

Agrégation externe physique-chimie option chimie  
Leçons de physique

Joachim GALIANA, Manon LECONTE

2019–2020

**But du document** Ce document regroupe l'ensemble des notes prises pendant les préparations aux oraux de l'agrégation (leçon de chimie) de l'année 2019–2020. L'objectif était de rassembler tous les plans proposés mais aussi toutes les remarques faites sur le plan, ainsi que les modifications qui seraient apportées par notre binôme (Manon LECONTE et Joachim GALIANA).

Ainsi, pour chaque titre de leçon est rappelé l'élément imposé par le correcteur ; sont donnés le plan proposé par la candidate, les pré-requis pour le niveau proposé et la liste des ressources utilisées. Les questions posées par le correcteur et les autres élèves ainsi que le débrief sont aussi ajoutés en fin de leçon.

Au cours de l'année et principalement pendant la période de préparation aux oraux, des remarques supplémentaires voire de nouvelles versions entières des leçons seront ajoutées, en particulier si d'autres éléments imposés sont envisagés.

# Table des matières

<b>I</b>	<b>Avant écrits</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Mesures et contrôle (supérieur)</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Acquisition et traitement de données (supérieur)</b>	<b>14</b>
2.1	Du mesurande au signal . . . . .	15
2.1.1	Détection d'une grandeur physique . . . . .	15
2.1.2	Réponse du capteur : le signal . . . . .	15
2.2	Du signal à l'information . . . . .	15
2.2.1	Échantillonnage . . . . .	15
2.2.2	Exploitation des données . . . . .	15
2.2.3	Validation de la mesure . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Énergie électrique (secondaire)</b>	<b>17</b>
3.1	Comment acheminer l'énergie électrique ? . . . . .	18
3.1.1	Production d'énergie électrique . . . . .	18
3.1.2	Transport d'énergie électrique . . . . .	18
3.2	Comment utiliser l'énergie électrique . . . . .	18
3.2.1	Utilisation de l'énergie électrique . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Régimes transitoires (supérieur)</b>	<b>20</b>
4.1	Régime transitoire du premier ordre . . . . .	21
4.1.1	Analyse dimensionnelle . . . . .	21
4.1.2	La photodiode . . . . .	21
4.1.3	Circuit RC série . . . . .	21
4.2	Régime transitoire du second ordre . . . . .	21
4.2.1	Dispositif expérimental . . . . .	21
4.2.2	Mise en équation . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Machines thermiques (supérieur)</b>	<b>23</b>
5.1	Étude thermodynamique . . . . .	24
5.1.1	Les différents types de machine . . . . .	24
5.1.2	Bilans énégetique et entropique . . . . .	24
5.2	Machine réceptrice ditherme . . . . .	24
5.2.1	Principe général . . . . .	24
5.2.2	Réfrigérateur . . . . .	24
5.3	Moteurs . . . . .	24
5.3.1	Principe général . . . . .	24
5.3.2	Moteur idéal . . . . .	25

<b>6</b>	<b>Transferts thermiques (supérieur)</b>	<b>27</b>
6.1	Les différents types de transferts thermiques . . . . .	28
6.1.1	Rayonnement . . . . .	28
6.1.2	Conduction . . . . .	28
6.2	Convection . . . . .	29
6.3	Refoiðissement d'un ordinateur . . . . .	29
6.3.1	Diffusion thermique dans l'ailette . . . . .	29
6.3.2	Transferts thermiques avec l'air extérieur (33'20") . . . . .	30
<b>7</b>	<b>Phénomènes de diffusion (supérieur)</b>	<b>35</b>
7.1	Diffusion de la matière . . . . .	36
7.1.1	Grandeurs caractéristiques et équation de diffusion . . . . .	36
7.1.2	Marche au hasard . . . . .	36
7.2	Diffusion thermique . . . . .	37
7.2.1	Analogie avec la diffusion de particules . . . . .	37
7.2.2	Exploitation de l'équation . . . . .	37
<b>8</b>	<b>Irreversibilité (supérieur)</b>	<b>41</b>
8.1	Irreversibilité . . . . .	42
8.1.1	Sens d'évolution . . . . .	42
8.1.2	Le second principe . . . . .	42
8.1.3	Identité thermodynamique . . . . .	42
8.2	Application du second principe . . . . .	42
8.2.1	Méthode . . . . .	43
8.2.2	Cas d'une phase condensée . . . . .	43
8.3	Phénomènes irréversibles . . . . .	43
<b>9</b>	<b>Gravitation et poids (secondaire)</b>	<b>47</b>
9.1	Interaction gravitationnelle . . . . .	48
9.1.1	Force gravitationnelle . . . . .	48
9.1.2	Promenons-nous dans les champs... . . . .	48
9.2	Chute libre . . . . .	49
9.2.1	Problème et mise en équation . . . . .	49
9.2.2	Mesure de g . . . . .	49
9.3	Mouvement des astres . . . . .	50
<b>10</b>	<b>Conservation de l'énergie (secondaire)</b>	<b>53</b>
10.1	Notion de travail . . . . .	54
10.1.1	Travail d'une force constante . . . . .	54
10.1.2	Travail d'une force conservative . . . . .	54
10.1.3	Travail d'une force non conservative . . . . .	55
10.2	Conservation de l'énergie . . . . .	55
10.2.1	Théorème de l'énergie mécanique . . . . .	55
10.2.2	Chute libre . . . . .	55
10.2.3	Pendule simple . . . . .	56
10.3	Du macroscopique au microscopique . . . . .	56
10.3.1	Énergie interne et conservation . . . . .	56
10.3.2	Bilan d'énergie du corps humain . . . . .	57

<b>11 Mouvements, interactions et notion de champ (secondaire)</b>	<b>61</b>
11.1 Forces et interactions . . . . .	62
11.1.1 Interaction électrostatique . . . . .	62
11.1.2 Loi de COULOMB . . . . .	62
11.1.3 Analogies avec l'interaction gravitationnelle . . . . .	63
11.2 Champ et mouvement . . . . .	63
11.2.1 Notion de « champ » . . . . .	63
11.2.2 Détermination du champ de pesanteur . . . . .	63
11.2.3 Effet d'un champ sur le mouvement . . . . .	63
<b>12 Interactions lumière–matière (secondaire)</b>	<b>65</b>
<b>13 Conservation de l'énergie (supérieur)</b>	<b>66</b>
13.1 Conservation de l'énergie . . . . .	67
13.1.1 Travail des forces . . . . .	67
13.1.2 L'énergie mécanique . . . . .	67
13.2 Au niveau des planètes . . . . .	68
13.2.1 Force centrale . . . . .	68
13.2.2 Influence de la Lune . . . . .	68
<b>14 Images et couleurs (secondaire)</b>	<b>71</b>
14.1 Formation de l'image dans l'œil . . . . .	72
14.2 Perception des couleurs . . . . .	72
14.2.1 Composition de la lumière blanche . . . . .	73
14.2.2 Interactions entre la lumière et les objets . . . . .	73
14.2.3 Synthèses additive et soustractive . . . . .	73
14.2.4 Fonctionnement de l'œil . . . . .	74
<b>15 Instruments d'optique (secondaire)</b>	<b>77</b>
15.1 Voir plus grand . . . . .	78
15.1.1 La loupe . . . . .	78
15.1.2 Le microscope . . . . .	79
15.2 Voir plus loin . . . . .	79
15.2.1 Lunette astronomique . . . . .	79
15.2.2 Télescope . . . . .	80
<b>16 Phénomènes acoustiques (secondaire)</b>	<b>82</b>
<b>17 Écoulements de fluides (supérieur)</b>	<b>83</b>
17.1 Relations de la dynamique des écoulements parfaits . . . . .	84
17.1.1 Équation d'EULER . . . . .	84
17.1.2 Théorème de BERNOULLI . . . . .	84
17.2 Application pour les mesures de vitesse . . . . .	85
17.2.1 La sonde PITOT . . . . .	85
<b>18 Description d'un fluide au repos</b>	<b>88</b>
<b>19 Mouillage (supérieur)</b>	<b>89</b>
19.1 Principe de mouillage . . . . .	90
19.1.1 Mouillage et étalement . . . . .	90
19.1.2 Loi de YOUNG-DUPRÉ . . . . .	90
19.2 Compétition avec la gravité . . . . .	91
19.3 Effet MARANGONI – ou les larmes du vin . . . . .	91

