

O2 - Modèle scalaire de la lumière

PC Lycée Dupuy de Lôme

Modèle de propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde monochromatique

Forme de la solution

Fréquences spatio-temporelles

Propagation et retard de phase

Milieu de propagation

Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Train d'onde et largeur spectrale

Lampe spectrale basse pression

Sources thermiques

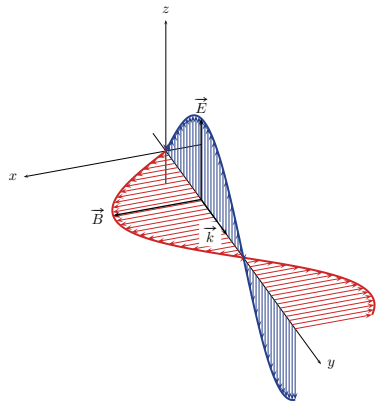
L.A.S.E.R

Récepteurs d'intensité

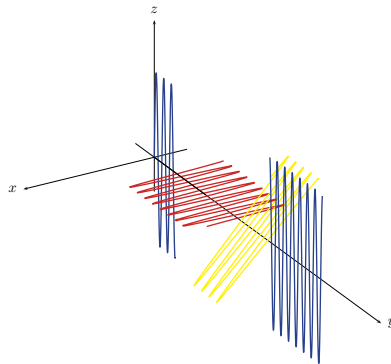
Flux Par unité de surface

Capteur optique

Onde électromagnétique



Source lumineuse



Modèle de propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatique

Propagation et retard de
phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs
d'intensité

vibration lumineuse

La vibration lumineuse $s(M, t)$ est une grandeur scalaire associée au champ électrique caractérisant l'onde lumineuse

Modèle de
propagation

Aspect ondulatoire

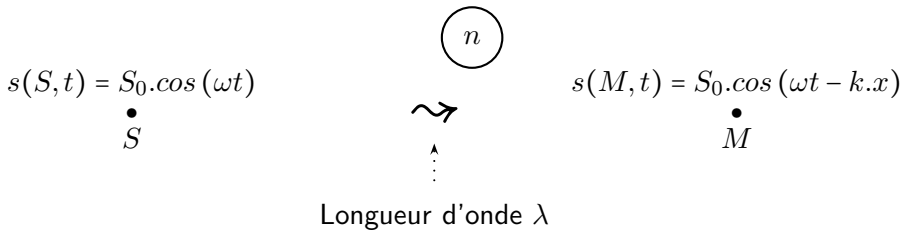
Modèle de l'onde
monochromatique

Forme de la solution

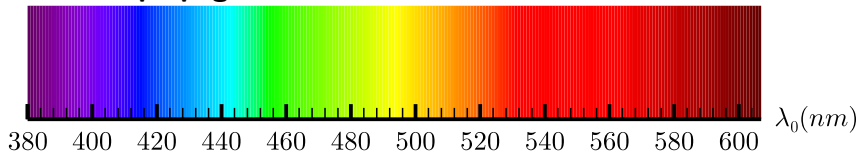
Fréquences
spatio-temporellesPropagation et retard de
phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs
d'intensité

Pour une propagation dans le vide



Solution progressive

Onde Progressive Harmonique se propageant dans le sens des x croissants est caractérisée par son vecteur d'onde $\vec{k} = k\vec{u}_x$ avec k le nombre d'onde.

$$s(x, t) = S_0 \cdot \cos(\omega t - kx) \text{ avec } k = \frac{n \cdot \omega}{c}$$

On y associe une représentation complexe

$$\underline{s} = S_0 e^{i(\omega t - kx + \varphi_0)} = \underline{S}_0 e^{i(\omega t - kx)} \text{ avec } \underline{S}_0 = S_0 e^{i\varphi_0}$$

Avec ω la pulsation temporelle et k la pulsation spatiale

Cette solution ne peut pas exister réellement car l'onde s'étend alors sur une longueur infinie...

