Partie IV : optique
Chapitre 1

Introduction à l'optique ondulatoire

(I) Optique géométrique et optique ondulatoire

Diffraction, interférences
$\Rightarrow$ nécessité de l'optique ondulatoire

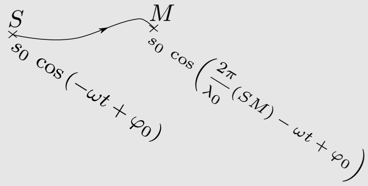
Lumière = onde $s(M,t)$
Cas onde plane progressive monochromatique : $s(M,t) = s_0\,\cos(kx - \omega t + \varphi_0)$
$\omega = 2\pi\nu, \quad k = 2\pi/\lambda = 2\pi n/\lambda_0, \quad v = c/n = \omega/k = \lambda\nu$, ...

(II) Propagation d'une onde lumineuse et déphasage

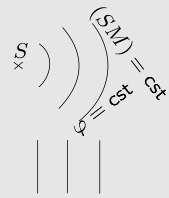
Chemin optique
$(AB) = \int_A^B n(M)\mathrm{d}l$
$= n \times AB$ si $n =$ cst

$\xrightarrow[\text{de}]{\text{calcul}}$

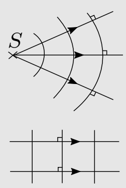
Déphasage suite à propagation



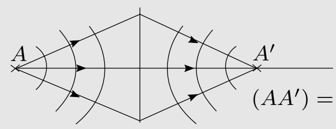
Surfaces d'onde



Théorème de Malus

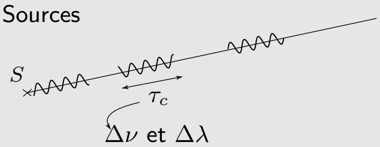


Lien optique géométrique



(III) Sources lumineuses réelles et détecteurs

Sources



Détecteurs
- sensibles à $\langle s^2 \rangle = \dfrac{1}{T_{\text{int}}} \int s^2(t)\mathrm{d}t$
- T_{int} : temps d'intégration

Ordres de grandeurs
$T_{\text{int}} \gg \tau_c \gg 1/\nu_{\text{visible}}$

Plan du cours

Ce qu'il faut connaître

▶1 Relations concernant les ondes progressives sinusoïdales planes ou sphériques (exemple : $s(x,t) = s_0 \cos[kx - \omega t + \varphi_0]$ si plane et propagation selon les x croissants) :

- Les relations définissant pulsation et nombre d'onde : $\omega = 2\pi\nu$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, le nom de ces grandeurs.
- Relations donnant la célérité : $v = \frac{\omega}{k} = \lambda\nu$ toujours valable, et $v = \frac{c}{n}$ dans un milieu d'indice optique n.
- Relation $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi n}{\lambda_0}$ avec k et λ concernant la propagation dans le milieu d'indice n, et λ_0 la longueur d'onde dans le vide.

▶2 Définition du chemin optique (AB).

Lien avec le déphasage entre deux points, à t fixé : $\varphi(B,t) = \varphi(A,t) + \frac{2\pi}{\lambda_0}(AB)$.

▶3 Définition des surfaces d'onde (ou surfaces équiphases).

Propriété fondamentale : le chemin optique entre deux surfaces d'onde ne dépend pas du rayon choisi. Idem entre deux points conjugués.

▶4 L'énoncé du théorème de Malus.

▶5 Le modèle des trains d'onde. La relation $\tau_c\,\Delta\nu \simeq 1$ reliant durée τ_c d'un train d'onde et étendue spectrale $\Delta\nu$ de la source.

▶6 L'ordre de grandeur

- de la période d'une onde lumineuse dans le visible,
- de la durée d'un train d'onde (aussi appelé temps de cohérence) pour une lampe spectrale et un laser,
- du temps d'intégration d'une photodiode et de l'œil.

▶7 Le fait qu'un détecteur est sensible à la moyenne temporelle du carré de l'amplitude de l'onde.

Ce qu'il faut savoir faire

▶8 Calculer un chemin optique entre deux points le long d'un rayon lumineux (TD III). En déduire le déphasage lié à la propagation.

- On considère un rayon lumineux monochromatique allant d'un point A à un point B, en parcourant une distance l_1 dans le vide, et l_2 dans du verre ($n = 1.5$). Donner l'expression du chemin optique (AB).
  Donner la relation entre la phase de l'onde au point A, celle au point B, (AB), et λ_0 longueur d'onde dans le vide de la radiation.

▶9 Tracer des surfaces d'onde, s'en servir pour calculer un chemin optique (TD II, III, IV).

- Tracer les rayons lumineux et les surfaces d'onde pour une onde sphérique partant d'une source S. Même question pour une onde plane, ainsi que pour une source S placée au foyer objet d'une lentille convergente.

▶10 Dans le modèle des trains d'onde, relier temps de cohérence τ_c, largeur spectrale $\Delta\nu$, longueur de cohérence l_c (TD V).

- Temps de cohérence d'un laser ? En déduire $\Delta\nu$, l_c.

