

# Liste des leçons

LP1 : Gravitation

LP2 : Loi de conservation en dynamique

LP3 : Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux.

LP4 : Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide

LP5 : Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides

LP6 : Premier principe de la thermodynamique

LP7 : Transitions de phase

LP8 : Phénomènes de transport

LP9 : Conversion de puissance électromécanique

LP10 : Induction électromagnétique

LP11 : Rétroaction et oscillations

LP12 : Traitement d'un signal. Étude spectrale

LP13 : Ondes progressives, ondes stationnaires

LP14 : Ondes acoustiques

LP15 : Propagation guidée des ondes

LP16 : Microscopies optiques

LP17 : Interférences à deux ondes en optique

LP18 : Interférences à division d'amplitude

LP19 : Diffraction de Fraunhofer

LP20 : Diffraction par des structures périodiques

LP21 : Absorption et émission de la lumière

LP22 : Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques

LP23 : Mécanismes de la conduction électrique dans les solides

LP24 : Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique

LP25 : Oscillateurs ; portraits de phase et non-linéarités

LP26 : Cinématique relativiste. Expérience de Michelson et Morley.

LP27 : Effet tunnel ; radioactivité alpha.

# Table des matières

<b>LP1 – Gravitation</b>	<b>7</b>
1.1 Le champ gravitationnel . . . . .	8
1.1.1 Analogie avec l'électrostatique . . . . .	8
1.1.2 Théorème de Gauss . . . . .	8
1.1.3 Différence avec l'électrostatique . . . . .	8
1.2 Dynamique terrestre . . . . .	9
1.2.1 Référentiel terrestre . . . . .	9
1.2.2 Champ de pesanteur terrestre . . . . .	9
1.2.3 Mesure de $g$ . . . . .	9
1.3 Dynamique du système solaire . . . . .	9
1.3.1 Modélisation . . . . .	9
1.3.2 Lois de Kepler . . . . .	9
<b>LP 2 : Loi de conservation en dynamique</b>	<b>10</b>
2.1 Lois de conservation . . . . .	12
2.1.1 Conservation de la quantité de mouvement . . . . .	12
2.1.2 Conservation du moment cinétique . . . . .	12
2.1.3 Conservation de l'énergie . . . . .	12
2.2 Application au cas d'un choc . . . . .	12
<b>LP3 : Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux</b>	<b>14</b>
3.1 Notes agrégat . . . . .	14
3.2 Notion de viscosité . . . . .	15
3.2.1 Cas d'un cisaillement simple – écoulement de Couette . . . . .	15
3.2.2 Équation de Navier-Stokes . . . . .	15
3.2.3 Nombre de Reynolds . . . . .	15
3.3 Écoulement de Poiseuille . . . . .	16
3.3.1 Entre deux plans parallèles . . . . .	16
3.3.2 Mesures . . . . .	16
<b>LP4 : Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide</b>	<b>17</b>
4.1 Présentation du modèle . . . . .	18
4.1.1 Hypothèses . . . . .	18
4.1.2 Équation d'Euler . . . . .	18
4.2 Théorème de Bernoulli . . . . .	18
4.2.1 Hypothèses . . . . .	18
4.2.2 Démonstration . . . . .	18
4.2.3 Application . . . . .	18
4.3 Limites du modèle . . . . .	18
4.3.1 Nombre de Reynolds . . . . .	18
4.3.2 Notion de couche limite . . . . .	18
<b>LP5 : Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides</b>	<b>19</b>
5.1 Tension superficielle . . . . .	20

5.1.1	Mise en évidence . . . . .	20
5.1.2	Origine microscopique . . . . .	20
5.1.3	Point de vue énergétique . . . . .	20
5.1.4	Mesure de $\gamma$ . . . . .	20
5.2	Interfaces statiques . . . . .	20
5.2.1	Suppression dans une bulle . . . . .	20
5.2.2	Forme d'une goutte d'eau . . . . .	20
5.2.3	Mouillage . . . . .	20
<b>LP6 : Premier principe de la thermodynamique</b>		<b>21</b>
6.1	Bilan d'énergie du système . . . . .	21
6.1.1	Énoncé du premier principe . . . . .	21
6.1.2	Notion d'énergie interne . . . . .	22
6.1.3	Expérience de Joule . . . . .	22
6.2	Applications et conséquences . . . . .	22
6.2.1	Machine à mouvement perpétuel . . . . .	22
6.2.2	Détente d'un gaz . . . . .	22
<b>LP7 : Transitions de phase</b>		<b>23</b>
7.1	Transition liquide-gaz d'un corps pur . . . . .	24
7.1.1	Description du problème . . . . .	24
7.1.2	Étude thermodynamique . . . . .	24
7.1.3	Notion de chaleur latente . . . . .	24
7.2	Transition ferro/paramagnétique . . . . .	24
7.2.1	Description du problème . . . . .	24
7.2.2	Modèle de Landau . . . . .	24
<b>LP8 : Phénomènes de transport</b>		<b>25</b>
8.1	Processus irréversibles . . . . .	26
8.1.1	Hypothèses . . . . .	26
8.1.2	Grandeurs conservées . . . . .	26
8.1.3	Réponse linéaire . . . . .	26
8.1.4	Types de transport . . . . .	26
8.2	Transport diffusif . . . . .	26
8.2.1	Équation de diffusion . . . . .	26
8.2.2	Propriété de la diffusion . . . . .	26
8.3	Transport convectif . . . . .	26
8.3.1	Équation de convection . . . . .	26
8.3.2	Loi de similitudes . . . . .	26
<b>LP9 : Conversion de puissance électromécanique</b>		<b>27</b>
9.1	Généralités . . . . .	28
9.1.1	Description des machines tournante . . . . .	28
9.1.2	Bilan d'énergie . . . . .	28
9.1.3	Application à un dispositif simple . . . . .	28
9.2	Machine à courant continu . . . . .	29
9.2.1	Description . . . . .	29
9.2.2	Force électromotrice . . . . .	29
9.2.3	Bilan d'énergie . . . . .	29
9.2.4	Notion de rendement . . . . .	29
<b>LP10 : Induction électromagnétique</b>		<b>30</b>
10.1	Notes de l'agrégat . . . . .	30
10.2	Lois de l'induction . . . . .	31
10.2.1	Loi de Lenz . . . . .	31
10.2.2	Flux magnétique . . . . .	31

10.2.3	Loi de Faraday . . . . .	31
10.3	Circuit immobile dans un champ variable . . . . .	31
10.3.1	Auto-induction . . . . .	31
10.3.2	Mesure de l'inductance d'une bobine . . . . .	32
10.4	Circuit mobile dans un champ stationnaire . . . . .	32
10.4.1	Rail de Laplace . . . . .	32
10.4.2	Microphone / Haut-parleur . . . . .	32
<b>LP11</b>	<b>Rétroaction et oscillations</b>	<b>33</b>
11.1	Rétroaction . . . . .	34
11.1.1	Schéma-bloc . . . . .	34
11.1.2	Système bouclé . . . . .	34
11.1.3	Exemple du pont de Wien . . . . .	34
11.1.4	Stabilité . . . . .	34
11.1.5	Définition . . . . .	34
11.1.6	Critère de stabilité . . . . .	34
11.2	Oscillations . . . . .	34
11.2.1	Types d'oscillateurs . . . . .	34
11.2.2	Système auto-oscillant . . . . .	34
11.2.3	Régime quasi-sinusoïdal . . . . .	34
<b>LP12</b>	<b>Traitement du signal. Étude spectrale</b>	<b>35</b>
12.1	Caractérisation d'un signal . . . . .	36
12.1.1	Spectre en fréquence . . . . .	36
12.1.2	Quelques exemples de signal . . . . .	36
12.2	Filtrage . . . . .	36
12.2.1	Fonction de transfert d'un circuit . . . . .	36
12.2.2	Application au circuit RC . . . . .	36
12.2.3	Filtrage linéaire . . . . .	36
12.3	Transport et lecture d'un signal . . . . .	36
12.3.1	Modulation d'amplitude (AM) . . . . .	36
12.3.2	Autres modulations . . . . .	36
12.3.3	Les signaux numériques . . . . .	36
<b>LP13</b>	<b>Ondes progressives, ondes stationnaires</b>	<b>37</b>
13.1	Équation de propagation d'une onde . . . . .	38
13.1.1	Propagation dans un câble coaxial . . . . .	38
13.1.2	Solutions de l'équation . . . . .	38
13.1.3	Ondes planes progressives harmoniques . . . . .	39
13.2	Ondes stationnaires . . . . .	39
13.2.1	Superposition de deux OPPH . . . . .	39
13.2.2	Conditions aux bords . . . . .	39
<b>LP14</b>	<b>Ondes acoustiques</b>	<b>40</b>
14.1	Propagation dans les fluides . . . . .	41
14.1.1	Hypothèses et modèle . . . . .	41
14.1.2	Linéarisation et propagation . . . . .	41
14.1.3	Mesure de la célérité du son . . . . .	42
14.2	Les instruments à vent . . . . .	42
<b>LP15</b>	<b>Propagation guidée des ondes</b>	<b>43</b>
15.1	Généralités . . . . .	44
15.1.1	Description du guide d'onde . . . . .	44
15.1.2	Modes de propagation . . . . .	44
15.2	Propagation d'une onde EM dans un guide rectangulaire . . . . .	44
15.2.1	Propagation entre deux plans . . . . .	44

15.2.2	Généralisation au guide rectangulaire . . . . .	44
15.2.3	Mesure de la relation de dispersion . . . . .	44
15.3	Propagation guidée des ondes acoustiques . . . . .	44
<b>LP16</b>	<b>Microscopies optiques</b>	<b>45</b>
16.1	Microscopie classique . . . . .	46
16.1.1	Description d'un microscope . . . . .	46
16.1.2	Éclairage . . . . .	46
16.1.3	Limitations . . . . .	46
16.2	Miscroscopie confocale . . . . .	46
16.2.1	Principe . . . . .	46
16.2.2	Microscope confocal à fluorescence . . . . .	46
<b>LP17</b>	<b>Interférences à deux ondes en optique</b>	<b>47</b>
17.1	. . . . .	47
17.1.1	. . . . .	47
<b>LP18</b>	<b>Interférences à division d'amplitude</b>	<b>48</b>
18.1	. . . . .	48
18.1.1	. . . . .	48
<b>LP19</b>	<b>Diffraction de Fraunhofer</b>	<b>49</b>
19.1	Phénomène de diffraction optique . . . . .	50
19.1.1	Principe de Huygens-Fresnel . . . . .	50
19.1.2	Diffraction par un objet plan . . . . .	50
19.1.3	Approximation de Fraunhofer . . . . .	50
19.2	Diffraction par une fent rectangulaire . . . . .	51
19.2.1	Figure de diffraction . . . . .	51
19.2.2	Mesure de la largeur d'une fente . . . . .	51
19.2.3	Influence des paramètres de la fente . . . . .	51
<b>LP20</b>	<b>Diffraction par des structures périodiques</b>	<b>52</b>
20.1	. . . . .	52
20.1.1	. . . . .	52
<b>LP21</b>	<b>Absorption et émission de la lumière</b>	<b>53</b>
21.1	Phénomènes d'émission et d'absorption . . . . .	54
21.2	Modèle d'Einstein . . . . .	54
21.2.1	Positionnement du problème . . . . .	54
21.2.2	Coefficient d'Einstein . . . . .	54
21.2.3	Cas du corps noir . . . . .	54
21.3	Application au laser . . . . .	55
<b>LP22</b>	<b>Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques</b>	<b>56</b>
22.1	. . . . .	56
22.1.1	. . . . .	56
<b>LP23</b>	<b>Mécanisme de la conduction électrique dans les solides</b>	<b>57</b>
23.1	. . . . .	57
23.1.1	. . . . .	57
<b>LP24</b>	<b>Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique</b>	<b>58</b>
24.1	Oscillateur harmonique forcé . . . . .	59
24.1.1	Cas non-amorti . . . . .	59
24.1.2	Cas amorti . . . . .	59
24.1.3	Application au circuit RLC . . . . .	59
24.2	Résonance en cavité . . . . .	59

