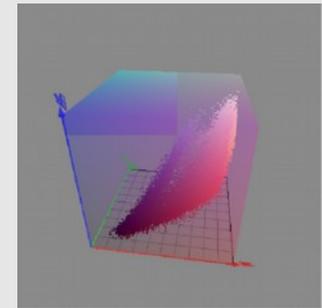


UE7 – Vision Industrielle photométrie et images de réflexion



Plan du cours

1 – Généralités

niveau de gris, composantes couleur

triplet (source lumineuse + objet + observateur)

2 – Source lumineuse

grandeurs photométriques, spectre

corps noir, illuminant et illuminants standards

3 – Objet

réflexion diffuse, spéculaire

BRDF et réflectance spectrale

4 – Observateur

sensibilité, sensibilité spectrale

grandeurs énergétiques et photométriques

Composantes des images

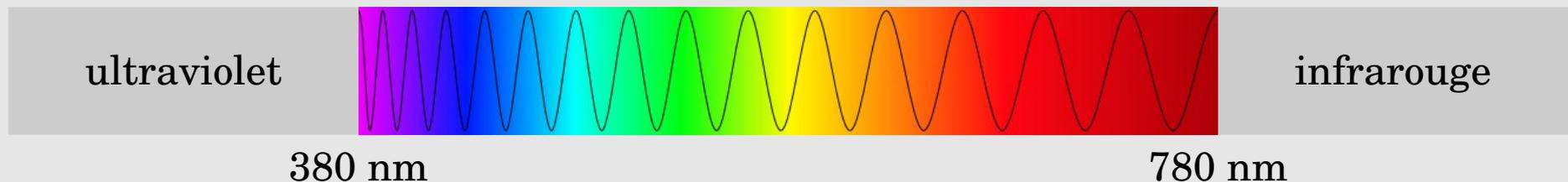
1 seule composante : niveau de gris

le niveau de gris est une **mesure** de l'**éclairage énergétique** reçu par le capteur d'image.

image qualifiée de **monochrome**, ou « en niveau de gris ».

Images multi-spectrales

chaque composante mesure l'éclairage reçu par le capteur dans une **gamme de fréquences** du signal électromagnétique.



Images couleur : 3 composantes

composantes standard : rouge, vert, bleu.

correspond à la perception des couleurs par l'être humain.

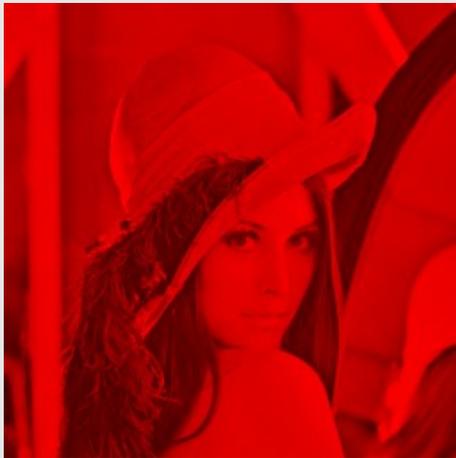
Composantes d'une image couleur (R,V,B)



Image couleur



luminance



rouge



vert



bleu

Formation des images de réflexion

Le triplet (source lumineuse, objet, observateur)

la source lumineuse est la source d'énergie, transmise par l'intermédiaire d'un rayonnement électromagnétique.

l'objet réfléchit les rayons reçus dans plusieurs directions.

l'observateur capte une partie de l'énergie réfléchie vers lui.



