

# LEÇONS DE PHYSIQUES

## QUELQUES PLANS POUR AVENTURIERS PERDUS

*Nous précisons que ces plans ne sont absolument pas des plans idéaux à réutiliser tels quels le jour des oraux de l'agrégation. En effet, ils constituent principalement une base de réflexion aux personnes préparant l'agrégation en proposant des captures d'écran des programmes ainsi que quelques références bibliographiques. Nous souhaitons bon courage à toutes les personnes courageuses qui tomberont sur ce PDF.*

## **LP38 : Aspects corpusculaires du rayonnement. Notion de photon**

Niveau : L3 – fin de 1<sup>er</sup> cycle universitaire

Prérequis :

- Notions de terminale S sur l'effet photo-électrique
- Électromagnétisme : équations de Maxwell
- Relativité restreinte & dynamique relativiste

Problématique : Photon : quantum de vibration électromagnétique - propriétés de particule

Objectifs :

- Mise en évidence du besoin d'un quantum d'énergie lumineuse - notion de photon
- Étudier les grandeurs caractéristiques de cet objet
- Faire le lien entre elles et des expériences historiques

Introduction : Malgré des études tantôt corpusculaires tantôt ondulatoires (**citer**), la lumière est étudiée fin XIX<sup>ème</sup> sous sa forme ondulatoire. Et ce, grâce à un très solide formalisme de James Maxwell, unifiant théorèmes des champs statiques et expliquant les phénomènes proposés par les expériences (**en citer**).

Plan :

- I. Émergence de la notion de photon - Quantification de l'énergie**
  - Positionnement historique du problème
    - 1.1 Expériences fondamentales
    - 1.2 Introduction du quantum d'action  $h$  par Planck
  - Effet photoélectrique
    - 2.1 Incompatibilité avec le modèle électromagnétique
    - 2.2 Modèle d'Einstein & notion de photon
    - 2.3 Mesure de la constante de Planck
- II. Quantification de la quantité de mouvement**
  - Pression exercée par une onde électromagnétique
  - Considérations relativistes
  - Illustration par l'effet Compton
    - 3.1 Échec du modèle électromagnétique
    - 3.2 Effet Compton
    - 3.3 Interprétation théorique
    - 3.4 Tracé de  $\Delta\lambda = f(\text{angle})$  et applications numériques pour X
- III. Application : refroidissement d'un milieu atomique par LASER (Nobel 1997)**
  - Nécessité expérimentale du problème
  - Position du problème
  - Pression de radiation résonante

Conclusion : évoquer spin, introduction à l'optique quantique

Appels du pied / questions potentielles :

- Effet Doppler → cf Monteil ?

Références :

- [1] : Leçons d'optique et de mécanique quantique, B.LATOURE, Ellipses
- [2] : 51 leçons de l'agrégation externe de sciences physiques, T.MEYER, Ellipses
- [3] : Relativité restreinte Bases et applications, C.SEMAY, Dunod
- [4] : Introduction à la relativité restreinte, J.HLADIK, Dunod
- [5] : Le refroidissement des atomes, Claude Cohen-Tannoudji (PDF)

## Interféromètre de Michelson. Expérience de Michelson-Morley

/!\ à bien parler de l'expérience (jury 2021)

Niveau : CPGE - MP

Prérequis : - Optique ondulatoire scalaire

- Interférences dans les Young
- Interférences dans un plan perpendiculaire aux sources

Éléments programme : - Mesure d'angles et de longueurs avec Michelson

- Obtenir une estimation de la longueur de cohérence d'une radiation et de l'écart  $\Delta\lambda$  d'un doublet spectral à l'aide d'un interféromètre de Michelson en lame d'air.
- Régler le Michelson en lame d'air

Introduction : Présenter historiquement l'expérience de Michelson-Morley et son but

On a vu les fentes d'Young et ses limites (source étendue spatiale ou temporelle)

### I. Interféromètre de Michelson

1. Rappels de l'expression de l'intensité lors d'interférences à deux sources <sup>[1]</sup>
2. Schéma de principe du Michelson <sup>[1]</sup>
3. Détermination du déphasage <sup>[1]</sup>
4. Figure d'interférences, ordre d'interférence, rayon des anneaux brillants <sup>[1]</sup>
5. Application(s) : Écart du doublet du sodium (je pense que faut pas le faire) <sup>[2]</sup>

### II. Expérience de Michelson-Morley

1. Schéma de principe, position du problème <sup>[3]</sup>
2. Composition des vitesses, résultats attendus <sup>[3,4]</sup>
3. Résultats expérimentaux (courant d'éther indétectable) et interprétations

*VM : Mesurer mvt Terre prà éther avec idée composition des vitesses type loi galiléenne. Ils s'attendaient à des variations de vitesse faibles d'où utilisation d'un dispositif interférométrique. Un bras dans le sens du mvt de la terre et donc l'autre est perpendiculaire. Bilan : ils n'ont rien vu. Cheh. Donc soit la composition galiléenne ne marche, soit y'a pas de mvt de la terre prà l'éther (donc éther n'existe pas). L'analogie avec la nage est bien.*

Bibliographie : [1] Cours L3 (cf p.3)

[2] Expériences d'optique, agrégation de sciences physiques, Bréal. (vert)

[3] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Exp%C3%A9rience\\_de\\_Michelson\\_et\\_Morley](https://fr.wikipedia.org/wiki/Exp%C3%A9rience_de_Michelson_et_Morley)

[4] <https://www.youtube.com/watch?v=JzKdQSPq3tk> (cool ☺)

Éléments à évoquer/creuser : - Cohérence

- Michelson source étendue
- Anneaux de Newton

L'interférométrie par division du front d'onde présente de nombreux avantages, mais aussi quelques inconvénients. En effet, cette technique nécessite une source peu étendue et donne donc des spectres peu lumineux. L'interférométrie à division d'amplitude se propose d'améliorer cela en apportant des spectres bien plus lumineux.

*Division amplitude : un rayon se divise en 2*

*Division front d'onde : division en 2 sous-sources qui émettent fronts d'onde différents*

## Programmes

### MP

<b>- Mesures de longueur et d'angles</b>	Mesurer le déplacement du miroir mobile d'un interféromètre de <b>Michelson</b> .
--	---

<b>- Optique</b>	
Analyser une lumière.	Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et repérer sa direction de polarisation.
Analyser une figure d'interférence.	Mettre en œuvre un photodétecteur en sortie d'un interféromètre.
Étudier la cohérence temporelle d'une source.	Régler un interféromètre de <b>Michelson</b> pour une observation en lame d'air avec une source étendue à

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

7

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

	l'aide d'un protocole proposé. Obtenir une estimation de la longueur de cohérence d'une radiation et de l'écart $\Delta\lambda$ d'un doublet spectral à l'aide d'un interféromètre de Michelson en lame d'air.
--	---

<b>3.4. Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson éclairé par une source spatialement étendue</b>	
Interféromètre de <b>Michelson</b> éclairé par une source spatialement étendue. Localisation (constatée) des franges.	Connaître les conditions d'éclairage et d'observation en lame d'air et en coin d'air.
Lame d'air : franges d'égale inclinaison.	<b>Régler un interféromètre de Michelson pour une observation en lame d'air avec une source étendue à l'aide d'un protocole proposé.</b>  Établir et utiliser l'expression de l'ordre d'interférences en fonction de la longueur d'onde, de l'épaisseur de la lame d'air équivalente et de l'angle d'incidence des rayons.
Étude expérimentale en coin d'air : franges d'égale épaisseur.	<b>Mettre en œuvre un protocole pour accéder au profil spectral d'une raie ou d'un doublet à l'aide d'un interféromètre de Michelson.</b>  Utiliser l'expression (admise) de la différence de marche en fonction de l'épaisseur pour exprimer l'ordre d'interférences.  <b>Analyser un objet (miroir déformé, lame de phase introduite sur un des trajets, etc.) à l'aide d'un interféromètre de Michelson.</b>  Interpréter qualitativement les observations en lumière blanche.

### Expression générale de l'intensité $\mathcal{I}(M)$

Les champs se superposent en M:  $E_{(M,t)} = E_{1(M,t)} + E_{2(M,t)}$

$$= \frac{A_1}{\sqrt{M}} e^{j(\omega t - k_1 M)} + \frac{A_2}{\sqrt{M}} e^{j(\omega t - k_2 M + \phi)}$$

L'observa<sup>n</sup> des interférences se fait dans un petit volume  $dV$  autour de  $M_0$  de dimensions très faibles par rapport à  $S_1 M_0$  et  $S_2 M_0$ .  $M \ll d \Rightarrow \frac{A_1}{\sqrt{M}} \sim \frac{A_2}{\sqrt{M}} = E_1$  et  $\frac{A_2}{\sqrt{M}} \sim \frac{A_1}{\sqrt{M}} = E_2$

d'où:  $E_{(M,t)} = E_1 e^{j(\omega t - k_1 M)} + E_2 e^{j(\omega t - k_2 M + \phi)}$

$$= e^{j\omega t} [E_1 e^{-jk_1 M} + E_2 e^{-j(k_2 M + \phi)}]$$

$\mathcal{I}(M,t) = E_{(M,t)} \cdot E_{(M,t)}^*$

$$= e^{j\omega t} [E_1 e^{-jk_1 M} + E_2 e^{-j(k_2 M + \phi)}] e^{-j\omega t} [E_1 e^{jk_1 M} + E_2 e^{j(k_2 M + \phi)}]$$

$$= E_1^2 + E_2^2 + E_1 E_2 [e^{-j(k_1 M - k_2 M - \phi)} + e^{j(k_1 M - k_2 M - \phi)}]$$

$$= E_1^2 + E_2^2 + E_1 E_2 [e^{j(k_2 M - k_1 M - \phi)} + e^{-j(k_2 M - k_1 M - \phi)}]$$

$2 \cos(k_2 M - k_1 M - \phi) \text{ Euler}$

Posons  $E_1^2 = \mathcal{I}_1$ ,  $E_2^2 = \mathcal{I}_2$

On a également  $k_2 M - k_1 M = \frac{2\pi}{\lambda_0} [S_2 M - S_1 M] = \Delta\phi(M) = \frac{2\pi}{\lambda_0} d \sin \alpha$

d'où:  $\mathcal{I}(M) = \mathcal{I}_1 + \mathcal{I}_2 + 2\sqrt{\mathcal{I}_1 \mathcal{I}_2} \cos(\Delta\phi(M) - \phi)$

### Michelson: franges d'égalité d'inclinaison

Montage:

→ cames concaviques:  
- à l'air  
- PFI d'une LCV

DDM:  $\mathcal{S}(M) = [\mathcal{I}E] + [\mathcal{I}K] - [\mathcal{I}N]$  or  $\mathcal{I} = \mathcal{I}K$

$$= 2\mathcal{I}E - \mathcal{I}N$$

$\mathcal{I}E = \mathcal{I} \cos^2 \frac{\alpha}{2}$   
 $\Rightarrow \mathcal{I}E = \frac{\mathcal{I}}{\cos \alpha}$

$\mathcal{I}N = \mathcal{I} \sin^2 \frac{\alpha}{2} \Rightarrow \mathcal{I}N = \mathcal{I} \cos^2 \frac{\alpha}{2}$   
 $\Rightarrow \mathcal{I}N = \mathcal{I} \frac{1 - \cos \alpha}{2}$

$\Rightarrow \mathcal{S}(M) = \frac{2\mathcal{I}}{\cos \alpha} - \mathcal{I} \frac{1 - \cos \alpha}{2}$

$$= \frac{2\mathcal{I}}{\cos \alpha} (1 - \frac{1 - \cos \alpha}{2})$$

$\Rightarrow \mathcal{S}(M) = 2\mathcal{I} \cos \frac{\alpha}{2}$

$\Rightarrow \Delta\phi(M) = \frac{4\pi}{\lambda_0} d \cos \frac{\alpha}{2}$

$\mathcal{I} = \mathcal{I}_1 + \mathcal{I}_2 + 2\sqrt{\mathcal{I}_1 \mathcal{I}_2} \cos(\Delta\phi - \phi) = 2\mathcal{I}_2 (1 + \cos \Delta\phi)$

$\cos \Delta\phi = 1 \Rightarrow \Delta\phi = 0$   
 $\cos \Delta\phi = -1 \Rightarrow \Delta\phi = \lambda_0$

### Rayon des anneaux brillants:

$$r(M) = \frac{\lambda_0}{2} \cos \alpha + \frac{\lambda_0}{2} = \frac{\lambda_0}{2} (1 + \cos \alpha)$$

en O:  $p(0) = p_0 = \frac{\lambda_0}{2} + \frac{\lambda_0}{2} = \lambda_0$ ,  $\alpha = 0 \Rightarrow r = 0$

$p_1 > p_0 \Rightarrow \cos \alpha < 1 \Rightarrow \alpha > 0 \Rightarrow \Delta\phi > 0 \Rightarrow p_1$

•  $p_1 = p_0 - \lambda_0$  avec  $E \in ]0, \lambda_0[$ : excédent fractionnaire de centre

$p_2 = p_1 - \lambda_0 = p_0 - 2\lambda_0$

$p_3 = p_2 - \lambda_0 = p_0 - 3\lambda_0$

$p_q = p_0 - q \cdot \lambda_0 + \lambda_0$  or  $p_q = \frac{\lambda_0}{2} \cos \alpha + \frac{\lambda_0}{2}$

→ approxima<sup>n</sup> de petits angles:  $\cos \alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}$  (cos<sup>2</sup> de Gauss)

d'où:  $p_0 - q \cdot \lambda_0 + \lambda_0 = \frac{\lambda_0}{2} (1 - \frac{\alpha^2}{2}) + \frac{\lambda_0}{2}$  et  $p_q = \frac{\lambda_0}{2} + \frac{\lambda_0}{2}$

$$\frac{\lambda_0}{2} + \frac{\lambda_0}{2} - q \cdot \lambda_0 + \lambda_0 = \frac{\lambda_0}{2} - \frac{\lambda_0}{2} \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\lambda_0}{2}$$

d'où:  $\frac{\lambda_0}{2} - q \cdot \lambda_0 = -\frac{\lambda_0}{4} \alpha^2$

$\Rightarrow r_q = \sqrt{\frac{\lambda_0}{4} (q \cdot 4 - 1)}$

•  $\sin \alpha \approx m \lambda_0$  (cos<sup>2</sup> de Gauss:  $\sin^2 \alpha \approx 1 - \cos^2 \alpha$ )  $\alpha \approx m \cdot \lambda_0$

$\Rightarrow r_q = m \sqrt{\frac{\lambda_0}{4} (q \cdot 4 - 1)}$

$\Rightarrow r_q = \sqrt{\frac{m \lambda_0}{2} (q \cdot 4 - 1)}$  en rad

→ rayon angulaire de q<sup>ème</sup> anneau brillant

•  $p_q = f \tan \alpha \approx f \alpha$

$\Rightarrow p_q = f \sqrt{\frac{m \lambda_0}{2} (q \cdot 4 - 1)}$  → rayon linéaire des anneaux brillants.

### Michelson Hartley

Diagram:

Si:  $\lambda_0 = m \cdot \lambda_0 / \lambda_0$

$t_1 = \frac{m \lambda_0}{c \cdot v} + \frac{\lambda_0}{c \cdot v} = \frac{D(c \cdot v - D c \cdot v)}{c^2 \cdot v^2}$

$t_2 = \frac{D \cdot D}{A c^2 \cdot v^2} \approx \frac{D \cdot D}{c^2} (1 + \frac{v^2}{c^2})$

Path:  $\Delta t = D \frac{v^2}{c^3}$

DDM:  $\Delta \delta = c \cdot \Delta t = D \frac{v^2}{c^2}$

$\Delta \phi = \frac{c \cdot \Delta t}{\lambda_0}$

$\Delta \phi = \frac{D}{\lambda_0} \frac{v^2}{c}$

(N)  $D = 10 \text{ m}$ ,  $\lambda_0 = 300 \text{ nm}$ ,  $v = 30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

$\Delta \phi = 10^{-4} \approx 0.2$  franges

↳ parfait observable

Bilan:  $\mathcal{I}$  en tournant l'appareil → rien

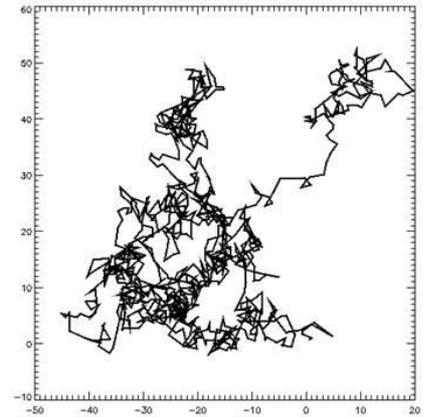
→ abandon idée d'aller

## MOUVEMENT BROWNIEN

Niveau : PC

Prérequis : - Thermo des gaz  
-

Objectif : - comportement thermodynamique des gaz  
- phénomène de diffusion  
- mathématiques financières



Éléments programme : - pas grand-chose....

- Mettre en place un modèle probabiliste 1D de la diffusion (marche au hasard)  
-

Introduction : Thermo → énergie from température

→ Particules bombardées par celles du fluide → mouvement

→ Comment chocs aléatoires conduisent à un mouvement organisé (diffusion)

### **I. Aspects historiques et position du problème**

1. Description du processus stochastique
2. Marche au hasard

### **II. Mouvement brownien et grandeurs associées**

1. Vitesse quadratique
2. Section efficace de collision
3. Libre parcours moyen
4. Lien entre micro et macroscopique (approche de Langevin) – coeff de diffusion

Matos manip : - Brown : botaniste (pollen)

Bibliographie : - mon cours de L3

- [Lien 1](#)  
-

## Programmes

PC

Approche microscopique du phénomène de diffusion.	Mettre en place un modèle probabiliste discret à une dimension de la diffusion (marche au <b>hasard</b> ) et évaluer le coefficient de diffusion associé en fonction du libre parcours moyen et de la vitesse quadratique moyenne.
---	--

## Modèle du fluide parfait - applications

*Rapport du jury 2015* : Le jury invite les candidats à réfléchir davantage à l'interprétation de la portance et de l'effet Magnus. Les exemples cités doivent être correctement traités, une présentation superficielle de ceux-ci n'étant pas satisfaisante.

*Rapport du jury 2016* : Les limites de ce modèle sont souvent méconnues.

*Rapport du jury 2017* : La multiplication des expériences illustrant le théorème de Bernoulli n'est pas souhaitable, surtout si celles-ci ne sont pas correctement explicitées.