24.2.1	Généralité . . . . .	59
24.2.2	Cas de la corde de Melde . . . . .	59
<b>LP25 :</b>	<b>Oscillateurs ; portraits de phase et non-linéarités</b>	<b>60</b>
25.1	Cas du pendule . . . . .	61
25.1.1	Mise en équation . . . . .	61
25.1.2	Approximation linéaire . . . . .	61
25.1.3	Prise en compte de la non-linéarité . . . . .	61
25.2	Portrait de phase . . . . .	61
25.2.1	Définitions . . . . .	61
25.2.2	Construction pour un pendule . . . . .	61
25.2.3	Cas de l'amortissement . . . . .	61
<b>LP26 :</b>	<b>Cinématique relativiste. Expérience de Michelson et Morley.</b>	<b>62</b>
26.1	Expérience de Michelson et Morley . . . . .	63
26.1.1	Principe . . . . .	63
26.1.2	Mise en place . . . . .	63
26.1.3	Résultats et interprétation . . . . .	63
26.2	Postulats de la relativité restreinte . . . . .	63
26.2.1	Énoncé . . . . .	63
26.2.2	Conséquences . . . . .	63
26.2.3	Espace de Minkowski . . . . .	63
<b>LP27 :</b>	<b>Effet tunnel ; radioactivité alpha.</b>	<b>64</b>
27.1	Modèle de la barrière de potentiel 1D . . . . .	65
27.1.1	Description . . . . .	65
27.1.2	Calcul fonction de transmission . . . . .	65
27.1.3	Cas d'une barrière de largeur variable . . . . .	65
27.2	Application à la radioactivité alpha . . . . .	65
27.2.1	Potentiel du noyau atomique . . . . .	65
27.2.2	Probabilité d'émission d'une particule alpha . . . . .	65
27.2.3	Temps de demi-vie . . . . .	65

# LP1 – Gravitation

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-1 PC/PC\**, Dunod
- *Mécanique – fondements et applications*, Pérez
- *La physique par la pratique*, Portelli

### Notes agrégat

- 2017 : Les applications ne doivent pas nécessairement se limiter à la gravitation terrestre.
- 2016 : Les analogies entre l'électromagnétisme et la gravitation classique présentent des limites qu'il est pertinent de souligner.

## Expériences possibles

### Mesure de l'accélération de pesanteur à l'aide d'un pendule

#### Matériel :

- Pendule
- Interface d'acquisition + câble de connexion
- Règle
- Balance

#### Protocole préparation :

- Mesure masse de la tige par rapport à la masselette
- Préparation du logiciel d'acquisition
- Faire quelques tests pour s'assurer de quel temps d'acquisition prendre : autour de 30s pour les petits angles
- Refaire bien la démarche pour effectuer la TF avec le logiciel d'acquisition

#### Protocole pendant la leçon

- Mesure de la longueur  $l$
- Acquisition du mouvement du pendule
- Mesure de la période  $T$  avec la transformée de Fourier
- Obtention de la valeur de  $g$  à partir de  $T$  et  $l$
- Éventuellement : Visualisation de l'énergie cinétique, potentielle et mécanique

#### Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau* : CPGE

*pré-requis* :

- Mécanique du point
- Électrostatique (théorème de Gauss)
- Potentiel central
- Référentiel non galiléen

## Introduction

Force gravitationnelle découverte par Newton

=> interaction que l'on ressent le plus dans la vie de tous les jours

## 1.1 Le champ gravitationnel

### 1.1.1 Analogie avec l'électrostatique

Définition force gravitationnelle :

$$\vec{F}_g = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{u}$$

Même forme que l'interaction coulombienne :

$$\vec{F}_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}$$

avec  $-G \longleftrightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ .

Pour cette dernière, on a introduit le champ électrique s'appliquant sur la charge  $q_1$  par :

$$\vec{F}_e = q_1 \vec{E}$$

On fait donc de même pour la force gravitationnelle, en introduisant un champ gravitationnel :

$$\vec{F}_g = m_1 \vec{\Gamma}$$

Intérêt : superposition des solutions :  $\Gamma_{\{m_2, m_3, \dots\}} = \Gamma_2 + \Gamma_3 + \dots$

### 1.1.2 Théorème de Gauss

Nous avons vu en électrostatique le théorème de Gauss :

$$\iint_{\Sigma} d^2x \vec{E} \cdot \vec{n} = \iiint_V d^3x \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0}$$

Nous allons utiliser ce même théorème pour obtenir le champ gravitationnel :

$$\iint_{\Sigma} d^2x \vec{\Gamma} \cdot \vec{n} = \iiint_V d^3x (-4\pi G) \rho_m = -4\pi G M_{int}$$

Dans le cas d'un problème avec symétrie sphérique, le calcul est direct, en prenant pour une surface  $\Sigma$ , une sphère de rayon  $r$  :

$$\iint_{\Sigma} d^2x \vec{\Gamma} \cdot \vec{n} = 4\pi r^2 \vec{\Gamma}(r)$$

On obtient ainsi :

$$\vec{\Gamma}(r) = \frac{-GM_{int}}{r^2}$$

Même expression que pour une masse ponctuelle

### 1.1.3 Différence avec l'électrostatique

Pour le champ électrostatique : charge électrique positive ou négative => force attractive ou répulsive

De plus, phénomène d'écrantage

Pour le champ gravitationnel : masse uniquement positive => force purement attractive

Pas de phénomène d'écrantage, ce qui fait que c'est l'interaction qui domine à grandes échelles



## 1.2 Dynamique terrestre

### 1.2.1 Référentiel terrestre

Introduction référentiel avec système d'axe et angle (sur slide)

Référentiel en rotation => le référentiel terrestre n'est pas un référentiel galiléen

Hypothèses :

- $\vec{\Omega} = \Omega \vec{e}_z$
- $\Omega = \text{cste}$
- Symétrie sphérique de la Terre

Étude du mouvement d'un point  $M$  à la surface de la Terre :

$$\begin{aligned}\vec{a}_{\mathcal{T}}(M) &= \vec{\Gamma}_T(M) + \vec{\Gamma}_a - \vec{a}_{ie} - \vec{a}_{ic} \\ \vec{a}_{ie} &= \vec{a}_S(T) - \Omega^2 H \vec{M}\end{aligned}$$

Terme de Coriolis négligeable (OdG :  $\Omega \sim 7.10^5 \text{ s}^{-1}$  ;  $|H\vec{M}| \sim R_T \sim 3,4.10^6 \text{ m}$  donc, pour  $v \sim 1 \text{ m.s}^{-1}$ ,  $|2\vec{\Omega} \wedge \vec{v}_{\mathcal{T}}(M)| \sim 10^{-4} \text{ m.s}^{-2} \ll |\Omega^2 H \vec{M}| \sim 3.10^{-2} \text{ m.s}^{-2}$  )

### 1.2.2 Champ de pesanteur terrestre

PFD dans référentiel héliocentrique (galiléen) :  $M_T \vec{a}_S(T) = M_T \vec{\Gamma}_a(T)$

$$\vec{a}_{\mathcal{T}}(M) = \underbrace{\vec{\Gamma}_T(M) + \Omega^2 H \vec{M}}_{\text{terme de pesanteur } \vec{g}} + \underbrace{\vec{\Gamma}_a(M) - \vec{\Gamma}_a(T)}_{\text{terme de marée}}$$

Définition de l'accélération de pesanteur :

$$\vec{g} = -\frac{GM_T}{R_T^2} \vec{e}_r + \Omega^2 H \vec{M}$$

### 1.2.3 Mesure de $g$

Présentation du pendule => Calcul pour trouver expression période

Acquisition de l'oscillation du pendule

## 1.3 Dynamique du système solaire

### 1.3.1 Modélisation

### 1.3.2 Lois de Kepler

## Conclusion

# LP 2 : Loi de conservation en dynamique

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-1*, Dunod
- *Mécanique*, Pérez
- *Mécanique 1 et 2*, BFR

### Notes agrégat

- 2017 : Des exemples concrets d'utilisation des lois de conservation sont attendus.
- 2016 : Lors de l'entretien avec le jury, la discussion peut aborder d'autres domaines que celui de la mécanique classique.
- 2015 : Cette leçon peut être traitée à des niveaux très divers. L'intérêt fondamental des lois de conservation et leur origine doivent être connus et la leçon ne doit pas se limiter à une succession d'applications au cours desquelles les lois de conservation se résument à une propriété anecdotique du problème considéré.

## Expériences possibles

### Mobile auto-porteurs

#### Matériel :

- Montage mobile auto-porteur
- Caméra avec potence + système de fixation
- Balance
- Niveau à bulle

#### Protocole préparation :

- Mettre le plateau à niveau
- Peser les deux mobiles
- Faire tous les branchements
- Régler la caméra
- Effectuer 2 capture vidéo :
  - choc élastique pour 2 masses identiques
  - choc élastique pour 2 masses différentes (lancer la plus légère ?)
- Exploitation des résultats :
  - Dans tracker : pointer les positions des 2 masses (bien ajouter les valeurs des masses)
  - Générer centre de masse : obtenir trajectoire
  - Exporter position en fonction du temps pour les trois dans qtiplot
  - Obtenir les vitesses, puis les impulsions
  - Sur tracker, générer courbe  $E_c$

**Protocole pendant la leçon :**

- Ici, présenter simplement les résultats obtenu en préparation

**Remarques :****Le bâtonnet magique d’Erwan****Matériel :**

- Cylindre creux noir avec extrémités colorés
- Fond blanc
- Caméra
- Balance (déjà demandé au-dessus)
- règle (+ éventuellement pied à coulisse?)