Modèle de propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatique

Forme de la solution

**Fréquences
spatio-temporelles**

Propagation et retard de
phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs
d'intensité

Modèle de propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatique

Forme de la solution

Fréquences
spatio-temporelles

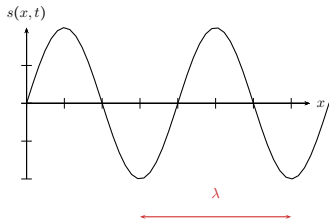
Propagation et retard de
phase

Surfaces d'onde

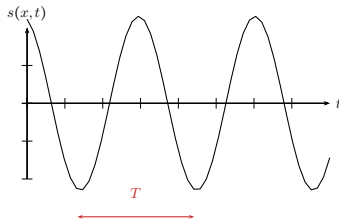
Sources lumineuses

Récepteurs
d'intensité

A t fixé



A x fixé



Pulsation

k

ω

Fréquence

$$\sigma = \frac{k}{2\pi}$$

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi}$$

Période

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{1}{\sigma}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\nu}$$

Modèle de
propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatiquePropagation et retard de
phase

Milieu de propagation

Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs
d'intensité

On considère une vibration de fréquence ν

indice du milieu

Dans un milieu transparent linéaire et isotrope d'indice n , la vibration, de longueur d'onde λ_0 dans le vide, se propage dans le milieu à une vitesse v telle que



$$n(\lambda_0) = \frac{c}{v}$$

Selon la loi empirique de Cauchy, $n(\lambda_0) = A + \frac{B}{\lambda_0^2}$ avec A et B constantes

Milieu non dispersif

L'indice est alors indépendant de la longueur d'onde. v devient alors la vitesse de toute information se propageant dans ce milieu.

Phénomène de propagation non dispersive

Modèle de propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatique

Propagation et retard de
phase

Milieu de propagation

Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs d'intensité

Modèle de
propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatiquePropagation et retard de
phase

Milieu de propagation

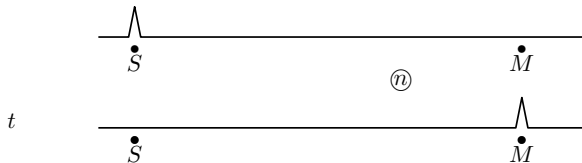
Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs
d'intensité

- τ : durée de propagation de l'impulsion entre S et M
- c : célérité de la lumière dans le vide
- v : vitesse de propagation de l'impulsion dans le milieu.

On peut exprimer τ en fonction de SM et v , puis en fonction de SM , v et c :

$$\tau =$$

Modèle de
propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatiquePropagation et retard de
phase

Milieu de propagation

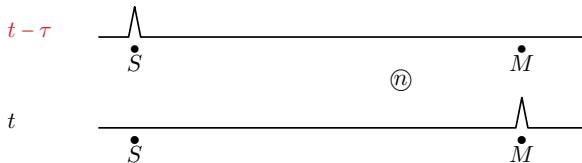
Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs
d'intensité

- τ : durée de propagation de l'impulsion entre S et M
- c : célérité de la lumière dans le vide
- v : vitesse de propagation de l'impulsion dans le milieu.

On peut exprimer τ en fonction de SM et v , puis en fonction de SM , v et c :

$$\tau =$$

Modèle de
propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatiquePropagation et retard de
phase

Milieu de propagation

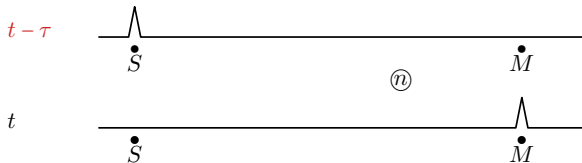
Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs
d'intensité

- τ : durée de propagation de l'impulsion entre S et M
- c : célérité de la lumière dans le vide
- v : vitesse de propagation de l'impulsion dans le milieu.

On peut exprimer τ en fonction de SM et v , puis en fonction de SM , v et c :

$$\tau = \frac{SM}{v}$$

Modèle de
propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatiquePropagation et retard de
phase

Milieu de propagation

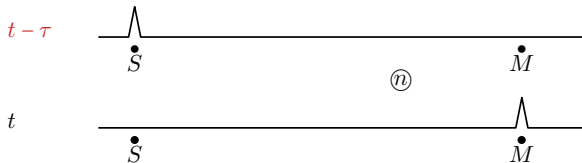
Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs
d'intensité

- τ : durée de propagation de l'impulsion entre S et M
- c : célérité de la lumière dans le vide
- v : vitesse de propagation de l'impulsion dans le milieu. $v = \frac{c}{n}$