Définition : Parfait = néglige diffusion (viscosité et conduction thermique)  
→ Mouvement adiabatique décrit par les équations d'Euler

Niveau : PC

Prérequis : Statique des fluides (PCSI), opérateurs mathématiques (PC)

Introduction :

### **I. Construction du modèle du fluide parfait**

1. Écoulement (caracs) et notion d'écoulement parfait (pas de phénomènes de diffusion)
2. Dérivée particulaire (rapidement, pas de démo)
3. Équation d'Euler (P.F.D + dérivée particulaire)
4. Premières limites du modèle

### **II. Propriétés d'un fluide parfait**

1. Théorème de Bernoulli (démo from Euler [Plan 2])
2. Interprétation énergétique [Plan 2]

### **III. Applications**

1. Mesure de la vitesse d'un avion : Tube de Pitot (crash Rio-Paris (gel))
2. Effet Magnus : coup-franc de Roberto Carlos ?
3. Effet Venturi
4. Effet Coanda (application aéronautique)
5. Tube de Torricelli

Bleu : choisir

Matos manip : - Tube de Pitot + sèche-cheveux : mesurer la vitesse d'un écoulement

Bibliographie : - [Plan 1](#)

- [Plan 2](#)

- [Vidéo YT - effet Coanda](#)

- [Cours - fluide parfait](#) (PDF)

- [Effet Magnus](#) (wiki) → force tangentielle subie par objet en rotation se déplaçant dans un fluide (lift, enroulé), surpression

- Choper des bons bouquins et ça devrait le faire

Note : Bien relire les parties thermo aussi pour les avoir en tête

## Programmes

### PCSI (pré-requis)

Cette partie, intitulée **3.6. « Statique des fluides dans un référentiel galiléen »**, est conçue pour introduire sur le support concret de la statique des fluides le principe du découpage d'un domaine physique (volume, surface) en éléments infinitésimaux et de la sommation d'une grandeur extensive (force) pour ce découpage.

Un des objectifs est de montrer dans cette partie l'intérêt d'un formalisme spécifique – utilisation de l'opérateur gradient – pour passer à une formulation universelle d'une loi de la physique.

La statique des fluides permet également d'introduire le facteur de Boltzmann dont on affirme la généralité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>3.6. Statique des fluides dans un référentiel galiléen</b>	
Forces surfaciques, forces volumiques.	Citer des exemples de forces surfaciques ou volumiques.
Résultante de forces de pression.	Exprimer une surface élémentaire dans un système de coordonnées adaptées. Utiliser les symétries pour déterminer la direction d'une résultante de forces de pression. Évaluer une résultante de forces de pression.
Équivalent volumique des forces de pression.	Exprimer l'équivalent volumique des forces de pression à l'aide d'un gradient.
Équation locale de la statique des fluides.  Statique dans le champ de pesanteur uniforme : relation $dP/dz = -\rho g$ .	Établir l'équation locale de la statique des fluides.  Citer des ordres de grandeur des champs de pression dans le cas de l'océan et de l'atmosphère. Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans le cas d'un fluide incompressible et homogène et dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait.  <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, étudier les variations de température et de pression dans l'atmosphère.
Poussée d'Archimède.	Expliquer l'origine de la poussée d'Archimède. Exploiter la loi d'Archimède.
Facteur de Boltzmann.	S'appuyer sur la loi d'évolution de la densité moléculaire de l'air dans le cas de l'atmosphère isotherme pour illustrer la signification du facteur de Boltzmann. Utiliser $kT$ comme référence des énergies mises en jeu à l'échelle microscopique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2.1 Description d'un fluide en mouvement</b>	
Champ eulérien des vitesses. Lignes de champ. Tubes de champ.	Définir et utiliser l'approche eulérienne.
Écoulement stationnaire.	Savoir que le caractère stationnaire dépend du référentiel.
Dérivée particulaire de la masse volumique. Écoulement incompressible.	Établir l'expression de la dérivée particulaire de la masse volumique. Utiliser son expression pour caractériser un écoulement incompressible. Savoir que le caractère incompressible ne dépend pas du référentiel.
Équation locale de conservation de la masse.	Établir cette équation dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence et son expression fournie.
Caractérisation d'un écoulement incompressible par la divergence du champ des vitesses.	Utiliser $\text{div } \mathbf{v} = 0$ pour un écoulement incompressible.
Dérivée particulaire du vecteur-vitesse : terme local ; terme convectif.	Associer $d\mathbf{v}/dt$ à l'accélération de la particule de fluide qui passe en un point. Connaître et utiliser l'expression de l'accélération avec le terme convectif sous la forme $(\mathbf{v} \cdot \text{grad}) \mathbf{v}$ . Utiliser l'expression fournie de l'accélération convective en fonction de $\text{grad} (v^2/2)$ et $\text{rot } \mathbf{v} \times \mathbf{v}$ .
Vecteur tourbillon.	Illustrer sur des exemples simples la signification qualitative du vecteur tourbillon.
Écoulement irrotationnel défini par la nullité du rotationnel du champ des vitesses en tout point ; potentiel des vitesses.	Utiliser $\text{rot } \mathbf{v} = \mathbf{0}$ pour un écoulement irrotationnel et en déduire l'existence d'un potentiel des vitesses. Savoir que le caractère irrotationnel dépend du référentiel.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2.2 Actions de contact dans un fluide en mouvement</b>	
Forces de pression. Équivalent volumique.	Utiliser les relations $d\mathbf{F} = -p d\mathbf{S}$ et $d\mathbf{F} = -\text{grad} p d\tau$
Contraintes tangentielles dans un écoulement $\mathbf{v} = v_x(y) \mathbf{u}_x$ au sein d'un fluide newtonien ; viscosité.	Utiliser l'expression fournie $d\mathbf{F} = \eta \partial v_x / \partial y d\mathbf{S}_x$
Équivalent volumique des forces de viscosité dans un écoulement incompressible.	Établir sur cet exemple l'expression $d\mathbf{F} = \eta \Delta \mathbf{v} d\tau$ . Utiliser sa généralisation admise pour un écoulement incompressible quelconque.

<b>Coefficient de tension superficielle.</b>	<b>Mesurer un coefficient de tension superficielle.</b> <b>Utiliser l'expression de l'énergie de tension superficielle pour interpréter un protocole expérimental.</b>
Trainée d'une sphère solide en mouvement rectiligne uniforme dans un fluide newtonien : nombre de Reynolds ; coefficient de trainée $C_x$ ; graphe de $C_x$ en fonction du nombre de Reynolds ; notion d'écoulement laminaire et d'écoulement turbulent.	Évaluer un nombre de Reynolds pour choisir un modèle de trainée linéaire ou un modèle de trainée quadratique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2.3 Équations dynamiques locales</b>	
Équation de Navier-Stokes dans un fluide newtonien en écoulement incompressible. Terme convectif. Terme diffusif. Nombre de Reynolds dans le cas d'une unique échelle spatiale.	Utiliser cette équation. Évaluer en ordre de grandeur le rapport du terme convectif sur le terme diffusif et le relier au nombre de Reynolds dans le cas d'une unique échelle spatiale.
Notion d'écoulement <b>parfait</b> et de couche limite.	Exploiter l'absence de forces de viscosité et le caractère isentropique de l'évolution des particules de fluide. Utiliser la condition aux limites sur la composante normale du champ des vitesses.
Équation d'Euler.	Utiliser cette équation.
Relation de Bernoulli pour un écoulement <b>parfait</b> , stationnaire, incompressible et homogène dans le champ de pesanteur uniforme dans un référentiel galiléen.	Justifier et utiliser cette relation. Interpréter d'éventuels écarts observés en vérifiant les conditions de validité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2.4 Bilans macroscopiques</b>	
Bilans de masse.	Établir un bilan de masse en raisonnant sur un système ouvert et fixe ou sur un système fermé et mobile. Utiliser un bilan de masse.
Bilans de quantité de mouvement ou d'énergie cinétique pour un écoulement stationnaire unidimensionnel à une entrée et une sortie.	Associer un système fermé à un système ouvert pour faire un bilan. Utiliser la loi de la quantité de mouvement et la loi de l'énergie cinétique pour exploiter un bilan. Exploiter la nullité (admise) de la puissance des forces intérieures dans un écoulement <b>parfait</b> et incompressible.

## Phénomènes de diffraction. Utilisations

Niveau : PC

Note : - parler de la diffraction d'électrons & application en nanosciences (RHEED, LEED)

Prérequis : - Diffraction terminale (phénomène, angle...)

- PCSI : phénomènes d'interférences à 2 ondes (formule de Fresnel, Trous d'Young, différence de marche...)

Éléments programme : - Réseau 1D de pas supérieur à la longueur d'onde

- Fente rectiligne de coefficient de transmission uniforme
- Filtrage de fréquences spatiales dans le plan de Fourier
- Faisceau gaussien de LASER en sortie de la fente de la cavité

Introduction :

### **I. Diffraction de Fraunhofer d'une fente rectangulaire**

1. Principe de Huygens-Fresnel – expression mathématique [4]
2. Diffraction à l'infini
3. Facteur de transmission d'une fente rectangulaire
4. Figure de diffraction obtenue

### **II. Utilisation et applications**

1. Résolution d'un instrument optique <sup>[1,3,4]</sup>
2. Filtrage optique et strioscopie <sup>[1,2,3]</sup> (+ microscopie à contraste de phase <sup>[5]</sup>)

Matos manip : -

-

Bibliographie : [1] 51 leçons

- [2] [Strioscopie - vidéo Harvard](#)
- [3] Cours d'Antoine d'optique de Fourier
- [4] [Wiki - théorie de la diffraction](#)
- [5] [Petit cours en PDF](#)
- [6] [Animation - diffraction](#)
- [7] [Diffraction des électrons](#)
- [8] [RHEED-LEED-CEA](#)
- [9] [Diffraction d'électrons rapides](#)
- [10] [Thèse Hussein MEHDI](#) (photos LEED)

+ peut-être cours de Romain de L3

## Programmes

### Terminale générale

<b>Notions et contenus</b>	<b>Capacités exigibles</b> <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Intensité sonore, intensité sonore de référence, niveau d'intensité sonore. Atténuation (en dB).	Exploiter l'expression donnant le niveau d'intensité sonore d'un signal. <i>Illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption.</i> <b>Capacité mathématique</b> : Utiliser la fonction logarithme décimal et sa fonction réciproque.
<b>Diffraction</b> d'une onde par une ouverture : conditions d'observation et caractéristiques. Angle caractéristique de <b>diffraction</b> .	Caractériser le phénomène de <b>diffraction</b> dans des situations variées et en citer des conséquences concrètes. Exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de <b>diffraction</b> en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'ouverture. <i>Illustrer et caractériser qualitativement le phénomène de <b>diffraction</b> dans des situations variées.</i> <i>Exploiter la relation donnant l'angle caractéristique de <b>diffraction</b> dans le cas d'une onde lumineuse diffractée par une fente rectangulaire en utilisant éventuellement un logiciel de traitement d'image.</i>
Interférences de deux ondes, conditions d'observation. Interférences constructives, Interférences destructives.	Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes. Établir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène. <i>Tester les conditions d'interférences constructives ou destructives à la surface de l'eau dans le cas de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase.</i>
Interférences de deux ondes lumineuses, différence de chemin optique, conditions d'interférences constructives ou destructives.	Prévoir les lieux d'interférences constructives et les lieux d'interférences destructives dans le cas des trous d'Young, l'expression linéarisée de la différence de chemin optique étant donnée. Établir l'expression de l'interfrange. <i>Exploiter l'expression donnée de l'interfrange dans le cas</i>

## PCSI

Dans la partie 1.6. consacrée à la « **Propagation d'un signal** », il est recommandé de s'appuyer sur une approche expérimentale ou sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation de **signaux** qui se propagent et la traduction mathématique de cette propagation, sans qu'aucune référence ne soit faite à une équation d'onde. L'étude de la somme de deux **signaux** sinusoïdaux de même fréquence et du phénomène d'interférences associé permet de mettre en évidence le rôle essentiel joué par le déphasage entre les deux **signaux** dans le signal résultant. L'étude des interférences lumineuses est l'occasion d'introduire la notion de différence de chemin optique et de la relier au déphasage. Les ondes stationnaires permettent d'illustrer le rôle des conditions aux limites dans l'apparition de modes propres.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.6. Propagation d'un signal</b>	
Exemples de <b>signaux</b> . Signal sinusoïdal.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des <b>signaux</b> acoustiques, électriques, électromagnétiques.
Approche qualitative de la superposition de deux <b>signaux</b> sinusoïdaux de fréquences voisines. Battements.	<b>Déterminer une différence de fréquences à partir d'enregistrements de battements ou d'observation sensorielle directe.</b>
<b>Propagation d'un signal dans un milieu illimité, non dispersif et transparent</b> Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle non dispersive. Célérité, retard temporel.  Modèle de l'onde progressive sinusoïdale unidimensionnelle. Vitesse de phase, déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	Écrire les <b>signaux</b> sous la forme $f(x-ct)$ ou $g(x+ct)$ . Écrire les <b>signaux</b> sous la forme $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$ . Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée et l'évolution spatiale à différents instants.  Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustique, mécanique et électromagnétique. Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de phase. Relier le déphasage entre les <b>signaux</b> perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation.  <b>Mesurer la vitesse de phase, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.</b>
Milieux dispersifs ou non dispersifs.	Définir un milieu dispersif.
	Citer des exemples de situations de propagation dispersive et non dispersive.
<b>Phénomène d'interférences</b> Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.	Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives. Déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction du déphasage.  <b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser et caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes.</b>
Interférences entre deux ondes lumineuses de même fréquence. Exemple du dispositif des trous d'Young éclairé par une source monochromatique. Différence de chemin optique. Conditions d'interférences constructives ou destructives. Formule de Fresnel.	Relier le déphasage entre les deux ondes à la différence de chemin optique. Établir l'expression littérale de la différence de chemin optique entre les deux ondes. Exploiter la formule de Fresnel fournie pour décrire la répartition d'intensité lumineuse.  <b>Mettre en œuvre le dispositif expérimental des trous d'Young avec une acquisition numérique d'image.</b>
<b>Ondes stationnaires mécaniques</b> Modes propres.	Caractériser une onde stationnaire par l'existence de nœuds et de ventres. Exprimer les fréquences des modes propres connaissant la célérité et la longueur de la corde. Utiliser la propriété énonçant qu'une vibration quelconque d'une corde accrochée entre deux extrémités fixes se décompose en modes propres. Relier les notions sur les ondes stationnaires avec celles utilisées en musique.  <b>Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.</b>  <b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'analyser le spectre du signal acoustique produit par une corde vibrante.</b>

## PC

+ modèle scalaire de l'OEM, interférences (cf programme, flemme de tout screen)

Le bloc 5 est essentiellement expérimental.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>5. Approche expérimentale : onde transmise par un objet diffractant plan éclairé par une onde plane sous incidence normale.</b>	
Réseau unidimensionnel d'extension infinie de coefficient de transmission $t(x)$ sinusoïdal et de pas supérieur à la longueur d'onde. Plan de Fourier.	Construire l'onde transmise par superposition de trois ondes planes définies par la condition aux limites sur le réseau. Interpréter les observations dans le plan de Fourier.
Mire unidimensionnelle d'extension latérale infinie de $N$ traits parallèles équidistants. Fréquence spatiale.	Relier une fréquence spatiale du spectre de la mire à la position d'un point du plan de Fourier. Relier l'amplitude de l'onde en ce point à la composante du spectre de Fourier correspondant. Interpréter les observations dans le plan de Fourier.
Fente rectiligne de coefficient de transmission uniforme.	Relier une fréquence spatiale du spectre de la fente à la position d'un point du plan de Fourier. Relier l'amplitude de l'onde en ce point à la composante du spectre de Fourier correspondant. Interpréter les observations dans le plan de Fourier.
	Faire le lien avec la relation $\sin \theta = \lambda/a$ vue en première année.
Filtrage optique	Utiliser l'analyse de Fourier pour interpréter les effets d'un filtrage de fréquences spatiales dans le plan de Fourier.

<b>4.3. Propriétés optiques d'un faisceau spatialement limité</b>	
<b>Approche descriptive :</b>	
Rôle de la diffraction dans l'ouverture angulaire du faisceau à grande distance.	Relier l'ouverture angulaire $\lambda/a$ et le rayon minimal $a$ .
Description simplifiée d'un faisceau de profil gaussien : longueur de Rayleigh $L_R$ .	Utiliser l'expression fournie du profil radial d'intensité en fonction de la distance axiale. Construire l'allure d'un faisceau de profil gaussien à partir de l'enveloppe d'un faisceau cylindrique de rayon $a$ et d'un faisceau conique centré sur l'orifice de sortie du laser, et de demi-ouverture angulaire $\lambda/a$ .
Utilisation d'une lentille pour transformer un faisceau cylindrique en faisceau conique et réciproquement	Exploiter la convergence angulaire du faisceau issue de l'optique géométrique, la loi du retour inverse, et le lien entre l'ouverture angulaire $\lambda/a$ et le rayon minimal $a$ pour obtenir la dimension et la position de la section minimale. Montrer que le rayon minimal est de l'ordre de $\lambda$ . Utiliser un élargisseur de faisceau pour réduire l'ouverture angulaire.

## Leçon 1 : Contact entre 2 solides – frottements secs

Niveau : PC – 1<sup>er</sup> cycle universitaire

Prérequis : Toute la base de mécanique du point / solide et ses théorèmes principaux

Problématique : Comment modéliser l'action de contact entre 2 solides et quelles en sont les contraintes et applications ?