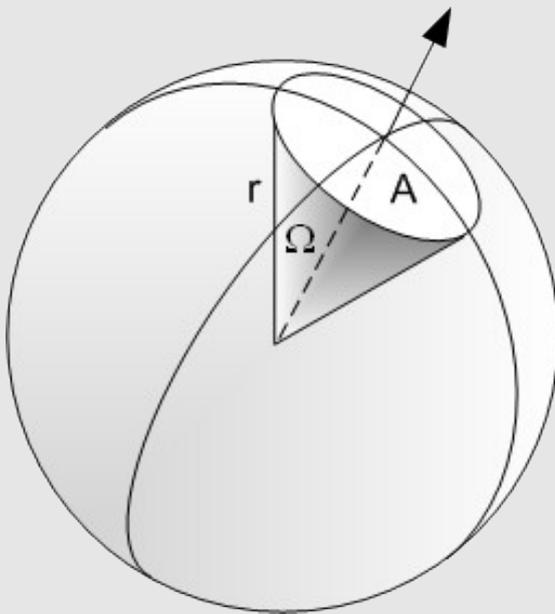
Source : point lumineux

Flux énergétique (unité : W)

puissance **totale** émise par la source dans **toutes** les directions, pour toutes les **longueurs d'onde** du spectre électromagnétique.

Intensité énergétique (unité $W \cdot sr^{-1}$)

flux énergétique émis dans une **direction** donnée pour un **angle solide** unitaire.



Angle solide (unité stéradian = sr)

projection d'une **portion de l'espace** sur une **sphère** de rayon r ;

$$\text{angle solide} = \Omega = A / r^2$$

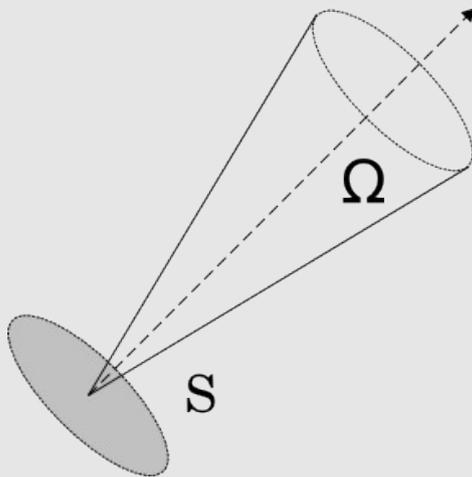
angle solide pour la **totalité de l'espace** :

$$(4\pi \cdot r^2) / r^2 = 4\pi \text{ sr}$$

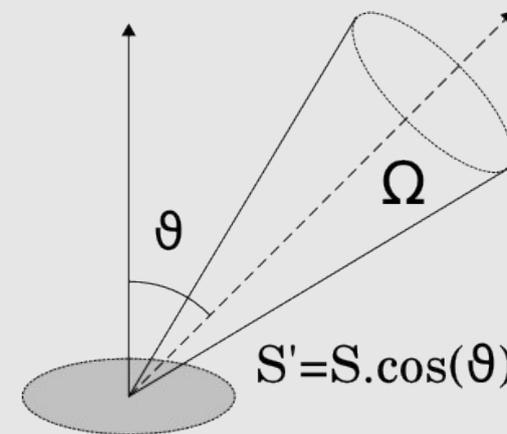
Source : surface lumineuse

Luminance énergétique (unité: $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$)

intensité énergétique par unité de **surface**. la **surface lumineuse** est supposée **perpendiculaire** à la direction de l'intensité énergétique (sinon, multiplication par un cosinus).