**Protocole préparation :**

- Régler la caméra, le cadre, etc.
- Effectuer une acquisition vidéo de back-up

**Protocole pendant la leçon :**

- Effectuer l’acquisition vidéo
- Sur Tracker, pointer les deux extrémités de la tige
- Générer la position du centre de masse
- Régler l’origine du repère sur le cdm
- Discuter de l’incertitude sur  $r$
- Obtenir l’angle en fonction de  $t$
- exporter sur qtiplot pour ajuster avec une droite et montrer que l’on a bien une vitesse angulaire constante

**Remarques :**

## Plan de la leçon

*niveau* : CPGE

*pré-requis* :

- théorèmes généraux mécanique (PFD, TMC, TEC)
- pesanteur
- moment d’inertie
- référentiel (galiléen, barycentrique)

## Introduction

Nous avons vu précédemment différentes lois de la dynamique qui permettent de décrire le mouvement d’un système en fonction des forces qu’il subit. Dans certains cas particulier, ces lois sont associées à la conservation de certaines grandeurs au sein du système, c’est ce que nous allons voir dans cette leçon. Dans toute la suite, nous nous placerons toujours dans un référentiel galiléen.

## 2.1 Lois de conservation

### 2.1.1 Conservation de la quantité de mouvement

Principe fondamental de la dynamique pour une masse ponctuelle :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum \vec{F}_{\text{ext}}$$

On peut donc imaginer deux cas où la quantité de mouvement est conservée :

- cas d'un système isolé : pas de force extérieure
- cas d'un système pseudo-isolé : les forces extérieures se compensent (leur somme est nulle)

Pour système composé de plusieurs masses, nous pouvons appliquer le théorème de la résultante cinétique :

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \sum \vec{F}_{\text{ext}}$$

avec  $\vec{P} = \sum \vec{p}_i = M_{\text{tot}} \vec{p}_G$  où G est le barycentre du système.

Pour un système (pseudo-)isolé dont la masse totale est conservée, quelque soit le comportement de ses différents composants => Trajectoire rectiligne uniforme de son centre de masse.

### 2.1.2 Conservation du moment cinétique

On applique à présent le théorème du moment cinétique par rapport à l'origine O :

$$\frac{d\vec{L}_O}{dt} = \sum \vec{\mathcal{M}}_{\text{ext}}$$

avec  $\vec{\mathcal{M}}_{\text{ext}} = O\vec{M} \wedge \vec{F}_{\text{ext}}$

À nouveau, pour un système isolé, on a ici conservation du moment cinétique.

Mais on voit que  $\vec{\mathcal{M}}_{\text{ext}} = \vec{0}$  si la force est colinéaire avec  $O\vec{M}$  (force centrale)

Ainsi pour un système ponctuel soumis uniquement à des forces centrales, le moment cinétique est conservé.

Pour un système non-ponctuel, on écrit :  $\vec{\mathcal{M}}_{\text{ext},O} = O\vec{A} \wedge \vec{F}_{\text{ext}}$  où A est le point d'application de la force.

De plus, si le théorème du moment cinétique s'applique normalement à un point fixe dans un repère galiléen, on peut également l'appliquer au centre de masse.

**Cas d'un cylindre soumis uniquement à son poids :**

### 2.1.3 Conservation de l'énergie

## 2.2 Application au cas d'un choc

On considère ici le cas de deux masses allant l'une vers l'autre

Notion de choc : phénomène localisé spatialement et se déroulant sur un temps très court. On a une interaction de contact limitée dans le temps et l'espace : on va s'affranchir de la description précise de ce qui se passe pour la collision en elle-même et considérer les instants avant et après.

Cas d'un choc élastique : le nombre de particules et leur nature reste inchangés => énergie cinétique totale du système est conservée (ici, en classique, on peut garder uniquement la description en terme d'énergie cinétique)

Cas d'un choc élastique d'une masse  $m_1$  sur une masse  $m_2$  initialement immobile

Par conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie cinétique du système... (cf calcul dans le Pérez de Mécanique p.233)

$$v'_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 \text{ et } v'_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

## Conclusion

Les lois de conservation permettent de simplifier le traitement d'un certain nombre de problème

On en a ici présenté plusieurs cas à partir des lois de la dynamique, mais les lois de conservation sont bien plus fondamentale. => une des bases de la physique moderne est le théorème de Noether "à toute invariance continue, on peut associer une loi de conservation"

# LP3 : Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux

## Références

## Bibliographie

- Dunod, Physique tout-en-1 PC
- *Hydrodynamique physique* (3e édition), Guyon, Hulin et Petit
- *Ce que disent les fluides*, Guyon, Hulin et Petit
- *Mécanique des Fluides*, D. Salin et J. Martin, Dunod (niveau Licence)

## 3.1 Notes agrégat

- 2017 : Il peut être judicieux de présenter le fonctionnement d'un viscosimètre dans cette leçon.
- 2016 : Le jury invite les candidats à réfléchir d'avantage à l'origine des actions de contact mises en jeu entre un fluide et un solide.
- 2014, 2013, 2012, 2011 (le titre était : "Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux. Nombre de Reynolds. Exemples simples.") : L'exemple de l'écoulement de Poiseuille cylindrique n'est pas celui dont les conclusions sont les plus riches. Les candidats doivent avoir réfléchi aux différents mécanismes de dissipation qui peuvent avoir lieu dans un fluide. L'essentiel de l'exposé doit porter sur les fluides newtoniens : le cas des fluides non newtoniens, s'il peut être brièvement mentionné ou présenté, ne doit pas prendre trop de temps et faire perdre de vue le message principal.

## Expériences possibles

### Écoulement de Poiseuille

#### Matériel :

- Matos écoulement de Poiseuille
- Éprouvette graduée
- Chronomètre
- 

#### Protocole préparation :

#### Protocole pendant la leçon :

#### Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau* : CPGE

*pré-requis* :

- Statique des fluides
- Équation d'Euler

## Introduction

Le modèle du fluide parfait, n'explique pas tous les phénomènes observables dans un fluide

### 3.2 Notion de viscosité

#### 3.2.1 Cas d'un cisaillement simple – écoulement de Couette

On se place en régime stationnaire.

Conditions aux bords :  $\vec{v}_{fluide} = \vec{v}_{paroi}$

⇒ profil linéaire pour le champ de vitesse.

Si on considère un petit élément de surface et qu'on regarde la force projetée selon  $x$

$$dF_x = \eta \frac{\partial v_x}{\partial y} dS \quad (3.1)$$

On introduit ici  $\eta$  : viscosité dynamique (Pa.s)

⇒ contrainte de cisaillement  $\frac{F_x}{S} = \eta \frac{v_x}{a}$

Principe du viscosimètre de Couette

#### 3.2.2 Équation de Navier-Stokes

On fait un bilan sur un petit élément de volume  $d\tau$

$$\begin{aligned} d\vec{F}_{totale} &= d\vec{F}(y + dy) - d\vec{F}(y) \\ \Rightarrow dF_x &= \eta \underbrace{\left( \frac{\partial v_x}{\partial y}(y + dy) - \frac{\partial v_x}{\partial y}(y) \right)}_{\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} dy} dS \\ dF_x &= \eta \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \underbrace{dx dy dz}_{d\tau} \end{aligned}$$

On a donc une densité de force volumique  $f_x = \eta \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}$ , que l'on va généraliser en 3 dimensions :

$$\vec{f} = \eta \Delta \vec{v} \quad (3.2)$$

où  $\Delta$  est le laplacien

On peut donc écrire l'équation de Navier-Stokes (pour un fluide incompressible) :

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} \right) = \rho \vec{g} - \text{grad} P + \eta \Delta \vec{v} \quad (3.3)$$

#### 3.2.3 Nombre de Reynolds

$$R_e = \frac{\text{terme convectif}}{\text{terme visqueux}} = \frac{|\rho(\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v}|}{|\eta \Delta \vec{v}|}$$

- longueur caractéristique  $L$
- vitesse moyenne  $U$

$$\begin{aligned} \Rightarrow R_e &= \frac{\rho U^2 / L}{\eta U / L} \\ \Rightarrow R_e &= \frac{\rho U L}{\eta} = \frac{U L}{\nu} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Introduction d'une nouvelle viscosité :  $\nu$  viscosité cinématique

Différents types d'écoulement en fonction du nombre de Reynolds

### 3.3 Écoulement de Poiseuille

Réalisation de l'expérience

#### 3.3.1 Entre deux plans parallèles

Écoulement entre deux plans fixes dû à une différence de pression aux deux extrémités. On fait deux hypothèses :

- écoulement stationnaire
- on peut négliger les variations de pesanteur

$\Rightarrow P(x)$

On a donc un champ de vitesse selon  $x$  qui varie selon  $y$  :  $\vec{v} = v_x(y)\vec{e}_x$ .

Équation de Navier-Stokes selon  $\vec{e}_x$  :

$$\begin{aligned} 0 &= -\frac{dP}{dx} + \eta \frac{d^2 v_x}{dy^2} \\ \Rightarrow \frac{d^2 v_x}{dy^2} &= \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dx} = \text{cste} \\ \Rightarrow v_x(y) &= \frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dx} y^2 + C_1 y + C_2 \end{aligned}$$

36min00

On détermine  $C_1$  et  $C_2$  grâce aux conditions aux bords :  $v_x(y=0) = v_x(y=a) = 0$

$$\Rightarrow v_x(y) = \frac{-1}{2\eta} \frac{dP}{dx} (a-y)y \quad (3.5)$$

$\Rightarrow$  profil de vitesse parabolique

Cas cylindrique sur slide

#### 3.3.2 Mesures

Exploitation des mesures

### Conclusion

Ouverture sur la notion de couche limite



# LP4 : Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-1 PC/PC\**, Dunod
- *Hydrodynamique physique*, Guyon, Hulin et Petit
- *Ce que disent les fluides*, Guyon, Hulin et Petit
- *La mécanique des fluides*, Salin et Martin

### Notes agrégat

- 2017 : La multiplication des expériences illustrant le théorème de Bernoulli n'est pas souhaitable, surtout si celles-ci ne sont pas correctement explicitées.
- 2016 : Les limites de ce modèle sont souvent méconnues.
- 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.
- 2014, 2013, 2012, 2011 (le titre était : "Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide ; validité. Relation de Bernoulli ; limites et applications.") : La notion de viscosité peut être supposée acquise.