<b>20 Spectres (secondaire)</b>	<b>94</b>
20.1 Analyse spectrale . . . . .	95
20.1.1 Interaction lumière-matière . . . . .	95
20.1.2 Spectre d'émission et d'absorption . . . . .	95
20.1.3 Détermination d'une concentration . . . . .	96
20.2 Analyse thermique . . . . .	96
20.2.1 Loi de WIEN . . . . .	96
20.2.2 Types spectraux des étoiles . . . . .	97
20.2.3 Une application : les panneaux solaires . . . . .	97
<b>21 Aspects ondulatoires en optique (secondaire)</b>	<b>98</b>
21.1 Phénomène de la diffraction . . . . .	99
21.1.1 Démarche expérimentale et modélisation du phénomène . . . . .	99
21.1.2 Conditions d'observation . . . . .	100
21.1.3 Application : détermination de l'épaisseur d'un cheveu . . . . .	100
21.2 Phénomène d'interférences . . . . .	100
21.2.1 Définition des conditions d'interférences . . . . .	100
21.2.2 Irisation des bulles de savon . . . . .	101
<b>II Après écrits</b>	<b>102</b>
<b>22 Oscillations (supérieur)</b>	<b>104</b>
22.1 Oscillations libres non amorties . . . . .	105
22.1.1 L'oscillateur harmonique . . . . .	105
22.1.2 Oscillations dans une bouteille . . . . .	105
22.2 Oscillations libres amorties . . . . .	106
22.2.1 Pendule avec frottements . . . . .	106
22.3 Oscillations forcées . . . . .	106
<b>23 Transmission de l'information (secondaire)</b>	<b>108</b>
23.1 Comment l'information peut-elle être acheminée . . . . .	109
23.2 Comment les informations sont-elles transmises ? . . . . .	109
23.2.1 Propagation libre . . . . .	109
23.2.2 Propagation guidée . . . . .	110
23.3 Qualité de la transmission . . . . .	110
<b>24 Transferts thermiques (secondaire)</b>	<b>113</b>
24.1 Transferts thermiques . . . . .	114
24.1.1 Les différents modes de transfert . . . . .	114
24.1.2 Flux et résistance thermiques . . . . .	115
24.2 Bilan d'énergie . . . . .	116
24.2.1 Méthode . . . . .	116
24.2.2 Un glaçon dans un verre... . . . .	116
<b>25 Filtrages (supérieur)</b>	<b>120</b>
25.1 Filtre passe-bas du premier ordre . . . . .	121
25.1.1 Notions utiles . . . . .	121
25.1.2 Représentation graphique . . . . .	121
25.2 Filtre passe-bande d'ordre 2 . . . . .	122
25.3 Analogie électromécanique . . . . .	122
<b>26 Ondes mécaniques (secondaire)</b>	<b>124</b>

<b>27 Sources de lumières (secondaire)</b>	<b>125</b>
<b>28 Phénomènes de polarisation en optique (secondaire)</b>	<b>126</b>
<b>29 Effet DOPPLER (supérieur)</b>	<b>127</b>
29.1 Comprendre l'effet DOPPLER . . . . .	128
29.1.1 Démarche expérimentale . . . . .	128
29.2 Application de l'effet DOPPLER . . . . .	128
29.2.1 Principe d'un radar routier . . . . .	128
29.2.2 Effet DOPPLER-FIZEAU . . . . .	129
<b>30 Effet DOPPLER (secondaire)</b>	<b>131</b>
30.1 Présentation de l'effet DOPPLER . . . . .	132
30.2 Application : mesures de vitesse . . . . .	133
30.2.1 Sur la route : le radar routier . . . . .	133
30.2.2 En médecine : l'échographie Doppler . . . . .	133
30.2.3 En astrologie : effet DOPPLER-FIZEAU . . . . .	133
<b>31 Phénomènes de polarisation en optique (supérieur)</b>	<b>136</b>
<b>32 Viscosité (supérieur)</b>	<b>137</b>
32.1 Viscosité d'un fluide . . . . .	138
32.1.1 Forces de viscosité . . . . .	138
32.1.2 Étude de la viscosité dynamique . . . . .	138
32.2 Écoulement de POISEUILLE . . . . .	138
<b>33 Phénomènes de transport (supérieur)</b>	<b>140</b>
<b>34 Transferts thermiques (supérieur) 2</b>	<b>141</b>
34.1 Diffusion thermique . . . . .	142
34.1.1 Flux thermique . . . . .	142
34.1.2 Loi de FOURIER . . . . .	142
34.1.3 Profil de température . . . . .	143
34.2 Rayonnement . . . . .	143
34.2.1 Lois de WIEN et STEFAN . . . . .	143
34.2.2 Application : le profil thermique de l'atmosphère . . . . .	143
<b>35 Acquisition et traitement de données (supérieur) 2</b>	<b>144</b>
<b>36 Mesures et contrôle (supérieur) 2</b>	<b>145</b>
36.1 Du mesurande au signal . . . . .	146
36.2 Mesure de la longueur de la corde . . . . .	146
36.3 Contrôle de la mesure . . . . .	146
36.3.1 Erreur et incertitude . . . . .	146
36.3.2 Incertitudes de type A . . . . .	146
36.3.3 Incertitudes de type B . . . . .	146
<b>37 Interactions lumière–matière (secondaire) 2</b>	<b>148</b>
37.1 Interactions entre un rayonnement et de la matière . . . . .	149
37.1.1 Le photon, une particule quantique . . . . .	149
37.1.2 Transferts quantiques d'énergie . . . . .	150
37.1.3 Pression de radiation . . . . .	150
37.2 Le laser . . . . .	151

37.2.1	Fonctionnement du laser . . . . .	151
37.2.2	Refroidissement d'atomes par laser . . . . .	152
37.2.3	Utilisation d'un laser comme outil d'investigation . . . . .	152
<b>38</b>	<b>Oscillations (supérieur) 2</b>	<b>156</b>
<b>39</b>	<b>Phénomènes de polarisation optique (supérieur) 2</b>	<b>157</b>
39.1	D'une lumière non polarisée à la polarisation rectiligne . . . . .	158
39.1.1	Description . . . . .	158
39.1.2	Obtenir une lumière polarisée rectilignement . . . . .	159
39.1.3	Intensité lumineuse d'une lumière polarisée : loi de MALUS . . . . .	159
39.2	Application à la mesure d'une concentration . . . . .	159
39.2.1	Vers la loi de BIOT . . . . .	160
39.2.2	Dosage par étalonnage . . . . .	160
<b>40</b>	<b>Mouvements, interactions et notion de champ (secondaire) 02</b>	<b>163</b>
40.1	Outils de la mécanique classique . . . . .	164
40.1.1	Notion de champ . . . . .	164
40.1.2	Lois fondamentales de la mécanique classique . . . . .	165
40.2	Étude du mouvement dans un champ gravitationnel uniforme . . . . .	165
40.2.1	Méthode d'étude du mouvement . . . . .	165
40.2.2	Chute libre d'une balle . . . . .	165
40.3	Étude du mouvement dans un champ électrostatique uniforme . . . . .	165
40.3.1	Mise en situation : le tube cathodique . . . . .	165
40.3.2	Mouvement d'une particule chargée : bilan de forces . . . . .	166
40.3.3	Mouvement d'une particule chargée : équation du mouvement et de la trajectoire.166	
<b>41</b>	<b>Irréversibilité (supérieur) 02</b>	<b>168</b>
41.1	Principe d'évolution . . . . .	168
41.1.1	Mise en évidence . . . . .	168
41.1.2	Second principe . . . . .	169
41.1.3	Identités thermodynamiques . . . . .	169
41.2	Exemples d'application . . . . .	169
41.2.1	Forces de frottement . . . . .	169
41.2.2	Compression d'un gaz parfait . . . . .	169
41.2.3	Chauffage par effet JOULE . . . . .	169
<b>42</b>	<b>Phénomènes de transport (supérieur) 02</b>	<b>170</b>
42.1	Diffusion . . . . .	171
42.1.1	Flux et densité de courant . . . . .	171
42.1.2	Cas de la conduction thermique . . . . .	171
42.2	Convection . . . . .	172
42.2.1	Principe . . . . .	172
42.2.2	Convection de RAYLEIGH-BÉNARD . . . . .	172
<b>43</b>	<b>Énergie électrique (secondaire) 02</b>	<b>176</b>
43.1	L'électricité, qu'est-ce que c'est ? . . . . .	177
43.1.1	Les porteurs de charge . . . . .	177
43.1.2	Le courant électrique . . . . .	177
43.2	Puissance et énergie électrique . . . . .	178
43.2.1	Définitions . . . . .	178
43.2.2	Bilan de puissance et rendement . . . . .	178
43.3	Production et transport : le réseau EDF . . . . .	179

