

Ce document est un modèle pour vous faciliter la reprise et la conception des leçons de physique (LP), et vous permettre d'optimiser la préparation des écrits et des oraux à travers les présentations de LP. Ce document est à adapter en fonction de vos besoins et à faire évoluer. Il vous donne une première base pour synthétiser les informations et orienter efficacement votre travail. Vous devez faire apparaître dans ce document les trois aspects fondamentaux d'une leçon : aspect disciplinaire, aspect didactique, aspect pédagogique. Les conseils et indications de travail sont en *italique*, à suivre en fonction de vos besoins.

## Table des matières

1	Objectifs pédagogiques de la LP	1
2	Objectifs et messages forts de la LP (disciplinaire)	1
3	Prérequis	2
4	Introduction générale de la leçon	2
5	Proposition de plan	2
5.1	Optique de Fourier . . . . .	2
5.2	Diffraction Rayons X. . . . .	2
6	Ouvertures possibles, prolongements et conclusion de la leçon	3
7	Expériences illustratives, simulations numériques et exploitation pédagogique	3
8	Questions posées à l'issue de la présentation	3
8.1	Elèves . . . . .	3
8.2	Examineur. . . . .	3
9	Remarques de l'examineur	4
10	Subtilités de la leçon et points disciplinaires essentiels	4
11	Exercices de base et applications intéressantes pour la leçon	4
12	Bibliographie pour construire la leçon	4
13	Critique des choix pédagogiques de la leçon	4

## 1 Objectifs pédagogiques de la LP

- ▷ Comprendre le principe du filtrage de Fourier.
- ▷ Mettre en oeuvre un montage de filtrage optique (Passe-haut, Passe-bas).
- ▷ Comprendre l'intérêt de la diffraction rayons X en cristallographie.

## 2 Objectifs et messages forts de la LP (disciplinaire)

- ▷ Comprendre que la diffraction appliquée au filtrage possède des applications multiples (détramage, strioscopie, montages Schlieren, Microscope à contraste de phase).
- ▷ Appliquer la transformée de Fourier pour mettre en avant le facteur de structure (et de forme) en rayons X.
- ▷ Comprendre que la transmittance en optique et la densité électronique en RX renseignent sur l'amplitude diffractée.

### 3 Prérequis

- ▷ Transformée de Fourier
- ▷ Notion de Cristallographie (réseau de Bravais, réseau réciproque)
- ▷ Diffraction (régime de Fresnel/ Fraunhofer). Interférences.
- ▷ Principe de Huygens-Fresnel.
- ▷ Optique géométrique.

### 4 Introduction générale de la leçon

Toute onde rencontrant un obstacle sur son chemin diffracte. La diffraction est très commune, on la rencontre dans la vie de tous les jours. C'est un phénomène qui souvent nous gêne (sur la route quand le pare-brise est poussiéreux et le soleil très bas ou bien en optique avec la limitation de la résolution des instruments). Elle peut cependant donner de jolis résultats comme avec la couleur de certaines espèces animales et végétales (bégonia, pollia condensata ou Morpho bleu). On peut même, plus pratiquement, s'en servir pour modifier une image ou déterminer une structure cristalline avec des rayons X.

### 5 Proposition de plan

#### 5.1 Optique de Fourier

##### ► Principe

Approximation de Fraunhofer  $\implies \Psi(M) \propto \text{TF}[t(x, y)]$  Montage envisagé (p.331 phys exp.) et conjugaison expliquée

##### ► Filtrage Passe-bas

Montage de l'expérience d'Abbe.

Schéma de l'image formée et du plan de Fourier au tableau

##### ► Filtrage Passe-haut

Principe et calcul de l'amplitude  $I = I_0 \phi^2$

Montage empreinte de doigt (objet de phase).

