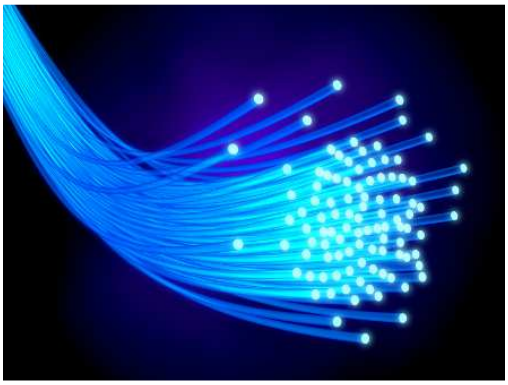
Optique géométrique : introduction

1- Usages de l'Optique géométrique

Formation des images
dans les instruments

Concentration de la lumière
et de son énergie



Guidage de la lumière
(fibre optique…)

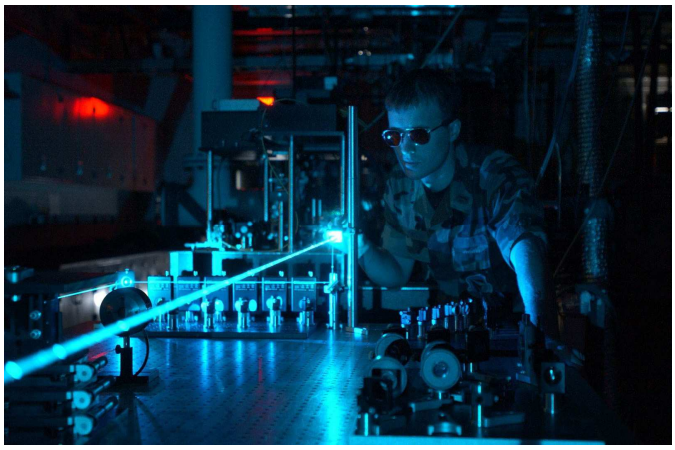
Vision et correction de la vue

Phénomènes naturel
(arc en ciel, mirage etc.)

Image de synthèse par informatique :
Ray tracing

© Bruno Velay

2- Faisceaux de lumière et rayons de lumière



2.1- Caractérisation du faisceau :

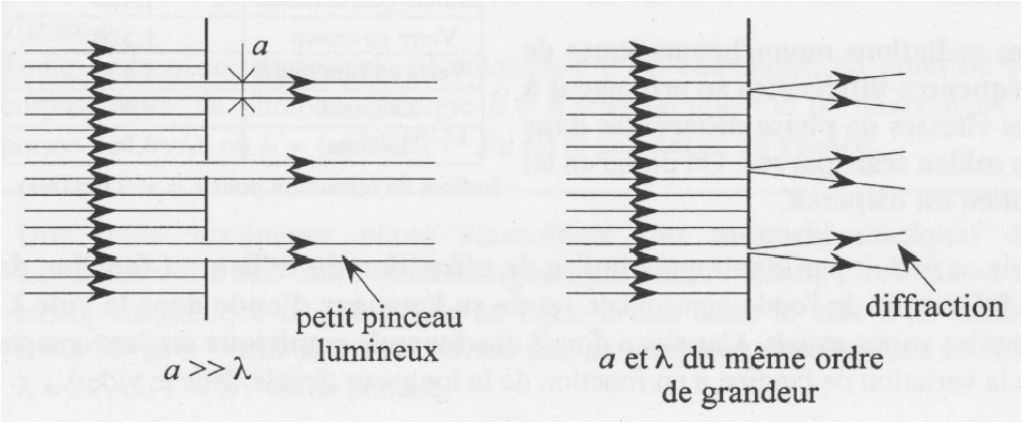
- **forme** (divergent, convergent, parallèle…)
- **couleur** : **monochrome** (de longueur d'onde λ)
  polychrome (à spectre de raies ou à spectre continu)
- **puissance optique** transportée dans une section du faisceau

  → F_e **Flux énergétique en watt W** (**radiométrie** : capteur physique)
  → F_l **Flux lumineux en lumen lm** (**photométrie** : vu par l'œil humain)

- **homogénéité** (éclairement obtenu uniforme ou non)

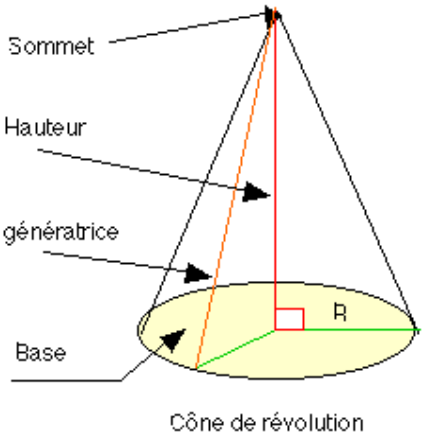
2.2- Le faisceau est composé de rayons de lumière arbitrairement fins

- Modèle : un « **rayon de lumière** » est associé à une ligne géométrique unidimensionnelle (droite ou courbe).