43.3.1	Sources d'électricité . . . . .	179
43.3.2	Transport et pertes . . . . .	179
<b>44</b>	<b>Spectres (secondaire) 02</b>	<b>184</b>
<b>III</b>	<b>Après annonce des 30 min / 30 min</b>	<b>185</b>
<b>45</b>	<b>Description d'un fluide au repos (secondaire) 02</b>	<b>187</b>
45.1	Caractéristiques d'un fluide au repos . . . . .	188
45.1.1	Descriptions microscopique et macroscopique . . . . .	188
45.1.2	Action d'un fluide sur une surface : force pressante . . . . .	189
45.2	Étude de l'évolution de la pression dans un fluide . . . . .	189
45.2.1	Loi fondamentale de la statique des fluides . . . . .	189
45.2.2	Application à l'étude d'un geyser . . . . .	190
<b>46</b>	<b>Ondes mécaniques (secondaire) 02</b>	<b>194</b>
<b>47</b>	<b>Gravitation et poids (secondaire) 02</b>	<b>195</b>
47.1	Une interaction fondamentale : l'interaction gravitationnelle . . . . .	196
47.1.1	La loi de l'attraction gravitationnelle . . . . .	196
47.1.2	Champ de gravitation et poids . . . . .	196
47.2	Pesanteur à la surface de la Terre . . . . .	197
47.2.1	Influence de l'aplatissement des pôles . . . . .	197
<b>48</b>	<b>Instruments optiques (secondaire) 02</b>	<b>202</b>
48.1	Voir plus grand (6'10") . . . . .	203
48.1.1	Présentation du microscope . . . . .	203
48.1.2	Modélisation du microscope (8'10") . . . . .	203
48.2	Voir plus loin (20') . . . . .	204
48.2.1	Le télescope de Newton . . . . .	204
48.2.2	Space telescope (27') . . . . .	205
<b>49</b>	<b>Sources de lumières (secondaire) 02</b>	<b>208</b>
49.1	Les sources froides . . . . .	209
49.1.1	Les interaction lumière-matière . . . . .	209
49.1.2	Une source froide particulière : le LASER . . . . .	210
49.2	Les sources chaudes . . . . .	210
49.2.1	Spectre d'une sources chaude . . . . .	210
<b>50</b>	<b>Phénomènes de polarisation en optique (secondaire) 02</b>	<b>214</b>
50.1	De la lumière naturelle à la lumière polarisée . . . . .	214
50.1.1	Caractéristiques d'une lumière polarisée ou non . . . . .	214
50.1.2	Obtention d'une lumière polarisée . . . . .	215
50.2	Application de la lumière polarisée . . . . .	215
50.2.1	En chimie : détermination d'une concentration . . . . .	215
50.2.2	Dans la vie de tous les jours : écrans LCD . . . . .	215
<b>51</b>	<b>Aspects ondulatoires en optique (secondaire) 02</b>	<b>217</b>

<b>52 Transferts thermiques (secondaire) 02</b>	<b>219</b>
52.1 Modes de transferts thermiques . . . . .	220
52.1.1 La conduction . . . . .	220
52.1.2 Le rayonnement . . . . .	220
52.1.3 La convection . . . . .	220
52.2 Modèle du transfert thermique à travers une paroi plane . . . . .	221
52.2.1 Flux et résistance thermiques . . . . .	221
52.2.2 Expression de la résistance thermique . . . . .	222
52.2.3 Flux géothermique . . . . .	222
<b>53 Images et couleurs (secondaire) 02</b>	<b>226</b>
53.1 La couleur d'un objet . . . . .	227
53.1.1 Synthèses additive et soustractive . . . . .	227
53.1.2 Couleur perçue d'un objet . . . . .	228
53.1.3 Photographie par négatif couleur . . . . .	229
53.2 La vision humaine . . . . .	229
53.2.1 Le modèle de l'œil . . . . .	229
53.2.2 Vision des couleurs . . . . .	230
<b>54 Conservation de l'énergie (secondaire) 02</b>	<b>233</b>
54.1 Étude de l'énergie mécanique . . . . .	234
54.1.1 Relation entre travail et énergie . . . . .	234
54.1.2 Théorème de l'énergie mécanique . . . . .	234
54.1.3 Conservation en non conservation de l'énergie mécanique . . . . .	235
54.2 Conservation de l'énergie appliquée aux particules élémentaires . . . . .	235
54.2.1 Interaction lumière-matière . . . . .	235
54.2.2 À la découverte du neutrino . . . . .	236

Première partie

*Avant écrits*



## Leçon 1

# Mesures et contrôle (supérieur)

## Leçon 2

# Acquisition et traitement de données (supérieur)

Leçon de physique

LP20 – Acquisition et traitement de données  
Présentée par Lucile BRIDOU (Bénédicte GREBILLE), corrigée par J.-L. BERLAND  
Le XX/09/2019

### Ressources utilisées

- ASCH, Les capteurs en instrumentation industrielle
- COLLET, Traitement de signal et acquisition de données
- FRUCHART, Physique expérimentale
- PARMANTIER, TI Capteurs, principe et constitution

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau L1 :

- Étude du pendule pesant [L1]
- Signal analogique et numérique [secondaire]
- Principe de décomposition d'un signal périodique en série de FOURIER [L1]
- Calculs d'incertitudes types A et B [L1]

### Introduction

#### Difficultés

##### Objectifs

Comprendre comment passer d'une grandeur physique à un signal quantifiable.  
Mettre en œuvre des processus permettant d'extraire une information et vérifier sa validité.

## 2.1 Du mesurande au signal

Définition de mesurande, mesure.

### 2.1.1 Détection d'une grandeur physique

Cas du pentude, mesurande (angle), mesure (différence de potentiel), capteur : définition.

### 2.1.2 Réponse du capteur : le signal

Définition du signa, présentation de l'oscilloscope.

Différents types de signaux

Étalonnage

## 2.2 Du signal à l'information

### 2.2.1 Échantillonnage

Carte analogique, calibre, période d'échantillonnage et critère de SHANNON.

### 2.2.2 Exploitation des données

Mesure au chronomètre et par l'acquisition : différentes valeurs de g.

### 2.2.3 Validation de la mesure

Intertitutes sur g, regard critique à avoir.

## Conclusion

## Questions

Questions	Réponses
Comment réduire l'incertitude par 10, comment ça fonctionne ?	Propagation...
Pourquoi faire la mesure de la période quand le pendule passe en bas ?	
Est-ce qu'on lit vraiment la période ?	Non, on lit la pseudo-période, qui est quasi-égale à la période pour un grand facteur de qualité (typiquement supérieur à 5).
Comment avoir un ordre de grandeur de ce facteur de qualité pour un système donné ?	Relié au nombre d'oscillations.
En mécanique, à quelle condition on peut approximer un système à un corps ponctuel ?	Mouvement du centre d'inertie prépondérant devant les mouvements autour du centre d'inertie.

## Debrief

- Possibilité d'écrire certaines définitions sur un transparent. Les commenter alors.
- Penser à revoir les hypothèses/approximation et raffinement du modèle du pendule simple (formule de BORDAS par exemple)...

## Leçon 3

# Énergie électrique (secondaire)

Leçon de physique

LP7 – Énergie électrique

Pas d'élément imposé ?

Présentée par Max ROOSE (Estelle MEYER), corrigée par J.P. BERLAND

Le XX/09/2019

### Ressources utilisées

- TAILLET,
- Hachette 2019, 2012, 1<sup>er</sup> STI2D
- Nathan, 2011, 1<sup>er</sup> STI2D
- Bordas, 2011, 1<sup>er</sup> S

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau XX :

- Tension, intensité et loi d'OHM
- Courant électrique, circuit électrique, lois des nœuds et des mailles
- Capacité thermique, énergie interne

**Difficultés** Manipulation des ordres de grandeur, distinction entre puissance et énergie, (conversion et énergie).

### Introduction

#### Objectifs

Comprendre comment fonctionne l'énergie électrique, de sa production à sa distribution.  
Mesurer les dangers liés à l'électricité.