On peut exprimer τ en fonction de SM et v , puis en fonction de SM , v et c :

$$\tau = \frac{SM}{v} = \frac{n \cdot SM}{c}$$

Modèle de
propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatiquePropagation et retard de
phase

Milieu de propagation

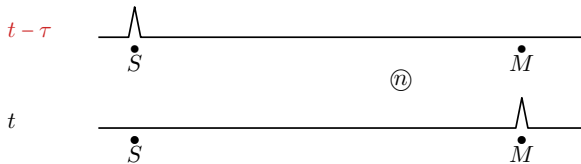
Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs
d'intensité

Durée de propagation

On perçoit en M la vibration émise en S avec un retard correspondant à la durée de propagation de l'information entre S et M

$$\text{Avec } s(M, t) = s(S, (t - \tau)) \text{ avec } \tau = \frac{n \cdot SM}{c}$$

Pour une onde harmonique

La source émet une onde harmonique $s(S, t) = S_0 \cdot \cos(\omega t)$

- Vibration en M , en fonction de τ :
- Vibration en M , en fonction du retard de phase

φ :

Modèle de propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatique

Propagation et retard de
phase

Milieu de propagation

Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs d'intensité

Pour une onde harmonique

La source émet une onde harmonique $s(S, t) = S_0 \cdot \cos(\omega t)$

- Vibration en M , en fonction de τ : $s(M, t) = S_0 \cdot \cos(\omega[t - \tau])$
- Vibration en M , en fonction du retard de phase
 φ : $s(M, t) = S_0 \cdot \cos(\omega t - \varphi(M))$

Modèle de propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde monochromatique

Propagation et retard de phase

Milieu de propagation

Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs d'intensité

Pour une onde harmonique

La source émet une onde harmonique $s(S, t) = S_0 \cdot \cos(\omega t)$

- Vibration en M , en fonction de τ : $s(M, t) = S_0 \cdot \cos(\omega[t - \tau])$
- Vibration en M , en fonction du retard de phase
 φ : $s(M, t) = S_0 \cdot \cos(\omega t - \varphi(M))$

$$\varphi = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot SM}{\lambda_0}$$

Modèle de propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatique

Propagation et retard de
phase

Milieu de propagation

Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs d'intensité

On s'aperçoit que le retard de propagation dépend bien sur de la distance de propagation, mais également de l'indice du milieu. On peut alors définir un terme prenant en compte ces deux caractéristiques

Chemin optique

Le chemin optique (AB) entre les points A et B correspond à la distance qu'aurait parcouru l'onde dans le vide pendant la durée mise réellement par l'onde pour parcourir le chemin AB dans le milieu.



$$(AB) = \int_{P \in \Gamma} n(P) \cdot dl$$

Avec Γ le chemin parcouru

Pour un milieu homogène :

$$\Rightarrow (AB) = n \cdot AB$$

Modèle de propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatique

Propagation et retard de
phase

Milieu de propagation

Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs
d'intensité

Vibration en M

La vibration de l'onde lumineuse issue d'une source S , en M s'écrit

$$\underline{s}(M, t) = \underline{s}(S, t) \cdot e^{-i \cdot (\varphi_{SM})}$$

$$\varphi_{SM} = \omega \cdot \tau = \frac{2 \cdot \pi(SM)}{\lambda_0}$$

où φ_{SM} est le retard de phase dû à la propagation entre S et M

Modèle de propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatique

Propagation et retard de
phase

Milieu de propagation

Retard de propagation

Chemin optique

Retard de phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs d'intensité

Modèle de
propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatique

Propagation et retard de
phase

Surfaces d'onde

Sources lumineuses

Récepteurs
d'intensité

Surface d'onde

La surface d'onde correspond à l'ensemble des points de l'espace séparés du même chemin optique de la source.