### Expériences possibles

#### Mesure masse volumique de l'air par application du théorème de Bernoulli

##### Matériel :

- soufflerie
- anémomètre à fil chaud
- tube de pitot + manomètre différentiel + alim

##### Protocole préparation :

##### Protocole pendant la leçon :

##### Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau :*

*pré-requis :*

—

## Introduction

### 4.1 Présentation du modèle

#### 4.1.1 Hypothèses

#### 4.1.2 Équation d'Euler

### 4.2 Théorème de Bernoulli

#### 4.2.1 Hypothèses

#### 4.2.2 Démonstration

#### 4.2.3 Application

### 4.3 Limites du modèle

#### 4.3.1 Nombre de Reynolds

#### 4.3.2 Notion de couche limite

## Conclusion

# LP5 : Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides

## Références

### Bibliographie

— *Physique tout-en-1, PC/PC\**, Dunod

### Notes agrégat

— 2014 : Le lien avec les potentiels thermodynamiques n'est pas souvent maîtrisé. Il est important de dégager clairement l'origine microscopique de la tension superficielle. Le jury constate que trop souvent les candidats présentent des schémas où la représentation des interactions remet en cause la stabilité mécanique de l'interface. Le jury apprécie les exposés dans lesquels le/la candidat(e) ne se limite pas à la statique

## Expériences possibles

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau* : Licence

*pré-requis* :

- mécanique
- thermodynamique
- statique des fluides

## Introduction

Voir plan d'Alex

## 5.1 Tension superficielle

### 5.1.1 Mise en évidence

### 5.1.2 Origine microscopique

### 5.1.3 Point de vue énergétique

### 5.1.4 Mesure de $\gamma$

## 5.2 Interfaces statiques

### 5.2.1 Surpression dans une bulle

### 5.2.2 Forme d'une goutte d'eau

### 5.2.3 Mouillage

## Conclusion

# LP6 : Premier principe de la thermodynamique

## Références

### Bibliographie

— *Physique tout-en-1*, Dunod

### Notes agrégat

- 2017 : Des exemples concrets d'utilisation du premier principe de la thermodynamique sont attendus.
- 2015 : La notion d'équilibre thermodynamique n'est pas toujours bien comprise. Des exemples pertinents doivent être utilisés pour mettre en exergue l'intérêt du premier principe, y compris pour l'introduire.

## Expériences possibles

### Expérience de Joule

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan de la leçon

*niveau* : CPGE

*pré-requis* :

- Travail d'une force
- Théorème de l'énergie mécanique
- Thermodynamique (définition du système, transformation)

## Introduction

Intro historique

### 6.1 Bilan d'énergie du système

#### 6.1.1 Énoncé du premier principe

La variation d'énergie d'un système est égale à l'énergie échangée entre celui-ci et l'extérieur :

$$\Delta E = W + Q \tag{6.1}$$

avec

- $W$  est le travail des forces appliquées au système
- $Q$  est le transfert thermique (ou chaleur)
- $E$  est l'énergie totale du système

=> Conservation de l'énergie

Bilan énergétique du système : on sait déjà caractériser l'énergie mécanique :

- $E_c$  : énergie cinétique macroscopique
- $E_p$  : énergie potentielle des forces extérieures

Mais pas suffisant pour rendre compte des phénomènes : cas de systèmes isolés où l'énergie mécanique n'est pas conservée

### 6.1.2 Notion d'énergie interne

Définition : valeur moyenne de l'énergie des particules (microscopique) du système lorsqu'il est "macroscopiquement au repos".

Elle comprend deux contributions :

- l'énergie cinétique relative des particules
- leur énergie d'interaction

Il s'agit d'une fonction d'état (c-à-d dont la variation ne dépend pas du chemin suivi) extensive (c-à-d proportionnelle au nombre de particules).

### 6.1.3 Expérience de Joule

Nous avons :

$$W = (Mg - T_{\text{ressort}})2\pi R N$$

$$Q = (m_{\text{eau}} + m')c_{\text{m, eau}}\Delta T$$

## 6.2 Applications et conséquences

### 6.2.1 Machine à mouvement perpétuel

Machine thermique : système qui effectue un cycle caractérisé par différentes transformations

Application du premier principe....

### 6.2.2 Détente d'un gaz

## Conclusion

# LP7 : Transitions de phase

## Références

### Bibliographie

— *Physique tout-en-1*, Dunod

### Notes agrégat

- 2015 : Il est dommage de réduire cette leçon aux seuls changements d'états solide-liquide-vapeur. La discussion de la transition liquide-vapeur peut être l'occasion de discuter du point critique et de faire des analogies avec la transition ferromagnétique-paramagnétique. La notion d'universalité est rarement connue ou comprise.
- 2014 : Il n'y a pas lieu de limiter cette leçon au cas des changements d'état solide-liquide-vapeur. D'autres transitions de phase peuvent être discutées.

### Expériences possibles

#### Mesure de la chaleur latente du diazote

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau :*

*pré-requis :*

—

### Introduction

Reprise plan Charlie => à revoir ?

Définitions :

- Phase :
- Transition de phase :

## 7.1 Transition liquide-gaz d'un corps pur

### 7.1.1 Description du problème

### 7.1.2 Étude thermodynamique

### 7.1.3 Notion de chaleur latente

## 7.2 Transition ferro/paramagnétique

### 7.2.1 Description du problème

### 7.2.2 Modèle de Landau

## Conclusion



# LP8 : Phénomènes de transport

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-1*, Dunod

### Notes agrégat

- 2017 : La leçon ne peut se limiter à la présentation d'un unique phénomène de transport.
- 2016 : Les analogies et différences entre les phénomènes de transport doivent être soulignées tout en évitant de dresser un simple catalogue.
- 2015 : Les liens et les limites des analogies entre divers domaines doivent être connus.
- 2013 : [À propos du nouveau titre] Le candidat développera sa leçon à partir d'un exemple de son choix.

### Expériences possibles

#### Diffusion thermique dans un barreau de cuivre

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau* : CPGE

*pré-requis* :

- Thermodynamique
- Échelle mésoscopique

### Introduction

Voir plan d'Alex

## 8.1 Processus irréversibles

### 8.1.1 Hypothèses

### 8.1.2 Grandeurs conservées

### 8.1.3 Réponse linéaire

### 8.1.4 Types de transport

## 8.2 Transport diffusif

### 8.2.1 Équation de diffusion

### 8.2.2 Propriété de la diffusion

## 8.3 Transport convectif

### 8.3.1 Équation de convection

### 8.3.2 Loi de similitudes

## Conclusion

# LP9 : Conversion de puissance électromécanique

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-1 PSI/PSI\**, Dunod
- *Physique spé PSI/PSI\**, édition Tec & Doc
- *Machines électriques*, Niard
- *Machine électriques*, Chatelain
- *Génie électronique*, Mérat

### Notes de l'agrégat

- 2017 : Une approche à l'aide des seules forces de Laplace est insuffisante. Les candidats doivent aussi s'interroger sur l'intérêt d'utiliser des matériaux ferromagnétiques dans les machines électriques.
- 2016 : Afin de pouvoir aborder des machines électriques de forte puissance, le rôle essentiel du fer doit être considéré car les forces électromagnétiques ne se réduisent pas aux seules actions de Laplace s'exerçant sur les conducteurs traversés par des courants.
- 2015 : Il est souhaitable de préciser le rôle de l'énergie magnétique lors de l'étude des convertisseurs électromécaniques constitués de matériaux ferromagnétiques linéaires non saturés.
- 2014 : Dans le cas des machines électriques, les candidats sont invités à réfléchir au rôle du fer dans les actions électromagnétiques qui peuvent également être déterminées par dérivation d'une grandeur énergétique par rapport à un paramètre de position.

### Expériences possibles

#### Machine à courant continu

Matériel :

—

#### Protocole préparation :

- Faire série de mesure à masse fixée pour couple moteur
- Faire série de mesure à U fixé pour rendement
- (cf poly de TP sur les moteurs pour le détail)

#### Protocole pendant la leçon :

Faire une mesure (notamment masse nominale et tension nominale) à ajouter à celles déjà prises en prépa

Remarques :

### Plan détaillé de la leçon

**niveau :** CPGE

**pré-requis :**

- induction
- magnétisme
- énergie électromagnétique
- mécanique

## Introduction

Production d'énergie sous forme d'électricité => on veut à présent utiliser cette énergie.

Pour cela, les phénomènes d'induction que nous avons vu précédemment sont un outil privilégié comme nous allons le voir dans cette leçon.

Intérêt des moteurs électriques : cf. paragraphe d'intro du Niard

## 9.1 Généralités

### 9.1.1 Description des machines tournante

Schéma général des machines tournantes :

- Une partie immobile, appelée stator, qui va générer un champ magnétique
- Une partie en rotation, appelé rotor, qui va générer un travail mécanique
- L'espace entre les deux est appelé l'entrefer

### 9.1.2 Bilan d'énergie

cf schéma figure 23.5 dans le Tout-en-un PSI

L'énergie du convertisseur comprend deux contributions :

- $\mathcal{E}_c$  : l'énergie cinétique de la partie mobile
- $\mathcal{E}_{em}$  : une énergie électromagnétique stockée par le système

On considère que le générateur apporte un travail électrique  $W_e$  dont une partie est dissipée par effet Joule ( $W_J$ ). Le convertisseur reçoit alors un travail  $W_{em} = W_e - W_J$ .

À la sortie du convertisseur, on obtient un travail mécanique  $w_m$  dont une partie est dissipée à cause des forces de frottement  $W_f$ . Le travail utile généré par le convertisseur est alors  $W_u = W_m - W_f$ .

Remarque : on considère ici que la conversion se fait sans dissipation.

Le premier principe nous donne alors (avec les conventions du schéma) :

$$d\mathcal{E} = d\mathcal{E}_c + d\mathcal{E}_{em} = \delta W_e - \delta W_u - \delta Q \quad (9.1)$$

où  $\delta Q = \delta W_J + \delta W_f$ .

Nous pouvons également appliquer le théorème de l'énergie cinétique sur la partie mobile du système :

$$d\mathcal{E}_c = W_m - W_f - W_u \quad (9.2)$$

$W_m$  étant le travail mettant en mouvement cette partie (cf figure 23.6 du Tout-en-un PSI).

En combinant toute ces équations, nous obtenons la relation :

$$\delta W_{em} = d\mathcal{E}_{em} + \delta W_m \quad (9.3)$$

### 9.1.3 Application à un dispositif simple

Nous considérons un système modélisé par la figure 23.7 du Tout-en-un. Nous avons alors :

$$u = Ri - e = Ri + \frac{d\phi}{dt} \quad (9.4)$$

Le travail électrique est alors donné par

$$\delta W_e = u i dt = \underbrace{R i^2 dt}_{\text{effet Joule}} + \underbrace{i d\phi}_{W_{em}} \quad (9.5)$$

Pour une machine tournante, nous avons également :

$$\delta W_m = \Gamma d\theta \quad (9.6)$$

où  $\Gamma$  est le couple du moteur.

## 9.2 Machine à courant continu

### 9.2.1 Description

Schéma + photos à mettre sur diapo

Manip : montage de démo du moteur à CC

### 9.2.2 Force électromotrice

cf calcul dans le Tout-en-un

On a donc :

$$U = RI + K\Omega \quad (9.7)$$

où  $K$  est une constante dépendant du moteur (cf notice)

Expérience : obtention de la constante

### 9.2.3 Bilan d'énergie

cf Tout-en-un => obtention de la relation

$$\Gamma = KI \quad (9.8)$$

### 9.2.4 Notion de rendement

## Conclusion

Récapitulatif

Évocation problèmes liés au moteur à courant continu (?)