#### Énergie

Formes et sources d'énergie  
Puissance

## 3.1 Comment acheminer l'énergie électrique ?

### 3.1.1 Production d'énergie électrique

### 3.1.2 Transport d'énergie électrique

**Expérience** – Pertes en ligne, utilisation de transformateurs, visualisation avec brillance de la lampe.

## 3.2 Comment utiliser l'énergie électrique

### 3.2.1 Utilisation de l'énergie électrique

**Expérience** – Calorimétrie : chauffer de l'eau.

## Conclusion

## Questions

Questions	Réponses
Comment fonctionne un transformateur ?	
Comment fonctionne une alimentation stabilisée ?	
À quoi sert un abaisseur de tension ?	
Quelle tension n'a-t-on pas le droit de dépasser en TP au lycée ?	25 V.
À quoi sert un transformateur d'isolement ?	Cela permet de conserver les différences de potentiels mais pas les potentiels en eux-mêmes.
Quelles sont les conditions de l'ARQS ?	
Qu'est-ce qui caractérise un dipôle actif ? passif ? linéaire ?	
Comment fonctionne un thermocouple ?	

## Debrief

Bonne leçon, très grand effort sur la pédagogie. On manque cependant l'intérêt entre énergie et puissance : ce qui compte c'est la puissance!

Attention, pour utiliser les transformateurs, il faut être en régime alternatif...

## Leçon 4

# Régimes transitoires (supérieur)

Leçon de physique

LP25 – Régimes transitoires  
Élément imposé : photodiode (temps de réponse) ?  
Présentée par F enril MONTORIER, corrigée par J.-P. BERLAND  
Le XX/09/2019

### Ressources utilisées

- TAILLET
- GR ECIAS, PCSI
- BRESSON, BCPST1 et 2
- FRUCHART, Physique expérimentale

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau L1 :

- Fonctionnement des dipôles linéaires usuels [L1]
- Lois de KIRCHHOFF [L1]
- Notion sur les semi-conducteurs, N-P [secondaire]
- Calcul d'incertitudes [L1]
- Diffusion, convection, notions élémentaires [secondaire]

### Introduction

#### Difficultés

##### Objectifs

Reconnaître les régimes transitoires et savoir les caractériser

## 4.1 Régime transitoire du premier ordre

Le régime transitoire est le régime entre deux équilibres, entre deux régimes permanents.

| **Expérience** –  $\text{KMnO}_4$  dans un cristalliseur d'eau.

### 4.1.1 Analyse dimensionnelle

Donner l'équation de diffusion, faire un raisonnement d'ordre de grandeur.  
Arriver à

$$\Delta t = \frac{D}{\Delta r^2}, \quad (4.1)$$

et faire l'application numérique pour  $\text{KMnO}_4$ .

### 4.1.2 La photodiode

| **Expérience** – Photodiode, oscilloscope, laser et acquisition Latis Pro.

### 4.1.3 Circuit RC série

| **Expérience** – Circuit RC série.

Montrer que  $\tau = f(R)$  la résistance variable utilisée et que, par régression linéaire, on a un modèle linéaire vérifié qui mène à la valeur du condensateur.

Définition du régime transitoire d'ordre 1.

## 4.2 Régime transitoire du second ordre

### 4.2.1 Dispositif expérimental

| **Expérience** – Circuit RLC série.

On a différents régimes transitoires possibles...

### 4.2.2 Mise en équation

Projection

Différents régimes transitoires.

Projection

Incertitudes avec GUM\_MC.

## Conclusion

## Questions

Questions	Réponses
Pourquoi $u(0^+) = u(0^-)$ pour le calcul des conditions initiales pour le RC série ?	Il n'y a pas de discontinuité de la puissance ou de l'énergie, et la puissance s'exprime à l'aide du carré de la tension qui doit donc être continue.
Quelle est la conclusion sur la photodiode et son temps de réponse ?	
Comment fonctionne une diode/photodiode, quelle caractéristique ?	Trois domaines dans la caractéristique : 1. photodiode, en bas à gauche, 2. cellule photovolt. en bas à droite, 3. diode électroluminescente en haut à droite.

## Debrief

- Attention, équation donnée pour le RLC pas homogène.
- Revoir le régime critique.
- Il faut parler de portrait de phase, en le traçant avec l'équation différentielle sans avoir besoin même de la résoudre.  
Intérêt : on a pas besoin de résoudre ; inconvenient, on perd d'information temporelle... Quelques propriétés données par le portrait de phase (pour le RC série ici) : non périodique (non fermé) ; dérivée de  $u$  positive donc  $u$  croissante, symétrie donne info sur frottements ou non (ici non symétrique, donc présence de R.)  
Il faudrait en parler, en introduction ou en conclusion, pour au moins montrer qu'on connaît.
- Il manque un aspect énergétique pour introduire le RLC. RC : bilan énergétique, facile ; RLC, échange d'énergie entre le réservoir C et le réservoir L, avec perte en passant par R (effet JOULE), et le temps de survie, le nombre d'oscillations, est donné par Q.
- La leçon est très pédagogique, même si parfois un peu brouillon.
- Sur le RLC série, il peut aussi manquer une partie sur le décrétement log. pour la partie pseudo-périodique.

Retour dans l'ordre :

1. il faut justifier l'étude du régime transitoire ; en général très court, alors pourquoi s'y intéresser quand même ? Grandeurs peuvent y être très importantes par rapport aux régimes permanents : étincelles, dommages...
2. Forme canonique à écrire et à encadrer pour RC et RLC série.

# Leçon 5

## Machines thermiques (supérieur)

Leçon de physique

LP27 – Machines thermiques

Élément imposé

Présentée par Bénédicte GREBILLE (Lucile BRIDOU), corrigée par T. CLARTÉ

Le XX/09/2019

### Ressources utilisées

- TAILLET
- DONINI, tome II
- GRÉCIAS, T& D, BCPST, physique 1A

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau L1 :

- Premier et second principe pour des systèmes fermés [L1]
- Notion de réversibilité [L1]
- Les différents modes de transport [L1]
- CHangement d'état et diagrammes  $(p, U)$ ,  $(T, S)$  [L1]

### Introduction

#### Difficultés

##### Objectifs

Comprendre le fonctionnement et la description des machines thermiques.  
Calculer une efficacité.

Projection

Historique.

Projection

Définition.

## 5.1 Étude thermodynamique

### 5.1.1 Les différents types de machine

Monotherme, ditherme.

Projection

Schémas de principe.

### 5.1.2 Bilans énégetique et entropique

Arriver à l'inégalité de CLAUSIUS.

Projection

Diagramme de RIVEAU.

## 5.2 Machine réceptrice ditherme

### 5.2.1 Principe général

Projection

Schéma de principe.

Définition de l'efficacité.

### 5.2.2 Réfrigérateur

## 5.3 Moteurs

### 5.3.1 Principe général

Projection

Schéma de principe.

### 5.3.2 Moteur idéal

Projection

Cycle de CARNOT

## Conclusion

## Questions

Questions	Réponses
Un radiateur, c'est une machine thermique ?	
Un thermocouple, sur quel effet thermodynamique ça repose ?	Effet SEEBECK, contraire de l'effet PELTIER.
Pourquoi utiliser de l'aluminium autour des sources ?	Limiter les transferts thermiques avec l'extérieur...
Quels sont les différents types de transferts thermiques ?	Rayonnement, conduction, convection.
C'est quoi un transfert thermique par rayonnement ?	
Pour calculer l'efficacité, il y a besoin d'un thermostat ? ( ? )	
Comment la calculer alors ?	Attendre une minute plutôt que 20.
Comment savoir si l'agitation provoque un échauffement ?	
Comment estimer les pertes sur le côté du sceau ?	Calculer le coefficient de NEWTON pour la conducto-convection.
Pédagogiquement, l'efficacité peut être supérieure un et on la compare à des rendements... ça veut dire quoi une efficacité supérieure à un ?	
Qu'est-ce qu'un thermostat, comment le caractériser ?	Corps de capacité thermique infinie (donc masse infinie ou capacité thermique massique infinie...).
Énoncer le second principe selon CLAU-SIUS	
Comment introduire le premier principe industriel ?	
Qu'est-ce qu'une transformation réversible ?	

Quels sont les avantages d'un moteur de STIRLING ?      Silencieux, propre (pas de combustible), système fermé...