Théorème de Malus

Les surfaces d'ondes sont orthogonales en tout point aux rayons lumineux issus d'une même source (n'ayant pas subi de phénomène de diffraction)

Onde plane

Une onde progressive est dite plane si les surfaces d'onde sont des plans

Modèle de propagation

Aspect ondulatoire

Modèle de l'onde
monochromatique

Propagation et retard de
phase

Surfaces d'onde

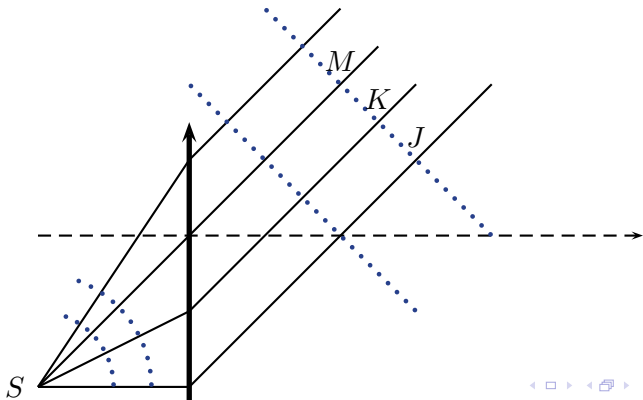
Sources lumineuses

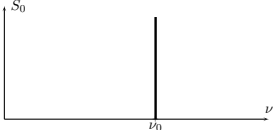
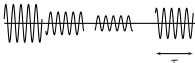
Récepteurs d'intensité

Un cas important : Traversée d'une lentille

Application de théorème de Malus

On ne considère pas de phénomène de diffraction à la traversée de la lentille.
On peut donc appliquer le théorème de Malus entre la source et des rayons ayant traversé la lentille.



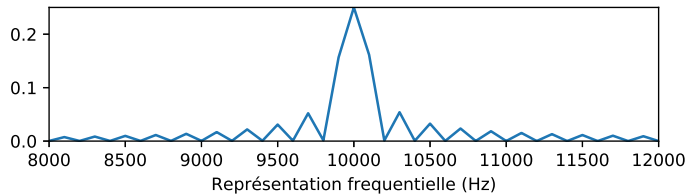
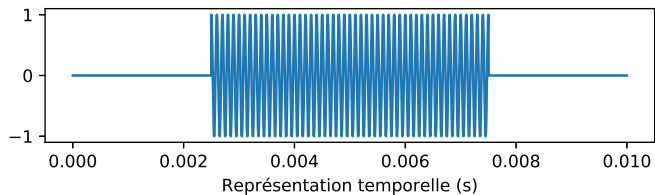
	Aspect temporel	Aspect spectral
Source idéale		
Source réelle		

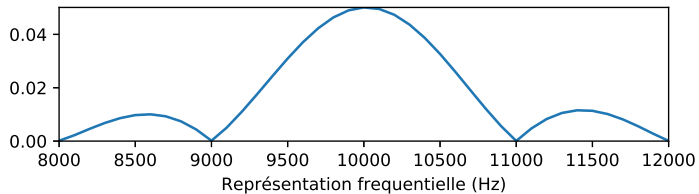
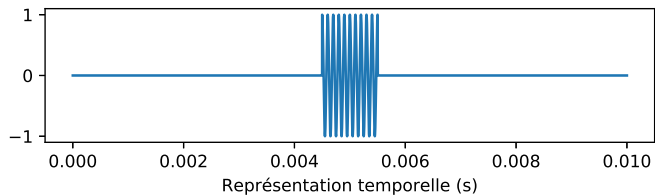
Notebook jupyter

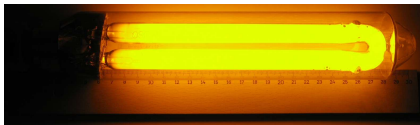
Élargissement spectral d'une source

On associe à la durée du train d'onde τ une largeur spectrale $\Delta\nu$ autour de la fréquence ν d'émission. Ces grandeurs sont reliées par une relation de la forme

$$\tau \cdot \Delta\nu \equiv 1$$



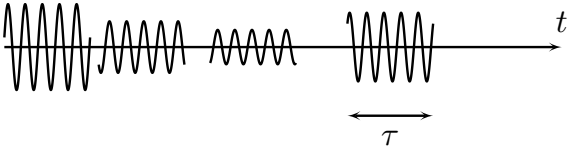
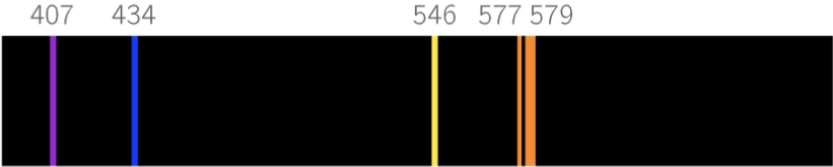




Une lampe à décharge est constituée d'un tube ou d'une ampoule en verre remplie de gaz ou de vapeur métallique, sous haute ou basse pression.