Ouverture sur les autres types de moteurs

# LP10 : Induction électromagnétique

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-1 PCSI*, Dunod
- *Électromagnétisme : Milieux, structures et énergie*, Rax
- *Électromagnétisme*, Pérez
- *Électromagnétisme 3*, BFR
- *Magnétisme : statique, induction et milieux*, Garing

### 10.1 Notes de l'agrégat

- 2015 : L'algèbrisation rigoureuse des grandeurs électriques et mécaniques est nécessaire lors de la paramétrisation.
- 2014 : Dans cette leçon, le plus grand soin s'impose dans la définition des orientations et des conventions de signe. Les applications doivent occuper une place significative dans la présentation. Il n'est pas admissible à ce niveau de confondre les forces de Lorentz et de Laplace.

### Expériences possibles

#### Mesure de l'inductance propre d'une bobine

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau* : CPGE

*pré-requis* :

- électrocinétique
- magnétisme
- fonction de transfert/diagramme de Bode
- force de Laplace

### Introduction

*Support sur diapo*

Électromagnétisme : domaine en plein essor au XIX<sup>e</sup> siècle

En 1820, Orsted et Ampère réalisent que les courants électriques génèrent des courants magnétiques

En 1831, Faraday recherche l'effet inverse : fonctionne à l'allumage et à l'extinction de ses appareils => ce sont les variations de champ magnétique qui génère un courant.

*Expérience qualitative avec un aimant qu'on approche d'une bobine en visualisant la tension à ses bornes sur un oscilloscope.*

Dans cette leçon, nous allons chercher à comprendre ce phénomène.

## 10.2 Lois de l'induction

### 10.2.1 Loi de Lenz

Énoncé : tout système électromagnétique soumis à une force extérieure réagit de manière à s'y opposer.

### 10.2.2 Flux magnétique

Flux de  $\vec{B}$  à travers  $\Sigma$

$$\Phi = \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (10.1)$$

Loi de conservation du flux magnétique

⇒ flux à travers une surface fermée est nul

⇒  $\Phi$  dépend uniquement du contour de  $\Sigma$  (et donc du circuit)

### 10.2.3 Loi de Faraday

Dans un circuit subissant une variation de flux

$$e = \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{en V}) \quad (10.2)$$

$$\Rightarrow e = -\frac{d}{dt} \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (10.3)$$

Deux types d'induction :

- de Neumann : circuit fixe dans un champ variable
- de Lorentz : circuit mobile dans un champ stationnaire

## 10.3 Circuit immobile dans un champ variable

### 10.3.1 Auto-induction

Bobine de  $N$  spires et de longueur  $l$

$$\Rightarrow \vec{B} = \mu_0 \frac{N}{l} i \vec{e}_z$$

$$\Rightarrow \Phi_{\text{spire}} = \vec{B} \cdot \vec{S} = \mu_0 \frac{NS}{l} i$$

$$\Rightarrow \Phi_{\text{bobine}} = N \Phi_{\text{spire}} = \mu_0 \frac{N^2 S}{l} i$$

On peut introduire une grandeur  $L$  telle que  $\Phi = Li$

$$L = \mu_0 \frac{N^2 S}{l} \quad \text{coefficient d'autoinduction (en H)} \quad (10.4)$$

Loi de Faraday

$$\Rightarrow e = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (10.5)$$

$$u_L = L \frac{di}{dt} \quad (u_L = -e) \quad (10.6)$$

### 10.3.2 Mesure de l'inductance d'une bobine

Mesure de  $L$  à l'aide de la fréquence de coupure d'un circuit RL

objectif : vérifier la loi en  $N^2$  Diapo fonction de transfert avec diagramme de Bode

Lancement diagramme de Bode avec interface python

Transfert des données sur qtiplot.

Tracé du diagramme et mesure de  $f_c$  sur la courbe.

Tracé de  $L$  en fonction de  $N \Rightarrow$  ajustement :  $L = AN^n$

## 10.4 Circuit mobile dans un champ stationnaire

Démo qualitative avec l'aimant fixe et la bobine mobile

### 10.4.1 Rail de Laplace

$$\Rightarrow \Phi = S \vec{B} \cdot \vec{e}_z = Bl_0 x(t)$$

Loi de Faraday  $e = -Bl_0 v(t)$

Resistance  $R$  du circuit  $\Rightarrow i = e/R = -Bl_0 v/R$

Bilan des forces  $\rightarrow$  force de Laplace

$$\vec{F}_{\mathcal{L}} = \int_{\text{barreau}} i d\vec{l} \wedge \vec{B} = il_0 B \vec{e}_x \quad (10.7)$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{\mathcal{L}} = -\frac{B^2 l_0^2}{R} \vec{v} \quad (10.8)$$

frottement fluide qui freine le barreau

### 10.4.2 Microphone / Haut-parleur

Sur diapo

## Conclusion

Sur diapo



# LP11 : Rétroaction et oscillations

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-1 PSI*, Dunod
- *Physique spé PSI/PSI\**, Tec&Doc
- *Électronique - fondements et applications*, Pérez
- *Le fameux poly de Jeremy, version électronique*, Montrouge, Neveu

### Notes agrégat

- 2015 : Dans le cas des oscillateurs auto-entretenus, les conditions d'apparition des oscillations et la limitation de leur amplitude doivent être discutées. Le jury souhaiterait que le terme de résonance soit dûment justifié sans oublier une discussion du facteur de qualité. Il n'est pas indispensable de se restreindre à l'électronique.
- 2013 : Le jury n'attend pas une présentation générale et abstraite de la notion de système bouclé.

## Expériences possibles

### Boîtes démonstration rétroaction avec lampe

#### Matériel :

- Boîte de démo
- Oscillo + câbles

#### Protocole préparation :

#### Protocole pendant la leçon :

#### Remarques :

### Oscillateur à pont de Wien

#### Matériel :

- Résistance variable X3
- Condensateur variable
- Bobine (variable?)
- Ampli-op + alim
- Oscillo

#### Protocole préparation :

#### Protocole pendant la leçon :

#### Remarques :

# Plan détaillé de la leçon

*niveau* : CPGE

*pré-requis* :

— Amplificateur linéaire intégré

## Introduction

### 11.1 Rétroaction

#### 11.1.1 Schéma-bloc

#### 11.1.2 Système bouclé

#### 11.1.3 Exemple du pont de Wien

#### 11.1.4 Stabilité

#### 11.1.5 Définition

#### 11.1.6 Critère de stabilité

### 11.2 Oscillations

#### 11.2.1 Types d'oscillateurs

#### 11.2.2 Système auto-oscillant

#### 11.2.3 Régime quasi-sinusoïdal

## Conclusion

# LP12 : Traitement du signal. Étude spectrale

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-un, PSCI*, Dunod (pour analyse spectrale)
- *Physique tout-en-1, PSI/PSI\**, Dunod (pour traitement du signal)
- *Électronique*, Pérez

### Notes agrégat

- 2017 : Ce n'est pas une leçon sur le filtrage qui est attendue ; il ne faut pas se réduire à l'étude d'un ou plusieurs filtres électroniques.
- 2016 : Cette leçon ne peut en aucun cas se réduire à la simple étude de la théorie de Fourier.
- 2015 : Cette leçon ne doit pas se réduire à un catalogue de systèmes de traitement analogique du signal. Elle peut aussi mettre en exergue des méthodes numériques enseignées notamment dans les programmes de CPGE.

### Expériences possibles

#### Mesure de la fréquence de coupure d'un circuit RC (diagramme de Bode

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

#### Modulation–démodulation d'amplitude

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau* : CPGE

*pré-requis* :

- Onde harmonique – fonction sinusoïdale

## Introduction

### 12.1 Caractérisation d'un signal

#### 12.1.1 Spectre en fréquence

#### 12.1.2 Quelques exemples de signal

### 12.2 Filtrage

#### 12.2.1 Fonction de transfert d'un circuit

#### 12.2.2 Application au circuit RC

#### 12.2.3 Filtrage linéaire

### 12.3 Transport et lecture d'un signal

#### 12.3.1 Modulation d'amplitude (AM)

#### 12.3.2 Autres modulations

#### 12.3.3 Les signaux numériques

Rapidement sur slide

## Conclusion

# LP13 : Ondes progressives, ondes stationnaires

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-un PCSI*, Dunod
- *Dictionnaire de physique*, Taillet
- *Oscillations, propagation, diffusion*, Soutif

### Notes agrégat

- 2015 : Les candidats doivent être attentifs à bien équilibrer leur exposé entre ces deux familles d'ondes qui, d'ailleurs, ne s'excluent pas entre elles.
- 2014 : À l'occasion de cette leçon, le jury tient à rappeler une évidence : avec un tel titre, la leçon doit être équilibrée et ne peut en aucun cas se limiter pour l'essentiel aux ondes progressives.

### Expériences possibles

#### Propagation dans un câble coaxial

##### Matériel :

- GBF (agilent)
- Oscilloscope
- Câble coaxial de 100m
- Petit câble coaxial BNC-BNC
- LCR-mètre
- Adaptateur BNC-banane + cavalier

##### Protocole préparation :

##### Protocole pendant la leçon :

##### Remarques :

#### Cuve à ondes : observation d'ondes progressives et d'ondes stationnaires

##### Matériel :

- Cuve à onde + tous les accessoires

##### Protocole préparation :

##### Protocole pendant la leçon :

##### Remarques :

# Plan détaillé de la leçon

**niveau :** CPGE

**pré-requis :**

- Électrocinétique
- Équations différentielles
- Fonctions sinusoïdales

## Introduction

Diapo avec exemple d'ondes

Les ondes sont partout autour de nous : Nature (vague, tremblement de terre, etc.), communication de manière générale (son mais aussi avec appareils électriques)

Définition : perturbation d'une grandeur physique se propageant de proche en proche

## 13.1 Équation de propagation d'une onde

### 13.1.1 Propagation dans un câble coaxial

*Schéma modélisation cable coax*

- Loi des mailles :

$$u(x, t) = \lambda \delta x \frac{\partial i}{\partial t}(x, t) + u(x + \delta x, t)$$

Limite pour  $\delta x \rightarrow 0$  :

$$\Rightarrow \frac{\partial u}{\partial x} = -\lambda \frac{\partial i}{\partial t} \quad (13.1)$$

- Loi des noeuds :

$$i(x, t) = \gamma \delta x \frac{\partial u}{\partial t}(x + \delta x, t) + i(x + \delta x, t)$$

Limite pour  $\delta x \rightarrow 0$  :

$$\Rightarrow \frac{\partial i}{\partial t} = -\gamma \frac{\partial u}{\partial x} \quad (13.2)$$

On voit ici que  $u$  et  $i$  sont des grandeurs couplées (notion essentielle pour les ondes)

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} &= -\lambda \frac{\partial^2 i}{\partial x \partial t} = -\lambda \frac{\partial^2 i}{\partial t \partial x} \\ &= +\gamma \lambda \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \end{aligned} \quad (13.3)$$

Équation très courante pour les ondes : **équation de d'Alembert** :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (13.4)$$

où  $c$  est la célérité de l'onde.