Que mesure le wattmètre ?

## Debrief

- Il manque un schéma pour le moteur de STIRLING.
- Il faut toujours donner un commentaire lorsqu'on arrive à un résultat ; valable pour les efficacité et les rendements en particulier.
- Introduction historique : il y en a trop ou pas assez...
- Donner l'énoncé du second principe par CLAUSIUS.
- Attention, pour la définition de machine thermique, dire qu'un radiateur est une machine thermique, c'est à pouvoir défendre...

# Leçon 6

## Transferts thermiques (supérieur)

Leçon de physique

LP21 – Transferts thermiques  
Refroidissement d'un ordinateur  
Présentée par Joachim GALIANA (Manon LECONTE), corrigée par T. CLARTÉ  
Le 17/10/2019

### Ressources utilisées

- PEREZ, *Thermodynamique*
- OLIVIER PC/PC\*
- GUYON, *Hydrodynamique physique*
- DONNINI, *Dictionnaire de physique expérimentale* Tome II
- FRUCHART *Physique expérimentale* 2016

### Introduction pédagogique

Les pré-requis pour une leçon niveau L2 sont :

- Thermodynamique : premier et second principes (L1)
- Diffusion des particules (L2)
- Electrocinétique – Circuits linéaires (L1)
- Régimes transitoires (L1)

### Intro pédagogique

Les différents types de transferts seront présentés rapidement. Puis on fera un focus sur la conduction et la convection à travers un exemple.

Analogie possible avec l'électrocinétique, étude d'un régime transitoire.

Peu de pré-requis car leçon usuellement donné en début de L2.

## Objectifs

Savoir faire la différence entre les 3 types de transferts thermiques.  
Se familiariser avec les équations aux dérivées partielles, en particulier l'équation de diffusion.

TD : analogies électrocinétiques, rayonnement et convection.

TP : barre calorifugée (présentée ici), convection.

## Introduction

En L1, on a vu à travers le premier principe de la thermodynamique la variable d'état  $U$ . Dans ce chapitre, on va s'intéresser au transfert thermique  $Q$ , qui peut être issu du rayonnement, de la conduction ou de la convection.

## Objectifs

Savoir faire la différence entre les 3 types de transferts thermiques.  
Se familiariser avec les équations aux dérivées partielles.

## 6.1 Les différents types de transferts thermiques

### 6.1.1 Rayonnement

Quand on chauffe un corps (hypothèse du corps noir), celui-ci émet un flux thermique (puissance en W) :  $\Phi = \phi_s S$ , avec  $\phi_s = \int \phi_\nu d\nu$  la densité surfacique de flux en W/m<sup>2</sup>.

**Loi de PLANCK (1900)** :  $\phi_\nu = \frac{2\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{\exp(\frac{h\nu}{k_B T} - 1)}$

**Loi de STEFAN** :  $\phi_s = \sigma T^4$ , avec  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ .

**Remarque** – Plutôt parler de loi de déplacement de WIEN et de la loi de STEFAN-BOLTZMANN, plus directement utilisable.

### 6.1.2 Conduction

Par analogie avec la diffusion particulaire (diffusion du plus au moins concentré), on peut intuitivement que le transfert thermique a lieu de la température la plus élevée vers la température la plus basse, de proche en proche.

Densité surfacique de flux thermique  $j_{th}$  (en W/m<sup>2</sup>) donnée par la **loi de FOURIER** (en 1D selon  $x$ ) :  $j_{th} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$ , avec  $\lambda$  la **conductivité** en W/m/K.

Cette équation est cohérente avec les résultats obtenus pour la diffusion :  $j_{th}$  est dans le sens opposé du transfert thermique.

Dans un cylindre de section  $S$  suivant la direction  $x$ , on fait un bilan d'énergie entre  $t$  et  $t + dt$ . On considère le système  $\{dm = \rho S dx\}$ .

On applique le premier principe :

$$\begin{aligned} d^2U &= dU(t + dt, x) - dU(x, t) = Q = Q_e - Q_s \\ &= S dt (j_{th}(x, t) - j_{th}(x + dx, t)) = \rho S dx (u_m(x, t + dt) - u_m(x, t)) \\ \Rightarrow \rho \frac{u_m(x, t + dt) - u_m(x, t)}{dt} &= - \frac{j_{th}(x + dx, t) - j_{th}(x, t)}{dx} \end{aligned}$$

En faisant tendre  $dx$  et  $dt$  vers 0, on obtient des dérivées partielles.

On utilise le fait que  $\frac{\partial u_m}{\partial t} = \frac{\partial u_m}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t}$ , avec  $\frac{\partial u_m}{\partial T} = c_m$

On obtient l'équation de la chaleur :

$$\frac{\lambda}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t}.$$

**Remarque** – Ce phénomène est irréversible : si on fait la transformation  $t \rightarrow -t$ , on obtient l'opposé de cette équation.

$\lambda$  caractérise la conductivité d'un matériau, elle peut valoir de 0.1 W/(mK) pour l'air à 400 W/(mK) pour le cuivre, par exemple.

## 6.2 Convection

Projection

Vidéo de convection <https://svt.ac-versailles.fr/spip.php?article519>

*Faire un schéma au tableau des rouleaux de convection.*

**Remarque** – On observe le mouvement des particules mais c'est bien le fluide qui se déplace. Éventuellement insister sur la différence entre convection forcée (agitation) et convection libre (illustrée ici).

Ce phénomène est dû à la différence de température en haut et en bas du béccher qui induit une différence de masse volumique.

La convection est annulée par la diffusion thermique et la viscosité du fluide. On le verra plus tard dans un cours de mécanique des fluides.

Transition : on va maintenant s'intéresser à une application qui fait intervenir les transferts thermiques par conduction et par convection.

## 6.3 Refroidissement d'un ordinateur

Pourquoi a-t-on besoin de refroidir un ordinateur ? Le processeur chauffe lors de son utilisation (par effet JOULE et si on ne le refroidit pas, il perd énormément en puissance.

On utilise pour cela une ailette de refroidissement (en fait plusieurs).

Projection

Schéma d'une ailette

### 6.3.1 Diffusion thermique dans l'ailette

**Régime stationnaire** Équation de la chaleur :  $D_{th} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t}$

**Hypothèse** : l'ordinateur est allumé depuis longtemps  $\Rightarrow$  régime stationnaire :  $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$ .

La température est donc un fonction affine de la position  $x$ .

Conditions aux limites :  $T(0) = T_{proc}$  et  $T(L) = T_{amb}$

Donc  $T(x) = T_{proc} + \frac{T_{amb} - T_{proc}}{L} x$

On veut vérifier ce phénomène avec une expérience.

**Expérience** – Diffusion thermique à travers une barre de cuivre calorifugée. Une résistance thermique chauffe un des côtés de la barre de cuivre. L'autre côté est au contact de l'air ambiant. Des capteurs sont régulièrement placés selon l'axe  $x$ .

On acquiert la variation de température au cours du temps sur un temps long (120 min)

On a lancé la manip en préparation. On observe maintenant le régime transitoire.

Projection

Courbe  $\Delta T = f(t)$  obtenue en préparation.

Courbe  $\Delta T = f(x)$  au régime permanent.

**Régime transitoire**  $T(x, t) = T_f(x) - T_0 a(x) \exp(-t/\tau)$

On trace le logarithme de la différence de température. On s'attend à trouver la même pente pour tous les capteurs. C'est bien le cas.

On mesure  $\tau = 1\,310 \pm 20$  s. Cette manipulation prend effectivement beaucoup de temps : il faut atteindre plusieurs  $\tau$  pour atteindre le régime permanent.

### 6.3.2 Transferts thermiques avec l'air extérieur (33'20")

L'expérience qu'on a menée ne correspond pas à la réalité de l'ailette : la barre de cuivre est ici calorifugée. Il faut compléter le modèle.

**Transfert conducto-convectif** Transfert aux interfaces entre un solide et un fluide.

Dessiner un schéma : il y a diffusion au niveau du solide, convection au niveau du fluide. Ce transfert thermique est défini par la **loi de NEWTON** :

$$\Phi_{sol \rightarrow flu} = hS(T_{sol} - T_{flu})$$

Avec  $h$  de l'ordre de 1 à 100 W/(m<sup>2</sup>K)

On l'intègre à l'équation de la chaleur au régime stationnaire lors de la mise en équation, au niveau du bilan des flux entrants et sortants, ce qui donne :

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{1}{X^2}(T(x) - T_{amb}) = 0$$

On obtient une expression de la température :  $T(x) = T_{air} + (T_{proc} - T_{air}) \exp(-x/X)$ .