**Transition didactique :** Le filtrage permet modifier une image en modifiant les fréquences spatiales qui la composent mais on peut essayer d'illustrer une autre propriété de la diffraction. La figure de diffraction, dans le cas de structure périodiques, donne des informations sur la structure ! Regardons le cas d'une hélice simple (manip rapide). Cette figure en X est celle qui a été obtenue par Rosalind Franklin lors de ses études sur l'ADN ! La différence notable est que la taille de l'ADN est d'environ 2nm, le rayonnement utilisé est différent, il s'agit des Rayons X. Allons voir ce qu'ils peuvent nous dire sur des notions de cristallographie.

#### 5.2 Diffraction Rayons X.

##### ► Réseaux de Bravais (direct/réciproque)

(Slides)

##### ► Condition de Von Laue

schéma plus calcul d'interférences constructives si  $\vec{d} \cdot \vec{q} = 2\pi m$ .

##### ► Facteur de structure

$\Psi \propto \text{TF}[\rho_{\text{cristal}}]$  puis décomposition de la densité électronique et  $I \propto |F(\vec{q})|^2$ .

redécomposition et  $f(\vec{q}) = \sum_{x_j, y_j, z_j} f^j(\vec{q}) e^{-2i\pi(hx_j + ky_j + lz_j)}$  + Condition d'extinction

Application à la détermination du paramètre de maille du Fer (slide avec diffractogramme).

## 6 Ouvertures possibles, prolongements et conclusion de la leçon

- ▷ Cette leçon a permis de mettre en avant 2 possibilités avec la diffraction : modifier une image par filtrage et étudier une structure périodique.
- ▷ Les ondes mécaniques présentent les mêmes propriétés. L'échographie est une application possible de la diffraction (focalisation électronique ou acoustique).

## 7 Expériences illustratives, simulations numériques et exploitation pédagogique

- ▷ Montage de l'expérience de détramage d'Abbe (Physique exp p.331) Montrer le filtrage, en lumière blanche pour avoir une bonne luminosité. Avec LASER pour voir le plan de fourier et les fréquences spatiales.
- ▷ Montage passe-haut (dark field) Avec l'empreinte digitale.
- ▷ Figure de diffraction d'une hélice. Illustrer le montage avec ADN.

## 8 Questions posées à l'issue de la présentation

### 8.1 Elèves

- ▷ Pourquoi utiliser le réseau réciproque ? *Apparait naturellement avec la TF et facilite les calculs*
- ▷ Quelle différence entre optique de Fourier et Rayons X ici ? *La structure est ici périodique*
- ▷ L'application à la maille de Fer n'a pas été menée à terme, tu peux la faire ? *Oui ! → Diapo prévue, application avec Loi de Bragg.*
- ▷ Lien entre condition de Laue et Bragg ? *Les deux traduisent la même chose, la formule des réseaux appliqués aux cristaux*
- ▷ On se place toujours dans l'approximation de Fraunhofer dans toute la leçon ? *Oui, j'ai peut-être pas assez insisté dessus.*

### 8.2 Examineur

- ▷ Dans les pré-requis, où voit-on que la notion de transmittance est connue ? *C'est vrai, ça n'y figure pas, c'est une erreur.*
- ▷ Peut-on uniquement supprimer des choses dans le plan de Fourier ? Peut-on uniquement agir sur l'amplitude des composantes du spectre ? *On peut également agir sur la phase.*
- ▷ Comment s'y prend-on pour agir sur la phase ? *On peut mettre une lame de verre dans le plan de Fourier qui induit un déphasage sans absorber l'onde (objet de phase)*
- ▷ A quoi servirait de déphaser une composante ? *Pour un montage de contraste de Phase (microscope), on peut remplacer le cache opaque par une lame  $\lambda/4$  par exemple pour déphaser l'ordre 0.  $s = s_0(e^{i\phi} - 1) + s_0e^{-i\frac{\pi}{2}} \implies s = -is_0(1 - \phi)$  On obtient une amplitude proportionnelle à la phase et meilleure luminosité.*
- ▷ Quelle approximation pour être dans le régime de Fraunhofer ? *Approximation paraxiale en regardant le nombre de fresnel. Quelles grandeurs à comparer ? Distance D et  $\frac{a^2}{\lambda}$ .*
- ▷ Quel montage pour observer la diffraction de Fraunhofer ? Quel rôle pour les lentilles utilisées ? *Montage  $4f'$  est le plus simple, ici montage plus compact mais qui marche parce que la transmittance de la lentille compense exactement le terme de Fresnel aux foyers.*
- ▷ Autre hypothèse pour être dans le régime ? *Approxiamtion scalaire. Même équation vérifiée par les différentes composantes de E.*
- ▷ Si on polarise l'onde, quelle hypothèse ? *pas trop inclinés les uns par rapoport aux autres, sinon on a du brouillage.*
- ▷ Quelle grandeur observée à l'écran ? *on voit  $I \propto |\Psi|^2$ .*
- ▷ Pourquoi l'observe-t-on pas une infinité de points dans la TF ? *Diffraction dicte la distance entre fréquences dans le plan de Fourier. Quelle est cette distance donc ? On a  $\lambda f'/a$ .*
- ▷ Que se passe-t'il dans le plan de Fourier si on translate l'objet perpendiculairement à l'axe optique ? *Invariant, facteur de phase dans la TF de module 1 quand passé à l'intensité.*
- ▷ Qu'est-ce que le détramage ? une image tramée ? *détramage = filtrage passe-bas pour supprimer la grille (trame) d'une image.*