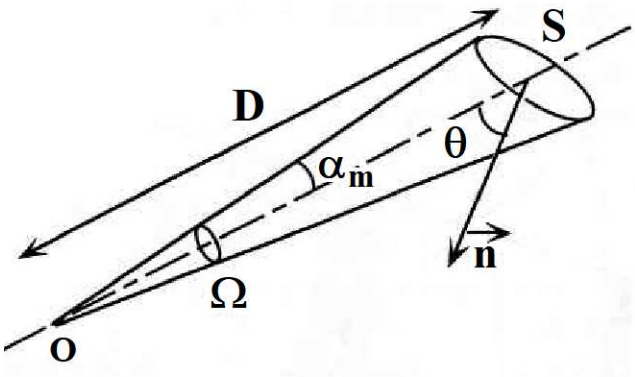
- Limite de l'approximation pour l'optique géométrique : **dimension a >> λ**
- Limite des angles calculables sous cette approximation : $\alpha > \lambda / a$
- Le rayon n'émet pas de lumière : il n'est rendu visible par le coté que s'il y a un diffuseur (fumée, gouttelettes, etc.)

3- Caractérisation de la forme d'un faisceau



- Faisceau **conique :** l'ouverture géométrique du cône est décrite et mesurée par son **angle solide Ω** en **stéradian sr** (≠ angles usuels α et θ en radian !)

- Soit S une petite surface **vue depuis** le point O.
  Le cône a un **demi-angle au sommet α_m** (dans un plan de coupe diamétral)
  Sa normale inclinée forme un angle Θ avec le rayon moyen provenant de O
  S cos Θ est la **surface apparente** vue depuis O.



- On calcule l'angle solide Ω par :

$$\Omega(\alpha_m) = 2\pi\left(1-\cos\alpha_m\right) \quad \textbf{ou} \quad \Omega = \frac{S\cos\Theta}{D^2}$$

- Cas particuliers :

  pour un écran plat : $\alpha_m = \frac{\pi}{2} \rightarrow \Omega_{1/2\ espace} = 2\pi \approx 6.28$ sr

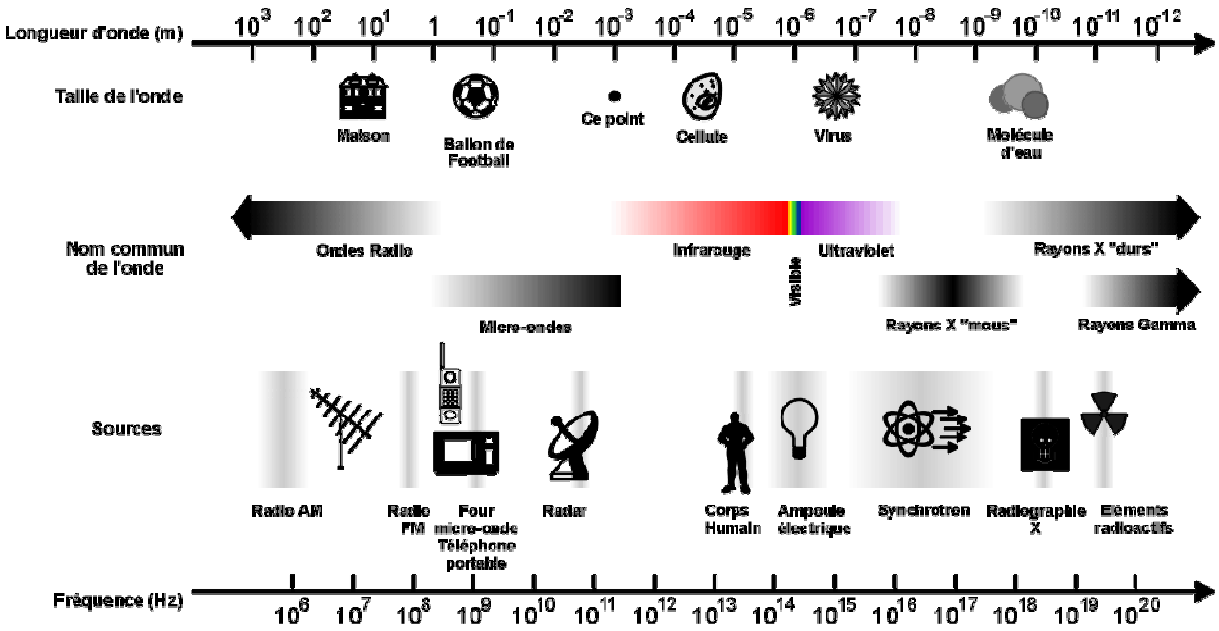
  Pour une boule comme le soleil (« espace entier »)