Plan :

- I. **Contact entre 2 solides** <sup>[1]</sup>
  1. Position du problème
  2. Vitesse de glissement
  3. Actions de contact
  
- II. **Lois phénoménologiques d'Amontons-Coulomb**
  1. Énoncé des lois <sup>[1]</sup>
  2. Cône d'adhésion et de frottement <sup>[1]</sup>
  3. Hystérésis du plan incliné (*bonus*)
  4. Origine microscopique <sup>[2]</sup>
  5. Aspect énergétique <sup>[3]</sup>
  
- III. **Contraintes et applications des frottements**
  1. Dissipation d'énergie : mouvement plan guidé <sup>[4]</sup>
  2. Avantages : démarrage d'une moto <sup>[3]</sup>

Conclusion :

- Tribologie (empirisme) et importance d'une nano-tribologie
- Irréversibilité des frottements (hystérésis, non-conservation)
- Importance des frottements dans des applications quotidiennes

Références :

[1] : *Physique PC/PC\** Ellipses, L. VIDAL

[2] : /

[3] : *Tec&Doc MP-MP\**, C. More et D. Augier

[4] : *51 leçons de l'agrèg externe de sciences physiques*, T. MEYER

*Note* : La réf [4] n'est pas dans la liste 2022 des bouquins. Pour faire cette démo, prendre le cas d'un palet quand lance sur le sol avec une vitesse  $v_0$ . Il suffit alors d'appliquer le théorème de l'énergie mécanique entre l'état initial et final pour obtenir la distance  $d_a$  d'arrêt du palet. On peut ensuite calculer  $v(x)$  avec ce même théorème entre l'instant initial et un instant quelconque. Cela permet de tracer un portrait de phase où apparaît le mur de frottement (en  $x=d_a$ ) ainsi que le cas sans frottement → cela revient à la première loi de Newton...

Questions posées :

- Citer d'autres exemples d'hystérésis en physique
- Définition du travail
- Faire un schéma complet avec points d'application des forces
- Origine de la non-interpénétrabilité
- Pourquoi le patin glisse si bien ?
- Citer une application pratique de  $f_d < f_s$
- Quelles sont les limites des lois de Coulomb ?

Commentaires :

- Faire une A.N pour la distance d'arrêt → appliquer à la sécurité routière
- Toujours se ramener à du concret
- Ne pas perdre trop de temps sur le cône et l'hystérésis
- Bon plan & bonne problématique

# Contact entre 2 solides. Frottements

LP01

\* Niveau: 1<sup>er</sup> CU ; PC/PC\*

- Pré-requis: RFD, théorèmes généraux

## Introduction

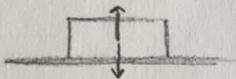
Souvent négligés pour simplifier les problèmes (chute libre), les frottem<sup>t</sup> occupent une part importante de la  $\varphi$ . Nous proposons d'étudier  $F_f$  sous l'aspect de contact entre solides. Bien que connu pour leur dissipat<sup>ion</sup> d'én<sup>ergie</sup>, ils peuvent parfois être utiles à bon escient.

⇒ Comment modéliser l'ac<sup>tion</sup> de contact entre 2 solides ?

⇒ En quoi les frottements peuvent être gênants ou bénéfiques à un système ?

## I. Contact entre 2 solides

1) Pos<sup>ition</sup> du pb



2)  $\vec{v}_G$

Pour étudier le  $\varphi$  de glissement:  $\vec{v}_G = \vec{v}_{G/S} - \vec{v}_{S/S}$  ↑ schéma

(i) transl<sup>ation</sup>:  $\vec{v}_G = \vec{v}_{ext}$

(ii) roulem<sup>ent</sup>:  
 • sur place → gliss<sup>ent</sup>  
 • avance →  $\neq$  gliss<sup>ent</sup>

3) Ac<sup>tion</sup> de contact → définir  $\vec{N}$  qui assure la non-interpénétrabilité

## II - lois phénoménologiques d'Amontons-Coulomb

1) Enoncé des lois → schémas

1) On applique  $\vec{F}_{app}$  insuffisante → statique →  $\exists \vec{T} \parallel -\vec{F}$  (si  $F \uparrow$ ,  $T$  aussi)

⇒  $F_f$  sec statique: (i) btw 2 corps immobiles l'un par l'autre

(ii) grandeur variable

(iii)  $\exists$  grandeur limite

$$\vec{F}_f^{max} = -\mu_s \cdot \vec{N} \parallel \frac{\vec{F}_{app}}{\|\vec{F}_{app}\|}$$

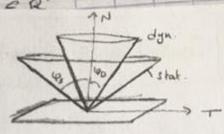
$$\Rightarrow F_f \leq F_{fs}^{max}$$

2) Une fois  $\vec{F}_{app} \geq F_{fs}^{max}$ :  $m^{ut}$  ⇒  $\exists$  une force  $\vec{F}_0$  qui s'oppose

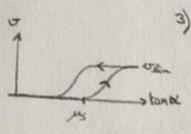
$$\vec{F}_0 = -\mu_0 \vec{N} \parallel \frac{\vec{v}}{\|\vec{v}\|}$$

3)  $\mu_0 < \mu_s$

2) Cones d'adhésion / Frottement  
 Stat:  $F_{f2} \leq \mu_s N$  → définit  $\mu = \tan \alpha$   
 dyn:  $F_{f0} \leq F_{f0}^{max}$  car  $\mu_0 \leq \mu_s$



⇒ démo avec le plan incliné (live)



3) Hystérésis du plan incliné  
 1) augmente  $\alpha$ : glisse et fond  $\gg \mu_s$   
 2) si on rediminue  $\alpha$ : recule mais  $\mu_0 \leq \mu_s$  } hystérésis  
 grec hysteresis: "plus tard"

4) Origine microscopique  
 (i) irrégularités microscopiques: micro rugosité  
 (ii) liaison inter. moléculaire (vdW, H)

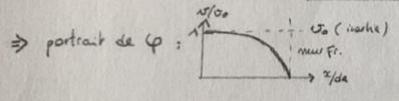
5) Aspects énergétiques  
 $W = \int \vec{F}_f \cdot d\vec{e} = -\mu_s \|\vec{N}\| x < 0$  → dissipa°  
 $P_f = \frac{dW}{dt} = \mu_0 mg v$   $\propto v$  &  $m$

III - Contraintes & applica° des frottements

1) Dissipa° d'énergie: mt° plan guidé  
 Syst: -  
 Ref: -  
 Bilan: -  
 (origine Ep)

Th. de l'Ec:  $v \Delta E_c = \sum v \cdot F_{ext}$  entre 0 et t:  $d_A = \frac{v_0^2}{2g \mu_0}$  ( $[d_A] = \frac{m^2 \cdot s^{-2}}{m \cdot s^{-2} \cdot 1} = m$ )

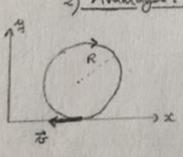
(ii) entre 0 et t:  $v(t) = v_0 \sqrt{1 - \frac{x}{d_A}}$



(loi de conservation:  $m \frac{d^2x}{dt^2} = -\mu_0 mg$   
 $\Rightarrow v(t) = v_0 - \mu_0 g t \Rightarrow t_A$  si  $v=0$   
 $\Rightarrow x(t) = v_0 t - \frac{1}{2} \mu_0 g t^2 \Rightarrow d_A$

2) Avantages: démarrage d'une moto

Position du pb:



On applique un couple  $\vec{R} = \vec{0}$   
 $\vec{L} = R \vec{\Omega} \vec{z}$   
 Frottement de roulement: la corps roule si  $M > M_f$  avec  $M_f = p \cdot \|\vec{N}\|$   
 (moment résultant des forces app.)  
 ⇒ force s'oppose à  $\vec{v}$ :   
 ⇒ mouvement vers la droite

$\vec{v}$ : force roue → sol ← : éjecte des graviers

↳ facultatif

⇒ les frottements servent à faire avancer la moto

Conclusion:

## Filtrage électronique analogique et numérique

Niveau : CPGE - MP

Prérequis : - Signaux physiques (étude de circuits électriques linéaires, MPSI)  
- Série de Fourier et transformée de Fourier

Éléments programme : - Commenter le spectre d'un signal périodique (harmoniques)  
- Action d'un filtre du 1<sup>er</sup> ou 2<sup>nd</sup> ordre sur un signal périodique  
- Conditions pour comportement intégrateur ou dérivateur  
- Caractère non linéaire : apparition de nouvelles fréquences  
- XP : action d'un filtre sur un signal périodique  
- Réaliser l'échantillonnage d'un signal périodique, commenter.  
- Condition de Nyquist-Shannon pour échantillonner  
- Mise en évidence XP du phénomène de repliement  
- Mettre en œuvre un convertisseur A/N + traitement numérique pour réaliser un filtre passe-bas.  
- Utiliser un CAN pour restituer un signal analogique

Fil rouge : flûte

Introduction :

### **I. Traitement du signal**

1. Signal analogique, signal numérique, signal périodique [1]
2. CAN par échantillonnage [1] critère de Shannon, repliement de spectre [2]
3. Visualisation d'un signal analogique numérisé (manip) [1]

### **II. Numérisation d'un signal analogique filtré passe-bas**

1. Réalisation d'un filtre passe-bas (rappels de MPSI), diagramme de Bode [1,3]
2. Mise en œuvre d'un CAN

OU

### **II. Filtrage numérique passe-bas d'un signal analogique numérisé**

1. Mise en œuvre d'un CAN
2. Filtrage numérique passe-bas

Matos manip : - Flûte [1] : numérisation du signal analogique + TF (harmoniques)  
- Filtrage passe-bas du son de la flûte

Bibliographie : [1] Expériences de physique (élec etc...) – Dunod – Blanc et Bleu – Bellier  
[2] [Lien 1](#) → exemple de leçon proche  
[3] [Lien 2](#) → filtres passe-bas, passe-haut, calcul fréquence de coupure

RC, RL : ordre 1 / RLC : ordre 2

## Programmes

### MPSI (pré-requis)

Fonction de transfert harmonique. Diagramme de Bode.	<p>Tracer le diagramme de Bode (amplitude et phase) associé à une fonction de transfert d'ordre 1.</p> <p>Utiliser une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 (ou ses représentations graphiques) pour étudier la réponse d'un système linéaire à une excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales, à un signal périodique.</p> <p>Utiliser les échelles logarithmiques et interpréter les zones rectilignes des diagrammes de Bode en amplitude d'après l'expression de la fonction de transfert.</p> <p><b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'utilité des fonctions de transfert pour un système linéaire à un ou plusieurs étages.</b></p>
Modèles de filtres passifs : passe-bas et passe-haut d'ordre 1, passe-bas et passe-bande d'ordre 2.	<p>Choisir un modèle de filtre en fonction d'un cahier des charges.</p> <p>Expliciter les conditions d'utilisation d'un filtre en tant que moyennneur, intégrateur, ou dérivateur.</p> <p>Expliquer l'intérêt, pour garantir leur fonctionnement lors de mises en cascade, de réaliser des filtres de tension de faible impédance de sortie et forte impédance d'entrée.</p> <p>Expliquer la nature du <b>filtrage</b> introduit par un dispositif mécanique (sismomètre, amortisseur, accéléromètre, etc.).</p> <p><b>Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale.</b></p> <p><b>Détecter le caractère non linéaire d'un système par l'apparition de nouvelles fréquences.</b></p> <p><b>Capacité numérique</b> : simuler, à l'aide d'un langage de programmation, l'action d'un filtre sur un signal périodique dont le spectre est fourni. Mettre en évidence l'influence des caractéristiques du filtre sur l'opération de <b>filtrage</b>.</p>

### MP

<p>- Mesures de temps et de fréquences</p> <p>Analyse spectrale.</p>	<p>Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition.</p> <p>Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.</p>
<p>- Électricité</p> <p><b>Filtrage</b> analogique d'un signal périodique.</p> <p>Électronique numérique.</p> <p>Onde électromagnétique.</p>	<p>Mettre en évidence l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique dans les domaines temporel et fréquentiel.</p> <p>Numeriser un signal et utiliser un traitement numérique pour effectuer un <b>filtrage</b> de ce signal.</p> <p>Mettre en œuvre un détecteur dans le domaine des ondes centimétriques.</p>

#### 2. Éléments de traitement du signal

Ce thème du programme, décomposé en deux parties, complète l'étude des circuits électriques linéaires menée dans la partie « signaux physiques » du programme de MPSI. La composante expérimentale est forte et les capacités exigibles ont vocation à être principalement développées au cours de séances de travaux pratiques.

Dans la première partie intitulée « signaux périodiques », l'accent est mis sur l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique, l'objectif étant de comprendre le rôle central de la linéarité des systèmes pour interpréter la forme du signal de sortie.

La seconde partie, à vocation uniquement expérimentale, constitue une initiation au traitement numérique des signaux à travers les points suivants : l'échantillonnage et le repliement de spectre, la conversion analogique/numérique et le **filtrage** numérique. Le phénomène de repliement de spectre est présenté qualitativement au moyen d'illustrations démonstratives, l'objectif étant de mettre en place la condition de Nyquist-Shannon afin de réaliser convenablement une acquisition numérique. Un **filtrage** numérique, du type passe-bas, est réalisé à l'aide d'un convertisseur analogique/numérique et d'un traitement numérique, un convertisseur numérique/analogique restitue ensuite un signal de sortie analogique.

#### Objectifs de formation

- exploiter la décomposition sinusoïdale d'un signal pour prévoir son évolution à travers un système linéaire ;
- relier les représentations temporelle et fréquentielle d'un signal ;
- illustrer expérimentalement la condition de Nyquist-Shannon ;
- expliquer et mettre en œuvre un **filtrage** numérique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p><b>2.1. Signaux périodiques</b></p> <p>Signaux périodiques.</p> <p>Action d'un filtre linéaire du premier ou du second ordre sur un signal périodique.</p>	<p>Commenter le spectre d'un signal périodique : selon leur rang, attribuer aux différentes harmoniques le rôle qu'elles jouent dans la forme du signal analysé.</p> <p>Prévoir l'effet d'un <b>filtrage</b> linéaire sur la composition spectrale d'un signal périodique.</p> <p>Expliciter les conditions pour obtenir un comportement intégrateur ou dérivateur.</p> <p><b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'action d'un filtre sur un signal périodique.</b></p> <p><b>Détecter le caractère non linéaire d'un système par l'apparition de nouvelles fréquences en sortie pour une entrée sinusoïdale.</b></p>
<p><b>2.2. Électronique numérique</b></p> <p>Echantillonnage : fréquence d'échantillonnage, théorème de Nyquist-Shannon.</p> <p><b>Filtrage</b> numérique.</p>	<p>Réaliser l'échantillonnage d'un signal.</p> <p>Commenter la structure du spectre du signal obtenu après échantillonnage.</p> <p>Choisir la fréquence d'échantillonnage afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon.</p> <p>Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'un logiciel de calcul numérique.</p> <p><b>Mettre en œuvre un convertisseur analogique/numérique et un traitement numérique afin de réaliser un filtre passe-bas ; utiliser un convertisseur numérique/analogique pour restituer un signal analogique.</b></p>

# Ondes stationnaires. Exemples dans la vie quotidienne

Niveau : C'est une leçon qui peut se faire niveau PCSI (sans parler d'équation d'onde, juste en donnant la forme d'onde progressive et ensuite en construisant la notion d'onde stationnaire par addition de 2 ondes progressives) ou niveau PC. En PC, il faudra introduire l'équation d'onde (par analogie avec celle de d'Alembert de la lumière ?) mais derrière il y a toute la notion d'élasticité de Hooke etc (cf. programme) pour démontrer la propagation d'une corde. Donc le plus malin serait peut-être de faire celle niveau PCSI en jetant un coup d'œil à des bouquins de PC pour être + solide sur les questions (ex : comment trouver l'équation d'onde ?). Je mets les screens des 2 programmes p.2 et p.3. Salam les kheys. Mon choix : PCSI

Prérequis : Oscilloscope, signaux électriques, caracts d'une onde (bi-périodicité)

Éléments programme PCSI : - Signaux sinusoïaux (approche expérimentale, simulation)

- Propagation d'un signal
- Phénomènes d'interférences
- Ondes stationnaires :
  - caractérisation (existence de nœuds et de ventres)
  - frq des modes propres from célérité et longueur de la corde
  - propriété : vibration se décompose en modes propres
  - Relier ondes stationnaires avec la musique
  - dispo xp : spectre du signal acoustique d'une corde vibrante

Introduction :

- I. **Construction d'onde stationnaire depuis le formalisme d'onde propagative**
  1. Onde progressive 1D \* : solutions générales (exemple corde secouée) propagation dans un sens et dans l'autre
  2. Cavité : construction de l'onde stationnaire par somme de 2 ondes propagatives (exemple Melde)
  
- II. **Étude d'ondes stationnaires**
  1. Fréquence des modes propres (en fonction de c et L)
  2. Caractérisation : existence de nœuds et de ventres (toujours Melde)
  3. Décomposition d'une vibration stationnaire en modes propres (introduire TF ?)
  
- III. **Exemples dans la vie quotidienne**
  1. Musique (flûte, corde de guitare) → montrer manip (flûte ?)
  2. Cavité LASER (vraiment en ouverture, sans rentrer dans les détails)

Matos manip : - Corde (onde progressive), corde de Melde (non motorisée)

- Cuve à onde (illustration de la notion d'onde progressive)
- Diapason
- Micro + oscillo → TF d'une flûte ??

Bibliographie : aucune a priori, j'ai tout fait avec programmes. Un bon bouquin de PCSI regroupera le nécessaire. Après, soit chercher une simu, soit le montrer direct (c'est mieux de le montrer car dans les programmes c'est ce qui est préconisé et même exigé)

## Programmes

### PCSI

Dans la partie 1.6. consacrée à la « **Propagation d'un signal** », il est recommandé de s'appuyer sur une approche expérimentale ou sur des logiciels de simulation pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation de signaux qui se propagent et la traduction mathématique de cette propagation, sans qu'aucune référence ne soit faite à une équation d'onde. L'étude de la somme de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence et du phénomène d'interférences associé permet de mettre en évidence le rôle essentiel joué par le déphasage entre les deux signaux dans le signal résultant. L'étude des interférences lumineuses est l'occasion d'introduire la notion de différence de chemin optique et de la relier au déphasage. Les ondes **stationnaires** permettent d'illustrer le rôle des conditions aux limites dans l'apparition de modes propres.

1.6. Propagation d'un signal	
Exemples de signaux. Signal sinusoïdal.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.
Approche qualitative de la superposition de deux signaux sinusoïdaux de fréquences voisines. Battements.	<b>Déterminer une différence de fréquences à partir d'enregistrements de battements ou d'observation sensorielle directe.</b>
<b>Propagation d'un signal dans un milieu illimité, non dispersif et transparent</b> Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle non dispersive. Célérité, retard temporel.	Écrire les signaux sous la forme $f(x-ct)$ ou $g(x+ct)$ . Écrire les signaux sous la forme $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$ . Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée et l'évolution spatiale à différents instants.
Modèle de l'onde progressive sinusoïdale unidimensionnelle. Vitesse de phase, déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustique, mécanique et électromagnétique. Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de phase. Relier le déphasage entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation.  <b>Mesurer la vitesse de phase, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.</b>
Milieux dispersifs ou non dispersifs.	Définir un milieu dispersif.
	Citer des exemples de situations de propagation dispersive et non dispersive.