- ▷ Quel est l'objet en hélice? *filament de néon.*
- ▷ Comment verrait-on le caractère de double hélice sur la figure de diffraction? *extinction de certaines tâches par rapport à la simple hélice.*
- ▷ Quelle hypothèse derrière l'utilisation de transmittance? *Objet fins*
- ▷ Dans ce cas, pourquoi peut-on exploiter l'analogie avec les cristaux? *délicat, je sais pas.*

## 9 Remarques de l'examineur

La partie sur les cristaux est très grosse pour être traitée dans les temps. Les ondes mécaniques pourraient être exploitées et changer de domaine peut être bien vu par le jury.

La partie optique peut être étoffée, le principe du microscope à contraste de phase peut être exploité à plein potentiel pour cette leçon  $\implies$  application la plus importante!

Attention aux pré-requis, il ne faut pas être pris en défaut de ne pas avoir pensé à toutes les notions nécessaires...

Montrer le plan de Fourier aurait été bien, pourquoi pas avoir utilisé un laser? (Luminosité et praticité)

Explique comment l'objet est conjugué au plan de Fourier. Le montage ne doit pas être réglé en direct pour ne pas perdre de temps.

## 10 Subtilités de la leçon et points disciplinaires essentiels

- ▷ Approximation de Fraunhofer à partir du principe de HF. Les calculs à connaître.
- ▷ Analogie transmittance/ densité électronique mérite attention.
- ▷ Formule des réseaux (calcul et raisonnement pour avoir la condition de Laue)
- ▷ Transformée de Fourier des fonctions classiques (Expliquer l'invariance de la TF par translation de l'objet, ou calculer la nouvelle amplitude avec un montage de contraste de phase en direct).

## 11 Exercices de base et applications intéressantes pour la leçon

- ▷ Réseaux (holographie même)

## 12 Bibliographie pour construire la leçon

- ▷ *Introduction to solid state physics*, Kittel
- ▷ *Solid state physics*, Ashcroft & Mermin
- ▷ *Physique expérimentale : Optique, mécanique des fluides, ondes et thermodynamique*, Michel Fruchart, Pierre Lidon, Etienne Thibierge, Maxime Champion, Arnaud Le Diffon.

## 13 Critique des choix pédagogiques de la leçon

ça passait en 40min, les applications sont intéressantes bien que calculatoires. J'ai choisi ces deux là parce qu'elles utilisent les mêmes principes (TF majoritairement) et donc ne nécessitent pas de se placer dans de nouvelles conditions (pas de régime de Fresnel par exemple). je ne voyais pas trop que faire en ondes mécaniques à part en échographie où le principe est pas évident à exploiter pleinement. Le microscope à contraste de phase, bien que très intéressant n'aurait pas permis d'exploiter la RX convenablement.

- BONNE PRÉPARATION -