

Modèle scalaire des ondes lumineuses

Extrait du programme de TSI1

Dans la partie 1, [...]. L'introduction de la somme de deux sinusoïdes à travers le phénomène d'interférences permet de faire ressortir le rôle essentiel que joue le déphasage entre deux signaux dans le signal résultat obtenu. L'approche de la diffraction est purement descriptive et expérimentale, et envisagée comme une propriété universelle des ondes ; l'objectif est ici d'introduire l'approximation de l'optique géométrique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Propagation d'un signal	
Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.	Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes. Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.
Diffraction à l'infini.	Utiliser la relation $\theta \approx \lambda/d$ entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture. Choisir les conditions expérimentales permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction en optique ou en mécanique.

La partie 2 portant sur l'optique géométrique ne doit pas être enseignée ou évaluée pour elle-même mais avec comme seuls objectifs de servir de point d'appui pour des approches expérimentales en première année et pour l'étude de l'optique physique en deuxième année.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Optique géométrique	
Sources lumineuses. Modèle de la source ponctuelle monochromatique.	Caractériser une source lumineuse par son spectre.
Indice d'un milieu transparent.	Etablir la relation entre la longueur d'onde dans le vide et la longueur d'onde dans le milieu.
Approximation de l'optique géométrique et notion de rayon lumineux.	Définir le modèle de l'optique géométrique et indiquer ses limites.
Réflexion-Réfraction. Lois de Descartes.	Etablir la condition de réflexion totale.
Miroir plan.	Construire l'image d'un objet, identifier sa nature réelle ou virtuelle.
Conditions de Gauss.	Enoncer les conditions permettant un stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.
Lentilles minces.	Enoncer les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence. Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide des rayons lumineux. Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal fournies (Descartes uniquement). Mettre en œuvre expérimentalement à l'aide de deux lentilles un dispositif optique d'utilisation courante.

L'œil.	Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur fixe. Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la place d'accommodation.
L'appareil photographique numérique.	Approche documentaire : en comparant des images produites par un appareil photographique numérique, discuter l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image et le rôle du capteur sur la qualité de cette image.

Extrait du programme de TSI2

Le programme d'optique de seconde année s'inscrit dans le prolongement de la partie « Signaux physiques » du programme de première année. Il s'agit pour les étudiants d'approfondir l'étude des phénomènes d'interférences lumineuses, conséquences de la nature ondulatoire de la lumière.

Si certaines notions ont été abordées au lycée et en classe de première année TSI, le formalisme utilisé constitue une avancée importante dans la modélisation des phénomènes décrits ; l'enseignant veillera particulièrement à privilégier les aspects expérimentaux et à utiliser tous les supports de visualisation (expériences de cours, simulations, animations,...) pour aider les étudiants dans la construction de leurs représentations. L'enseignant ne manquera pas non plus de rappeler que ces phénomènes, étudiés ici dans le cadre de l'optique, sont généralisables à tout comportement ondulatoire.

Les compétences suivantes seront développées dans cette partie du programme :

- maîtriser la notion de phase d'une vibration harmonique et de sa variation au cours d'une propagation ;
- connaître certains ordres de grandeur propres aux phénomènes lumineux dans le domaine du visible (longueur d'onde, durée d'un train d'onde, temps d'intégration d'un capteur) ; faire le lien avec les problèmes de cohérence ;
- maîtriser les outils de l'optique géométrique (rayon de lumière, principe du retour inverse, lois de conjugaison) et de l'optique ondulatoire (chemin optique, surface d'onde, théorème de Malus) afin de conduire un calcul de différence de marche entre deux rayons de lumière dans des situations simples.

La partie **1** introduit les outils nécessaires. L'intensité lumineuse est introduite comme une puissance par unité de surface. Le théorème de Malus (orthogonalité des rayons de lumière et des surfaces d'ondes) est admis.

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Modèle scalaire des ondes lumineuses	
Chemin optique. Déphasage dû à la propagation. Surfaces d'ondes. Théorème de Malus (admis).	Exprimer le retard de phase en un point en fonction de la durée de propagation ou du chemin optique.
Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.	Associer une description de la formation des images en termes de rayon de lumière et en termes de surfaces d'onde. Utiliser la propriété énonçant que le chemin optique séparant deux points conjugués est indépendant du rayon de lumière choisi.
Modèle d'émission. Relation (admise) entre la durée des trains d'ondes et la largeur spectrale.	Citer l'ordre de grandeur du temps de cohérence Δt de quelques sources de lumière. Utiliser la relation $\Delta f \cdot \Delta t \approx 1$ pour lier la durée des trains d'ondes et la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la source.
Détecteurs. Intensité lumineuse. Facteur de contraste.	Exploiter la propriété qu'un capteur optique quadratique fournisse un signal proportionnel à l'énergie lumineuse reçue pendant son temps d'intégration. Citer l'ordre de grandeur du temps d'intégration de quelques capteurs optiques. Mettre en oeuvre une expérience utilisant un capteur CCD.

Formation expérimentale

Nature et méthodes	Capacités exigibles
3. Optique	
Analyser une lumière.	Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et déterminer sa direction de polarisation.
Analyser une figure d'interférence.	Mettre en oeuvre un photodétecteur en sortie d'un interféromètre.