▶11 Relier largeur en fréquence et largeur en longueur d'onde pour le spectre d'une source réelle.

- Une source quasi-monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 550\,\text{nm}$ possède une largeur fréquentielle $\Delta\nu = 10^{11}\,\text{Hz}$ (exemple : une raie de lampe spectrale). On se place dans le vide. Donner l'expression et la valeur de l'écart $\Delta\lambda$ en longueur d'onde correspondant.[a]

a. On a la relation $c = \lambda_0\nu$, d'où $\lambda_0 = \dfrac{c}{\nu}$. En différenciant ceci, on aboutit à $\Delta\lambda = c\,\dfrac{\Delta\nu}{\nu^2}$. Et en remplaçant ν par $\dfrac{c}{\lambda_0}$,

Documents associés au cours

I.1 – Deux théories décrivant les phénomènes lumineux

Un peu de culture générale : deux définitions

- **Théorie :** ensemble de concepts inventés, reliés entre eux par des lois, certaines étant postulées, d'autres déduites de celles postulées.

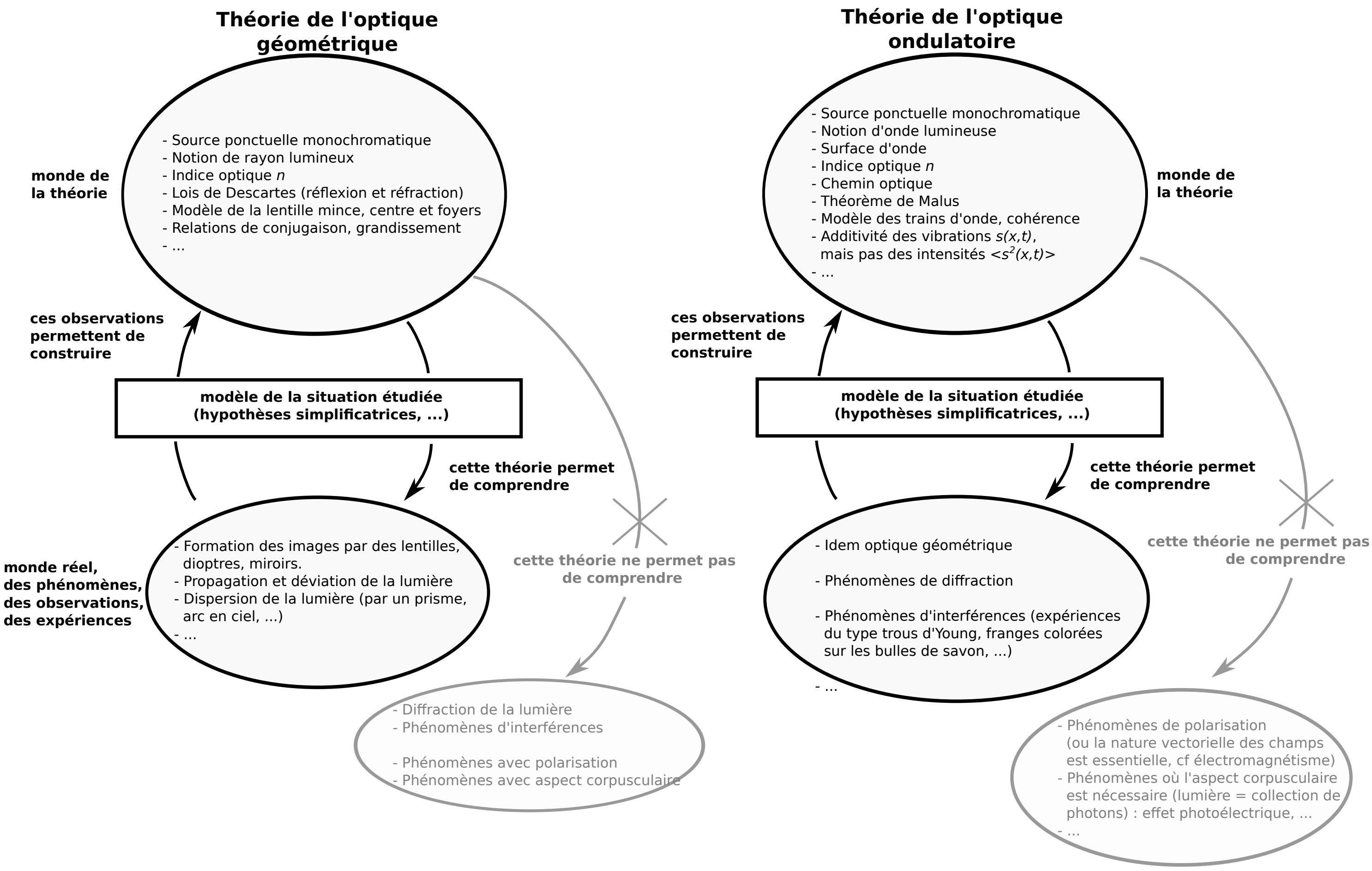
> Exemples que vous avez étudiés : la théorie de la mécanique, la théorie de la thermodynamique, la théorie de l'optique géométrique, la théorie de l'électrocinétique.