**Transfert convectif** Pour refroidir l'air au voisinage de l'ordinateur et maintenir  $T_{air}$  à l'aide d'un ventilateur.

## Conclusion

On a vu que pour le système de refroidissement d'un ordinateur, trois modes de transferts thermiques étaient mis en jeu. Il existe également d'autres manières de refroidir un ordinateur (*water pooling*).

Bilan de la leçon, retour sur les objectifs et rappelle qu'il s'agit d'équations qui sont communes à plusieurs phénomènes physique, dont la diffusion.

**Remarque** – Il faudrait ajouter l’analogie électrique dans la conclusion quitte à simplement la projeter.

*Fin : 39'10"*

## Questions/Réponses

Questions	Réponses
<i>Généralités.</i>	
Pouvez-vous définir clairement chacun des modes thermiques ?	<b>Rayonnement</b> : transfert thermique émis par un corps chauffé à une température $T$ . <b>Conduction</b> : transfert thermique de proche en proche. <b>Convection</b> : transfert thermique (déplacement d'énergie interne) par déplacement du fluide.
Énoncer le 2 <sup>nd</sup> principe de la thermo.	Il existe une fonction d'état extensive $S$ appelée <b>entropie</b> telle que lors d'une transformation $\Delta S = S_e + S_c$ , avec $S_e = \sum \frac{Q_i}{T_i}$ , $S_c \geq 0$ .
<i>Diffusion thermique.</i>	
Pourquoi la diffusion particulaire est-elle plus naturelle ?	C'est plus visuel.
Préciser ce qui a été dit sur le 1 <sup>er</sup> principe. Pourquoi y a-t-il une différence entre $U$ et $Q$ ?	...
Analogie avec l'électricité ? Comment s'y prendre en TP ?	Faire le lien entre résistance thermique et résistance électrique. Modéliser un phénomène par une chaîne de résistances et de condensateurs : on obtient la même équation mais sur la tension ou les courants.
Comment interpréter le sens de la diffusion ?	Le 2 <sup>nd</sup> principe et la maximisation de l'entropie.
Quel est l'équivalent particulaire de la loi de FOURIER ?	La loi de FICK.
Qu'est-ce que $D$ ? Quelle est son unité ?	C'est un coefficient de diffusivité. En $m^2/s$ . (Remarque : comme la viscosité cinématique ! Diffusion de la quantité de mouvement.)
Hypothèses aux loi de FICK ou de FOURIER ?	Linéarisation d'un cas général. Continuité de la matière $\rightarrow$ temps suffisamment long. Faibles variations en fonction de la distance.
Parler du cas 3D.	$j_{th} = -\lambda \overrightarrow{grad} T$ . On obtient $D_{th} \Delta T = \frac{\partial T}{\partial t}$
Analyse dimensionnelle pour trouver la distance parcourue en fonction du temps ?	$D_{th} \frac{T}{L^2} = \frac{T}{\tau} \Rightarrow D_{th} = \frac{L^2}{\tau}$

Époque de la loi de FOURIER ?	Début du XIX <sup>me</sup> siècle (1822 pour la loi)
Parlez de FOURIER.	Travaux largement utilisés en physique, notamment en traitement du signal.
Dans quelles mesures est-ce important de déterminer les conditions aux limites ?	C'est fondamental si on veut résoudre les équations, faire une application numérique et si on veut vérifier que le modèle n'est pas aberrant. Les lois sont les mêmes quel que soit le système, c'est la géométrie et les conditions aux limites qui varient.

*Convection.*

Phénomène dû à une différence de température. Mais est-ce la seule condition ?	La densité doit dépendre de la température.
Y a-t-il une condition sur la différence de température ?	Oui, critère de RAYLEIGH donné par la mécanique des fluides.
Qu'est-ce que la viscosité ?	Cela permet d'introduire une force qui s'oppose au déplacement du fluide.
Quels sont les deux types de viscosité ?	Viscosité cinématique ( $\nu$ ) et dynamique ( $\eta$ ).
De quoi dépend cette force ?	Du gradient de la vitesse.

*Rayonnement.*

"On définit $\phi_\nu$ comme une densité surfacique liée à une fréquence." Est-ce vrai ?	Non. C'est une densité spectrale dépendant de la fréquence.
On a énoncé la loi de PLANCK mais on n'en a pas fait grand chose. Commentaire ?	Historiquement, la loi de PLANCK corrige un modèle basse fréquence qui posait le problème de la catastrophe UV.
Quels étaient les modèles avant ?	Seulement un modèle classique basse fréquence qui présentait une divergence à haute fréquence (catastrophe ultraviolette).
Que doivent en retenir les élèves ?	Retenir l'aspect historique. Le $\lambda_{max}$ correspond à la loi de WIEN.
Pouvez-vous la tracer ?	
Vers quelle longueur d'onde émettent les corps à température ambiante ?	Dans l'IR
D'où vient la loi de STEFAN ?	On la retrouve à partir de la loi de PLANCK.

*Refroidissement d'un ordinateur.*

Pourquoi un processeur chauffe-t-il ?	L'électronique dissipe de la chaleur par effet JOULE.
Évaluer la puissance perdue par un ordinateur.	De l'ordre de la centaine de Watt.

Comment estimer le nombre d'ailettes nécessaires pour un ordi ?	On regarde le chargeur. Il délivre 200 W. Puis, on fait le calcul.
Est-ce beaucoup ? Combien génère un corps humain ?	Un corps humain génère entre 50 W et 100 W.
Quelle est la taille d'une ailette ?	Entre 1 et 5 cm.
Estimer les transferts thermiques.	Si on prend $T_{proc} = 50^\circ \text{C}$
En quoi sont faites les ailettes ?	En cuivre ou en aluminium car ce sont des matériaux très conducteurs.
ODG de $\lambda$ ?	400 W/m <sup>2</sup> /K pour le cuivre. 1 W/m <sup>2</sup> /K pour la pierre, 0,01 W/m <sup>2</sup> /K pour l'air.
Quel est donc le mode de transfert thermique quand on chauffe une pièce avec un radiateur ?	La convection car $\lambda$ est trop petit.
Quel est le transfert thermique limitant dans l'ailette ? Quelle est la plus grosse hypothèse faite ?	Le bout de la barre n'est pas effectivement à la température ambiante.
Comment mieux évacuer au bout ?	Augmenter la surface de l'ailette, ajouter un ventilateur.
Autres méthodes ? Comment remplacer l'air ?	On fait tremper les ailettes dans un liquide. Voire on peut faire tremper le processeur dans de l'huile.
Qualifier la loi de NEWTON.	C'est une loi empirique.
Unité et ODG de $h$ ?	
De quoi dépend $h$ ?	De la composition du solide, du fluide, de leurs propriétés de conduction (pour le solide) et de convection (pour le fluide).
Qu'est-ce que le <i>water cooling</i> ?	On fait passer un fluide dans l'ordinateur provenant de l'extérieur.

---

*Expérience.*

Quels sont les capteurs utilisés ?	Ce sont des thermocouples.
On voyait des petites marches dans l'évolution de température. Pourquoi ?	La carte est un convertisseur analogique-numérique.
Comment modifier cela ?	On pourrait changer le calibre ce qui jouerait sur le pas de l'acquisition. Mais il n'y a que 3 calibres disponibles.
Pourquoi n'y-a-t-il pas de barres d'erreur sur la courbe du régime permanent ?	Parce que les incertitudes sont trop petites par rapport à la courbe.
Comment les a-t-on estimées ?	Dans la notice pour la différence de température. On néglige celle sur le temps.

Quand les élèves ont-ils pu voir un régime transitoire avant ? En électricité, notamment circuit RC.

---

## Debrief

Bonne leçon.

La partie sur le rayonnement était un peu sabrée. Il faudrait ne parler que de STEFAN-BOLTZMANN et de WIEN.

Le calcul sur la conduction a été bien mené et bien commenté. C'est bien de s'appuyer sur l'analogie avec la diffusion. C'était très bien de donner systématiquement les unités. Ce serait tout de même bien d'écrire la loi de Fourier dans le cas 3D.

Pour la convection, il faut écrire d'où sort la vidéo.

