Faisceau rouge*



*Faisceau vert*

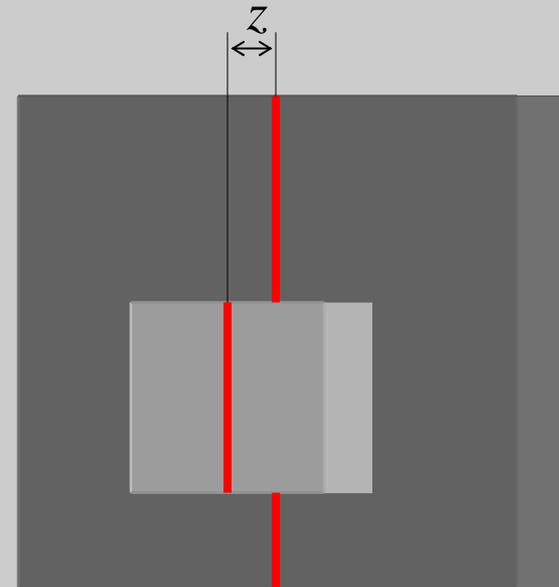
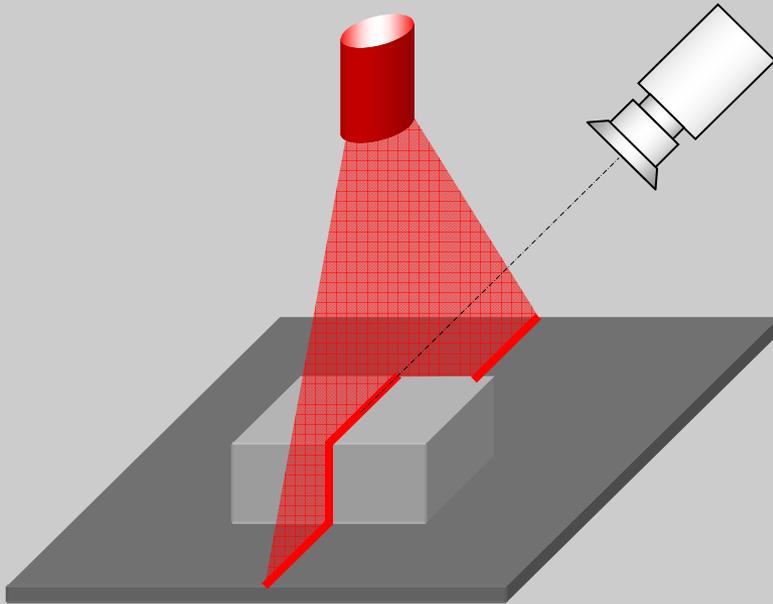


*Source laser*



*Plusieurs géométries possibles*

# Le principe de triangulation



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

# Caractéristiques

## Avantages

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

## Inconvénients

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