  $\alpha_m = \pi \rightarrow \Omega_{espace} = 4\pi \approx 12.6$ sr valeur maximale possible

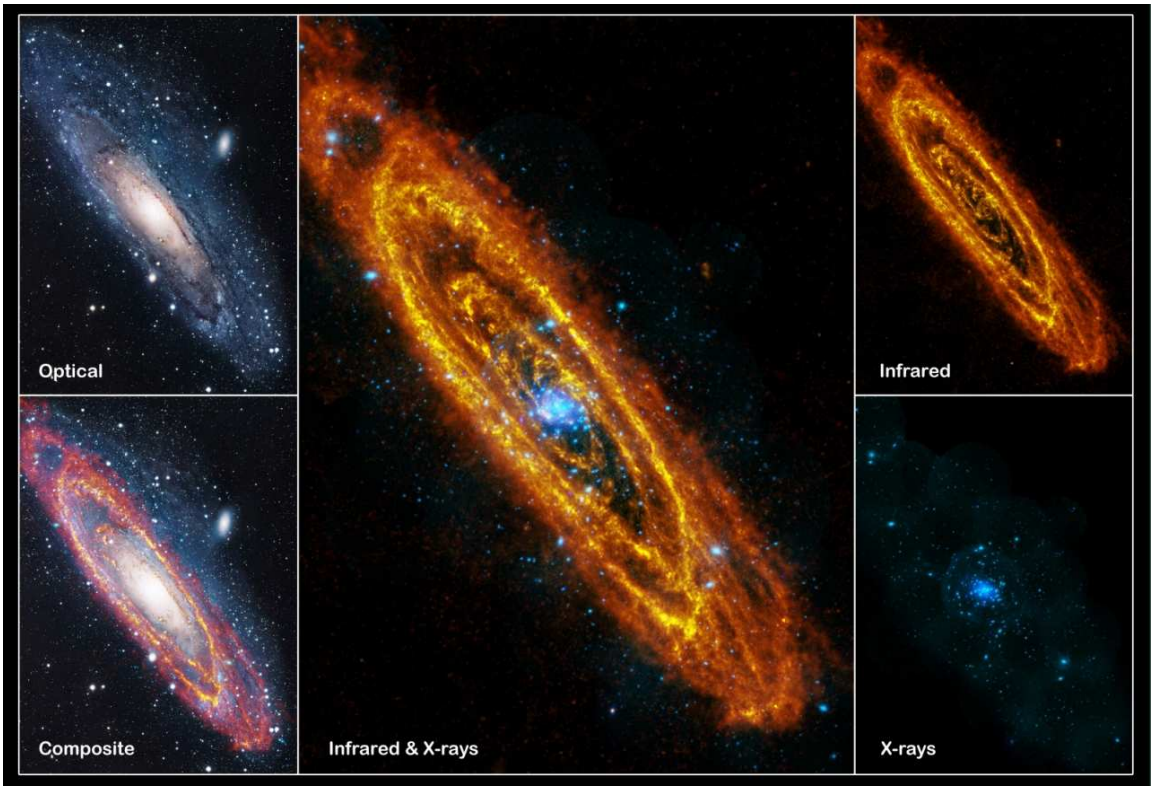
- Faisceau **divergent** : faisceau de section de surface croissante et $\Omega > 0$
- Faisceau **convergent** : faisceau de section de surface décroissante et $\Omega > 0$
- Faisceau **parallèle** : faisceau de section de surface constante
  $\alpha_m = 0$ donc $\Omega_{parallèle} = 0$ (cône « fermé »)

© Bruno Velay

4- Spectres d'une lumière – influence du détecteur



Spectre des rayonnements électromagnétiques
Fréquence en optique : environ 10^{13} à 10^{15} Hz



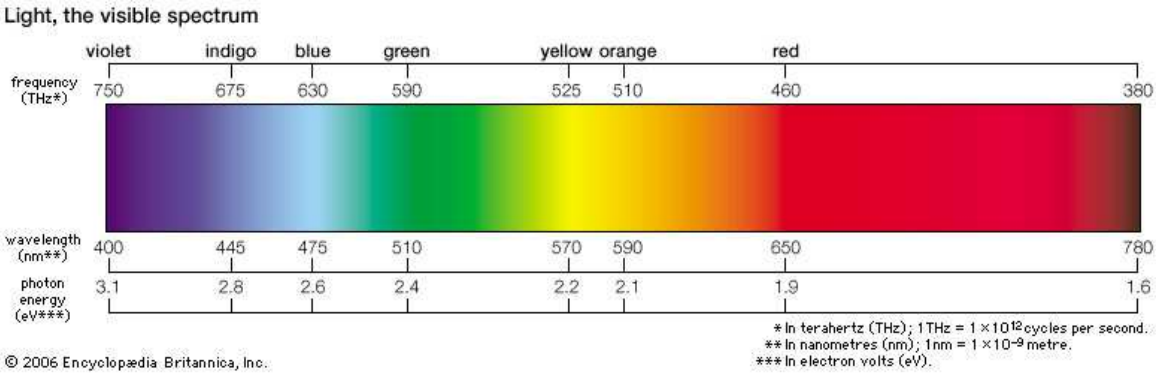
La galaxie Andromède M31
vue par les télescopes Herschel (IR), XMM-Newton (X-rays) © ESA