Exemple de lampes à décharge

- Les tubes fluorescents : *On les nomme couramment néons. En fait la lumière émise par la décharge n'est pas directement visible. C'est une poudre déposée sur la surface intérieure du tube qui ré-émet dans le domaine visible.*
- Lampes à vapeur de sodium (ou mercure) basse pression



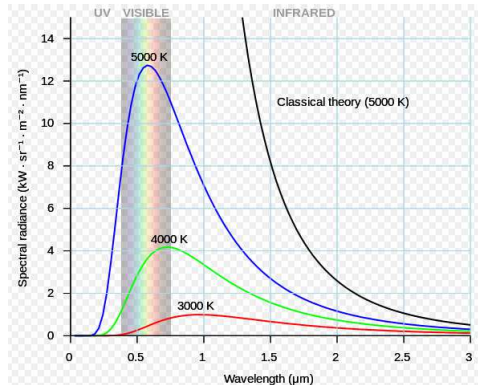
Principe d'émission

Le modèle appliqué à un solide amené à haute température correspond au modèle du corps noir.

On peut imaginer le solide comme une cavité à l'intérieure de laquelle les atomes sont soumis à une agitation thermique.

Bien qu'il y ait une quantification de l'énergie émise par ce corps noir, on peut considérer son spectre comme continu.

Le corps noir va émettre avec une intensité maximum décrite par la loi de Wien : $\lambda_{Max} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{T}$



On obtient grâce à un système étudié plus tard dans l'année :

- Des photons émis d'une énergie toujours identique
- Une émission régulière correspondant à des trains d'onde de très grande longueur.

Source LASER

Les sources LASER seront celles que l'on pourra considérer comme monochromatiques et quasi-ponctuelles.

Modèle de
propagation

Sources lumineuses

Train d'onde et largeur
spectrale

Lampe spectrale basse
pression

Sources thermiques
L.A.S.E.R

Récepteurs
d'intensité

Densité de flux

Un faisceau de lumière associé à une vibration lumineuse $s(t)$ est caractérisé par un flux par unité de surface

$$\varphi(M, t) = \alpha \cdot s^2(t)$$

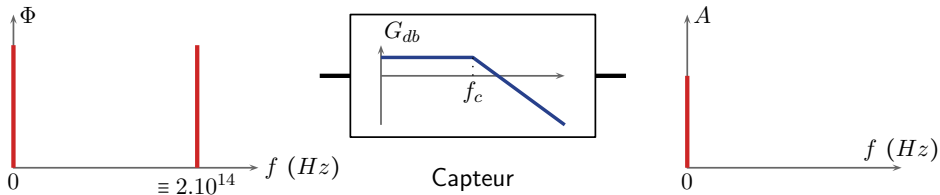
$$\varphi(t) = \alpha \cdot S_0 \cdot \cos^2(\omega t) = \alpha \cdot \frac{1 + \cos(2\omega t)}{2}$$

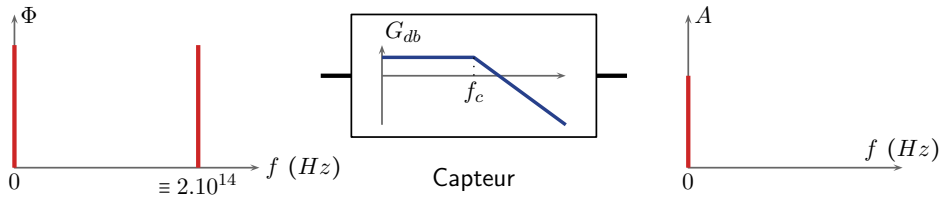
Principe du capteur

Un capteur optique est un système de conversion du flux par unité de surface φ en une grandeur (le plus souvent une intensité électrique) A

Ce capteur se comporte comme un filtre passe-bas du premier ordre avec une fréquence de coupure f_c

Les capteurs actuellement sur le marché vérifient tous $f_c < 10^{10} \text{ Hz}$





Intensité lumineuse

Les capteur sont sensibles à la valeur moyenne du flux d'énergie par unité de surface. On définit donc l'intensité lumineuse I telle que

$$I = \alpha \cdot \langle s^2(M, t) \rangle$$