Par identification pour le câble coaxial :  $c = 1/\sqrt{\gamma\lambda}$

### 13.1.2 Solutions de l'équation

Fonction de la forme  $u(x, t) = f(x \pm ct)$  sont solutions de l'équation  $\Rightarrow$  ondes planes

*Graphe avec propagation*

- fonction  $u(x, t) = f(x - ct)$  : onde se propageant vers les  $x$  croissants
- de même, fonction  $u(x, t) = f(x + ct)$  : onde se propageant vers les  $x$  décroissants

On voit ici que  $c$  représente la vitesse de propagation de l'onde, on va vérifier cela.

*Manip : présentation propagation d'un pulse dans le cable coaxial + mesure vitesse de propagation*

Théorème : toute solution de l'équation de d'Alembert peut s'écrire sous la forme  $u(x, t) = f_1(x - ct) + f_2(x + ct)$

Transition : il existe également des solutions particulières très intéressantes

### 13.1.3 Ondes planes progressives harmoniques

On considère la fonction  $u(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \phi) \Rightarrow$  onde plane progressive harmonique

Solution de l'équation de d'Alembert ssi

$$k^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \quad (13.5)$$

$\Rightarrow$  Relation de dispersion

*Observation onde progressive dans la cuve à onde  $\Rightarrow$  qu'est-ce qui se passe quand on a une réflexion ?  $\Rightarrow$  observation onde stationnaire*

## 13.2 Ondes stationnaires

### 13.2.1 Superposition de deux OPPH

Nous allons considérer la superposition de 2 OPPH contrapropageante de même fréquence et de même amplitude :

$$u(x, t) = A \cos(kx - \omega t) + A \cos(kx + \omega t) = 2A \cos(kx) \cos(\omega t)$$

On a plus de propagation  $\Rightarrow$  ondes stationnaires

### 13.2.2 Conditions aux bords

## Conclusion

# LP14 : Ondes acoustiques

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-1*, Dunod

### Notes agrégat

- 2017 : La contextualisation et des applications de la vie courante ne doivent pas être oubliées dans cette leçon qui se résume souvent à une suite de calculs. De plus, les fluides ne sont pas les seuls milieux dans lesquels les ondes acoustiques peuvent être étudiées.
- 2014 : Cette leçon peut être l'occasion de traiter les ondes acoustiques dans les fluides ou dans les milieux périodiques, certes, mais elle peut aussi être l'occasion de traiter les deux cas qui donnent lieu à des phénoménologies très différentes.
- 2013 : Le candidat est libre d'étudier les ondes acoustiques dans un fluide ou dans un solide élastique.

### Expériences possibles

#### Mesure de la célérité du son dans l'air

##### Matériel :

- Piézoélectriques émetteur + récepteur
- Banc optique + 2 pieds
- GBF
- Oscilloscope
- 2 câbles BNC-bananes

##### Protocole préparation :

##### Protocole pendant la leçon :

##### Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau* : CPGE

*pré-requis* :

- Ondes progressives/stationnaires
- Équation de d'Alembert
- Ondes électromagnétiques
- Dynamique des fluides
- Diffusion thermique



## Introduction

Définition ondes acoustiques

### 14.1 Propagation dans les fluides

#### 14.1.1 Hypothèses et modèle

On se place dans le référentiel du fluide au repos caractérisé par :

- Pression  $P_0$
  - Masse volumique  $\rho_0$
  - Vitesse  $\vec{v}_0 = \vec{0}$
  - Approximation acoustique : on considère une perturbation au-dessus de ce fluide au repos :
    - Champ de pression :  $P(\vec{r}, t) = P_0 + P_1(\vec{r}, t)$  avec  $P_1 \ll P_0$
    - Champ de masse volumique :  $\rho(\vec{r}, t) = \rho_0(\vec{r}, t) + \rho_1(\vec{r}, t)$  avec  $\rho_0 \ll \rho_1$
    - Champ de vitesse :  $v_1(\vec{r}, t) \ll c_s$  où  $c_s$  est la célérité du son dans le fluide (grandeur sur laquelle on reviendra)
  - On néglige la pesanteur
  - On néglige également les effets dissipatifs de l'écoulement (les termes de viscosité et les termes de diffusion thermique)
- => on considère ainsi que l'on est isentropique

#### 14.1.2 Linéarisation et propagation

- Équation d'Euler :

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} \right) = -\text{grad} P$$

Au premier ordre, on a donc :

$$\rho_0 \frac{\partial \vec{v}_1}{\partial t} = -\text{grad} P_1$$

Remarque à avoir en tête pour les questions : ici on a :

$$\frac{||(\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v}||}{||\partial_t \vec{v}||} \sim \frac{v_1^2/\lambda}{c_s/\lambda v_1} \sim \frac{v_1}{c_s}$$

Donc on retrouve que le terme convectif est négligeable pour  $v_1 \ll c_s$  (nombre de Mach :  $U/c_s$ )

- Conservation de la masse :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\text{div}(\rho \vec{v})$$

Au premier ordre :

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} = -\rho_0 \text{div} \vec{v}_1$$

- Évolution isentropique : on peut relier  $\rho$  et  $P$  par le coefficient thermoélastique

$$\chi_S = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_S \sim \frac{1}{\rho_0} \frac{\rho_1}{P_1}$$

Nous avons ainsi :  $\rho_1 = \chi_S \rho_0 P_1$

En combinant avec l'équation précédente, on a donc :

$$\chi_S \frac{\partial P_1}{\partial t} = -\text{div} \vec{v}_1$$

Nous voyons alors que  $\vec{v}$  et  $P$  sont les deux grandeurs couplées de l'onde acoustique. En combinant les deux équations obtenues, nous écrivons l'équation de propagation :

$$\Delta P_1 - \rho_0 \chi_S \frac{\partial^2 P_1}{\partial t^2} = 0 \quad (14.1)$$

On a ici une équation de type équation de d'Alembert où nous identifions la célérité du son :  $c_s = 1/\sqrt{\rho_0 \chi_S}$

### 14.1.3 Mesure de la célérité du son

Pour un gaz, on peut montrer que **Démo à savoir pour les questions** :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mathcal{M}}}$$

où  $\gamma$  : coefficient adiabatique et  $\mathcal{M}$  : masse molaire du gaz

Pour l'air nous avons :  $\gamma = 1,4$  et  $\mathcal{M} = 29\text{g.mol}^{-1}$

*Expérience : mesure de la célérité du son dans l'air*

## 14.2 Les instruments à vent

Schéma tube avec les différents type de condition aux limites (sur diapo)

Questions des harmoniques accessibles => discussion sur le son de la clarinette

Rapidement discussion sur l'impédance acoustique (sur diapo) ?

## Conclusion

# LP15 : Propagation guidée des ondes

## Références

### Bibliographie

- *Électrodynamisme des milieux continus*, Landau et Lifchitz
- Cours sur les ondes de Thieberge (ENS Lyon) : [https://www.etienne-thieberge.fr/agreg/ondes\\_poly\\_2015.pdf](https://www.etienne-thieberge.fr/agreg/ondes_poly_2015.pdf)

### Notes agrégat

- 2014 : Les candidats doivent avoir réfléchi à la notion de vitesse de groupe et à son cadre d'utilisation.
- 2012, 2013 : Les notions de modes et de fréquence de coupure doivent être exposées. On peut envisager d'autres ondes que les ondes électromagnétiques.
- 2010 : La propagation guidée ne concerne pas les seules ondes électromagnétiques ou optiques. Il faut insister sur les conditions aux limites introduites par le dispositif de guidage.

### Expériences possibles

#### Observation ondes acoustiques avec et sans guidage

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

#### Banc hyperfréquence – mesure de la relation de dispersion

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau* : Licence

*pré-requis* :

- Ondes progressives ; ondes stationnaires

- Équations de Maxwell
- Relation de passage d'électromagnétisme

## Introduction

### 15.1 Généralités

#### 15.1.1 Description du guide d'onde

#### 15.1.2 Modes de propagation

### 15.2 Propagation d'une onde EM dans un guide rectangulaire

#### 15.2.1 Propagation entre deux plans

Calculs cf cours Thieberge

#### 15.2.2 Généralisation au guide rectangulaire

Calculs cf cours Thieberge

#### 15.2.3 Mesure de la relation de dispersion

Calculs cf cours Thieberge

### 15.3 Propagation guidée des ondes acoustiques

## Conclusion

# LP16 : Microscopies optiques

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-1*, Dunod

### Notes agrégat

- 2017 : L'intérêt des notions introduites doit être souligné.
- 2016 : Une technique récente de microscopie optique à haute résolution doit être présentée.

### Expériences possibles

#### Mesure du grossissement commercial du microscope

##### Matériel :

- Microscope
- Mire micrométrique
- Lampe LED + condenseur 8cm
- Filtre anti-thermique + pied
- Diaphragme + pied
- Écran blanc
- 2 supports-élévateurs
- Un mètre-ruban + une règle

##### Protocole préparation :

- Faire le montage avec tous les bons alignements

##### Protocole pendant la leçon :

- Présenter le montage
- Faire image propre sur écran
- Mesurer distance écran
- Mesurer taille image
- Calculer grossissement

##### Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau* : Licence

*pré-requis* :

- Optique géométrique
- Diffraction

## Introduction

Résolution de l'oeil  $\sim 100\,\mu\text{m}$

### 16.1 Microscopie classique

#### 16.1.1 Description d'un microscope

#### 16.1.2 Éclairage

#### 16.1.3 Limitations

### 16.2 Microscopie confocale

#### 16.2.1 Principe

#### 16.2.2 Microscope confocal à fluorescence

## Conclusion

# LP17 : Interférences à deux ondes en optique

## Références

### Bibliographie

— *Physique tout-en-1*, Dunod

### Notes agrégat

- 2016 : Les approximations mises en oeuvre dans les calculs de différence de marche doivent être justifiées a priori.
- 2015 : L'exposé doit permettre de préciser clairement les contraintes particulières que l'optique impose aux dispositifs interférentiels par rapport à d'autres domaines.
- 2014 : Un interféromètre comportant une lame séparatrice n'est pas obligatoirement utilisé en diviseur d'amplitude. La notion de cohérence et ses limites doivent être discutées.