Il manquait un schéma de principe de l'expérience. Peut-être ne pas expliquer ce qu'il se passe au régime transitoire car on ne peut pas exploiter les lois. Il faudrait faire les mesures en direct.

La partie sur la loi de Newton était bien mais un peu courte. Il faudrait faire l'application numérique pour savoir combien d'ailettes il faut pour refroidir un ordinateur.

**Autres idées de manip** (plutôt qualitatives) :

On pourrait utiliser un conductisque (4 tiges de céramiques qui changent de couleur en fonction de la température) ou un thermoscope (utilisant la loi de WIEN).

**Reproches globaux :**

- Les calculs ne sont pas assez exploités. Il faut plus d'applications numériques (notamment sur l'ailette, voir applications numériques dans le OLIVIER.
- Il faut énoncer les hypothèses sur les lois que l'on utilise, en particulier les lois phénoménologiques.
- On pourrait utiliser plus de couleurs.
- Les lois du rayonnement auraient pu être projetées, ainsi que les graphes associés. Prévoir de parler plutôt de la loi du déplacement de WIEN et de la loi de STEFAN-BOLTZMANN sans parler de la loi de PLANCK dont elles découlent (garder une possible question).
- Il faut écrire noir sur blanc les définitions des différents modes de transferts thermiques, en particulier si l'objectif de la leçon est de les identifier.
- Le 2<sup>nd</sup> objectif est un peu vague, préciser qu'il s'agit des équations de diffusion. De plus, penser à parler des équations en 3D, quitte à faire les calculs en 1D puis admettre la généralisation.
- Il faut parler de l'analogie thermique-électrique.

# Leçon 7

## Phénomènes de diffusion (supérieur)

Leçon de physique

LP21 – Phénomènes de diffusion

EI Marche au hasard numérique

Présentée par Luc PONTGLIO (Théodore OLLA), corrigé par Thibault CLARTÉ

Le 24/10/2019

### Ressources utilisées

- BELLIER, Physique expérimentale
- OLIVIER, Physique PC/PC\*

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau L2 :

- Densité de courant électrique, loi d'OHM locale [L2]
- Thermodynamique : premier et second principes [L1]
- Probabilité : notions de base [Secondaire]
- Analyse dimensionnelle [L1]
- Développement de TAYLOR [L1]

Pré-requis qui peuvent paraître surprenant : électricité pour faire des parallèles et analogies pour aider les élèves, probabilités et notions de bases mathématiques pour que les élèves comprennent les bilans faits et l'établissement des équations.

**Difficultés** Difficulté non pas intuitive mais au niveau des bilans et des mathématiques.

**Objectifs** Comprendre le phénomène de diffusion et ses caractéristiques, établir une équation de diffusion.

### Introduction

Présent dans la vie de tous les jours. Définition : un certain mode de transport de proche en proche sans déplacement de matière (?)

| **Expérience** – convection *versus* diffusion avec du sirop et de l'eau.

Caractéristiques : phénomène lent ; des zones de concentrations les plus élevées vers les plus faibles ; irréversible. Comment traduire tous ces phénomènes ?

## 7.1 Diffusion de la matière

### 7.1.1 Grandeurs caractéristiques et équation de diffusion

Raisonnement sur la physique du phénomène premièrement.

–  $n^* = \frac{N}{V}$  en  $m^{-3}$ , densité particulaire

–  $dN = j_N S dt$ , densité de flux

–  $\phi = \frac{dN}{dt}$  le flux particulaire, analogie avec l'intensité en électricité  $I = \frac{dq}{dt}$

On s'intéresse alors particulièrement à cette densité de courant particulaire, avec la loi de FICK.

$$\vec{j}_N = -D \overrightarrow{\text{grad}} n^*, \quad (7.1)$$

ce qui donne en 1D

$$\vec{j}_N = -D \frac{\partial n^*}{\partial x} \vec{e}_x. \quad (7.2)$$

(Parler des unités)

Projection

Portrait de FICK, ordre de grandeur pour gaz, liquides et solides, de la diffusivité.

**Bilan de particules** Bilan dans un tronçon d'épaisseur  $dx$  et de surface  $x$

$$dN = (n^*(x, t + dt) - n^*(x, t)) S dx = (j_N(x, t) - j_N(x + dx, t)) S dt \quad (7.3)$$

(Faire apparaître les dérivées partielles, introduire la loi de FICK, et obtenir l'équation de diffusion)  
Commentaire : dérivée première par rapport au temps, seconde par rapport à la position. La dérivée première permet de retrouver l'irréversibilité du phénomène. Aussi, si on introduit un temps caractéristique  $\tau$  et une longueur caractéristique  $L$  de diffusion, on trouve

$$D = \frac{L^2}{\tau} \quad (7.4)$$

Projection

Le calcul et faire un ordre de grandeur, montrer que c'est un phénomène long

| **Transition** – On a fait un bilan et appliqué une loi phénoménologique, c'est très bien, théorique, mais a-t-on d'autres moyens de parvenir à un tel résultat ?

### 7.1.2 Marche au hasard

Il s'agit d'un modèle. On se place sur un axe  $x$  séparé en multiples intervalles réguliers. On impose à une particule qu'elle passe à la position de gauche ou de droite, avec un même temps de durée  $\tau$ , avec

une probabilité  $\frac{1}{2}$ . Pour N sauts, on s'intéresse à la probabilité de trouver la particule en  $x_n = n \cdot a$  au bout de N+1 sauts.

$$p(x_n, t_{N+1}) = \frac{1}{2} \cdot p(x_{n-1}, t_N) + \frac{1}{2} \cdot p(x_{n+1}, t_N) \quad (7.5)$$

Ok très bien, mais on reste discret, ça ne nous intéresse pas : on va passer en continu, mais cela nécessite deux hypothèses

- $\tau$  très faible devant la variation temporelle caractéristique de  $p(x, t)$
- test

$$p(x = a, t + \tau) = \frac{1}{2} \cdot p(x - a, t) + \frac{1}{2} \cdot p(x + a, t) \quad (7.6)$$

On effectue alors un développement de TAYLOR à l'ordre pour chaque terme, ce qui amène à

$$\tau \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{a^2}{2} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (7.7)$$

**Transition** – On a vu la diffusion des particules, mais on a tous fait l'expérience de se brûler avec un métal, c'est à cause de la diffusion thermique.

## 7.2 Diffusion thermique

### 7.2.1 Analogie avec la diffusion de particules

Comme pour la loi de FICK, on peut avoir la loi de FOURIER avec unités.

Projection

Ordres de grandeur, puis projeter le schéma et les calculs pour ne pas tout refaire

On refait un bilan, mais cette fois-ci un bilan d'énergie en appliquant le premier principe. On obtient alors l'équation de la chaleur :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (7.8)$$

### 7.2.2 Exploitation de l'équation

**Expérience** – Barre de cuivre, conduction au régime permanent

On se place en régime stationnaire et on résout l'équation avec les conditions limites supposées simples (température de l'air et température du chauffage). On trouve alors la loi affine de la température en fonction de la position dans la barre, et l'expérience va nous permettre de confirmer ou non ce modèle. Remarque sur la loi, on retrouve bien nos conditions limites.

Ce qu'on voit sur l'ordinateur ici, c'est le régime transitoire c'est à dire la température des différents capteurs dans la barre en fonction du temps.

Projection

Les températures finales, le tracé de la température en fonction de la position.

## Conclusion

On a donc vu deux phénomènes totalement différents mais qui sont régis par la même équation. On pourra voir plus tard dans d'autres cours une autre diffusion, celle de la quantité de mouvement qui donnera lieu au phénomène de viscosité.