Sommaire

- 1 De l'électromagnétisme à l'optique géométrique**
 - 1.1 Optique géométrique
 - 1.2 Limites de l'optique géométrique
- 2 Propagation d'une vibration scalaire**
 - 2.1 Définition du modèle
 - 2.2 Retard de phase d'une onde plane progressive lumineuse monochromatique
 - 2.3 Chemin optique
 - 2.4 Surface d'onde
- 3 Amplitude scalaire et système optique**
 - 3.1 Onde plane, onde sphérique
 - 3.2 Effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss
- 4 Cohérence d'une source**
 - 4.1 Différents types de sources lumineuses
 - 4.2 Modèle d'émission
- 5 Intensité lumineuse**
 - 5.1 Les détecteurs lumineux
 - 5.2 Intensité lumineuse
 - 5.3 Facteur de contraste

6 Questions de cours

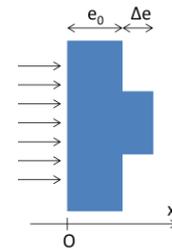
- 1) Qu'appelle-t-on amplitude lumineuse ou amplitude scalaire ? On donnera son expression en un point M et à un instant t en fonction du retard de phase $\varphi(M)$, puis en fonction de la durée de propagation entre la source S et le point M.
- 2) Définir la notion de chemin optique. Comment se simplifie-t-elle dans un milieu d'indice n constant ? Exprimer l'amplitude lumineuse en fonction du chemin optique entre la source S et le point M.
- 3) Définir la notion de surface d'onde. Énoncer le théorème de Malus. Définir la notion de stigmatisme rigoureux et approché. Que peut-on dire du chemin optique entre deux points conjugués ?
- 4) Expliquer le modèle d'émission d'une source. Comment peut-on relier le temps de cohérence Δt et la largeur spectrale d'une source ? Deux formules sont attendues.
- 5) Comment fonctionne un récepteur lumineux ? Définir la notion d'intensité lumineuse (phrase et formule). Définir la notion de contraste.

7 Exercices

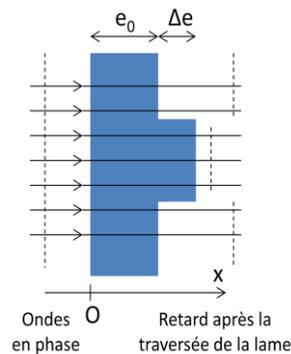
7.1 Surface d'onde après une lame présentant un défaut d'épaisseur

Une onde plane arrive en incidence normale sur une lame présentant un défaut d'épaisseur.

- 1) Donner la forme de la surface d'onde avant et après la lame.
- 2) Quelle est la différence de chemin optique, après la lame à la même abscisse x, entre un rayon ayant traversé le défaut et un autre ne l'ayant pas traversé ? En déduire la différence de phase.



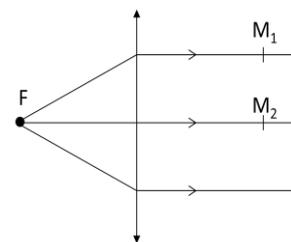
1) Surface d'onde



7.2 Transformation des surfaces d'onde par une lentille convergente

On place une source ponctuelle au foyer objet F d'une lentille convergente.

- 1) Quelle est la forme des surfaces d'onde avant la lentille pour l'onde émise par la source ponctuelle placée en F ?
- 2) Qu'en est-il après la lentille ?
- 3) Que dire des chemins optiques (FM_1) et (FM_2) ?
- 4) Comment est-ce possible, vu les distances respectives parcourues ?



7.3 Calculs de chemins optiques

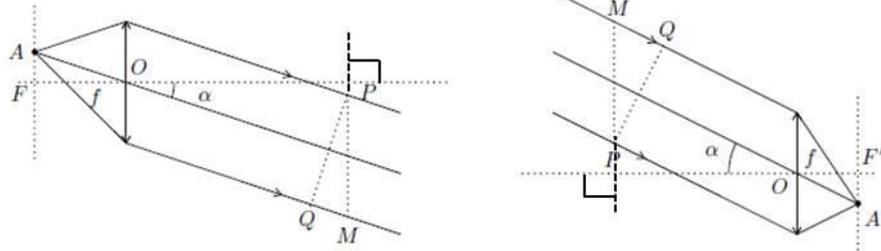
On considère une lentille mince convergente, dans l'air ; 2 cas :

- elle est éclairée par une source ponctuelle placée dans le plan focal objet, hors du foyer ;
- elle reçoit un faisceau de lumière parallèle sous une incidence α

Dans les deux cas, on posera $PM = a$.

Calculer les différences de chemin optique suivantes :

- 1) $(AQ) - (AP)$ 2) $(AM) - (AP)$ 3) $(QA) - (PA)$ 4) $(MA) - (PA)$



7.4 Temps de cohérence et largeur spectrale

- 1) Retrouver simplement le temps de cohérence pour une source de lumière blanche.
- 2) Dédire du temps de cohérence du laser ($\Delta t \approx 10^{-8} s$) son étendue spectrale $\Delta\lambda$.