<b>Phénomène d'interférences</b> Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.	Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives. Déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction du déphasage.  <b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser et caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes.</b>
Interférences entre deux ondes lumineuses de même fréquence. Exemple du dispositif des trous d'Young éclairé par une source monochromatique. Différence de chemin optique. Conditions d'interférences constructives ou destructives. Formule de Fresnel.	Relier le déphasage entre les deux ondes à la différence de chemin optique. Établir l'expression littérale de la différence de chemin optique entre les deux ondes. Exploiter la formule de Fresnel pour décrire la répartition d'intensité lumineuse.  <b>Mettre en œuvre le dispositif expérimental des trous d'Young avec une acquisition numérique d'image.</b>
<b>Ondes stationnaires mécaniques</b> Modes propres.	Caractériser une onde <b>stationnaire</b> par l'existence de nœuds et de ventres. Exprimer les fréquences des modes propres connaissant la célérité et la longueur de la corde. Utiliser la propriété énonçant qu'une vibration quelconque d'une corde accrochée entre deux extrémités fixes se décompose en modes propres. Relier les notions sur les ondes <b>stationnaires</b> avec celles utilisées en musique.  <b>Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.</b>  <b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'analyser le spectre du signal acoustique produit par une corde vibrante.</b>

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1. Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert</b>	
<b>1.1. Ondes mécaniques unidimensionnelles dans les solides déformables</b>	
Équation d'onde pour des ondes transversales sur une corde vibrante infiniment souple dans l'approximation des petits mouvements transverses.	Établir l'équation d'onde en utilisant un système infinitésimal.
Modèle microscopique de solide élastique unidimensionnel (chaîne d'atomes élastiquement liés) : loi de Hooke.	Relier la raideur des ressorts fictifs à l'énergie de liaison et évaluer l'ordre de grandeur du module d'Young.
Ondes acoustiques longitudinales dans une tige solide dans l'approximation des milieux continus.	Établir l'équation d'onde en utilisant un système infinitésimal.
Équation de d'Alembert ; célérité.  Exemples de solutions de l'équation de d'Alembert : <ul style="list-style-type: none"> <li>- ondes progressives harmoniques</li> <li>- ondes stationnaires harmoniques</li> </ul>	Reconnaître une équation de d'Alembert. Associer qualitativement la célérité d'ondes mécaniques, la raideur et l'inertie du milieu support.  Différencier une onde stationnaire d'une onde progressive par la forme de leur représentation réelle.  Utiliser qualitativement l'analyse de Fourier pour décrire une onde non harmonique.
Applications : <ul style="list-style-type: none"> <li>- régime libre : modes propres d'une corde vibrante fixée à ses deux extrémités</li> <li>- régime forcé : résonances sur la corde de Melde.</li> </ul>	Décrire les modes propres.  En négligeant l'amortissement, associer mode propre et résonance en régime forcé.

→ bien avoir ces notions en tête pour

## **Ondes évanescentes – réflexion totale – application**

*Note : Attention, il n'y a qu'un seul « s » à application. Peut-être n'en faire qu'une seule ?*

**Niveau :** PSI ou MP en gros

**Prérequis :** - Équations de Maxwell (MP)

- Snell-Descartes
- Relations de continuité aux limites (MP, PSI) *PSI : démo non exigée*
- Propagation d'une onde électromagnétique
- Traitement scalaire (optique ondulatoire) et vectoriel (polarisation)
- Puits de potentiel fini en MQ

**Introduction :** Fil rouge → miroir en aluminium ? Plexiglas ?

Problématique : Une réflexion totale est-elle totale ?

### **I. Dioptré entre deux diélectriques**

1. Rappels : Snell-Descartes
2. Angle d'incidence limite
3. Applications : fibre optique

### **II. Slab métallique**

1. Dioptré métal / air et réflexion totale ( $k_z$  imaginaire pur)
2. Réflexion totale frustrée, épaisseur de peau - applications
3. Analogie avec la méca quantique – applications (STM, physique nucléaire)

**Bibliographie :** [1] cours d'Antoine

[2] [Un peu de tout](#)

[3] [Réflexion totale - Snell Descartes](#) (à reproduire + le faire avec du métal ?)

[4] [Chelou](#) (il est serein sur son approche nanométrique des 2 verres ???)

[5] [Fibre optique](#)

[6] [Anim Le Mans - effet tunnel](#)

## Programmes

### MP

Les relations de passage relatives au champ **électromagnétique** peuvent être exploitées mais doivent être systématiquement rappelées.

Après une présentation des équations de Maxwell et des aspects énergétiques, le programme analyse le phénomène de propagation d'une onde **électromagnétique** dans le vide, la structure des champs associés et la réflexion des ondes sur un métal parfait. La propagation dans les milieux s'appuie sur les études d'une onde **électromagnétique** dans un milieu ohmique et dans un plasma.

Les distributions de courants surfaciques ne sont pas introduites à ce niveau du programme, elles le seront uniquement à l'occasion de la réflexion d'une onde **électromagnétique** sur un métal parfait.

+ d'autres trucs

### PSI

#### **ÉLECTROMAGNETISME**

##### **Présentation**

En première année, les champs électrique et magnétique ont été présentés *via* les effets de la force de Lorentz et une étude descriptive du champ magnétique a été effectuée pour introduire les phénomènes d'induction. Le cours de deuxième année aborde les équations locales. Les équations de Maxwell sont présentées comme des postulats de l'**électromagnétisme**, le but étant de rendre les étudiants rapidement opérationnels dans leur utilisation. L'étude de la conversion de puissance et celle des ondes **électromagnétiques** seront une exploitation.

Le programme est découpé en plusieurs rubriques indépendantes dont l'ordre de présentation relève de la liberté pédagogique du professeur. En particulier, les équations de Maxwell peuvent être formulées dès le début sous leur forme la plus générale, ou bien elles peuvent être introduites de manière progressive en commençant par une forme simplifiée en régime stationnaire.

Le bloc 3 est consacré à la réflexion et la transmission d'ondes à une interface plane sous incidence normale en acoustique et en **électromagnétisme**. Les relations de passages pour le champ **électromagnétique** sont affirmées, toute démonstration est hors programme. Tout calcul de courant à partir du vecteur densité de courant surfacique est à proscrire.

<b>3.2. Cas des ondes <b>électromagnétiques</b></b>	
Relations de passage du champ <b>électromagnétique</b> en présence d'une distribution surfacique de charge ou de courant.	Interpréter le vecteur densité de courant surfacique comme un modèle pour décrire un déplacement de charges à travers un domaine d'épaisseur faible devant l'échelle de description.  Utiliser les relations de passage fournies.
Réflexion d'une onde <b>électromagnétique</b> polarisée rectilignement sur un conducteur parfait, en incidence normale.	Exploiter la continuité de la composante tangentielle du champ électrique pour justifier l'existence d'une onde réfléchie et calculer celle-ci.  Calculer le champ magnétique dans le vide, en déduire le courant surfacique sur le conducteur.  Calculer le coefficient de réflexion en puissance.

## Production, analyse et utilisation de la polarisation des OEM

Niveau : PC car en MP ça semble plutôt expérimental

Prérequis : - Électromagnétisme « scalaire »

- Équations de Maxwell et relations constitutives en milieu LLHI
- Pouvoir rotatoire (chimie)
- Réflexion sur un dioptre plan

Éléments programme : - Identifier l'axe d'un polariseur avec réflexion vitreuse

- Identifier lignes neutres quart et demi-ondes (osef lent et rapide)
- Modifier la direction d'une polarisation rectiligne
- Produire une polarisation circulaire à partir d'une pola rectiligne
- Mesurer un pouvoir rotatoire naturel
- Relier champ électrique à un état de polarisation
- Polarisation par réflexion vitreuse sous incidence oblique
- Utiliser lames quart et demi d'ondes

Introduction : Fil rouge →

### **I. Production d'ondes électromagnétiques polarisées**

1. Polarisation rectiligne, circulaire et elliptique <sup>[1]</sup>
2. Réflexion vitreuse <sup>[2,8]</sup> \*
3. Milieu biréfringent : production d'ondes polarisées perpendiculairement <sup>[1]</sup> \*\*

### **II. Analyse d'ondes électromagnétiques polarisées rectilignement**

1. Analyseur simple à extinction, loi de Malus <sup>[3,4,8]</sup> : lunettes de soleil polarisées
2. Polarisation d'un LASER He/Ne
3. Analyse minéralogique par étude en lumière polarisée
4. Application : lames  $\frac{1}{4}$  ou  $\frac{1}{2}$  d'ondes <sup>[8]</sup>
5. Biréfringence circulaire : molécules chirales <sup>[8]</sup>
6. Autres applications : cellule de Pockels, mesures de contrainte mécanique <sup>[8]</sup>

\* juste montrer le graph et l'existence de l'angle de Brewster, parler de lunettes de soleil polarisées

\*\* faire la démo du cours de Morénas mais comme elle est un peu longue, la présenter sur transparent ??

Matos manip : - se référer à [3] et [4] pour mettre en place le dispositif XP (Malus)

Bibliographie : [1] Cours Vincent Morénas, optique anistrophe, M1

[2] Cours Antoine Moreau, M2

[3] Expériences d'optique, Agreg de Sciences Physiques, Bréal (vert et blanc)

[4] TP de L3 (Étude de la polarisation de la lumière)

[5] [Lien wikipédia - Loi de Malus](#)

[6] [Rapport - polarisation \(étude, applications\)](#)

[7] [Le cinéma 3D sur votre table de TP !](#)

[8] [Cours sur la polarisation](#)

[9] Étienne Thibierge

[10] [YT - polarisation et loi de Malus](#) → à montrer en live (par nous-même)

[11] [Interférences en lumière polarisée](#)

## Programmes

### MP

<p>- <b>Optique</b> Analyser une lumière.</p> <p>Analyser une figure d'interférence.</p> <p>Étudier la cohérence temporelle d'une source.</p>	<p>Identifier, à l'aide d'un <b>polariseur</b>, une onde <b>polarisée</b> rectilignement et repérer sa direction de <b>polarisation</b>.</p> <p>Mettre en œuvre un photodétecteur en sortie d'un interféromètre.</p> <p>Régler un interféromètre de Michelson pour une observation en lame d'air avec une source étendue à</p>
---	--

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>4.5. Propagation et rayonnement</b>	
Onde plane dans l'espace vide de charge et de courant ; onde plane progressive et aspects énergétiques.	Citer les solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension. Décrire la structure d'une onde plane et d'une onde plane progressive dans l'espace vide de charge et de courant.
Onde plane progressive monochromatique.	Expliquer le caractère idéal du modèle de l'onde plane monochromatique. Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications.
Onde plane progressive monochromatique <b>polarisée</b> rectilignement.	Reconnaître une onde <b>polarisée</b> rectilignement.  <b>Utiliser des polariseurs et étudier quantitativement la loi de Malus.</b>
Propagation d'une onde plane transverse progressive monochromatique dans un plasma localement neutre et peu dense. Vitesse de phase, vitesse de groupe. Cas de l'ionosphère.	Utiliser la notation complexe et établir la relation de dispersion. Définir le phénomène de dispersion. Expliquer la notion de fréquence de coupure et citer son ordre de grandeur dans le cas de l'ionosphère. Décrire la propagation d'un paquet d'ondes dans un milieu linéaire dispersif par superposition d'ondes planes progressives monochromatiques. Calculer la vitesse de groupe à partir de la relation de dispersion. Associer la vitesse de groupe à la propagation de l'enveloppe du paquet d'ondes.  <b>Approche documentaire :</b> à l'aide de données sur l'ionosphère illustrer quelques aspects des télécommunications.
Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu ohmique en régime lentement variable. Effet de peau.	Établir et interpréter l'expression de la grandeur caractéristique d'atténuation de l'onde électromagnétique dans un milieu ohmique.
Réflexion sous incidence normale d'une onde plane, progressive et monochromatique <b>polarisée</b> rectilignement sur un plan conducteur parfait. Onde stationnaire.	Établir l'expression de l'onde réfléchie en exploitant les relations de passage fournies. Interpréter qualitativement la présence de courants localisés en surface. Reconnaître et caractériser une onde stationnaire.
Applications aux cavités à une dimension. Mode d'onde stationnaire.	Utiliser la méthode de séparation des variables.  <b>Mettre en œuvre un dispositif permettant d'étudier une onde électromagnétique, dans le domaine des ondes centimétriques.</b>
Champ électromagnétique rayonné par un dipôle oscillant dans la zone de rayonnement. Puissance rayonnée.	Justifier le choix du modèle du dipôle oscillant et citer des exemples dans différents domaines.  Formuler et commenter les approximations reliant les trois échelles de longueur pertinentes. Analyser la structure du champ électromagnétique rayonné, les expressions des champs étant fournies, en utilisant des arguments généraux : symétrie, conservation de l'énergie et analyse dimensionnelle. Effectuer un bilan énergétique, les expressions des champs étant fournies. Représenter l'indicatrice de rayonnement.  <b>Détecter une onde électromagnétique rayonnée.</b>  <b>Approche documentaire :</b> expliquer certaines propriétés optiques de l'atmosphère (couleur du ciel, du Soleil couchant, <b>polarisation</b> ,...) en lien avec le thème du rayonnement dipolaire.

### 1. Domaine optique

- **Polariseur** dichroïque
- Interféromètre de Michelson motorisé
- Capteur CCD

## PC

<p><b>4. Optique</b></p> <p>Analyser une lumière complètement polarisée.</p> <p>Étudier la cohérence temporelle d'une source.</p> <p>Mesurer une faible différence de nombre d'onde : doublet spectral, modes d'une diode laser.</p>	<p>Identifier de façon absolue l'axe d'un polariseur par une méthode mettant en œuvre la réflexion vitreuse</p> <p>Identifier les lignes neutres d'une lame quart d'onde ou demi-onde, sans distinction entre axe lent et rapide.</p> <p>Modifier la direction d'une polarisation rectiligne.</p> <p>Obtenir une polarisation circulaire à partir d'une polarisation rectiligne, sans prescription sur le sens de rotation.</p> <p>Mesurer un pouvoir rotatoire naturel.</p> <p>Régler un interféromètre de Michelson pour une observation en lame d'air avec une source étendue par une démarche autonome non imposée.</p> <p>Obtenir une estimation semi-quantitative de la longueur de cohérence d'une radiation à l'aide d'un interféromètre de Michelson en lame d'air.</p> <p>Réaliser la mesure avec un interféromètre de Michelson.</p>
--	---

<p><b>1.3. Ondes électromagnétiques dans le vide</b></p> <p>Équations de propagation de <b>E</b> et <b>B</b> dans une région sans charge ni courant.</p> <p>Structure d'une onde plane progressive harmonique.</p> <p>Aspects énergétiques.</p> <p><b>Polarisation</b> des ondes électromagnétiques planes progressives harmoniques : polarisation elliptique, circulaire et rectiligne.</p> <p><b>Analyse d'une lumière totalement polarisée. Utiliser une lame quart d'onde ou demi-onde pour modifier ou analyser un état de polarisation, avec de la lumière totalement polarisée.</b></p>	<p>Établir et citer les équations de propagation.</p> <p>Établir et décrire la structure d'une OPPH. Utiliser le principe de superposition d'OPPH.</p> <p>Relier la direction du vecteur de Poynting et la direction de propagation de l'onde. Relier le flux du vecteur de Poynting à un flux de photons en utilisant la relation d'Einstein-Planck. Citer quelques ordres de grandeur de flux énergétiques surfaciques moyens (laser hélium-néon, flux solaire, téléphonie, etc...) et les relier aux ordres de grandeur des champs électriques associés.</p> <p>Relier l'expression du champ électrique à l'état de polarisation d'une onde.</p> <p><b>Reconnaître une lumière non polarisée. Distinguer une lumière non polarisée d'une lumière totalement polarisée.</b></p>
--	---

<p><b>Polarisation par réflexion vitreuse sous incidence oblique.</b></p>	<p>Identifier l'incidence de Brewster et utiliser cette configuration pour repérer la direction absolue d'un polariseur.</p>
---	--

# Approches Macroscopique et Microscopique des propriétés magnétiques dans la matière

## Cours BIDEUX

Niveau : L3

Prérequis : Magnétostatique, force de Lorentz, physique statistique

Intro :

Origine du mot magnétisme : vie de la région Magnésie d'où provenait de la magnétite, une pierre avec des propriétés... magnétique

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire\\_du\\_magn%C3%A9tisme#:~:text=La%20d%C3%A9couverte%20du%20magn%C3%A9tisme,-](https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_du_magn%C3%A9tisme#:~:text=La%20d%C3%A9couverte%20du%20magn%C3%A9tisme,-)

[Cette%20histoire%20repose&text=L'observation%20du%20magn%C3%A9tisme%20repose,nom%20de%20magn%C3%A9tisme%20au%20ph%C3%A9nom%C3%A8ne.](https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_du_magn%C3%A9tisme#:~:text=L'observation%20du%20magn%C3%A9tisme%20repose,nom%20de%20magn%C3%A9tisme%20au%20ph%C3%A9nom%C3%A8ne.)

Depuis appris à contrôler ces champs magnétiques provenant de ces matériaux qui servent pour de multiples applications : dynamo, moteur, etc...