### Expériences possibles

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau :*

*pré-requis :*

—

### Introduction

#### 17.1

##### 17.1.1

### Conclusion

# LP18 : Interférences à division d'amplitude

## Références

### Bibliographie

— *Physique tout-en-1*, Dunod

### Notes agrégat

- 2017 : Le candidat doit réfléchir aux conséquences du mode d'éclairage de l'interféromètre (source étendue, faisceau parallèle ou non...). Il est judicieux de ne pas se limiter à l'exemple de l'interféromètre de Michelson.
- 2016 : La distinction entre divisions du front d'onde et d'amplitude doit être précise. Le jury rappelle que l'utilisation d'une lame semi-réfléchissante ne conduit pas nécessairement à une division d'amplitude.
- 2015 : Les notions de cohérence doivent être présentées.
- 2014 : Un interféromètre comportant une lame séparatrice n'est pas obligatoirement utilisé en diviseur d'amplitude. La notion de cohérence et ses limites doivent être discutées.

### Expériences possibles

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau :*

*pré-requis :*

—

### Introduction

#### 18.1

##### 18.1.1

### Conclusion



# LP19 : Diffraction de Fraunhofer

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-1*, Dunod

### Notes agrégat

- 2017 : Les conditions de Fraunhofer et leurs conséquences doivent être présentées, ainsi que le lien entre les dimensions caractéristiques d'un objet diffractant et celles de sa figure de diffraction.
- 2014, 2013, 2012, 2011 : Les conditions de l'approximation de Fraunhofer doivent être clairement énoncées. Pour autant, elles ne constituent pas le coeur de la leçon.

## Expériences possibles

### Diffraction par une fente calibrée

#### Matériel :

- Laser
- Caméra CCD + cable usb
- Lentille convergente (15 ou 20 cm) + pied
- Laser élargi (ou laser + kit lentille laser)

#### Protocole préparation :

#### Protocole pendant la leçon :

#### Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau* : Licence

*pré-requis* :

- Transformée de Fourier
- Physique ondulatoire (onde sphérique, onde plane, interférences et diffraction)

## Introduction

Lorsque l'on fait passer la lumière par une ouverture fine, on observe phénomène d'élargissement du faisceau => démo  
Cela rappelle phénomène déjà vu en physique ondulatoire : la diffraction

De plus, on a ici une figure assez particulière qui se forme => Dans cette leçon, on va chercher à étudier quantitativement ce phénomène

## 19.1 Phénomène de diffraction optique

### 19.1.1 Principe de Huygens-Fresnel

Énoncé du principe sur diapo

*Schéma sur le côté du tableau à compléter au fur et à mesure de la leçon* Expression de l'onde en un point  $M$  :

$$\begin{aligned} dS_p(M) &= \frac{e^{ik|P\vec{M}|}}{|P\vec{M}|} As_0(P) d\Sigma \\ \Rightarrow s(M) &= A \iint d\Sigma s_0(P) \frac{e^{ik|P\vec{M}|}}{|P\vec{M}|} \end{aligned}$$

### 19.1.2 Diffraction par un objet plan

$$\begin{aligned} |P\vec{M}| &= \sqrt{(X-x)^2 + (Y-y)^2 + D^2} \\ &= D \sqrt{1 + \left(\frac{X-x}{D}\right)^2 + \left(\frac{Y-y}{D}\right)^2} \end{aligned}$$

Conditions de Gauss  $\Rightarrow X-x, Y-y \ll D$  (petits angles)

$$\begin{aligned} |P\vec{M}| &\sim D \left[ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{X-x}{D}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{Y-y}{D}\right)^2 \right] \\ &\sim D \left[ 1 + \frac{\alpha^2 + \beta^2}{2} - \frac{\alpha x + \beta y}{D} + \frac{x^2 + y^2}{2D^2} \right] \end{aligned}$$

avec  $\alpha \sim X/D$ ,  $\beta \sim Y/D$  et  $x^2 + y^2 = r^2$ . Donc

$$\begin{aligned} \frac{1}{|P\vec{M}|} &\sim \frac{1}{D} \\ e^{ik|P\vec{M}|} &\sim e^{i\varphi} e^{ik(-\alpha x - \beta y + r^2/2D)} \\ s_0(P) &= s_0 \frac{e^{ik|S\vec{P}|}}{|S\vec{P}|} \sim s_0 \frac{e^{i\varphi}}{d} e^{ik(\alpha_0 x + \beta_0 y + r^2/2d)} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow s(M) = \tilde{s}_0 \iint dx dy t(x, y) e^{-ik[(\alpha - \alpha_0)x + (\beta - \beta_0)y]} e^{ik \frac{r^2}{2} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D}\right)} \quad (19.1)$$

### 19.1.3 Approximation de Fraunhofer

On veut que  $\frac{kr^2}{2D}, \frac{kr^2}{2d} \ll 1 \iff D, d \gg \frac{\pi r^2}{\lambda}$

A.N. pour He-Ne  $\lambda = 633,8 \text{ nm}$ ,  $r \sim 0,1 \text{ mm}$

$$\Rightarrow D, d \gg 5 \text{ cm} \quad (19.2)$$

En pratique on se place au foyer de deux lentilles

$$\Rightarrow s(M) = \tilde{s}_0 \iint dx dy t(x, y) e^{-ikxX/f'} e^{-ikyY/f'} \quad (19.3)$$

Diffraction de Fraunhofer  $s(M) = \tilde{s}_0 \text{TF}[t(x, y)]$

## 19.2 Diffraction par une fent rectangulaire

### 19.2.1 Figure de diffraction

$$\Rightarrow t(x, y) = \begin{cases} 1/ab & \text{pour } x \in [-a/2, a/2], y \in [-b/2, b/2] \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$s(M) = \tilde{s}_0 \operatorname{sinc}\left(\frac{\pi a X}{\lambda f'}\right) \operatorname{sinc}\left(\frac{\pi b Y}{\lambda f'}\right) \quad (19.4)$$

Expérimentalement on mesure  $I(M) = |s(M)|^2$

### 19.2.2 Mesure de la largeur d'une fente

*Manip mesure avec caméra CCD*

### 19.2.3 Influence des paramètres de la fente

Animation pour montrer changement figure de diffraction par rapport aux caractéristiques de la fente source : [https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_en.html)

## Conclusion

Ouverture : limitation des instruments d'optique

# LP20 : Diffraction par des structures périodiques

## Références

### Bibliographie

— *Physique tout-en-1*, Dunod

### Notes agrégat

- 2017 : Il faut traiter de diffraction par des structures périodiques et pas seulement d'interférences à N ondes.
- 2015 : Il est important de bien mettre en évidence les différentes longueurs caractéristiques en jeu.
- 2014, 2013, 2012 : Cette leçon donne souvent l'occasion de présenter les travaux de Bragg ; malheureusement, les ordres de grandeur dans différents domaines ne sont pas toujours maîtrisés.
- 2010, 2009 : La notion de facteur de forme peut être introduite sur un exemple simple. L'influence du nombre d'éléments diffractants doit être discutée.

### Expériences possibles

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau :*

*pré-requis :*

—

### Introduction

#### 20.1

##### 20.1.1

### Conclusion

# LP21 : Absorption et émission de la lumière

## Références

### Bibliographie

— *Physique tout-en-1*, Dunod

### Notes agrégat

- 2017 : Cette leçon ne peut se résumer à une présentation des relations d'Einstein.
- 2015 : Cette leçon peut être traitée de façons très variées, mais il est bon que les candidats aient réfléchi aux propriétés des diverses formes de rayonnements émis, aux dispositifs exploitant ces propriétés et au cadre théorique permettant de les comprendre.
- 2014, 2013, 2012, 2011 (Absorption, émission spontanée ou induite du rayonnement. Caractéristiques et applications.) : Trop souvent, il y a confusion entre les processus élémentaires pour un atome et un ensemble d'atomes. De même le candidat doit préciser au cours de sa leçon le caractère monochromatique ou non du champ de rayonnement qu'il considère et plus généralement les caractéristiques du rayonnement stimulé.

## Expériences possibles

### Spectre d'absorption de la rhodamine

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan de la leçon

*niveau :*

*pré-requis :*

- Électromagnétique (densité d'énergie, vecteur de Poynting)
- Physique statistique (distribution de Boltzmann)
- Quantification des niveaux d'énergie
- Rayonnement du corps noir (loi de Planck)

## Introduction

Description de la lumière : objet de débat pendant longtemps en physique  
=> Connaissance de la matière très fortement liée à cette histoire

XVII<sup>e</sup> siècle : Newton étudie la décomposition du spectre de la lumière blanche => description des couleurs comme un objet physique

XVIII<sup>e</sup>–XIX<sup>e</sup> siècle : développement de la spectroscopie

XX<sup>e</sup> siècle : spectroscopie atomique

## 21.1 Phénomènes d'émission et d'absorption

Présentation spectre lampe de mercure => Phénomène d'émission de lumière

Expérience : étude du spectre d'absorption de la rhodamine

## 21.2 Modèle d'Einstein

### 21.2.1 Positionnement du problème

*Schéma système à 2 niveaux*

Interaction entre lumière et atome ssi  $h\nu = E_2 - E_1 = h\nu_0$

Lumière de densité spectrale  $u(\nu)$  ici on considère  $u(\nu = \nu_0)$

(hypothèse large bande sous-jacente)

- Hypothèse : population d'atome  $N \ll 1$  => description statistique du problème

### 21.2.2 Coefficient d'Einstein

- Émission spontanée :

$$\left( \frac{dN_2}{dt} \right)_{\text{sp}} = -A_{21}N_2 \quad (21.1)$$

=> Photon avec direction de propagation, polarisation et phase aléatoire

- Absorption :

$$\left( \frac{dN_2}{dt} \right)_{\text{abs}} = +B_{12}N_1u(\nu_0) \quad (21.2)$$

Il existe aussi un autre phénomène d'émission introduit par Einstein : - Émission stimulée :

$$\left( \frac{dN_2}{dt} \right)_{\text{st}} = -B_{21}N_2u(\nu_0) \quad (21.3)$$

Nous obtenons ainsi :

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21}N_2 - B_{21}N_2u(\nu_0) + B_{12}N_1u(\nu_0) \quad (21.4)$$

### 21.2.3 Cas du corps noir

- Régime permanent :  $\frac{dN_2}{dt} = 0$

=>  $(B_{12}N_1 - B_{21}N_2)u(\nu_0) = A_{21}N_2$

Nous obtenons alors :

$$u(\nu_0) = \frac{A_{21}}{B_{21}} \frac{1}{\frac{B_{12}N_1}{B_{21}N_2} - 1} \quad (21.5)$$

or à l'équilibre thermodynamique :  $N_i \propto e^{-\frac{E_i}{k_B T}}$ , nous avons donc :

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{\frac{E_2 - E_1}{k_B T}} = e^{\frac{h\nu_0}{k_B T}}$$

Nous avons alors :

$$u(\nu_0) = \frac{A_{21}}{B_{21}} \frac{1}{\frac{B_{12}}{B_{21}} e^{\frac{h\nu_0}{k_B T}} - 1} \quad (21.6)$$

Identification avec la loi de Planck :  $u(\nu) = \frac{8\pi\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$ , on a donc :

$$B_{12} = B_{21} \text{ et } \frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi\nu_0^3}{c^3}$$

On veut utiliser les propriétés de l'émission stimulée

Comparaison coeff pour différentes fréquences (MASER avant les LASER)

## 21.3 Application au laser

Sur diapo ?