4.1- Spectre de la lumière visible

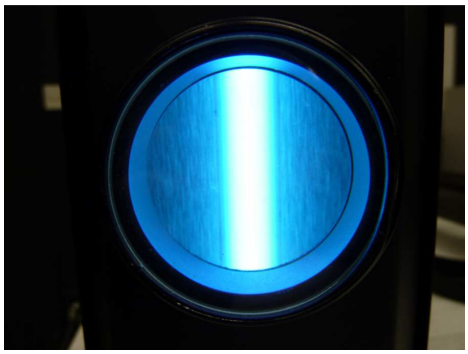
Ultraviolet UV **Visible** **Infrarouge IR**

0.4 µm = 400 nm **< λ <** **0.75 µm = 750 nm**

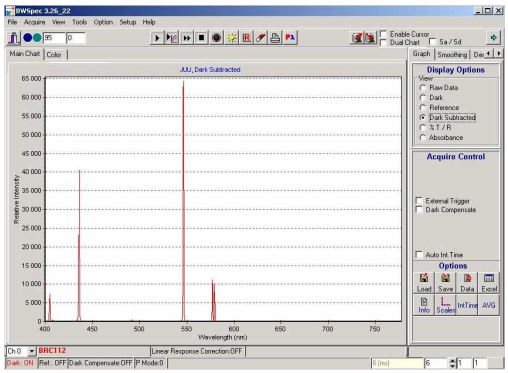
et - **et +**



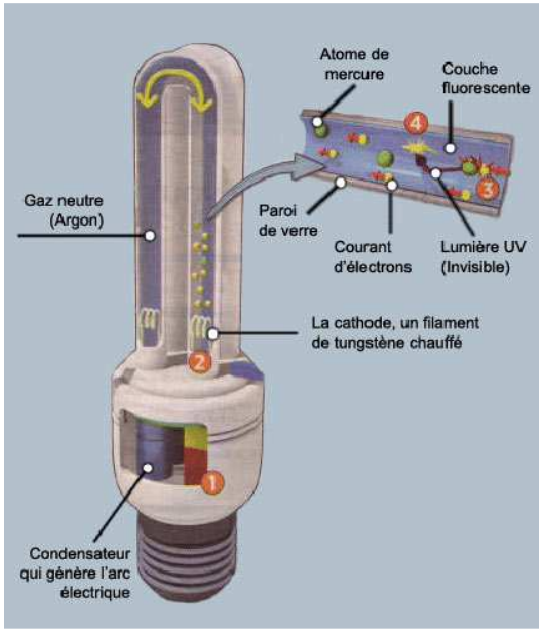
4.2- Exemples de spectres de lampes usuelles

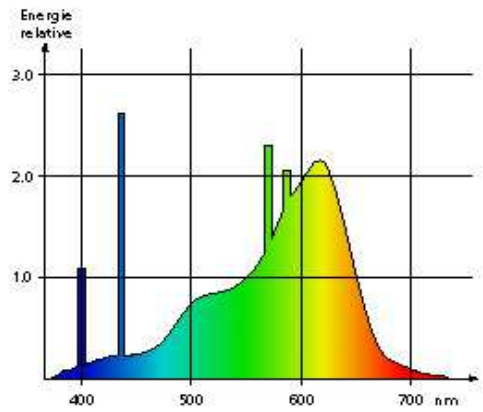


Lampe spectrale Mercure Hg
(salle de TP)



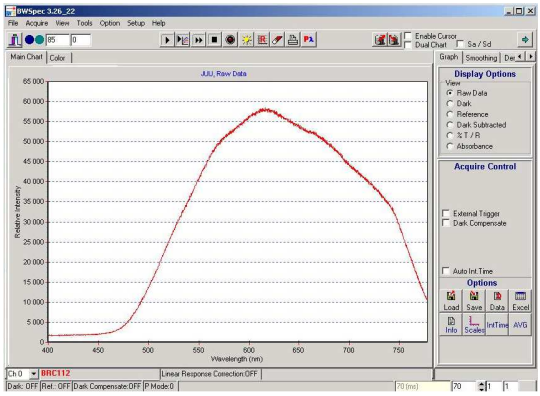
Spectre de raies
mesuré par le spectromètre de TP