intensité énergétique
émise dans une direction
orthogonale à la surface

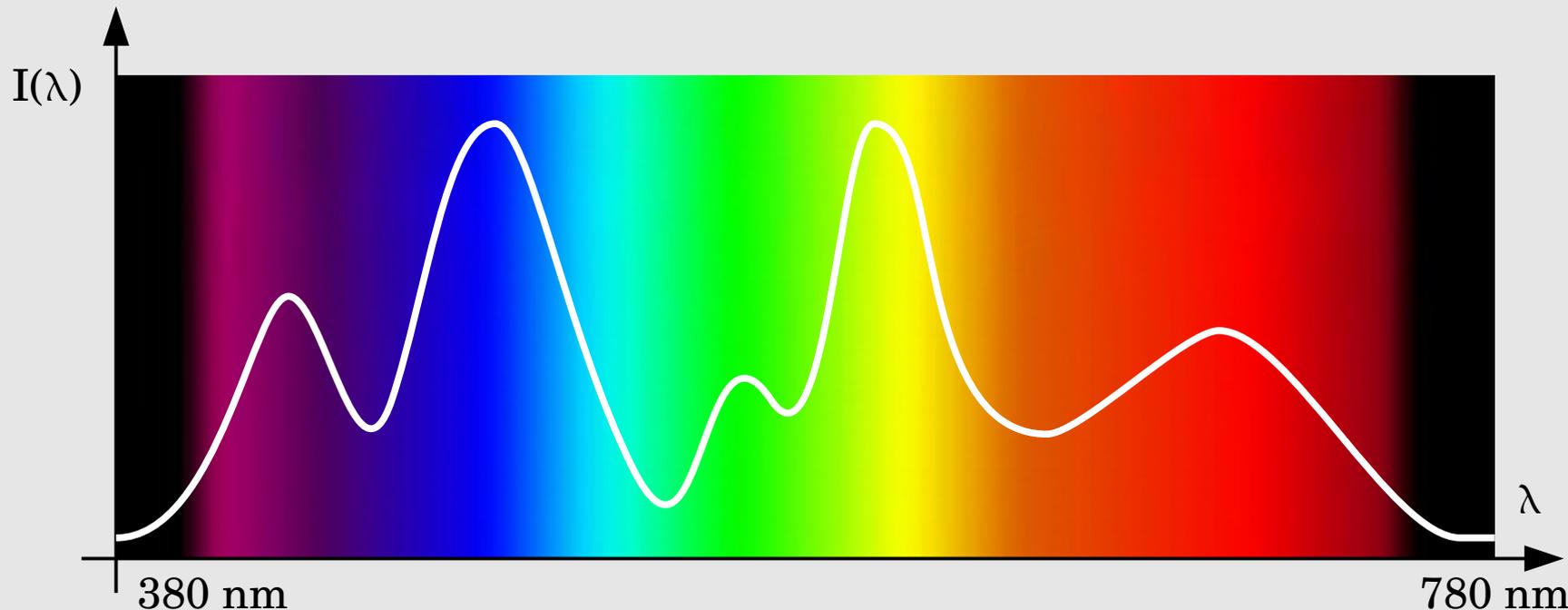


intensité énergétique
émise dans une direction
non orthogonale à la surface

Source : surface lumineuse monochromatique

Spectre de luminance énergétique

la luminance énergétique **monochromatique** est la luminance énergétique d'un rayonnement monochromatique, en $\text{W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{sr}^{-1}$.
le **spectre** de luminance énergétique décrit la **variation** de la luminance énergétique monochromatique en fonction de la **longueur d'onde**.