Une théorie possède un domaine de validité restreint. Une "bonne" théorie permet, avec des postulats peu nombreux et "raisonnables", d'expliquer une grande classe de phénomènes.

- **Modèle :** traduction d'une situation réelle en des termes physiques (qui appartiennent à une théorie choisie), accompagnée d'une simplification.

> Exemple : on étudie la formation des images par un appareil photographique. On utilise la théorie de l'optique géométrique. Dans ce cadre, un modèle possible est d'assimiler l'objectif à une unique lentille mince (et on peut utiliser les relations de conjugaison et les méthodes de tracé de rayons associées), et de négliger la dispersion (propriétés indépendantes de la longueur d'onde). On arrive alors à prédire un certain nombre de résultats, qui doivent être confirmés par l'expérience (ou infirmés si le modèle était trop simple (lentille épaisse ?) ou la théorie non appropriée (diffraction ?)).

Dans ce chapitre, une ancienne théorie : l'optique géométrique, et une nouvelle : l'optique ondulatoire



---

on obtient $\Delta\lambda = \dfrac{\lambda_0^2 \Delta\nu}{c} = 0.10\,\text{nm}$

Les phénomènes de diffraction et d'interférence ne sont pas décrit pas la théorie de l'optique géométrique :

- On dit qu'il y a **diffraction** lorsque les rayons lumineux ne suivent pas les lois de l'optique géométrique.

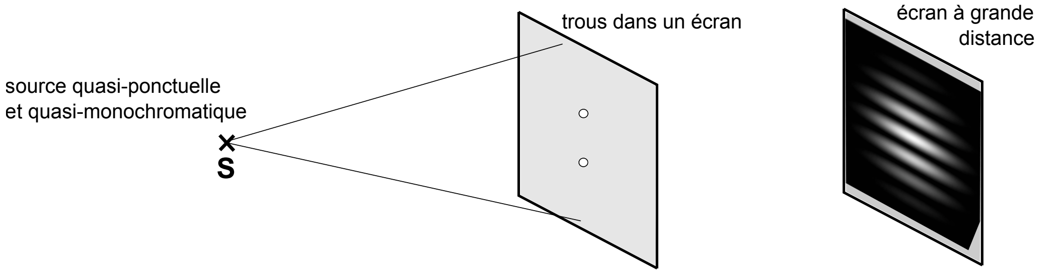
  Ceci se produit dès que la lumière rencontre un obstacle dont la taille L est de l'ordre de la longueur d'onde λ. Il n'y a donc *pas* de diffraction si $L \gg \lambda$.

  > Exemple : Diffraction de la lumière par un cheveu placé dans le trajet d'un faisceau laser.

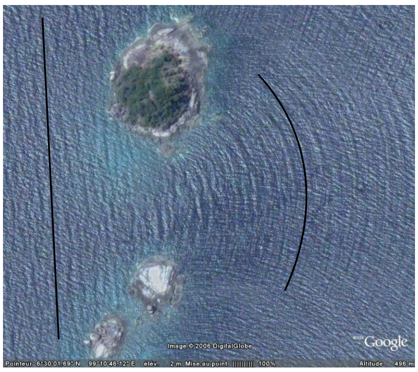
- On dit qu'il y a **interférence** lorsque l'intensité lumineuse en un point n'est pas égale à la somme des intensités produites par les sources en présence.

  On peut alors avoir des zones où "lumière + lumière = absence de lumière".

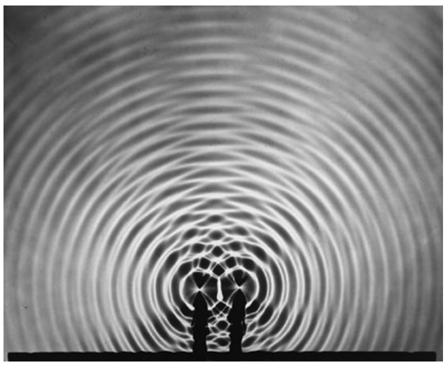
  > Exemple : Expérience des trous d'Young (première expérience d'interférences réalisée en 1810 par Thomas Young). Voir schéma ci-dessous.



⇒ Ces deux phénomènes (diffraction et interférences) sont aussi observés pour des ondes mécaniques, dans l'eau par exemple. Ceci laisse donc penser qu'on pourra comprendre diffraction et interférence si on choisit de décrire la lumière comme une onde. C'est ce que nous allons faire dans cette partie du cours avec la théorie de l'optique ondulatoire.



Diffraction de vagues par une ouverture entre deux ilots. (vue Google map)



Interférences entre deux ondes sphériques produites par deux vibreurs à la surface de l'eau.

Remarque : Il n'est pas nécessaire de préciser la nature de l'onde dans la théorie ondulatoire de la lumière. Il s'agit en fait d'une onde électromagnétique (champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$), et c'est le champ électrique qui est perçu par l'œil et les capteurs usuels, mais nous n'exploiterons pas cette information dans les chapitres d'optique.