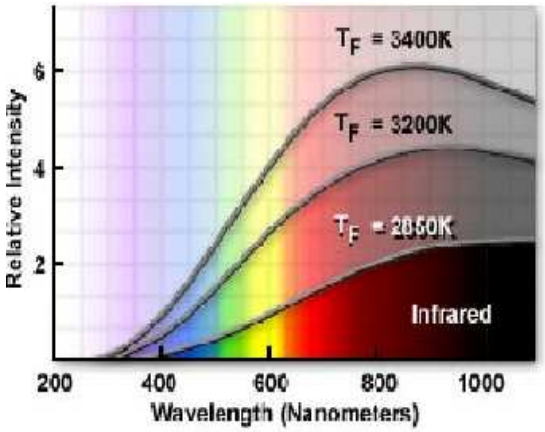
Spectre d'émission d'un tube fluorescent
(raies visibles du Mercure
et bandes « continues » de fluorescence)

Lampe de bureau « **à incandescence** »
à filament de tungstène
(salle de TP)

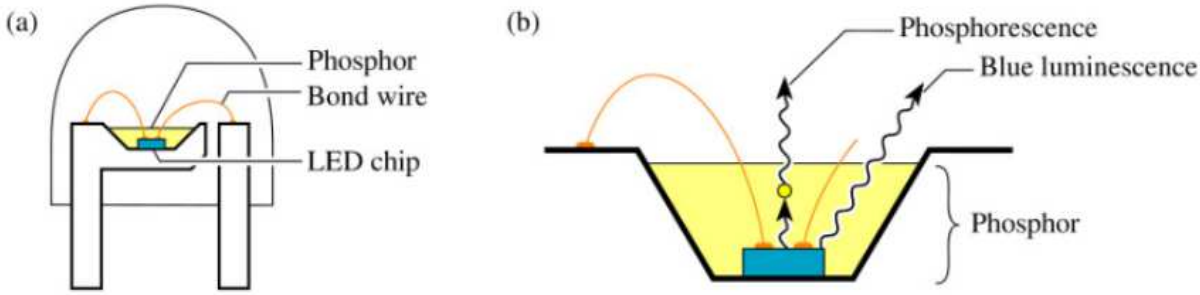


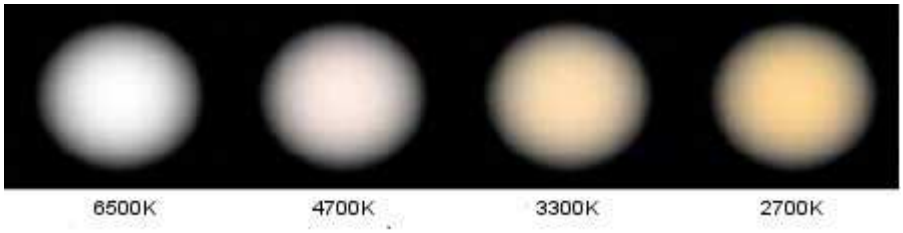
Spectre continu
mesuré par le spectromètre de TP

- Le spectre est paramétré par la température du filament de la lampe (ces courbes sont calculées).
- >5% de l'énergie électrique utilisée est transformée en lumière visible (beaucoup de pertes donc lampe très chaude !)
- La majeure partie de la lumière IR (infra rouge) n'est pas mesurable par ce spectromètre !

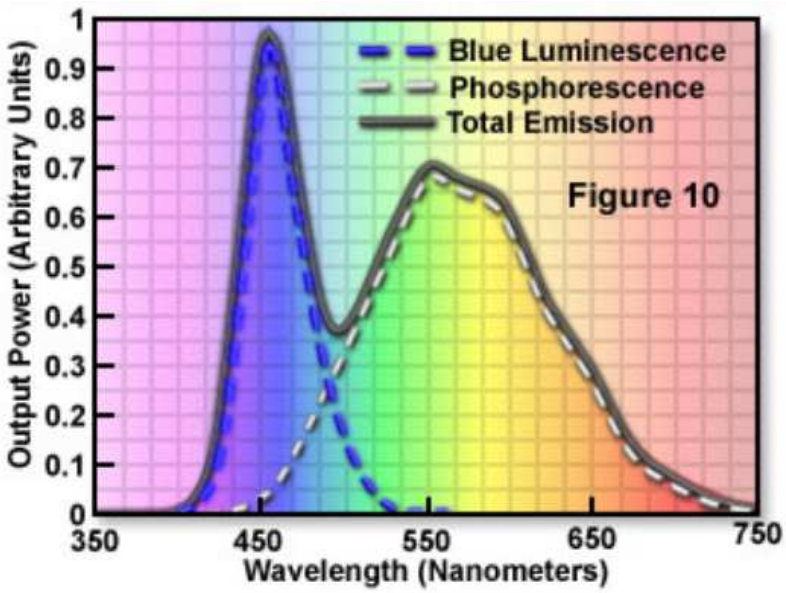


LED « blanche » utilisant la phosphorescence par absorption de lumière bleue : c'est une LED émettant fortement dans le bleu couplée avec un matériau phosphorescent réémettant dans le visible