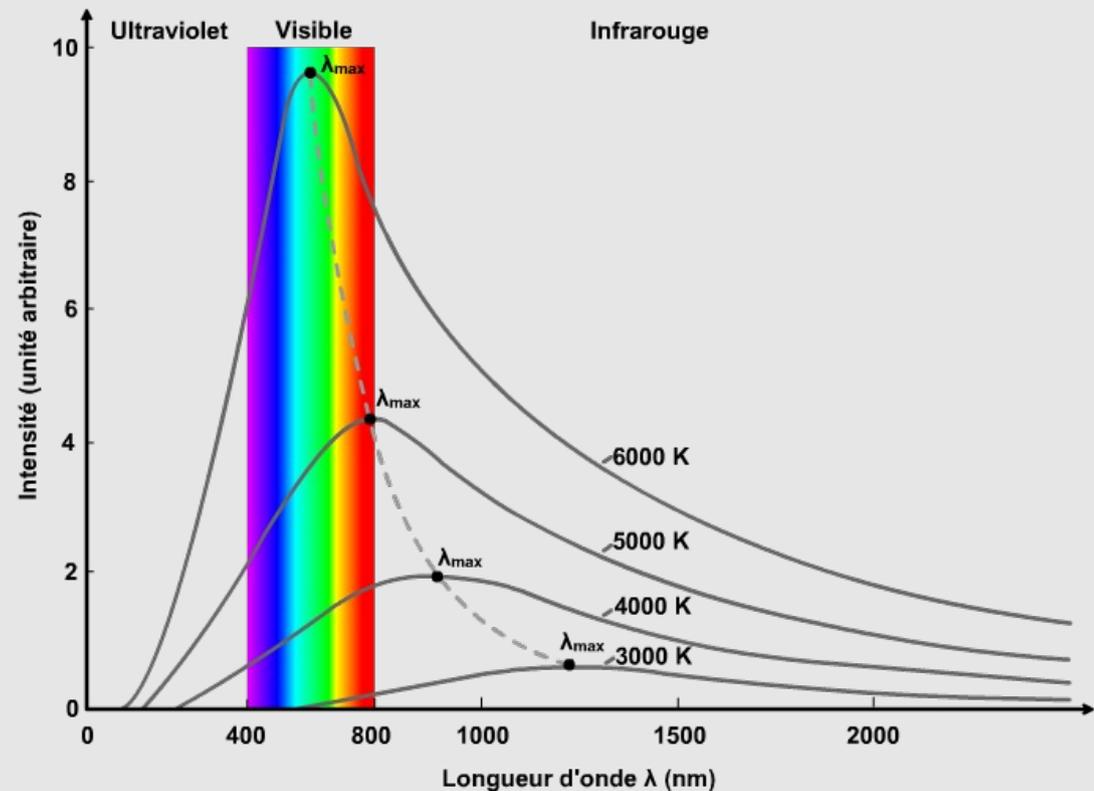
Corps noir et température de couleur

Corps noir

objet théorique qui **absorbe** toute la lumière qu'il reçoit et émet un rayonnement dont le spectre dépend de sa **température**.

la courbe représentant la luminance monochromatique passe par un **maximum**.

la **position** du maximum dépend de la température plus le corps noir est **chaud**, plus sa couleur semble **bleue**.



Illuminants

Illuminants et illuminants standard

il existe une multitude d'**illuminants** : lumière du jour, plein soleil, lampe à incandescence, tube au néon, etc...

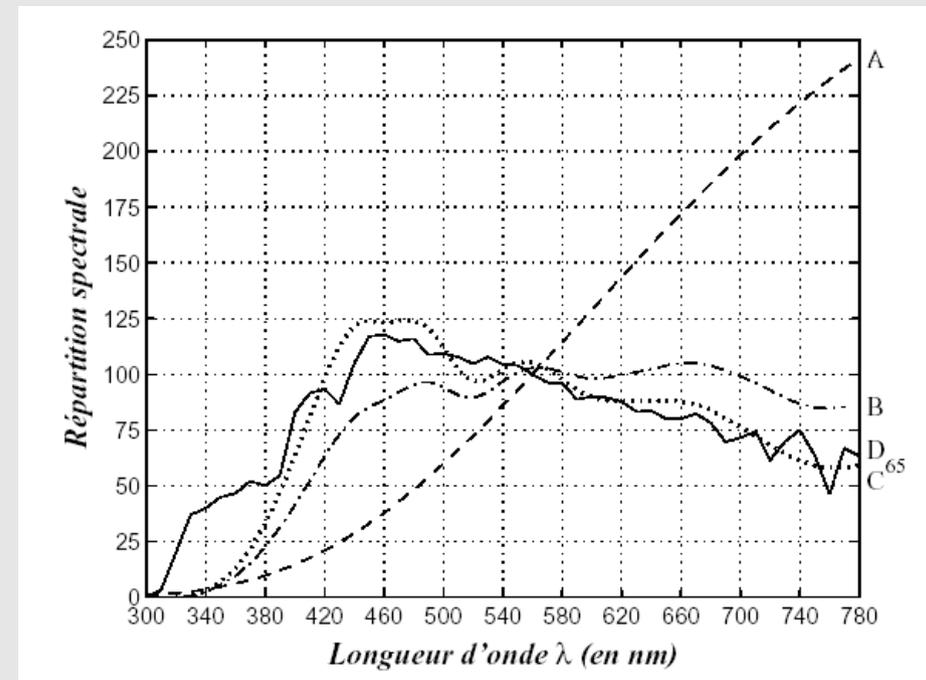
Pour simplifier la description de la source, la **CIE** (Commission Internationale de l'Éclairage) a défini des **illuminants standard**.