*Quest : Comment décrit un matériaux magnétique et comment se comporte-t-il ?*

### I – Différents types de magnétisme, Aspect macroscopique

#### a) Introduction

Introduction l'excitation magnétique **H**

- ⇒ Expliciter l'importance de **H** pour décrire le comportement des milieux magnétique (facilite leur étude)

<http://psistarmartin.free.fr/Phys/cours/Cours%20PSI%2014/Milieux%20magnetiques/2%20ferromagnetisme.pdf>

- ⇒ Introduction des équations de Maxwell avec **H**

Introduction de la magnétisation **M**

#### b) Classe de matériaux magnétique

### Ferromagnétisme

- ⇒ Définition, exemple de matériaux ferromagnétique
- ⇒ Introduire notion d'aimantation spontanée, milieu magnétique non linéaire (description hors du cadre de la leçon
- ⇒ *Expérience* : → du clou chauffer à un aimant : passage féro-para  
→ Apparition des courbes d'hystérésis  $B=f(H)$  montre non linéarité

[file:///C:/Users/Valentin/Downloads/Plans%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Valentin/Downloads/Plans%20(2).pdf) (page 94)

### Paramagnétisme

- ⇒ Définition
- ⇒ Matériaux linéaires : va pouvoir décrire son comportement
- ⇒ [file:///C:/Users/Valentin/Downloads/Plans%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Valentin/Downloads/Plans%20(2).pdf) (page 94)

## II - Théorie du Paramagnétisme (51 leçons de l'agrégation externe de sciences physiques)

### a) Théorie Classique de Langevin

⇒ Introduction du moment magnétique

Démonstration du Paramagnétisme avec la Théorie de Langevin

⇒ Aimantation proportionnelle à  $1/T$  à Température ambiante

⇒ Aimantation proportionnelle à la fonction de Langevin à basse température

Tracer l'évolution de la l'aimantation avec la température

### b) Prise en compte des aspects quantique

Dans le cadre de la théorie de Langevin on suppose que les moments cinétique peut prendre n'importe quel valeurs

⇒ Faux d'un point de vue quantique

## III – Ferromagnétisme

### a) Description micro

Introduction dans les grands axes à la théorie du champ Moyen

(Sans démonstration un peu avec les mains

Faire la résolution graphique avec le croisement entre la droite représentant un ferro et son aimantation

⇒ Parles transition ferro → Para

*Faire expérience du clou*

### b) Phénomènes macro Ferromagnétique

Mise en évidence du cycle d'hystérésis d'aimantation

## Dispersion et Absorption. Applications aux fibres Optiques

Niveau : CPGE-PC

Pré-requis : Equation de Maxwell dans le vide, Connaissance du régime harmonique, fonctionnement fibre optique

Introduction :

On a vu comment se comportait la lumière dans le vide, mais on peut aussi décrire son comportement dans la matière

*Comment décrit-on le comportement de la matière avec les équations de Maxwell ?*

**I – Electromagnétisme dans la matière** (cf cours Joël Partie Polytech)

a) Manipulation des équations de Maxwell

Introduction aux équations de Maxwell dans la matière, ce qui change

Se restreindre au cas d'un milieu sans charges

Définir ce qu'est une relation de dispersion : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Relation\\_de\\_dispersion](https://fr.wikipedia.org/wiki/Relation_de_dispersion)

Faire la démonstration de la relation entre  $k$  et  $\omega$  dans un milieu sans charge

⇒ Introduire l'indice complexe

Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu localement neutre possédant une conductivité complexe : relation de dispersion, indice complexe.  
Dispersion, absorption.

Établir une relation de dispersion pour des ondes planes progressives harmoniques. Associer les parties réelle et imaginaire de  $k$  aux phénomènes de dispersion et d'absorption.

b) Mise en évidence des phénomènes dispersif

Mise en évidence du phénomène d'absorption à partir de l'indice complexe → introduction du facteur d'atténuation  $\alpha$  (cf cours Joël)

Définition du phénomène de diffusion

⇒ Impact différemment les longueurs d'ondes :  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion\\_des\\_ondes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion_des_ondes)

## II – Mise en Applications : Analyse de la courbe d'atténuation d'une fibre optique

Schéma d'une fibre optique

Composition : Silice

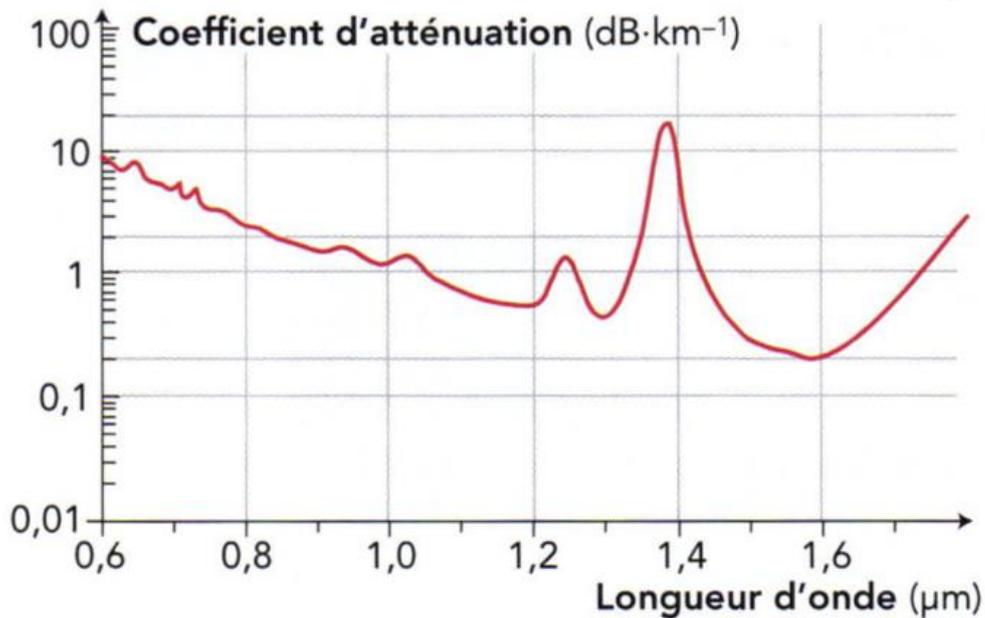


Schéma full détaillé : [http://mpsn.free.fr/opt2/ch1/S2\\_Ch1\\_proprietes\\_optiques\\_materiaux\\_2-0.pdf](http://mpsn.free.fr/opt2/ch1/S2_Ch1_proprietes_optiques_materiaux_2-0.pdf)

Définition du coefficient d'atténuation linéique

Expliquer des différents phénomènes physiques menant à cette courbe

⇒ Petit  $\lambda$  : Diffusion de Rayleigh : explications (démonstration pas sur ?)  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion\\_Rayleigh](https://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion_Rayleigh)

Exemple pratique : Couleurs du soleil.

⇒ Grand  $\lambda$  : Absorption de la Silice dans l'infrarouge lointain

Trouver Propriété de la Silice

⇒ Pics dans le spectre : Absorption de OH<sup>-</sup> présent dans le fibre

# Filtrage Optique. Applications

Niveau : L3

Pré-requis : Optique Géométrique, Diffraction, Transformée de Fourier, Notion filtrage électronique

Introduction :

En général, la diffraction est quelque chose de perçue négativement

⇒ Limite la résolution d'une image

Mais on va voir que on peut utiliser ce phénomène de diffraction à notre avantage pour effectuer du filtrage optique

*Quest : Que'est-ce que du filtrage optique et comment fonctionne-t-il ?*

## I – Lien entre Diffraction et Transformée de Fourier

[https://www.cemhti.cnrs-orleans.fr/images/Personnels/42\\_D\\_Cours\\_Optique\\_de\\_Fourier\\_et\\_formation\\_des\\_images.pdf](https://www.cemhti.cnrs-orleans.fr/images/Personnels/42_D_Cours_Optique_de_Fourier_et_formation_des_images.pdf) ( à partie de la page 76)

⇒ Rappeler définition de la diffraction

Introduire le principe de Huygens-Fresnel → Impact sur le calcul de l'amplitude à un point P

Démontrer dans le cadre du principe de Huygens-Fresnel que faire une diffraction revient à faire une transformée de Fourier

<https://femto-physique.fr/optique/diffraction-de-fresnel.php> (démonstration rigoureuse de Huygens-Fresnel qui explique le terme en  $(1+\cos(\theta))/2i\lambda$  dans l'intégrale)

⇒ Introduire les notions de Diffraction de Fresnel et de Fraunhofer

On se place dans le cadre de la diffraction de Fraunhofer (= diffraction à l'infini) → **Lien diffraction et Transformée de Fourier**

⇒ Si on place une lentille après l'objet diffractant pour collecter les rayons parallèle → **Observera la TF de l'objet (plan de Fourier) dans le plan focal image de la lentille**

⇒ Introduire la notion de fréquence spatiale

## II – Utilisation du plan de Fourier pour le filtrage

Expliquer la répartition de l'information dans le plan de Fourier

⇒ Petit fréquence spatial → Gros détails de l'image

⇒ Grande fréquence spatial → Petit détails sur image

⇒ Via Usage de filtre on va pouvoir observer une image plus ou moins différentes

### **Expliquer le montage 4f classique pour faire du filtrage**

⇒ Introduction au filtre passe haut/passe bas

⇒ [https://www.cemhti.cnrs-orleans.fr/images/Personnels/42\\_D\\_Cours\\_Optique\\_de\\_Fourier\\_et\\_formation\\_des\\_images.pdf](https://www.cemhti.cnrs-orleans.fr/images/Personnels/42_D_Cours_Optique_de_Fourier_et_formation_des_images.pdf) (page 145 pour voir image)

*Faire expérience de Abbe et Porter (filtrage de l'image d'une grille)*

⇒ Montrer que on peut modifier l'image de notre objet

[https://www.cemhti.cnrs-orleans.fr/images/Personnels/42\\_D\\_Cours\\_Optique\\_de\\_Fourier\\_et\\_formation\\_des\\_images.pdf](https://www.cemhti.cnrs-orleans.fr/images/Personnels/42_D_Cours_Optique_de_Fourier_et_formation_des_images.pdf) (page 142 pour voir image)

Usage de filtre passe haut → Strioscopie

Applications possible : format jpeg des images qui diminue le poids de l'image en virant les hautes-fréquences et donc les détails

## Oscillateurs

Niveau : CPGE

Pré-requis : Mécanique du point, équation différentiel premier et deuxième ordre, électricité (loin des mailles, inductance, capacité etc...)

### **I – Oscillateur mécanique amortie**

Démontrer les 3 régimes : anharmonique, critique et apériodique

**Montrer impact du facteur de qualité**

### **II – Mise en évidence de ces régimes : le circuit RLC**

Introduire analogie mécanique/électricité

Montrer expérimentales ces 3 régimes à l'aide d'une tension créneau avec un circuit RLC

## **LP38 : Aspects corpusculaires du rayonnement. Notion de photon**

Niveau : L3 – fin de 1<sup>er</sup> cycle universitaire

Prérequis :

- Notions de terminale S sur l'effet photo-électrique
- Électromagnétisme : équations de Maxwell
- Relativité restreinte & dynamique relativiste

Problématique : Photon : quantum de vibration électromagnétique - propriétés de particule

Objectifs :

- Mise en évidence du besoin d'un quantum d'énergie lumineuse - notion de photon
- Étudier les grandeurs caractéristiques de cet objet
- Faire le lien entre elles et des expériences historiques

Introduction : Malgré des études tantôt corpusculaires tantôt ondulatoires (**citer**), la lumière est étudiée fin XIX<sup>ème</sup> sous sa forme ondulatoire. Et ce, grâce à un très solide formalisme de James Maxwell, unifiant théorèmes des champs statiques et expliquant les phénomènes proposés par les expériences (**en citer**).

Plan :

- I. Émergence de la notion de photon - Quantification de l'énergie**
  - Positionnement historique du problème
    - 1.1 Expériences fondamentales
    - 1.2 Introduction du quantum d'action  $h$  par Planck
  - Effet photoélectrique
    - 2.1 Incompatibilité avec le modèle électromagnétique
    - 2.2 Modèle d'Einstein & notion de photon
    - 2.3 Mesure de la constante de Planck
- II. Quantification de la quantité de mouvement**
  - Pression exercée par une onde électromagnétique
  - Considérations relativistes
  - Illustration par l'effet Compton
    - 3.1 Échec du modèle électromagnétique
    - 3.2 Effet Compton
    - 3.3 Interprétation théorique
    - 3.4 Tracé de  $\Delta\lambda = f(\text{angle})$  et applications numériques pour X
- III. Application : refroidissement d'un milieu atomique par LASER (Nobel 1997)**
  - Nécessité expérimentale du problème
  - Position du problème
  - Pression de radiation résonante

Conclusion : évoquer spin, introduction à l'optique quantique

Appels du pied / questions potentielles :

- Effet Doppler → cf Monteil ?

Références :

- [1] : Leçons d'optique et de mécanique quantique, B.LATOURE, Ellipses
- [2] : 51 leçons de l'agrégation externe de sciences physiques, T.MEYER, Ellipses
- [3] : Relativité restreinte Bases et applications, C.SEMAY, Dunod
- [4] : Introduction à la relativité restreinte, J.HLADIK, Dunod
- [5] : Le refroidissement des atomes, Claude Cohen-Tannoudji (PDF)

# RMN : Principe et Applications

Niveau : CPGE

Pré-requis : Mécanique Quantique : spin

Mécanique Classique : Théorème du moment cinétique

Introduction :

Petite intro sur l'invention de la RMN et domaine d'utilisation

*Question : Quel est le principe de fonctionnement de la RMN ?*

## I – Principe

a) Description Classique

Introduction du moment magnétique

Démonstration de la rotation du moment magnétique autour du champ magnétique

Introduction de la précession de Larmor

<https://www.faidherbe.org/site/cours/dupuis/rmn.htm>

b) Description Quantique Brève

Introduction du spin atomique etc...

2 états de spin (alpha et béta)

Levée de dégénérescence par effet ZEEMAN

Inversion de population de l'état alpha vers béta

## II – Application

Impact du spin atomique sur la détection

Effet du blindage sur la fréquence de LARMOR et interprétation

<https://www.faidherbe.org/site/cours/dupuis/rmn.htm>

# Spectroscopie

Niveau : Licence

Prérequis : Optique géométrique, optique ondulatoire (différence de marche)

## Introduction

Définition de la spectroscopie

Origine, applications maintenant → Permet de sonder et comprendre le comportement de la matière

*Quest : quelles technique de spectroscopie peut-on utiliser pour sonder la matière ?*

## I – Spectroscopie Optique, utilisation d'un réseau (livre Prépa PC)

a) Principe du réseau

Définition d'un réseau et utilité

Démonstration de la formule de la différence de marche entre 2 rayons d'un réseau

⇒ Introduction de la formule fondamentale du réseau avec le résultat que de démontrer

Introduction à l'ordre de réseau

b) Application à la spectrométrie : Goniomètre à réseau

Introduction du goniomètre : que peut-on mesurer avec

Cas particulier : mesure d'une longueur d'onde

Incidence normale

Minimum de déviation

## II – Goniomètre (MANIP)

Mesure une longueur d'onde d'une raie d'une lampe spectrale

## III – Spectroscopie XPS

Introduction de l'effet photo-électrique

⇒ Utilisation via l'usage de source à rayon X

Lien entre l'énergie de liaison et l'énergie de photon incident

Possibilité d'interprétation

# Télescope

Niveau : PCSI

Pré-requis : Optique Géométrique

## Introduction

Introduire sur Télescope Hubble et son objectif (image accessible)

Mais en fait c'est quoi un télescope et comment ça marche

Objectif : *Comprendre le fonctionnement d'un télescope.*

## **I – Rappel, Miroir Sphérique**

Définition d'un miroir sphérique (**Tech & Doc MPSI PTSI p 232-235**)

⇒ *Miroir plan = miroir sphérique avec une courbure infinie*

Redémontrer la formule de conjugaison d'un miroir sphérique et les différentes approximations utilisés (**approx de Gauss/Paraxial**)

⇒ En déduire les différentes propriétés des foyer image  $F'$  et objet  $F$

⇒ **Point important, dans miroir  $F$  et  $F'$  sont confondu**

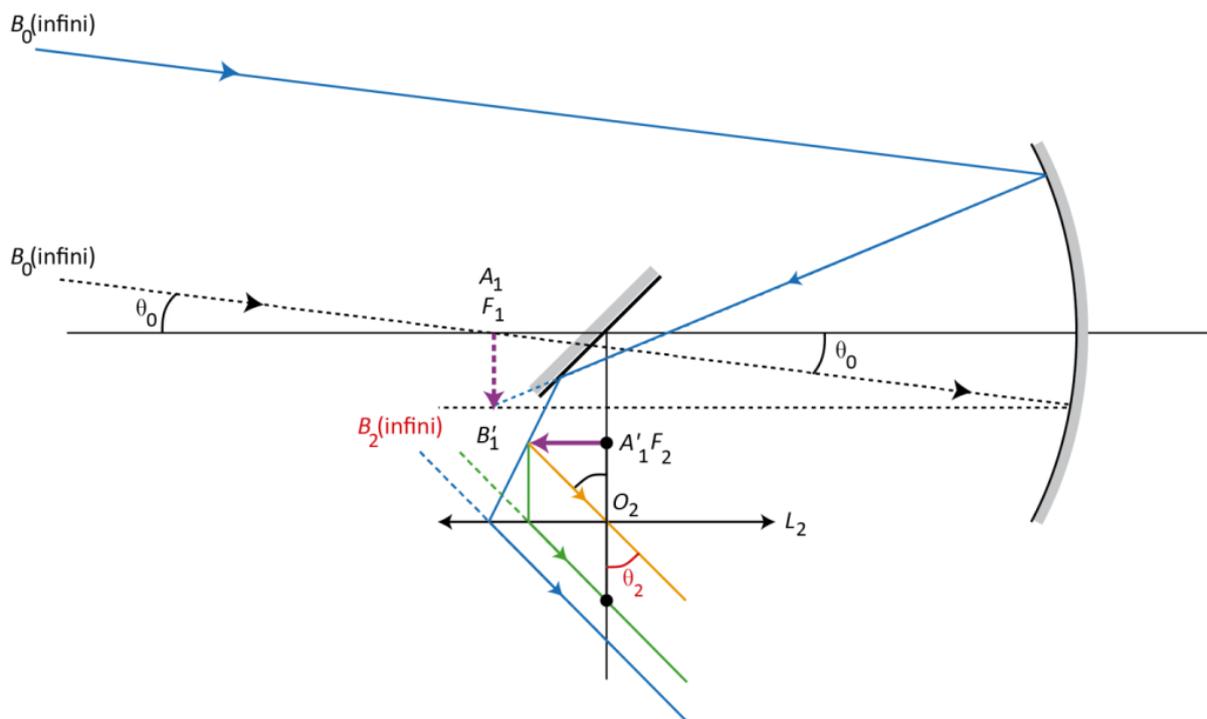
Faire une construction à titre d'exemple

## **II – Télescope de Newton**

Explication de la structure de Télescope de Newton

Schématisation du Télescope de Newton

Explication de la formation de l'image observé dans le télescope



Télescope forme une image à l'infini d'un objet à l'infini → **Objectif afocal**

Explication :

- Grossissement Télescope démonstration
- **Application avec les spec de Hubble**

Source :

[https://spcl.ac-montpellier.fr/moodle/pluginfile.php/14615/mod\\_resource/content/0/ONDES\\_FS13b\\_Telescope.pdf](https://spcl.ac-montpellier.fr/moodle/pluginfile.php/14615/mod_resource/content/0/ONDES_FS13b_Telescope.pdf)

### III – Limite du Télescope

Introduction à pouvoir de résolution d'un Télescope

⇒ Impact de la diffraction sur la résolution de la résolution (Limite de Abbe)

Démonstration de la limite de Abbe

⇒ **Application sur la limite de Hubble**

### Conclusion

Ouverture si image d'un trou noir avec telescope de la taille de la Terre

## Utilisation des diagrammes enthalpiques pour les machines thermiques

Niveau : PCSI

Pré-requis : Thermodynamique : - 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> Principe, Transformations Physique, Changements de Phase

Introduction :

Intro : Historiques avec impact des machines thermiques sur l'évolution de l'humanité, moteur, pompe à chaleur, voiture etc....