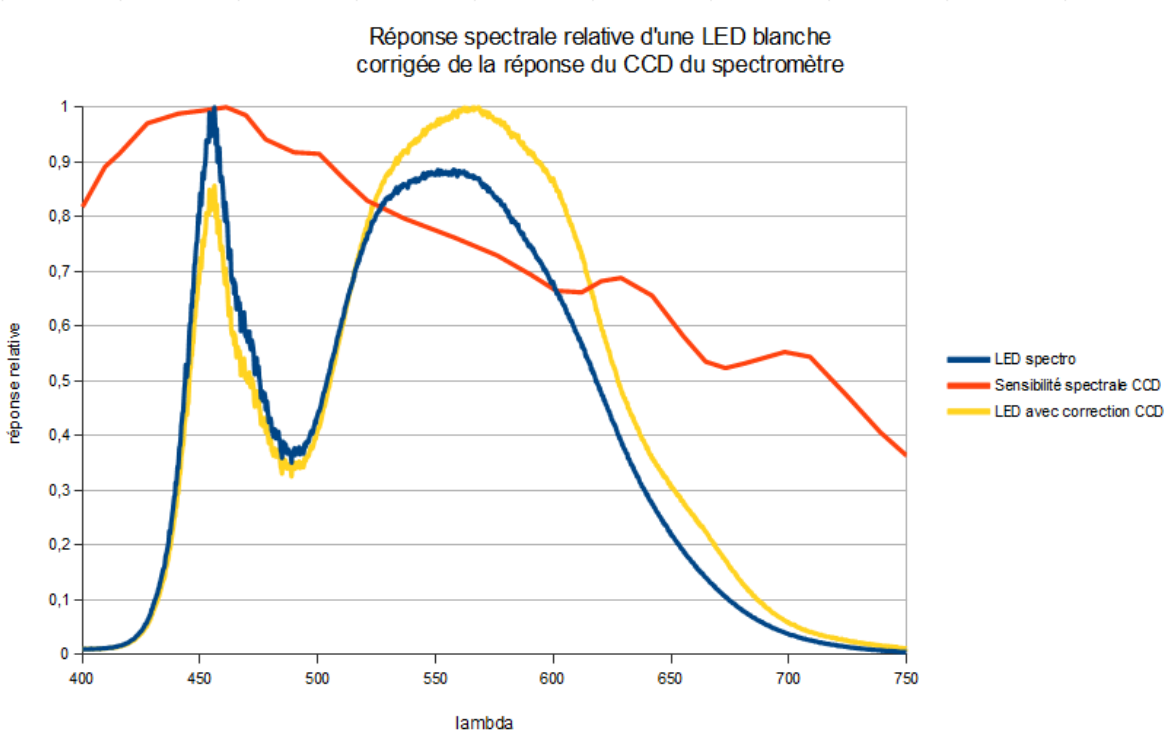
La température de couleur est adaptée selon la proportion de lumière réémise dans le jaune par phosphorescence.



Spectre typique d'une LED émettant une raie luminescente bleue
et une bande de phosphorescence
(17 à 20% d'énergie réémise dans le visible)