A = filament de tungstène, à la température de 2856 K

C = lumière du jour moyenne, sans composante UV (6750 K)

D65 = lumière du jour moyenne, avec composante UV (6500 K)

F11 = lampe fluorescente



Effet de l'illuminant



lumière naturelle



sodium basse pression



sodium haute pression



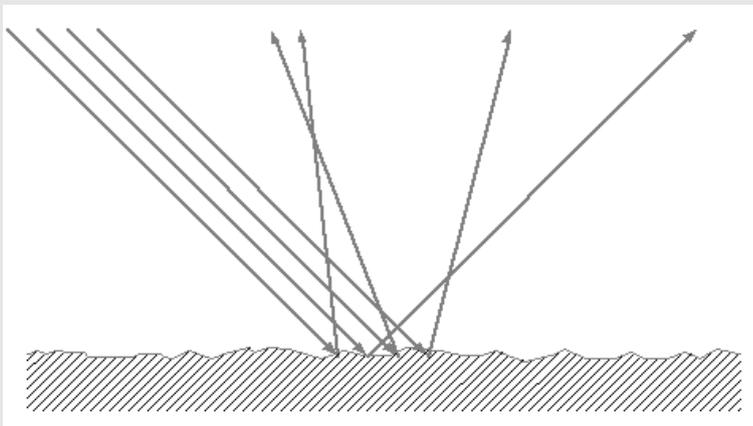
mercure haute pression

Caractéristiques de l'objet (1/3)

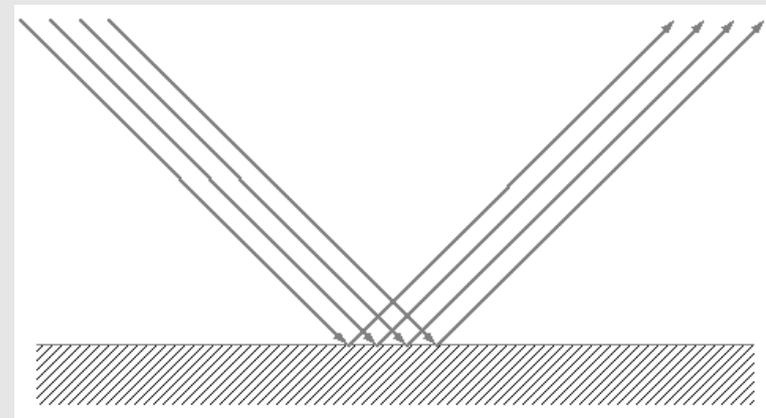
Réflexion diffuse / spéculaire

la réflexion **diffuse** caractérise la lumière réfléchi par une surface **irrégulière**, qui renvoie l'énergie incidente dans une **multitude** de directions.

la réflexion est dite **spéculaire** lorsqu'un rayon incident donne naissance à un **seul** rayon réfléchi (loi de Snell-Descartes).