## Conclusion

# LP22 : Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques

## Références

### Bibliographie

— *Physique tout-en-1*, Dunod

### Notes agrégat

- 2017 : L'introduction des milieux linéaires en début de leçon n'est pas judicieuse.
- 2016 : Un bilan de puissance soigné est attendu.
- 2009, 2010 L'intérêt du champ  $\vec{H}$  doit être clairement dégagé. L'obtention expérimentale du cycle d'hystérésis doit être analysée.

## Expériences possibles

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau* : Licence

*pré-requis* :

—

### Introduction

#### 22.1

##### 22.1.1

### Conclusion



# LP23 : Mécanisme de la conduction électrique dans les solides

## Références

### Bibliographie

— *Physique tout-en-1*, Dunod

### Notes agrégat

- 2017 : Cette leçon ne concerne pas que la conduction dans les métaux.
- 2014 : Dans la présentation du modèle de Drude, les candidats doivent être attentifs à discuter des hypothèses du modèle, en particulier celle des électrons indépendants. Le jury se permet par ailleurs de rappeler aux candidats que les solides ne sont pas tous métalliques. Voir également le commentaire sur la leçon 29 [Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs.]

## Expériences possibles

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

Remarques :

## Plan détaillé de la leçon

*niveau :*

*pré-requis :*

—

### Introduction

#### 23.1

##### 23.1.1

### Conclusion

# LP24 : Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-1*, Dunod
- *Mécanique*, Landau Lifchitz
- *Vibration, propagation, diffusion*, Soutif
- *Acoustique des instruments de musique*, A. Chataigne et J. Kergomard

### Notes agrégat

- **2015** : Présenter l'exemple célèbre du pont de Tacoma n'est pas pertinent, sauf s'il s'agit d'effectuer une critique d'une interprétation erronée très répandue.
- **2010** : L'analyse du seul circuit RLC est très insuffisante pour cette leçon. Le phénomène de résonance ne se limite pas aux oscillateurs à un degré de liberté.

## Expériences possibles

### Résonance dans un circuit RLC

Matériel :

—

Protocole préparation :

Protocole pendant la leçon :

### Corde de Melde

Matériel :

- GBF
- Ampli
- Fils électriques
- Vibreur + corde
- Poulie

Protocole préparation :

Tout mettre ensemble, pas de prépa particulière

Regarder pour avoir une idée des fréquence de résonance

**Protocole pendant la leçon :**

Démo qualitative des résonances **Remarques :**

## Plan détaillé de la leçon

*niveau :*

*pré-requis :*

- Oscillateur harmonique
- Fonction de transfert

### Introduction

Définition de résonance => donner des exemples

## 24.1 Oscillateur harmonique forcé

### 24.1.1 Cas non-amorti

On considère l'équation d'un oscillateur harmonique à laquelle on va ajouter un terme de forçage :

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = f(t) \quad (24.1)$$

Dans cette leçon, nous allons nous intéresser tout d'abord à des forçages sinusoïdal :  $f(t) = a \cos(\omega t)$

Obtention de la solution particulière

Cas  $\omega = \omega_0$  est un cas particulier => divergence du système

Prise en compte de l'amortissement primordial quand on parle de résonance

### 24.1.2 Cas amorti

On ajoute à présent un terme d'amortissement :

$$\ddot{x} + \gamma \dot{x} + \omega_0^2 x = a \cos(\omega t) \quad (24.2)$$

Résolution par passage en formalisme complexe => fonction de transfert

Résonance en intensité

Résonance en charge

### 24.1.3 Application au circuit RLC

## 24.2 Résonance en cavité

### 24.2.1 Généralité

### 24.2.2 Cas de la corde de Melde

## Conclusion

# LP25 : Oscillateurs ; portraits de phase et non-linéarités

## Références

### Bibliographie

- *Physique tout-en-1 PCSI*, édition Dunod
- *Vibration, propagation, diffusion*, Soutif (1993)
- *L'ordre dans le chaos*, Bergé, Pomeau et Vidal

### Notes agrégat

- **2017** : Les définitions d'un oscillateur et d'un portrait de phase sont attendues. La leçon doit présenter des systèmes comportant des non-linéarités.
- **2015** : L'intérêt de l'utilisation des portraits de phase doit ressortir de la leçon.
- **2013** : Les aspects non-linéaires doivent être abordés dans cette leçon sans développement calculatoire excessif, en utilisant judicieusement la notion de portrait de phase. Une simulation numérique bien présentée peut enrichir cette leçon.

## Expériences possibles

### Acquisition des oscillations d'un pendule

#### Matériel :

- Pendule pesant
- interface d'acquisition
- Balance
- Règle

#### Protocole préparation :

#### Protocole pendant la leçon :

#### Remarques :

- Attention à la distinction pendule simple/pendule pesant => bien poser les hypothèses

## Plan détaillé de la leçon

*niveau* : CPGE ?

*pré-requis* :

- Mécanique du point
- Oscillateur harmonique

## Introduction

### 25.1 Cas du pendule

#### 25.1.1 Mise en équation

*Schéma*

Référentiel : terrestre

Système : masse  $m$

Bilan des forces :

— Poids :  $\vec{P} = -mg\vec{e}_z = mg(\cos\theta\vec{e}_r - \sin\theta\vec{e}_\theta)$

— Tension du la corde :  $\vec{T} = -||\vec{T}||\vec{e}_r$

Principe fondamental de la dynamique :

$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{T}$$

$$ml(-\dot{\theta}^2\vec{e}_r + \ddot{\theta}\vec{e}_\theta) = (mg\cos\theta - ||\vec{T}||)\vec{e}_r - \sin\theta\vec{e}_\theta$$

Projection selon  $\vec{e}_\theta$  :

$$ml\ddot{\theta} = mg\sin\theta \quad (25.1)$$

#### 25.1.2 Approximation linéaire

Cas des petits angles :  $\sin\theta \sim \theta$

On retrouve alors équation de l'oscillateur harmonique :

$$\ddot{\theta} - \frac{g}{l}\theta = 0 \quad (25.2)$$

avec  $\frac{g}{l} = \omega_0^2$

*Expérience : acquisition oscillations pendule*

#### 25.1.3 Prise en compte de la non-linéarité

Développement de Bordas

On est plus sinusoïdal => de nouvelles fréquences émergent

*Acquisition grand angle + exploitation avec code Yum*

Compliqué à traiter exactement => mais on peut développer d'autres outils.

## 25.2 Portrait de phase

### 25.2.1 Définitions

### 25.2.2 Construction pour un pendule

### 25.2.3 Cas de l'amortissement

## Conclusion

Ouverture sur les oscillateurs entretenus ?

# LP26 : Cinématique relativiste. Expérience de Michelson et Morley.

## Références

### Bibliographie

— *Physique tout-en-1*, Dunod

—

### Notes agrégat

Pour cinématique relativiste :

- 2016 : Les notions d'événement et d'invariant sont incontournables dans cette leçon.
- 2015 : Le jury rappelle qu'il n'est pas forcément nécessaire de mettre en œuvre des vitesses relativistes pour être capable de détecter et de mesurer des effets relativistes.
- 2014 : Cette leçon exige une grande rigueur dans l'exposé tant sur les notions fondamentales de relativité restreinte que sur les référentiels en jeu. Elle invite les candidats à faire preuve d'une grande pédagogie pour présenter des notions a priori non intuitives et faire ressortir les limites de l'approche classique. Un exposé clair des notions d'invariant relativiste est attendu.

### Expériences possibles

Commentaire correcteur : La cinématique relativiste, comme la dynamique relativiste, se prêtent mal à des expériences réalisables de manière raisonnable pour une leçon d'agrégation. Avoir présenté un interféromètre de Michelson est une bonne idée, mais on pourrait désirer y consacrer davantage de temps (ce qui n'est pas évident dans le temps imparti). Il n'est pas impossible que l'expérience de Fizeau soit réalisable, mais cela reste techniquement délicat pour une leçon de concours

### Interféromètre de Michelson

**Matériel :**

- Interféromètre de Michelson
- Laser + kit lentilles laser
- Philora
- Lentille de focale 1m

**Protocole préparation :**

Aligner le Michelson

**Protocole pendant la leçon :**

**Remarques :**

# Plan détaillé de la leçon

*niveau* : Licence

*pré-requis* :

- Mécanique classique
- Électromagnétisme
- Interféromètre de Michelson

## Introduction

Incompatibilité de l'électromagnétisme et de la méca newtonnienne

Concept de l'éther

## 26.1 Expérience de Michelson et Morley

### 26.1.1 Principe

### 26.1.2 Mise en place

### 26.1.3 Résultats et interprétation

## 26.2 Postulats de la relativité restreinte

### 26.2.1 Énoncé

### 26.2.2 Conséquences

- Relativité du temps entre les référentiels
- Notion d'événements
- Transformation de Lorentz
- Intervalle entre deux événements

### 26.2.3 Espace de Minkowski

## Conclusion

# LP27 : Effet tunnel ; radioactivité alpha.

## Références

## Bibliographie

— *Physique tout-en-1*, Dunod

## Notes agrégat

Titre : effet tunnel :

- 2017 : Encore une fois, il ne s'agit pas de se limiter à des calculs. L'exposé doit présenter l'analyse d'applications pertinentes.
- 2015 : Trop de candidats pensent que l'effet tunnel est spécifique à la physique quantique.
- 2013, 2012, 2011 : Dans le traitement de l'effet tunnel, les candidats perdent souvent trop de temps dans les calculs. Le jury invite les candidats à réfléchir à une présentation à la fois complète et concise sans oublier les commentaires physiques relatifs à la dérivation de la probabilité de transmission. Certains candidats choisissent d'aborder le cas de la désintégration alpha mais ne détaillent malheureusement pas le lien entre la probabilité de traversée d'une barrière et la durée de demi-vie de l'élément considéré. La justification des conditions aux limites est essentielle ! Le microscope à effet tunnel peut être un bon exemple d'application s'il est analysé avec soin (hauteur de la barrière, origine de la résolution transverse, ...).

## Expériences possibles

Aucune : présenter données expérimentales sur temps de demi-vie des noyaux radioactifs

## Plan détaillé de la leçon

*niveau :*

*pré-requis :*

—



## Introduction

### 27.1 Modèle de la barrière de potentiel 1D

#### 27.1.1 Description

#### 27.1.2 Calcul fonction de transmission

#### 27.1.3 Cas d'une barrière de largeur variable

### 27.2 Application à la radioactivité alpha

#### 27.2.1 Potentiel du noyau atomique

#### 27.2.2 Probabilité d'émission d'une particule alpha

#### 27.2.3 Temps de demi-vie

## Conclusion