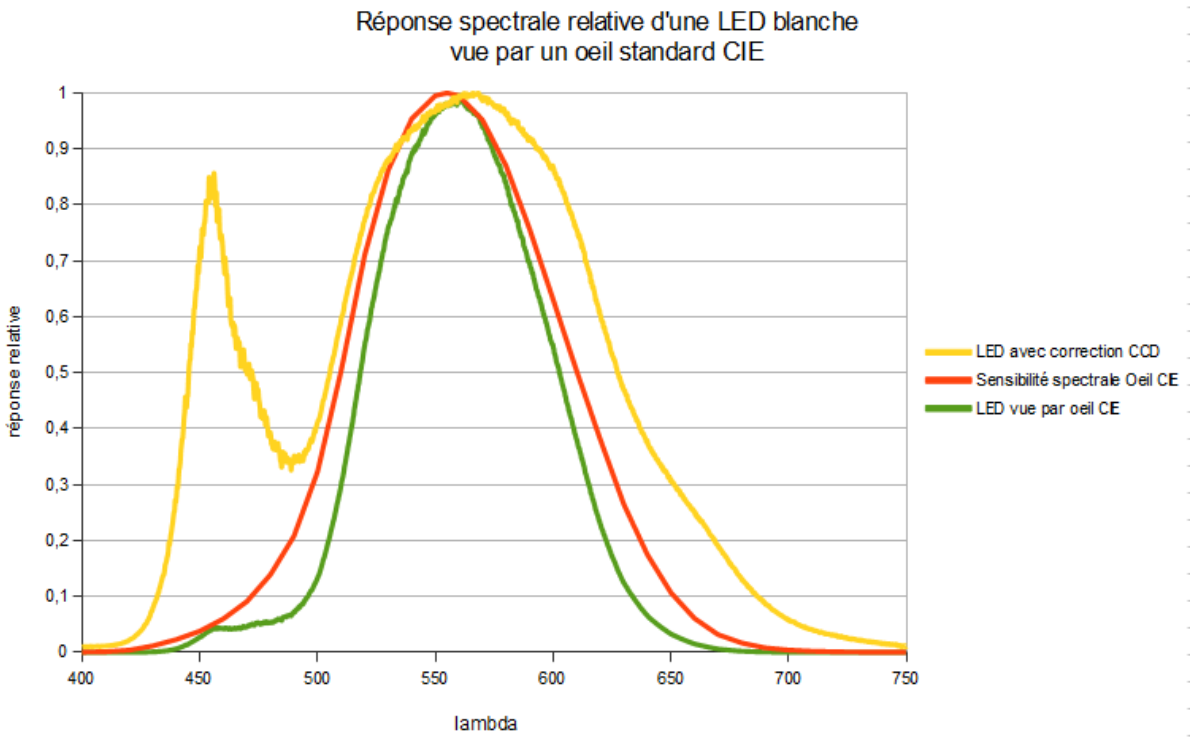
4.3- Influence de la sensibilité spectrale d'un détecteur ou de l'œil

- Utilisation du spectromètre CCD de TP pour visualiser le spectre d'une LED blanche d'éclairage



- Réponse brute issue du capteur : R(λ)
  Sensibilité spectrale du capteur V(λ)
  → **Réponse corrigée : $R_{corrigée}$ =** R(λ) / V(λ)

- Le même spectre de LED blanche d'éclairage vu par l'œil « standard » CIE



- **Réponse en vision humaine : R_{oeil} =** $R(\lambda)_{capteur\ «\ idéal} \times V(\lambda)_{œil}$

- Max de la courbe de sensibilité de l'œil : le vert à 555 nm

Remarque : calculs fait sous CALC d'après données expérimentales de TP

5- « Puissance en optique » : flux énergétique et lumineux

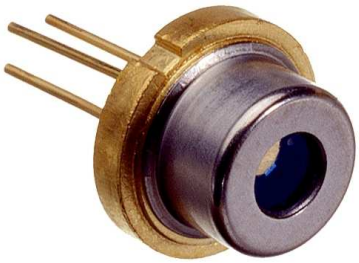
RED LASER DIODE
DL-3147-060

Features

- Wavelength : 650 nm (Typ.)
- Low threshold current : Ith = 20mA (Typ.)
- High operating temperature : 5 mW at 70°C
- TE mode

Applications

DVD-ROM/PLAYER
Laser module
industrial instrument



5.1- Flux énergétique Fe = « débit » d'énergie par unité de temps transportée par le rayonnement J.s^{-1} ≡ W ≈ **« puissance optique »**

- Les grandeurs **radiométriques** caractérisent le rayonnement dans les unités physiques usuelles (réponse du détecteur supposée ≈ indépendante de la longueur d'onde).
  Flux d'un faisceau en W, éclairement d'un récepteur en W.m^{-2}, intensité d'une source en W.sr^{-1}

- **Flux énergétique en émission** $F_e = 5$ mW
  Puissance électrique consommée : $P_{alim} = U \times I = 2{,}3\ V \times 30\ mA = 69$ mW
  Rendement de conversion $\eta = F_e / P_{alim} = 5 / 69 = 0{,}072 \approx 7\ \%$

5.2- Flux lumineux Fl en lumen (ou lm)

- **Ampoule Philips Tornado High Lumen E27 42 watts**
  Notice :
  Type d'ampoule : Fluocompacte .
  Puissance électrique consommée : 42 W
  Flux lumineux : 3000 **lumens**
  (flux lumineux équivalent à celui d'une lampe à incandescence de puissance consommée 190 W)

  Flux énergétique ? non spécifié, difficile à calculer
  → donc à mesurer directement.

  Efficacité énergétique $\eta_L = F_l / P_{alim} = 3000 / 42 = 71{,}5$ lm.W^{-1}

  Autres (en lm.W^{-1}) : halogène 15 à 28, LED blanche 80, lampe sodium 125 à 178 (jaune)

- Les grandeurs **photométriques** caractérisent un rayonnement **comme s'il était vu par un observateur humain « standard ».**
  → nécessité d'utiliser les unités spécifiques de la **photométrie** lumen, lux (éclairement d'un récepteur), candela (intensité d'une source) etc.