réflexion diffuse

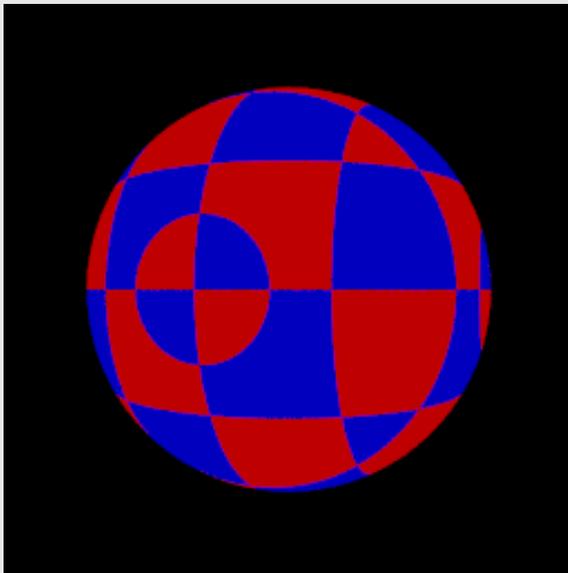


réflexion spéculaire

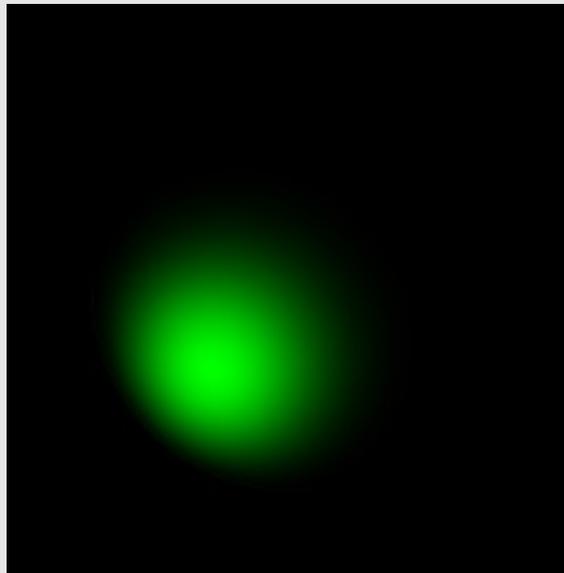
Caractéristiques de l'objet (2/3)

Réflexion diffuse / spéculaire

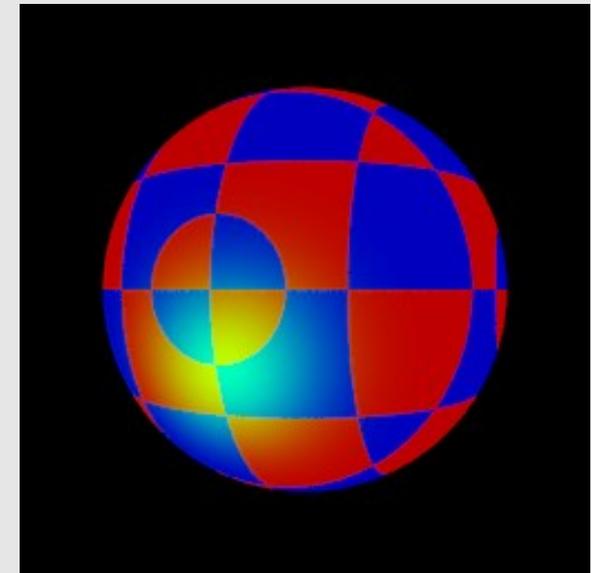
la couleur de la réflexion **diffuse** dépend des propriétés de l'**objet** et de la couleur de la **source lumineuse** ;
la couleur de la réflexion **spéculaire** est celle de la **source**.



composante diffuse



composante spéculaire



combinaison

Caractéristiques de l'objet (3/3)

BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function

fonction qui décrit **intégralement** les propriétés de réflexion d'une surface en tenant compte du **spéculaire** et du **diffus**.

permet de calculer l'intensité énergétique d'un rayon réfléchi en fonction de celle du rayon incident et des **angles** (θ_i, φ_i) incidents et (θ_r, φ_r) réfléchis.

$$I_r(\theta_r, \varphi_r, \lambda) = \text{BRDF}(\theta_r, \varphi_r, \theta_i, \varphi_i, \lambda) \cdot I_i(\theta_i, \varphi_i, \lambda)$$

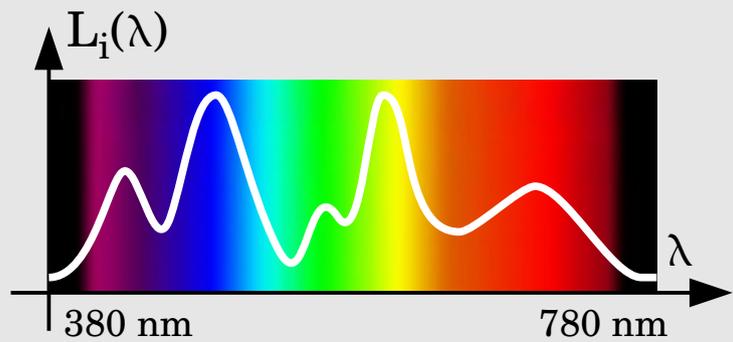
Réflectance spectrale (ou spectre de réflectance)

les angles incidents (θ_i, φ_i) et réfléchis (θ_r, φ_r) étant imposés, la réflectance spectrale définit le **rapport** entre l'intensité énergétique du rayon réfléchi et celle du rayon incident.