Mais comment étudier ces machines thermiques

Question : *Comment les diagrammes enthalpiques permettent d'étudier les machines thermiques ?*

### I – Machines Thermiques (ref Tech & Doc, Pierre GRECIAS, Chap Machine Thermique p775)

Rappel : Cycle Thermodynamiques

Définition machines thermiques

Intro Machine Monotherme → Limitation de ce model

Machine Ditherme : **Bien développé** le fonctionnement, introduire Principe et Cycle de Carnot

Machine Frigorifiques → Machine de Carnot inversé

Applications : Fluide frigorigère → étudié via cycle de Mollier

### II - Cycle de Mollier

A quoi ressemble un cycle frigorigère, quelle est son utilité et comment le lit-on ?

Présentation du cycle : lecture des différents axes, etc....

<https://www.youtube.com/watch?v=v20PORVRIp0>

Applications à un cas précis :

<http://jam.bouguechal.free.fr/upload/file/Partiel%20de%20thermodynamique/Partiel%20de%20thermodynamique%20du%20juin%202017%20vers%202+corrig%C3%A9.pdf>

Cf pdf avec

# Cellule Photovoltaïque

Niveau : CPGE

Pré-requis : Notion de courbe caractérisée d'un dipôle, base électrostatique, phénomène de diffusion

Introduction :

Avec changement climatique, on parle beaucoup d'énergie renouvelable

- ⇒ Une des pistes : Utilisation de panneaux photovoltaïque
- ⇒ Composé de cellules photovoltaïque

Question : *Qu'est-ce qu'une cellule photovoltaïque et comment cela marche-t-il ?*

## I – Jonction P-N

a) Semiconducteur

Définition d'un semiconducteur : définir simplement

- ⇒ Comportement intermédiaire entre un isolant et un métal

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Semi-conducteur>

Introduire notion de bande et de gap dans les semiconducteurs

*Quest possible : Pourquoi on utilise des cellule PV en Silicium ? (cf cours GIL)*

- ⇒ Bande de Valence et de Conduction

Différence entre métal, semiconducteur et isolant

- ⇒ **Niveau de fermi : Niveau d'énergie ou la probabilité de trouver un électron en dessous de ce niveau est égal à 1 à 0 K.**

Notion de semiconducteur intrinsèque

- ⇒ Notion de dopage : dopé p/ dopé n
  - Création de trou et d'électron en excès

## b) Jonction P-N

Comment fait-on une jonction p-n → mise en contact de 2 semiconducteurs dopé

Description de ce que se passe à l'interface

⇒ Diffusion des porteurs → génération de la ZCE : Zone de Charge d'Espace

Apparition d'un champ électrique dans la jonction

[http://pedagotech.inp-toulouse.fr/200923/co/module\\_JoncPNetApplis\\_2.html](http://pedagotech.inp-toulouse.fr/200923/co/module_JoncPNetApplis_2.html)

Cellule photovoltaïque : jonction P-N en fonctionnement passif

## II – Fonctionnement

Explication de l'effet photovoltaïque : Effet photo-électrique + séparation des porteurs de charge

Création d'un courant → interprétation à l'aide de la structure de bande

### Cellule Photovoltaïque → Jonction P-N alimenté en passif

Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque

<https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaique6/caracteristiques-electriques-des-cellules-et-des-modules-photovoltaiques/>

Caractéristique d'une jonction pn → Caractéristique d'un cellule PV c'est une partie de la caractéristique d'une jonction pn

[http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI\\_fr\\_M05\\_C02/co/Contenu\\_09.html](http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M05_C02/co/Contenu_09.html)

Limitation performance :

- Réflexion des la lumière sur la cellule
- Rendement faible (ordre de 15%)

## Cellules photovoltaïques

Leçon interaction lumière matière photon : I2 et III2 [lecphys41.pdf \(physagreg.fr\)](#)

Leçon photorecepteur : [montagephys15.pdf \(physagreg.fr\)](#)

Emission absorption domaine visible : [montagephys13.pdf \(physagreg.fr\)](#) fin partie II photodiode

Photorecepteur : [montagephys15.pdf \(physagreg.fr\)](#)

Conservation puissance : [montagephys21.pdf \(physagreg.fr\)](#)

\_Expérience de physique électricité, électromagnétisme, électronique\_ p270

Site beaux schémas parallèle série : [Caractéristiques électriques des cellules et des modules photovoltaïques - Energie Plus Le Site \(energieplus-lesite.be\)](#)

Def : photoélectrique collision inélastique entre électron lié du métal et photon, il faut énergie du photon supérieur à

Création de paires photon devient électron positron

Plan

- I) Interaction lumière matière, création effet photo
- II) Différence photo diode photovoltaïque
- III) Caractéristique courant tension
- IV) Rendement thermo ??

Spectre thermo

## Atmosphère terrestre

[lecphys20.pdf \(physagreg.fr\)](#) :

Leçon n°20 : Facteur de Boltzmann, applications.	Equilibre de l'atmosphère isotherme ; distribution des molécules d'un gaz à l'équilibre ; Loi de distribution de Boltzmann : fonction de partition, dégénérescence ; répartition d'un système à deux niveaux ; énergie moyenne d'un système et fluctuations (variance et écart type) ; approximation continue : cadre, espace des phases, théorème de l'équipartition de l'énergie ; chaleurs spécifiques ; gaz parfaits monoatomiques et diatomiques ; solides cristallins ; paramagnétisme ; défauts de Schottky
--	--

[LeconsPhysique.pdf \(psl.eu\)](#) :

LP n° 16 : Facteur de Boltzmann page 65

### 3.3 Facteurs d'influence sur la température de la terre

Pour abaisser sa température elle doit soit rayonner plus que le rayonnement du corps noir (mais on voit pas trop pourquoi ce serait le cas) soit absorber moins! On introduit l'albedo, on refait l'A.N. On a une température trop basse. Il faut introduire l'atmosphère. Traiter le modèle avec atmosphère selon le temps.

Page 71

### 3.3 Diffusion Rayleigh

Voir par exemple [53], p. 734 - En fonction du temps, rappeler le lien entre le déplacement du barycentre des électrons de valence et l'excitation électrique, la résonance à  $\omega_0$ . Dans l'atmosphère  $N_2$  et  $O_2$  vibrent dans l'UV donc bien en dessous de la fréquence de résonance : approximation faite on a  $r$  indépendant de  $\omega$  et sous l'excitation du soleil (plat dans le visible) on rayonne beaucoup plus le bleu que le rouge! On peut développer plus ou moins le modèle, et si possible parler un peu de polarisation.

Page 115

[fiches\\_agreg.pdf \(etienne-thibierge.fr\)](#)

### 3.4. Vents géostrophiques

[115, 1, 17] Écrire l'équation de Navier Stokes, la simplifier à l'aide d'ODG des nombres de Reynolds et de Rossby. Régime stationnaire : vitesse orthogonale au gradient de pression, cyclone et anticyclone. Illustrer avec des images du CD.

Plan possible

Phrase intro du type on vit dedans mais c'est ultra complexe faut plein de branche de chimie différente et ca c'est cool.

- 1) Thermodynamique répartition de température et distribution de Boltzmann pour composition

Voir tech et doc

- 2) Bilan adiatif diffusion Rayleigh

- 3) Vents mécanique avec Coriolis

Conclusion

## 50. Aspects macroscopiques et microscopiques de la conduction électrique.

\_51 leçon d'agreg\_

[LeconsPhysique.pdf \(psl.eu\)](#) :

### LP n° 18 : Phénomènes de transport.

NIVEAU : CPGÈ

On place cette leçon au niveau PC, ce qui écarte d'office l'éventualité d'une étude approfondie de la convection et du rayonnement. La première peut tout de même être abordée par le spectre des fluides, le second fait l'objet d'une approche documentaire.

PRÉREQUIS :

- Thermodynamique à l'équilibre
- Mécanique des fluides
- Notion de flux
- Loi d'Ohm Locale?
- Rayonnement thermique (lois de Wien et Stefan)

PLAN :

1. Introduction à l'étude des systèmes hors équilibre

2. Transport de particules

3. Transport d'énergie sous forme de transfert thermique

BIBLIOGRAPHIE :

- [31] B. Diu, *Thermodynamique* (2007) - Chap. 9.
- [66] *Physique PC/PC\**, Dunod (Ancien programme, 2006).
- [71] *Physique PC/PC\**, Dunod (2014).

Page 73

### LP n° 29 : Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs.

NIVEAU : CPGÈ

Le programme de PC impose de traiter les plasmas et les métaux mais laisse le choix quant à l'exemple qui sert à introduire la méthode. L'étude des DLHI n'est pas au programme mais on peut discuter par analogie l'importance de l'indice optique.

PRÉREQUIS :

- Ondes électromagnétiques dans le vide
- Bases de mécanique

PLAN :

1. Principe de l'étude illustré sur l'exemple du plasma dilué

BIBLIOGRAPHIE :

- Cours de J. Neveu sur les moteurs, chapitre 1
- [22] Tout-en-un Physique PSI/PSI\*, nouveau programme (1ere édition, 2014).
- [50] *Électromagnétisme. 2e année.* D. Mauras.
- [37] *Ondes électromagnétiques dans le vide et les milieux conducteurs* C. Carina

P109

### LP n° 47 : Mécanismes de la conduction électrique dans les solides.

NIVEAU : LICENCE 3

PRÉREQUIS :

- Électrocité
- Électromagnétisme
- Mécanique quantique (puits, notion de fonction d'onde, Équation de Schrödinger)
- Physique statistique (Théorie cinétique des gaz, Théorème d'équipartition, statistiques quantiques)

PLAN :

1. Interprétation mécanique de la conduction : le modèle de Drude
2. Description semi-quantique de la conduction, la mer de Fermi

3. Isolant, conducteur, semi-conducteur : la structure de bande

BIBLIOGRAPHIE :

1. [2] Physique des solides, Neil W. Ashcroft et N. David Mermin, édition EDP sciences 2002
2. Cours sur les moteurs de J. Neveu
3. Cours de matière condensée de P. Mendels
4. Cours de l'EPFL, éventuellement
5. [45] *Physique de l'état solide*, C. Kittel (8ème édition)
6. BUP n°550 sur les *Propriétés électriques des solides*

P175

Leçon n°53 : Mécanismes de la conduction électrique, loi d'Ohm, effet Hall, applications.

Modèle de Drude ; approximation de l'électron libre ; temps de relaxation ; loi d'Ohm ; échec du modèle de Drude ; théorie de Sommerfeld ; théorie des bandes ; différence de comportement : isolants, conducteurs, semi-conducteurs ; paramètres influant sur la conductivité : température, rôle des impuretés ; notion de supraconductivité, applications ; effet Hall : tension de Hall, application à la mesure d'un champ magnétique

[lecphys53.pdf \(physagreg.fr\)](#)

Eventuellement :

Leçon n°3 : La conductimétrie : conductivité d'une solution ionique et application à la détermination de concentrations (dosage volumique exclu).

Importance des ions de la conduction de l'électricité dans une solution : électrolyse d'une solution gélifiée de  $KMnO_4$  et de  $CuSO_4$  ; conductance et résistance ; facteurs d'influence : géométrie des plaques, température, concentration ; détermination de la concentration d'un sérum physiologique ; conductivité d'une solution et nature des ions ; conductivité molaire ionique : limite de la méthode avec courbe d'étalonnage

<https://www.physagreg.fr/leconagreg/chimie/lecchim3.pdf>

Plan

## 2. Thermodynamique

### Présentation

Le programme de thermodynamique de PC s'inscrit dans le prolongement du programme de PCSI : les principes de la thermodynamique peuvent être désormais écrits sous forme infinitésimale  $dU + dE = \delta W + \delta Q$  et  $dS = \delta S_o + \delta S_c$  pour un système évoluant entre deux instants  $t$  et  $t+dt$  infiniment proches, d'une part dans le cadre de l'étude des machines thermiques avec écoulement en régime stationnaire et d'autre part dans le cadre de l'étude de la **diffusion** thermique. Les expressions des variations infinitésimales  $dU$  et  $dS$  en fonction des variables d'état doivent être fournies pour les systèmes envisagés.

Lors de l'étude de la **diffusion** de particules on néglige la convection. La mise en équation de la **diffusion** thermique est limitée au cas des solides ; on peut utiliser les résultats ainsi établis dans des fluides en l'absence de convection en affirmant la généralisation des équations obtenues dans les solides. Par ailleurs on néglige le rayonnement thermique qui fait l'objet d'une approche documentaire.

Cette rubrique contribue à asseoir la maîtrise des opérateurs d'analyse vectorielle (gradient, divergence, laplacien) mais le formalisme doit rester au deuxième plan. Les mises en équations locales sont faites exclusivement sur des géométries cartésiennes unidimensionnelles. On admet ensuite les formes générales des équations en utilisant les opérateurs d'analyse vectorielle, ce qui permet de traiter des problèmes dans d'autres géométries en fournissant les expressions de la divergence et du laplacien.

Enfin, aucune connaissance sur les solutions d'une équation de **diffusion** ne figure au programme. La loi phénoménologique de Newton à l'interface entre un solide et un fluide peut être utilisée dès lors qu'elle est fournie.

### Objectifs généraux de formation

Le cours de thermodynamique de PC permet une révision du cours de thermodynamique de PCSI et contribue à asseoir les compétences correspondantes. Au-delà, l'étude des phénomènes de **diffusion** contribue à la formation générale en physique des milieux continus en introduisant des outils formels puissants (divergence, laplacien) dans un contexte concret. Les compétences développées sont :

.....

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2.1 Diffusion de particules</b>	
Vecteur densité de flux de particules $\mathbf{j}_N$ .	Exprimer le nombre de particules traversant une surface en utilisant le vecteur $\mathbf{j}_N$ .
Bilans de particules.	Utiliser la notion de flux pour traduire un bilan global de particules. Établir une équation traduisant un bilan local dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne, éventuellement en présence de sources internes. Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence et son expression fournie.
Loi de Fick.	Utiliser la loi de Fick. Citer l'ordre de grandeur d'un coefficient de diffusion dans un gaz dans les conditions usuelles.
Régimes stationnaires.	Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne.
Équation de diffusion en l'absence de sources internes.	Établir une équation de la diffusion dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Utiliser une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur laplacien et son expression fournie. Analyser une équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.
Approche microscopique du phénomène de diffusion.	Mettre en place un modèle probabiliste discret à une dimension de la diffusion (marche au hasard) et évaluer le coefficient de diffusion associé en fonction du libre parcours moyen et de la vitesse quadratique moyenne.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2.2 Diffusion thermique</b>	
Vecteur densité de flux thermique $\mathbf{j}_Q$	Exprimer le flux thermique à travers une surface en utilisant le vecteur $\mathbf{j}_Q$ .
Premier principe de la thermodynamique.	Utiliser le premier principe dans le cas d'un milieu solide pour établir une équation locale dans le cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne, éventuellement en présence de sources internes. Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque utilisant l'opérateur

	divergence et son expression fournie.
Loi de Fourier.	Utiliser la loi de Fourier. Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, béton, acier.
Régimes stationnaires. Résistance thermique.	Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne. Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique. Exprimer une résistance thermique dans le cas d'un modèle unidimensionnel en géométrie cartésienne. Utiliser des associations de résistances thermiques.
Équation de la diffusion thermique en l'absence de sources internes.	Établir une équation de la diffusion dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Admettre et utiliser une généralisation en géométrie quelconque en utilisant l'opérateur laplacien et son expression fournie. Analyser une équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle. Utiliser la relation de Newton $\delta Q = h(T_s - T_a) dS dt$ fournie comme condition aux limites à une interface solide-fluide.
<b>2.3 Rayonnement thermique</b>	
Approche descriptive du rayonnement du corps noir : loi de Wien, loi de Stefan.	Utiliser les expressions fournies des lois de Wien et de Stefan pour expliquer qualitativement l'effet de serre.

Le bloc 1 étudie les sources du champ électromagnétiques dans l'approximation des milieux continus. Par ailleurs il convient de souligner et d'exploiter les analogies formelles avec les autres théories de champ : diffusion de particules, diffusion thermique, gravitation, mécanique des fluides.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>3. Equations aux dérivées partielles</b>	
Exemples d'équations aux dérivées partielles : équation de Laplace, équation de diffusion, équation de d'Alembert, équation de Schrödinger.	Identifier une équation aux dérivées partielles connue. Transposer une solution familière dans un domaine de la physique à un autre domaine.  Obtenir des solutions de forme donnée par substitution.  Utiliser des conditions initiales et des conditions aux limites

[LeconsPhysique.pdf \(psl.eu\)](#)

## LP n° 8 : Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux.

NIVEAU : CPGÉ

On appuie cette leçon sur le programme de PC.

PRÉREQUIS : \_\_\_\_\_

- Description d'un fluide en mouvement
- Force de pression et équivalent volumique
- Diffusion de particules, de la chaleur (phénomènes de transport)

PLAN : \_\_\_\_\_

1. Notion de viscosité
2. Dynamique des fluides newtoniens

3. Description des écoulements fondamentaux

BIBLIOGRAPHIE : \_\_\_\_\_

1. [41] *Hydrodynamique physique*, Guyon-Hulin-Petit (2001).
2. [53] *Physique PC/PC\**, H. Gié et coll.
3. [71] *Physique PC/PC\**, Tout-en-un, Dunod (4e édition)

## LP n° 18 : Phénomènes de transport.

NIVEAU : CPGE \_\_\_\_\_

On place cette leçon au niveau PC, ce qui écarte d'office l'éventualité d'une étude approfondie de la convection et du rayonnement. La première peut tout de même être abordée par le spectre des fluides, le second fait l'objet d'une approche documentaire.