5.3- Pour info : comparaison des principales sources d'éclairage

Principaux critères :

- Efficacité énergétique $\eta_L = F_l / P_{alim}$ (flux lumineux global émis toute couleur confondue /puissance électrique consommée, en $lm.W^{-1}$)
- Qualité chromatique (appréciée par un panel d'utilisateurs) IRC Indice de Rendu des Couleurs (IRC = 100pour la lumière solaire, IRC = 0 en lumière monochromatique !)
- Durée de vie moyenne
- Prix…

Type de lampe	Utilisation	Efficacité énergétique en $lm.W^{-1}$	IRC	Durée de vie en h	Prix typique en €
Sodium BPS	Eclairage public	178	0 (jaune !)	13000	22
Sodium HPS	Eclairage public	125	25 (blanchâtre)	36000	16
Tube fluorescent	locaux	70 à 100	85	24000	4
LED blanche	Locaux, guirlande	80	85	35000	13
Halogène BT 12 V	Locaux (spots etc.) Phares de voiture	28	100	2000	15
Halogène HT 220 V	Locaux	16	100	2000	4
Incandescence classique	Locaux	15	95 à 100	1000	1 à 2 hors vente !

Halogène BT

Halogène HT

- Sodium
- HPS

Tube fluorescent

Lampe à LED

Sources des figures et des images :

Les images non documentées ont été produites par nos soins au laboratoire

http://www.chassons.com/7-Equipements-et-Optique/10-Optique-chasse/36-Les-jumelles/135-Zeiss/953-Zeiss-Les-jumelles-Conquest-56-T*.html

http://www.ac-montpellier.fr/sections/enseignement-scolaire/actions-educatives/education-artistique/se-culture-scientifique/copy11_of_cult_scient_se

http://www.synergeek.fr/wp-content/uploads/2010/08/26/fibre-optique-datacenter-caen/fibre_optique.jpg

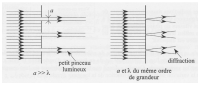
http://jojo-lapinou.skyrock.com/

http://www.cosmovisions.com/CTarcenciel.htm

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Glasses_800_edit.png

http://blenderclan.tuxfamily.org/html/modules/newbb/viewtopic.php?topic_id=13173

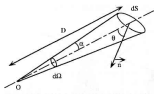
http://www.science-et-vie.net/img/illustrations/L/laser.jpg



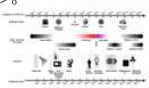
Optique géométrique C. Grossetête et P. Olive Ellipses 2006

http://coboemol.edres74.ac-grenoble.fr/maths/cours3e/images/pyram7.gif

http://www.paris-art.com/marche-art/Index/Index/5554.html

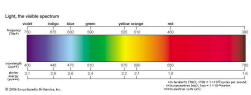


Bases de radiométrie optique JL Meyzonnette et T. Lépine Cépadues Edition 1999

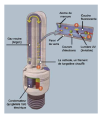


http://www.polytech-lille.fr/cours-transistor-effet-champ/hyper/hyperc1.htm

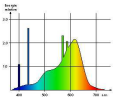
http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=48182



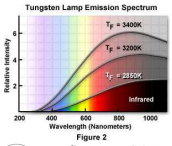
http://www.sitedessciencesphysiques.fr/?page_id=2170



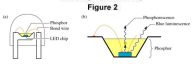
http://www.savoirs.essonne.fr/sections/ressources/photos/photo/schema-du-fonctionnement-de-la-lampe-fluorescente-compacte/



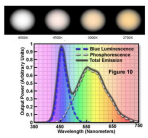
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/Spectre_d%27un_tube_fluorescent_blanc_chaud.jpeg



https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/anatomy/sources/



http://scienceblogs.com/purepedantry/2007/11/two_photon.php



http://forums.futura-sciences.com/electronique/368234-source-de-lumiere-blanche.html

http://www.datasheetarchive.com/DL-3147-060-datasheet.html

http://www.hellopro.fr/images/produit-2/1/1/2/diode-laser-continue-276211.jpg

http://www.confort-electrique.fr/images/Image/ampoule/philips/philips-807271.jpg?osCsid=7as5077hufaurgs4kjqvad4kp4

Données :

Spectres des éléments http://www.ostralo.net/3_animations/swf/spectres_soleil.swf

Sommaire

OPTIQUE GEOMETRIQUE : INTRODUCTION 1
1- Usages de l'Optique géométrique 1
2- Faisceaux de lumière et rayons de lumière 2
3- Caractérisation de la forme d'un faisceau 3
4- Spectres lumineux – influence du détecteur de lumière 4
5- « Puissance en optique » : flux énergétique et lumineux 9
Sources des figures et des images : 11
Données : 12
Sommaire 12