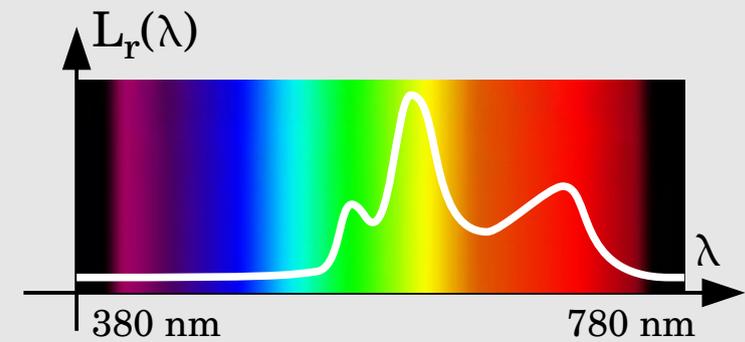
la réflectance spectrale est une fonction de la **longueur d'onde** λ de la lumière.

Interaction source lumineuse / objet (1/2)

Spectre de luminance énergétique de la lumière réfléchie

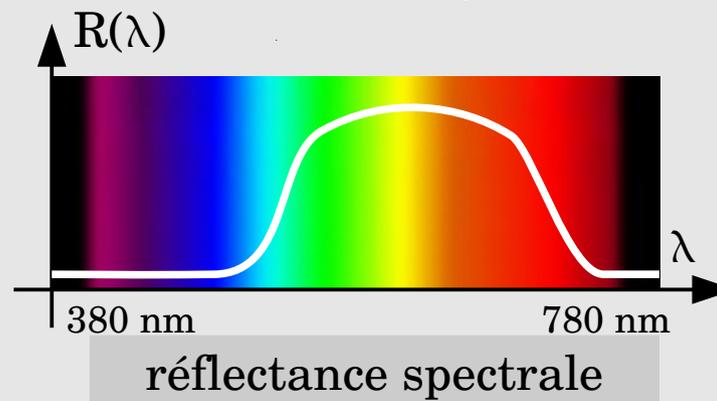


spectre de luminance
énergétique incidente



spectre de luminance
énergétique réfléchie

$$L_r(\lambda) = L_i(\lambda) \cdot R(\lambda)$$



réflectance spectrale

Interaction source lumineuse / objet (2/2)

Influence de la source lumineuse sur la réflexion

source **ponctuelle** : éclairage direct, non homogène, générant des réflexions spéculaires et des ombres.

éclairage **diffus** : indirect et plus uniforme, mais de moins bon rendu, générant une perte de saturation pour certaines couleurs, par **absorption** d'énergie.



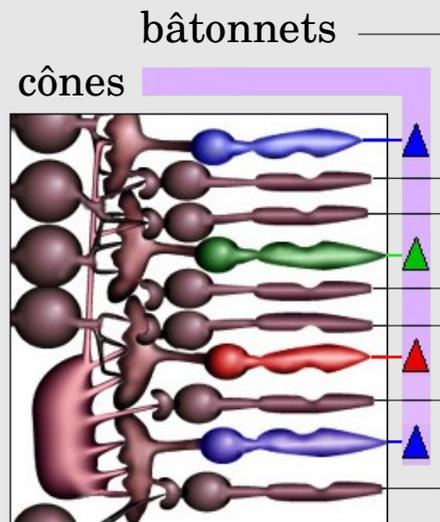
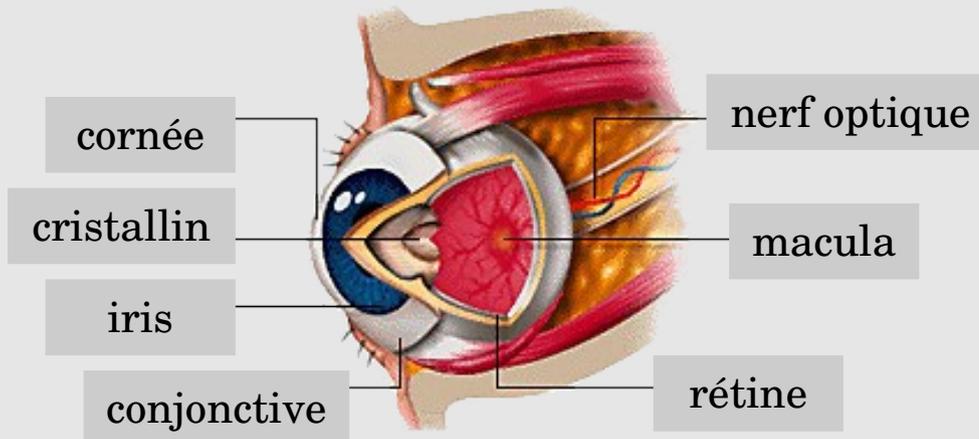
source ponctuelle