PRÉREQUIS : \_\_\_\_\_

- Thermodynamique à l'équilibre
- Mécanique des fluides
- Notion de flux
- Loi d'Ohm Locale?
- Rayonnement thermique (lois de Wien et Stefan)

PLAN : \_\_\_\_\_

1. Introduction à l'étude des systèmes hors équilibre

2. Transport de particules

3. Transport d'énergie sous forme de transfert thermique

BIBLIOGRAPHIE : \_\_\_\_\_

- [31] B. Diu, *Thermodynamique* (2007) - Chap. 9.
- [66] *Physique PC/PC\**, Dunod (Ancien programme, 2006).
- [71] *Physique PC/PC\**, Dunod (2014).

page 73

## LP n° 19 : Bilans thermiques : Flux conductifs, convectifs et radiatifs.

NIVEAU : CPGE \_\_\_\_\_

PRÉREQUIS : \_\_\_\_\_

- Thermodynamique (1er principe)
- Diffusion de particules
- Mécanique des fluides
- Électromagnétisme
- Rayonnement du corps noir?

PLAN : \_\_\_\_\_

1. Formulation locale du bilan thermique
2. Propriétés des différents flux

3. Analyse d'une cellule solaire

BIBLIOGRAPHIE : \_\_\_\_\_

- [65] Dunod, MP/MP\* ancien programme.
- [66] Dunod, PC/PC\* nouveau programme.
- [64] Dunod, MP/MP\* nouveau programme.
- [31] *Thermodynamique*, Diu, Hermann, 2007.
- On peut éventuellement visiter ce site de l'université de Lyon.

IDÉES À FAIRE PASSER : \_\_\_\_\_

P77

### 3.3 Diffusion Rayleigh

Voir par exemple [53], p. 734 - En fonction du temps, rappeler le lien entre le déplacement du barycentre des électrons de valence et l'excitation électrique, la résonance à  $\omega_0$ . Dans l'atmosphère  $N_2$  et  $O_2$  vibrent dans l'UV donc bien en dessous de la fréquence de résonance : approximation faite on a  $r$  indépendant de  $\omega$  et sous l'excitation du soleil (plat dans le visible) on rayonne beaucoup plus le bleu que le rouge! On peut développer plus ou moins le modèle, et si possible parler un peu de polarisation.

**Conclusion :** Modèle riche en interprétations. Calcul faisable avec des outils pas trop évolués même si hors programmes car très calculatoires. Suffit à modéliser pas mal de chose, on a vu ici l'électron lié, on pourra prolonger sur les antennes

BONUS : \_\_\_\_\_

- Pour prouver la fameuse assertion « toute charge accélérée rayonne » on peut superposer le dipôle à une charge fixe qui annule la charge fixe du dipôle.
- Pourquoi on se penche principalement sur cette source de rayonnement et pas une autre?
- Voir la preuve en potentiels retardés dans le Gié, par exemple.
- Se chauffer sur les antennes parce que ça va tomber! Voir pour cela [53], p. 748 (exercice)

## Effet Doppler

PC : onde acoustique

Effet <b>Doppler</b> longitudinal	Décrire et mettre en œuvre un protocole de détection « synchrone » pour mesurer une vitesse par décalage <b>Doppler</b>
-----------------------------------	---

## Plan

I) Théorie lien onde fréquence

[Effet Doppler — Wikipédia \(wikipedia.org\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Doppler)

II) Sonore

[Effet Doppler avec un diapason](#)



Déterminer vitesse voiture ?

III) Largeur des raies

### 1.3 Largeur de raie

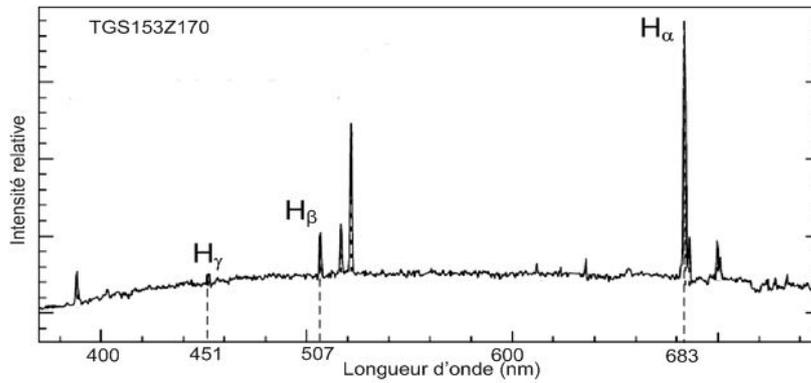
Discuter la largeur de raie liée à Heisenberg (cf. [35], p. 1068) et celle liée à l'élargissement par effet **Doppler** (cf. [20], p. 24). On peut évoquer les méthodes de mesure de ces profils par interférométrie à division d'amplitude. Voir aussi [71], p. 1068.

[20] B. Cagnac, L. Tchang-Brillet, and J.-C. Pebay-Péroula. *Physique atomique*, volume 1. Atomes et rayonnement : interactions électromagnétiques. Dunod, 2005.

#### IV) Lumière redshift vitesse galaxy

[H \$\alpha\$  — Wikipédia \(wikipedia.org\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/H%26alpha)

Spectre de la galaxie TGS153Z170 avec indexage des raies (source M. Colless et al. *The 2dF Galaxy Redshift Survey: spectra and redshifts*, Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 1039–1063 (2001))



Compléter les deux premières colonnes du tableau :

Nom de la raie	$\lambda_0$ (nm)	$\lambda'$ (nm)	Décalage spectral relatif z
H $\alpha$	656	683	
H $\beta$	486	507	
H $\gamma$	434	451	

[Effet Doppler, vitesse d'éloignement d'une galaxie \(chimix.com\)](http://chimix.com)

## Exemples d'effets relativistes – Applications

[fiches\\_agreg.pdf \(etienne-thibierge.fr\)](#) Leçons :

-: Principes de la cinématique relativiste. Conséquences. P 13

Dynamique relativiste. Exemples p 15

Principe de la cinématique relativiste. Durée propre, longueur propre : [lecphys7bis.pdf \(physagreg.fr\)](#) ref 2

Collisions en relativité restreinte, application à l'étude des noyaux et des particules élémentaires  
[lecphys8.pdf \(physagreg.fr\)](#) ref 3

Pré-requis Cinématique relativiste Formalisme des quadrivecteurs Électromagnétisme classique

Idées à faire passer Équivalence masse-énergie, on peut récupérer l'énergie de masse sous une autre forme Intérêt de la notion de quadrivecteur Généralisation des résultats de mécanique classique

Plan :

I) Rappels ref 3

quadrivecteur – invariance de la norme du quadrivecteur Energie – impulsion-

I) Dilatation des Durée de vie des Muon temps propre ref 2

II) Expérience de Bertozzi [Expérience de Bertozzi — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)

II) Effet Compton [Diffusion Compton — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)

Conclusion

Relate cool mais : il manque un élément : que le tenseur dépend de la masse pas toujours minkowski

Physique des particules modèle standard grand collisionneurs

Fentes d'young ET dualité onde corpuscule

Fente d'young interférence [lecphys37.pdf](http://lecphys37.pdf) ([physagreg.fr](http://physagreg.fr))

Dualité : [lecphys43.pdf](http://lecphys43.pdf) ([physagreg.fr](http://physagreg.fr))

[fiches\\_agreg.pdf](http://fiches_agreg.pdf) ([etienne-thibierge.fr](http://etienne-thibierge.fr))

\_Expériences de physique optique, mécanique fluides acoustiques\_

MP

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>3.1. Modèle scalaire des ondes lumineuses</b>	
Modèle de propagation dans l'approximation de l'optique géométrique.	Savoir que la grandeur lumineuse (ou grandeur scalaire de l'optique) est une composante du champ électrique.
Chemin optique. Déphasage dû à la propagation. Surfaces d'ondes. Théorème de Malus (admis).	Exprimer le retard de phase en un point (par rapport à un autre) 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 lumineux et en termes de surfaces d'onde. Utiliser la propriété énonçant que le chemin optique séparant deux points conjugués est indépendant du rayon lumineux choisi.
Modèle d'émission. Relation (admise) entre le temps de cohérence et la largeur spectrale.	Citer l'ordre de grandeur du temps de cohérence $\Delta t$ de quelques radiations visibles. Utiliser la relation $\Delta f \cdot \Delta t \sim 1$ pour relier le temps de cohérence à la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la radiation.
Récepteurs. Intensité de la lumière.	Relier l'intensité à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire de l'optique. Citer l'ordre de grandeur du temps de réponse de quelques récepteurs de lumière.  <b>Mettre en œuvre des expériences utilisant un capteur CCD.</b>
<b>3.2. Superposition d'ondes lumineuses</b>	

<b>3.2. Superposition d'ondes lumineuses</b>	
Superposition de deux ondes incohérentes entre elles.	Justifier et utiliser l'additivité des intensités.
Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \phi$ . Facteur de contraste.	Citer les principales conditions pour que le phénomène d'interférences apparaisse (ondes quasi synchrones, déphasage constant dans le temps ou très lentement variable). Établir et utiliser la formule de Fresnel. Associer un bon contraste à des intensités $I_1$ et $I_2$ voisines.
Superposition de N ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique.	Établir la relation fondamentale des réseaux liant la condition d'interférences constructives à l'expression de la différence de marche entre deux ondes issues de motifs consécutifs. Établir la demi-largeur $2\pi/N$ des pics principaux de la courbe d'intensité en fonction du déphasage.  <b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental utilisant un phénomène d'interférences à N ondes.</b>

<b>3.3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young</b>	
Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source ponctuelle à distance finie et observation à grande distance. Champ d'interférences. Ordre d'interférences p.	Définir, exprimer et utiliser l'interfrange et l'ordre d'interférences. Justifier que les franges ne sont pas localisées.
Variations de l'ordre d'interférences p avec la	Interpréter la forme des franges observées.

position du point d'observation ; franges d'interférences.	
Variations de l'ordre d'interférences $p$ avec la position d'un point source ; perte de contraste par élargissement angulaire de la source.	Utiliser le critère semi-quantitatif de brouillage des franges $ \Delta p  > 1/2$ (où $ \Delta p $ est évalué sur la moitié de l'étendue spatiale de la source) pour interpréter des observations expérimentales.
Variations de $p$ avec la longueur d'onde. Perte de contraste par élargissement spectral de la source.	Utiliser le critère semi-quantitatif de brouillage des franges $\Delta p > 1/2$ (où $ \Delta p $ est évalué sur la moitié de l'étendue spectrale de la source) pour interpréter des observations expérimentales.

PC

## 1. Optique

### Présentation

Le programme de PC s'inscrit dans la continuité de la rubrique « signaux physiques » du programme de PCSI. Dans le bloc 1 on introduit les éléments spécifiques à l'émission, la propagation et la détection des ondes lumineuses. Puis les blocs 2-4 traitent essentiellement des interférences lumineuses avec un cheminement naturel du simple au compliqué : partant des trous d'Young éclairés par une source ponctuelle strictement monochromatique, on étudie ensuite l'évolution de la visibilité sous l'effet d'un élargissement spatial et spectral de la source. Le brouillage des franges précédentes sous l'effet d'un élargissement spatial conduit à montrer un des avantages de l'interféromètre de Michelson éclairé par une source étendue (franges d'égale inclinaison et franges d'égale épaisseur) en constatant expérimentalement l'existence d'un lieu de localisation des franges. L'objectif de cette partie n'est pas le calcul d'intensités de la lumière : on exploite le plus souvent les variations de l'ordre d'interférences (avec la position du point d'observation, la position du point source et la longueur d'onde) pour interpréter les observations sans expliciter l'intensité de la lumière.

Le bloc 1 introduit les outils nécessaires. La réponse des récepteurs est environ proportionnelle à la moyenne du carré du champ électrique de l'onde. Le programme utilise uniquement le mot « intensité » pour décrire la grandeur détectée mais on peut utiliser indifféremment les mots « intensité » et « éclaircissement » sans chercher à les distinguer à ce niveau de formation. La loi de Malus (orthogonalité des rayons lumineux et des surfaces d'ondes dans l'approximation de l'optique géométrique) est admise. Dans le cadre de l'optique, on qualifiera de plane ou sphérique une onde par référence à la forme des surfaces d'ondes.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1. Modèle scalaire des ondes lumineuses</b>	
a) Modèle de propagation dans l'approximation de l'optique géométrique.	Associer la grandeur scalaire de l'optique à une composante d'un champ électrique.
Chemin optique. Déphasage dû à la propagation.	Exprimer le retard de phase en un point en fonction du retard de propagation ou du chemin optique.
Surfaces d'ondes. Loi de Malus.	Utiliser l'égalité des chemins optiques sur les rayons d'un point objet à son image.
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 lumineux et en termes de surfaces d'onde.
b) Modèle d'émission. Approche expérimentale de la longueur de cohérence temporelle. Relation entre le temps de cohérence et la largeur spectrale.	Classier différentes sources lumineuses (lampe spectrale basse pression, laser, source de lumière blanche...) en fonction du temps de cohérence de leurs diverses radiations et connaître quelques ordres de grandeur des longueurs de cohérence temporelle associées. Utiliser la relation $\Delta f \cdot \Delta t = 1$ pour relier le temps de cohérence et la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la radiation considérée.

c) Récepteurs. Intensité.	<p>Relier l'intensité à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire de l'optique.</p> <p>Citer le temps de réponse de l'œil.  <b>Choisir un récepteur en fonction de son temps de réponse et de sa sensibilité fournis.</b></p>
---------------------------	--

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2. Superposition d'ondes lumineuses</b>	
Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel $I=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2} \cos \phi$ .	Établir la formule de Fresnel. Citer la formule de Fresnel et justifier son utilisation par la cohérence des deux ondes.

© Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche 2013

Dans le bloc 3, les trous d'**Young** permettent de confronter théorie et expérience. En revanche, les fentes d'**Young** sont abordées de manière exclusivement expérimentale. Aucun autre interféromètre à division du front d'onde n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>3. Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young</b>	
Trous d' <b>Young</b> ponctuels dans un milieu non dispersif : source ponctuelle à grande distance finie et observation à grande distance finie. Champ d'interférences. Ordre d'interférences $p$ .	Savoir que les franges ne sont pas localisées. Définir, déterminer et utiliser l'ordre d'interférences.
Variations de $p$ avec la position du point d'observation ; franges d'interférences.	Interpréter la forme des franges observées sur un écran éloigné parallèle au plan contenant les trous d' <b>Young</b> .
<b>Comparaison entre deux dispositifs expérimentaux : trous d'Young et fentes d'Young.</b>	<b>Confronter les deux dispositifs : analogies et différences.</b>
Variation de $p$ par rajout d'une lame à faces parallèles sur un des trajets.	Interpréter la modification des franges
Variations de $p$ avec la position d'un point source ; perte de contraste par élargissement spatial de la source.	Utiliser le critère semi-quantitatif de brouillage des franges $ \Delta p  > 1/2$ (où $ \Delta p $ est évalué sur la moitié de l'étendue spatiale de la source) pour interpréter des observations expérimentales.

Variations de $p$ avec la longueur d'onde. Perte de contraste par élargissement spectral de la source.	Utiliser le critère semi-quantitatif de brouillage des franges $ \Delta p  > 1/2$ (où $ \Delta p $ est évalué sur la moitié de l'étendue spectrale de la source) pour interpréter des observations expérimentales. Relier la longueur de cohérence, $\Delta\lambda$ et $\lambda$ en ordre de grandeur.
Observations en lumière blanche (blanc d'ordre supérieur, spectre cannelé).	Déterminer les longueurs d'ondes des cannelures.
Généralisation au montage de Fraunhofer : trous d' <b>Young</b> ; ensemble de $N$ trous alignés équidistants.	Confronter ce modèle à l'étude expérimentale du réseau plan.

Prérequis : model ondulatoire de la lumière, scalaire, différence de marche, chapitre quantique ?

Niveau : PC

Introduction : Qu'elle est la nature de la lumière ?

Historique réf 1

Newton, Huygens, Einstein, Broglie...

I) Description du montage et résultats

A) Description expérience belle image et schéma

Faire la manipe :)

B) Résultats

II) Explication ondulatoire

A) Les trous d'young interférence

B) Différence de marche  $d \sin \theta$  limité

C) Formule intensité

P168 de ref 3 ( Le calcul )

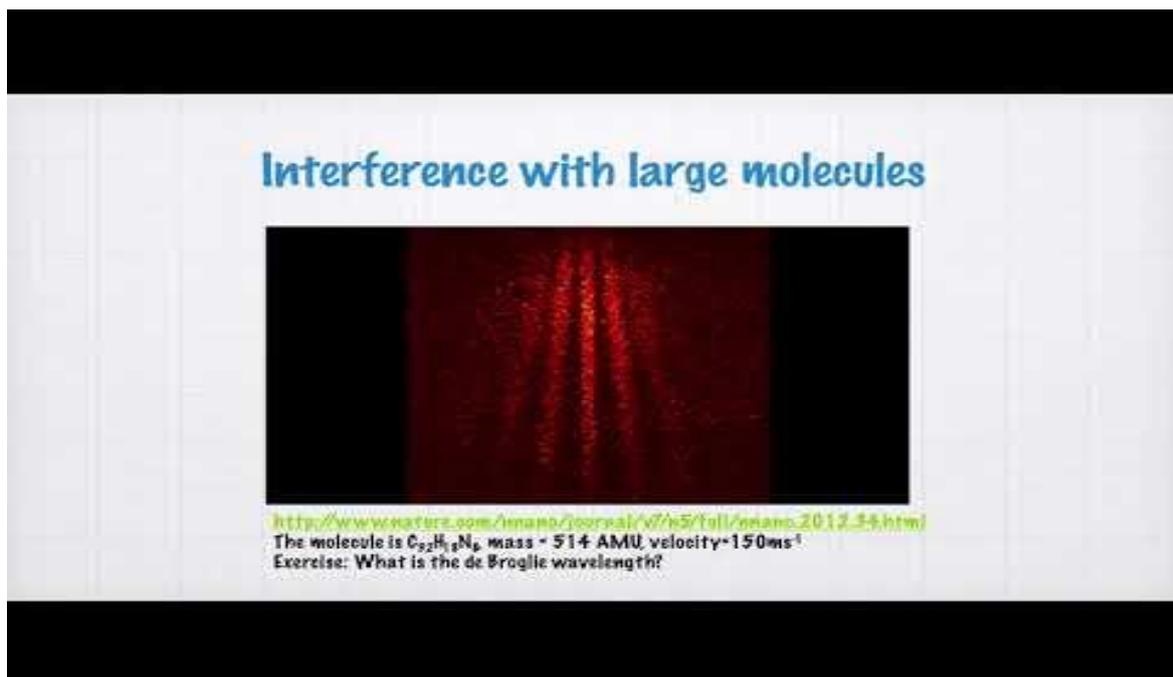
D) Des trous aux fentes

P186 code python ou schéma avec sincardinal pour les interférence et stries pour les fentes

III) Mais n'explique pas car :

1photon à la fois

Vidéo photon un à un à un [45-0 Quantum Mechanics, the double slit and de Broglie waves \(1201\)](http://www.nature.com/nature/journal/v474/n5191/full/nature2012344.html)



On constate que un photon à la fois donne un point d'impacte => corpusculaire

On constate que plein d'impacte redonne une distribution avec interférences.