éclairage diffus

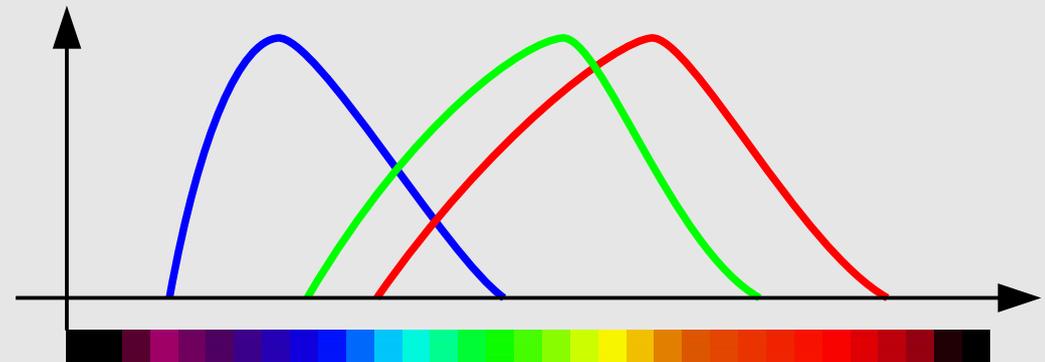
Caractéristiques de l'observateur (1/2)

Analogie avec le système visuel animal



la **rétine** contient différents types de cellules sensibles à la lumière: les **cônes** et les **bâtonnets**

chaque type de cellule est sensible à une **gamme** de longueurs d'ondes.



Caractéristiques de l'observateur (2/2)

Observateur = capteur

la lumière parvenant sur la **surface sensible** du capteur est transformée en information exploitable.

l'**éclairage énergétique** est l'intégration des luminances énergétiques de **tous** les rayons parvenant en un point de la surface. unité: $W.m^{-2}$.

Sensibilité spectrale de l'observateur

seule une **partie** de l'éclairage énergétique est converti, qui dépend de la longueur d'onde incidente.

la **sensibilité spectrale** du capteur définit la **proportion** d'éclairage convertie pour chaque longueur d'onde.

$$G = \int_{\lambda} S(\lambda).E(\lambda).d\lambda$$

Grandeurs énergétiques / grandeurs photométriques

Sensibilité spectrale de l'oeil humain

courbe de sensibilité moyenne $V(\lambda)$ **normalisée** par la CIE.

toutes les grandeurs **énergétiques** ont un équivalent **photométrique**, obtenu après pondération par $V(\lambda)$.

seule la partie **visible** par l'oeil humain est prise en compte.

grandeurs énergétiques

flux énergétique, Watt

intensité énergétique, $W.sr^{-1}$

éclairement énergétique, $W.m^{-2}$

luminance énergétique, $W.m^{-2}.sr^{-1}$

grandeurs photométriques

flux lumineux, lumen (lm)

intensité lumineuse, candéla (cd)

éclairement lumineux, lux

luminance lumineuse, $cd.m^{-2}$