A relier avec fonction d'onde.

Electron ca fait pareil :

Si on bouche on retrouve interférence une onde ou un photon

Électron ?

Conclusion :

Young montre que la lumière à selon les situations un comportement ondulatoire ou corpusculaire.

Difraction de gratin ou Rheed ou leed qui utilise le comportement ondulatoire des électrons.

Filsdemichel c'est mieux car bravo pas problème avec sourc étendu et non monochromatique car franges localisées

# Hystérésis et biréfringence **BISTABILITÉ ET PAS BIRÉFRINGENCE**.....

## Choix mag ou électrocinétique

### Programme de PSI

#### ÉLECTRONIQUE

##### Présentation

Cette partie renforce et complète l'étude des circuits électriques linéaires menée dans la partie « signaux physiques » du programme de première année. Ainsi, les notions de filtrage et d'analyse spectrale sont réinvesties, en particulier dans les activités expérimentales. Le programme de deuxième année ajoute la rétroaction et le bouclage des systèmes linéaires dans le but d'aborder les notions suivantes :

- la stabilité ;
- les oscillateurs ;
- la réalisation de filtres actifs à forte impédance d'entrée pour une association en cascade.

Ces différentes thématiques sont illustrées à l'aide de l'amplificateur linéaire intégré ALI (également appelé amplificateur opérationnel) dont l'étude n'est pas une fin en soi mais un outil permettant des réalisations expérimentales variées.

Par ailleurs, des exemples de manifestations des non linéarités sont abordés à l'occasion de la saturation d'un amplificateur ou de la réalisation d'une fonction mémoire (comparateur à hystérésis).

Afin de compléter l'approche analogique des circuits électriques, un module à vocation expérimentale est consacré au traitement numérique des signaux à travers les sujets suivants :

- l'échantillonnage et le repliement de spectre ;
- le filtrage numérique ;
- les conversions analogique/numérique et numérique/analogique.

Enfin, la problématique de la transmission d'un signal temporel codant une information est abordée dans l'étude et la réalisation d'une modulation, en relation avec la partie du programme consacrée à la propagation des ondes électromagnétiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2. Rétroaction</b>	
Modèle de l'ALI défini par une résistance d'entrée infinie, une résistance de sortie nulle, une fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire, une saturation de la tension de sortie, une saturation de l'intensité de sortie.	Citer les hypothèses du modèle et les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse.
Montages amplificateur non inverseur et comparateur à hystérésis.	Représenter les relations entre les tensions d'entrée et de sortie par un schéma fonctionnel associant un soustracteur, un passe-bas du premier ordre et un opérateur proportionnel.  Analyser la stabilité du régime linéaire.
Compromis gain/bande passante d'un système bouclé du premier ordre.	Établir la conservation du produit gain-bande passante du montage non inverseur.
Limite en fréquence du fonctionnement linéaire.	<b>Identifier la manifestation de la vitesse limite de balayage d'un ALI dans un montage.</b>
Cas limite d'un ALI idéal de gain infini en régime saturé.	Identifier l'absence de rétroaction ou la présence d'une unique rétroaction sur la borne non inverseuse comme l'indice d'un probable comportement en saturation.  Établir la relation entrée-sortie d'un comparateur simple. Pour une entrée sinusoïdale, faire le lien entre la non linéarité du système et la génération d'harmoniques en sortie.

© Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013

<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>

10

	Établir le cycle d'un comparateur à hystérésis. Décrire le phénomène d'hystérésis en relation avec la notion de fonction mémoire.
--	---

Oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis.	Carrière. Décrire les différentes séquences de fonctionnement. Exprimer les conditions de basculement. Déterminer la période d'oscillation.
Générateur de signaux non sinusoïdaux.	<b>Réaliser un oscillateur de relaxation et effectuer l'analyse spectrale des signaux générés.</b>

Milieu ferromagnétique.	Représenter l'allure des cycles d'hystérésis $(H, M)$ et $(H, B)$ d'un milieu ferromagnétique. Distinguer milieu dur et milieu doux, citer des exemples.  <b>Tracer le cycle d'hystérésis d'un milieu ferromagnétique.</b>
-------------------------	--

Pertes d'une bobine réelle à noyau.	Exprimer le lien entre l'aire du cycle hystérésis et la puissance moyenne absorbée. Décrire les différents termes de perte d'une bobine à noyau : pertes fer par courants de Foucault et par hystérésis, pertes cuivre.
-------------------------------------	---

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2. Transformateur</b>	
Modèle du transformateur idéal.	Citer les hypothèses du transformateur idéal. Établir les lois de transformation des tensions et des courants du transformateur idéal, en respectant l'algébrisation associée aux bornes homologues.  Relier le transfert instantané et parfait de puissance à une absence de pertes et à un stockage nul de l'énergie électromagnétique.
Pertes.	Citer les pertes cuivre, les pertes fer par courant de Foucault et par hystérésis. Décrire des solutions permettant de réduire ces pertes.

[lecphys52.pdf \(physagreg.fr\)](#) que magnétique

Tracé de la courbe de première aimantation ; montage et expérience ; analyse de la courbe et interprétation microscopique ; influence de la température : oscillations ferro/para ; phénomène d'hystérésis ; étude expérimentale de la désaimantation ; cycle d'hystérésis ; classification des matériaux ; aspect énergétique ; applications : aimants permanents, électroaimants et enregistrement magnétique
---

Montage [montagephys18.pdf \(physagreg.fr\)](#)

Différents milieux magnétiques : paramagnétiques, diamagnétiques et ferromagnétiques ; mesure de susceptibilité magnétique (milieu paramagnétique) ; milieux ferromagnétiques : courbes de première aimantation, hystérésis, influence de la température, expérience de Barkhausen ; milieux supraconducteurs ; effet Meisner ; excitation coercitive ; parois de Bloch
---

[LeconsPhysique.pdf \(psl.eu\)](#)

leçon 22 page 87 ampli op électrocinétique

LP n° 46 : Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques page page 173

[fiches\\_agreg.pdf \(etienne-thibierge.fr\)](#)

P52 : Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques. Applications. P 91

MP16 : Milieux magnétiques. P 177

## 53. Production, analyse et utilisation de la polarisation des ondes électromagnétiques.

### Production, analyse et utilisation de la polarisation des ondes électromagnétiques

<https://www.physagreg.fr/leconagreg/physique/lecphys27.pdf> :

Leçon n°27 : Etude macroscopique de la polarisation du champ électrique et du vecteur densité de flux électrique dans les milieux diélectriques

étude du condensateur : condensateur d'Aepinius ; polarisation dans les milieux : sphère polarisée radialement ; modification de l'équation de Maxwell-Gauss (équation de Maxwell, relation de passage, densité d'énergie) ; milieux linéaires : cas du régime dynamique ; charges équivalentes et champ dépolarisant ; principe d'itération

[montagephys11.pdf \(physagreg.fr\)](#)

Montage n°11 : Milieux optiquement actifs, biréfringence et polarisation rotatoire

Biréfringence linéaire : mise en évidence de la double réfraction, mesure de la biréfringence (mise en évidence des lignes neutres perpendiculaire), mesure de la différences d'indice pour une lame de scotch grâce au compensateur de babinet ; biréfringence circulaire (activité optique) : existence et mesure du pouvoir rotatoire, biréfringence circulaire induite : effet Faraday ; autres biréfringence induite : effet Kerr, effet photoélastique

[montagephys12.pdf \(physagreg.fr\)](#)

Montage n°12 : Production et analyse d'une lumière polarisée

Polarisation rectiligne : production par réflexion vitreuse, par dichroïsme et par diffusion, analyse grâce à un analyseur à extinction ou un analyseur à pénombre ; polarisation elliptique : production par réflexion métallique, analyse par utilisation d'un polariseur tournant ; analyse de la polarisation d'une lumière quelconque

[fiches\\_agreg.pdf \(etienne-thibierge.fr\)](#)

#### 1.3. Conditions d'obtention

Polarisations identiques, d'où on passe au modèle scalaire. Transformer le terme d'interférences pour faire sortir les conditions. Obtenir la formule des interférences à 2 ondes.

Bien faire ressortir la cohérence comme condition d'observation d'interférences. *A priori* on superpose les champs, mais si ondes non cohérentes il suffit de superposer des amplitudes. Interprétation avec les trains d'onde.

## MP07 : Interférences à deux ondes ; conditions d'obtention.

### ♣ Bibliographie

[46] *Expériences d'optique à l'agrégation*, R. Duffait  
[136] *Optique expérimentale*, Sextant

### ♣ Idées à illustrer

Trois types de cohérence : cohérence de polarisation, cohérence spatiale, cohérence temporelle

Page 170 MP10

## MP10 : Milieux optiquement actifs : biréfringence et pouvoir rotatoire.

### ♣ Bibliographie

[46] *Expériences d'optique à l'agrégation*, R. Duffait  
[136] *Optique expérimentale*, Sextant

Page 171

## MP11 : Production et analyse d'une lumière polarisée.

### ♣ Bibliographie



## Systèmes couplés

[LeconsPhysique.pdf \(psl.eu\)](#)

### 2.3 Couple électromagnétique

On a le champ  $B$  au sein de l'entrefer, on peut en déduire  $E_{EB}$  et  $\Gamma_{EB}$ .

[22], p. 736 et Cours de Naval, p. 7 - On intègre la densité d'énergie volumique, seulement dans l'entrefer car dans les ferro,  $\mu_r \rightarrow \infty$  donc terme négligeable. On décompose le calcul de l'intégrale en trois termes : rotor, stator, **couplage**. (remarque Cours de Naval, p. 7 en bas!) faire au tableau une intégrale et un slide avec les deux autres. Le couple électromagnétique exercé sur le rotor se déduit par dérivation de l'énergie électromagnétique.

[22], p. 739 et Cours de Naval, p. 7 - Couple moyen et condition de synchronisme : la vitesse angulaire de rotation du rotor doit être égale à la pulsation du courant des phases du stator. Machine synchrone!

p 82

### 3.2 Fonctionnement

Cours de Naval, p. 11 et [22], p. 781 - On assimile le moteur à courant continu à une machine synchrone pour laquelle l'angle entre le champ statorique et le champ rotorique est en permanence égal à  $\pi/2$ . Couple proportionnel à l'intensité  $i$  du courant qui circule dans le rotor  $\Gamma_{em} = \Phi_0 i$ .  $\Phi_0$  est la constante du **couplage**, caractéristique du moteur et proportionnelle au champ produit pas l'inducteur. Force contre électromotrice + schéma électrique équivalent. PWP bilan énergétique du moteur réel.

P83

### 2.2 Cas de deux bobines en interaction

Expérience : Bobines de Helmholtz, envoyer un sinus dans une bobine, regarder aux bornes de l'autre : un signal apparait.

[63], p. 1098 - Coefficient d'inductance mutuelle. PWP. Flux magnétiques envoyés réciproquement entre les deux circuits. Forces électromotrices induites dans des circuits couplés par mutuelle :  $e_i = -(L_i di_i)/dt - (M di_j)/dt$ .

[63], p. 1102 - Étude de deux circuits couplés + circuits électriques équivalents PWP. Loi des mailles avec M + étude en régime sinusoïdal établi (la bobine 1 est équivalente à un dipôle dont l'impédance dépend des caractéristiques de la bobine 2 à cause du **couplage** inductif).

Exemple dans la vie courante : le transformateur [63], p. 1105-8 : présenter le principe et obtenir le rapport de transformation à partir des circuits précédents (sans pertes joules  $R = 0$ ) puis son utilisation.

**Transition :** Voir l'autre moyen d'observer le phénomène d'induction, et sa réciprocité.

P86

## LP n° 43 : Évolution temporelle d'un système quantique à deux niveaux.

NIVEAU : LICENCE 3

PRÉREQUIS : \_\_\_\_\_

- Résolution du double puits en fonction d'onde. Énergies propres.
- 

PLAN : \_\_\_\_\_

1. De l'importance des systèmes à deux niveaux en physique
2. Évolution temporelle d'un système élémentaire

3. Évolution sous l'effet d'un **couplage**

BIBLIOGRAPHIE : \_\_\_\_\_

- [21] J.-L. Basdevant, méca Q.
- [27] Cohen-Tannoudji, Tome I.
- Cours de mécanique quantique de Quentin GLO-RIEUX, chap. 5
- Éventuellement le BUP n°574 sur les systèmes à deux états.

P161

## LP n° 48 : Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique.

### NIVEAU : CPGE

A priori rien d'en cette leçon n'est vraiment pas au programme de CPGE. La première partie relève de la première année, les deux autres ne sont pas vraiment au programme mais peuvent constituer des exercices assez classiques... Par précaution, on pourra décider de mettre cette leçon au niveau Licence (2).

### PRÉREQUIS :

- Mécanique de première année
- Electrocinétique de première année
- Formalisme complexe, RSF
- Interférences à N ondes
- Induction (notamment la mutuelle)
- Eventuellement la différence de marche de la lame d'air

### PLAN :

1. Réponse d'un oscillateur harmonique à un forçage
2. Résonance(s) d'oscillateurs couplés
3. Cavités résonantes

### BIBLIOGRAPHIE :

- [48] *Supermanuel de Physique*, J. Majou & S. Komilikis.
- [19] Hprépa, *Mécanique. Première année.*
- TD de C. Sayrin énoncé et corrigé
- Eventuellement le Taillet [74] et le Pérez d'Optique [58] pour « compléter » le TD de C. Sayrin.
- Eventuellement aussi, pour la partie de mécanique, le BFR de mécanique (tome 1) [9] autour de la page 200.
- [55] *Physique, une approche moderne*. C. Lagoute et coll.

P179

[fiches agreg.pdf \(etienne-thibierge.fr\)](#)

### 1. Principe de la conversion de puissance électromécanique

#### 1.1. Exemple des rails de Laplace

[133], ch. induction. ☞ **Manip** : montrer la conversion dans les deux sens.

Établir les équations électrique et mécanique. Insister sur l'origine physique du couplage. Bilan de puissance sans considérer de pertes : rendement de la conversion = 1.

P38

### 1. Exemple classique : oscillateurs couplés par élasticité [63, 109]

☞ **Manip** : cette partie est à illustrer sur le système à quatre ressorts couplés, suivi par VidéoCom, où l'on bloque le ressort du milieu avec une pince. Il faut demander aux techniciens de faire du bricolage pour remplacer le ressort du milieu par un ressort moins raide. Ça permet de mieux visualiser les battements.

#### 1.1. Présentation du problème

Deux oscillateurs harmoniques identiques, couplage par un ressort, choix des états de base.

#### 1.2. Mise en équation

[à savoir] cf. bonus. Application du P.F.D. aux deux masses, écrire sous forme matricielle et diagonaliser.

#### 1.3. Modes propres et battements

Montrer les modes propres, commenter l'apparition ou non de  $k'$  dans les pulsations propres. Bien définir la notion de mode propre : mode harmonique stationnaire. Relever par TF les pulsations des modes propres. Phénomène de battements à visualiser avec VidéoCom. Faire la TF et montrer qu'on retrouve les pulsations des modes propres.

#### 1.4. Aspects énergétiques

[à savoir] cf. bonus. Transferts d'énergie d'un oscillateur à l'autre, à la fréquence de l'enveloppe des battements.

P80

## MP36 : Couplage des oscillateurs.

### ♣ Bibliographie

[48] *Étude expérimentale des oscillateurs mécaniques*, BUP 867, octobre 2004, R. Duffait

[124] Quaranta tome 3 *L'électronique*

[123] Quaranta tome I, *Mécanique*

### ♣ Idées à illustrer

Notion de modes propres (autant que d'oscillateurs)

Efficacité du couplage maximale lorsque les deux oscillateurs sont identiques,

P

[montagephys39.pdf \(physagreg.fr\)](#)

Montage n°39 : Couplage des oscillateurs

Oscillateurs pesants couplés par un fil de torsion (oscillateurs libre et couplage élastique) : détermination de la constante de torsion du fil, modes symétrique et antisymétrique, battements ; circuits couplés par mutuelle inductance (oscillations forcées et couplage inductif) : accord des oscillateurs et influence du couplage, modification d'une fréquence propre ; couplage de N oscillateurs : observations modes propres, loi de dispersion

Prérequis : mécanique, electrocinétique, quantique

Intro : même équation/formalisme mathématiques apparaissent dans plein de situations différentes

Notions : mode propre, et force du couplage

### 1) Couplage en méca

Equation masse couplé p81 de etienne thibière

### 2) 2) Couplage en élec

P 181 de psl

### 3) Couplage chaîne linéaire lien ver le continue phonon...

OU

### 3) couplage elec méca ?

Leçon n°23 : Conversion de puissance électromécanique : exemples et applications.

Conversion électromécanique : force de Laplace, champ électromoteur et induction, bilan de puissance pour un porteur de charge, principe de réversibilité ; machines tournantes : machine à courant continu (rôle du collecteur), machine à champ tournant, moteur synchrone ; perfection du couplage électromécanique ; conditions de démarrage ; les différentes machines tournantes

[lecphys23.pdf](#)

[physagreg.fr](http://physagreg.fr)

### OU 3) couplage système quantiques

Leçon n°47 : Comportement dynamique des systèmes couplés : oscillateurs à deux degrés de liberté en mécanique classique, systèmes à deux niveaux d'énergie en physique quantique, analogie et différences

Oscillateurs à deux degrés de liberté : couplage des oscillateurs ; couplage faible, battements, transfert d'énergie ; modes normaux de vibration : mode symétrique et antisymétrique ; système à deux niveaux d'énergie ; effet du couplage sur les états stationnaires du système ; oscillations du système entre deux états non perturbés ; évolution du vecteur d'état ; différences, analogies