## Questions

Questions	Réponses
Questions	Réponses
Sans déplacement de matière ?	Sans déplacement macroscopique
Tout à l'heure, ça s'étalait plus sous son propre poids qu'autre chose...	C'est juste qu'il fallait attendre un peu
Est-ce que la diffusion de particules, ça aura un lien avec la diffusion thermique ou avec la température ?	C'est lié au mouvement Brownien, une marche aléatoire 2D.
Quand on l'observe en réalité on voit qu'il s'agit d'une suite de segment. Ces changement de direction, ça correspond à quoi ?	
Un autre nom que celui de BROWN qui aurait travaillé là dessus ?	EINSTEIN qui l'a expliqué plus tard
Pourquoi la diffusivité est plus forte dans les gaz que dans les liquide	Liquide plus ordonné que le gaz. Il y moins d'agitation possible...
Remettre le tableau des diffusivités ?	
Les lois phénoménologiques étudiées, elles ont quelles limites ou hypothèses ?	Gradients faibles
Autre chose	Milieu continu
Montrer plus rigoureusement que l'équation est irréversible ?	
Équation en physique qui sont réversibles ?	Le principe fondamental de la dynamique, par exemple
Si on revient sur la loi de FOURIER, pourquoi les métaux sont de bons conducteurs thermiques ?	Car ce sont de bons conducteurs électrique
Et pourquoi c'est le cas ?	
Si on parle de phonons, ça vous dit quelques choses ?	Quanta de modes de vibration d'un réseau
Que dire des électrons dans un métal.	Circuler plus ou moins librement

Quelle est la structure électronique des métaux, en chimie par exemple, comment on les définit.

En fait les électrons sont totalement délocalisés sur l'ensemble du solide, ils se déplacent beaucoup plus facilement.

Une loi empirique qui relie les deux phénomènes? (conductivité thermique et électrique)

Qu'est-ce qu'il faudrait préciser en parlant de diffusivité, est-ce que c'est absolu comme grandeur?

Température et pression

Mais autre chose : ça dépend de ce qu'on fait diffuser et dans quoi

Énoncer premier et second principe

Première identité thermodynamique? De quelles variables dépend l'énergie interne?

$dU = TdS - PdV$ , dépend de  $S$  et  $V$ .

Il semble (remarque), qu'il soit plus rigoureux de travailler avec  $H$  qu'avec  $U$

Pour ne pas avoir à négliger les forces de pression, la dilatation du matériau

Vous avez des ordres de grandeurs de la diffusivité thermique? On peut en calculer, là comme ça?

Quelle unité pour la diffusivité thermique

Toujours la même viscosité

Dans NAVIER-STOKES, qu'est-ce qui apparaît? Plusieurs types de viscosités?

Cinématique, diffusivité et dynamique, en poiseuille.

Quand le nombre de REYNOLDS tend vers 0

Écoulement laminaire, le nombre est un rapport entre ce qui est de la diffusion et ce qui est de la convection (deux définitions différentes mais cohérentes)

Quels capteurs dans la barre de cuivre?

Thermocouple et effet SEEBECK

Elle fait combien votre barre? Est-ce qu'on arrive à extrapoler pour avoir  $T_{air}$ ? Est-ce que c'est cohérent?

Petite expérience pour identifier voire quantifier la diffusion de quantité de mouvement? Il y a plusieurs réponses possibles, sans trop se creuser la tête.

Particules en suspension, imagerie, détecter les champs de vitesse.

Et pour déterminer une viscosité?

Chute d'une bille

De quoi vous avez besoin pour atteindre la viscosité alors? Coefficient de traînée?

Facteur qui dépend de la géométrie de l'obstacle.

Questions élèves

Quel rapport avec la diffusion pour l'exemple du sauna

Le bois est moins conducteur thermique que le métal? Question de capacité thermique?

Question sur les valeurs de la république : selon-vous, quelle place peut avoir l'humour dans l'enseignement et la notation?

Il y a une certaine limite pour l'enseignement, mais ça peut être un outil très puissant pour intéresser les étudiant-es et faire passer ce qu'on veut. En notation par contre, une blague sur une copie, cela doit être évité. Les notations restent, donc si c'est mal pris ou quoi, sans le ton, sans l'interprétation, il faut éviter donc...

C'est trois types qui essaient d'enclouer un troupeau.

## Debrief

D'une manière générale, pas mal! bonne leçon. Bonne gestion du tableau, équations et lois bien présentés, bien interprétés. Ne pas oublier les hypothèses sur les lois phénoménologiques. Ça manquait aussi d'applications numériques À L'ÉCRIT, alors que c'était fait à l'oral. Attention, certains calculs ont été trop faits. C'est bien d'avoir projeté, éventuellement projeter plus de calculs pour pouvoir faire plus d'applications. Attention, il reste au moins 3 minutes, il faut vraiment éviter de finir autant en avance. Ça manquait un peu de schémas par moment (par exemple pour les gradients de concentration). Aucune apparition du cas 3D, au moins essayer de le citer. Attention, utiliser plus de couleurs, peut-être.

Expérience du sirop peu convaincante pour la diffusion. L'encre ça marche mieux, elle ne tombe pas et elle ne s'écrase pas sous le poids. Attention, on en voit rien en étant de loin... Possible de rendre l'expérience eau-glycérol quantitative.

Rien de très choquant mais attention à une certaine liberté de ton qui pourrait t'être reprochée. Pas de fautes particulières, c'est pour ça que les questions sont venues un peu gratter, elles étaient un peu plus poussées.

Pour l'analogie avec l'électricité, ne pas hésiter à la pousser plus, avec un tableau par exemple... En bilan, ça peut-être pas mal, entre plusieurs phénomènes.

La marche au hasard a été bien incluse. Assez calculatoire mine de rien, mais ça n'aurait pas été reproché. Attention, le  $\pm$  dans le développement de TAYLOR est peut-être pas très pédagogique en première approche. Essayer d'équilibrer les calculs sur les autres parties du coup. Peu de questions posées, mais c'est très vaste comme problème : il faut présenter proprement l'élément imposé et essayer de garder un peu de recul pour les questions, mais il ne faut pas s'inquiéter.

Pour l'expérience de la barre de cuivre, ok, l'application est bien faite. Concernant les exemples, l'isolation thermique c'est classique et pratique à traiter, ça peut être bien.

La diffusion de quantité de mouvement en conclusion ok, s'il n'y a pas de marche aléatoire, ça peut être mis directement dans le plan, pour parler d'un phénomène de diffusion en plus.

## Leçon 8

# Irreversibilité (supérieur)

Leçon de physique

LP32 – Irreversibilité (supérieur)  
EI Diffusion et sources d'entropie  
Présentée par Estelle MEYER (Max ROOSE), corrigé par Thibaut CLARTE  
Le 07/11/2019

### Ressources utilisées

- , Cap Prépa physique MPSI/PCSI
- BAUDLE, Physique Compétences Prépa BCPST
- BRESSON, Physique Chimie, BCPST
- DE BOECK, Dictionnaire de Physique

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau L1 :

- Définition d'un système [L1]
- Premier principe thermodynamique (énergie interne, travail et transfert thermique) [L1]
- Transformation isochore adiabatique [L1]
- Dérivée partielle et différentielle [L1]
- Notion de diffusion [L1]

Pré-requis de thermodynamique majoritairement pour pouvoir construire la notion d'irreversibilité.

**Difficultés** Caractériser la notion abstraite d'entropie, que l'on ne peut pas mesurer.

#### Objectifs

Appréhender la notion d'irreversibilité.  
Comprendre et appliquer le second principe.

## Introduction

2.5 min Énoncé du premier principe, vu au cours précédent : il s'agit d'un bilan, qui ne donne pas d'information sur le sens d'évolution du système.

**Expérience** – Lâcher d'une balle de Tennis. Rien n'empêche, avec le premier principe, de supposer que la balle revient dans la main de l'opérateur

## 8.1 Irreversibilité

Définition : une transformation irréversible est un processus ou une réaction qui n'est pas inversable dans le temps ni lors d'une inversion de conditions initiales.

### 8.1.1 Sens d'évolution

**Expérience** – Eau froide d'un côté d'une cuve, chaude avec colorant de l'autre, diffusion de particules et de chaleur

Sens d'évolution qui tend à homogénéiser le système, en concentration ou en température, avec

### 8.1.2 Le second principe

Projection

Frise chronologique : CLAUSIUS, 1850 ; KELVIN, 1852 ; PRIGOGINE 1950 (PN Chimie 1977).

PRIGOGINE apporte un énoncé moderne alors que les autres étaient énoncés dans le cadre des machines thermiques.

Il existe une fonction d'état  $S$  extensive telle que

$$\Delta S = \underbrace{S_{\text{échange}}}_{\frac{Q}{T}} + S_{\text{créée}}, \quad (8.1)$$

où  $S_{\text{créée}} = 0$ , égalité dans le cas d'une transformation réversible ;  $S_{\text{échange}} = 0$  dans le cas d'un système isolé.

### 8.1.3 Identité thermodynamique

Pour une transformation isochore réversible :

$$dU = \delta Q = TdS \quad (8.2)$$

avec le premier puis le second principe.

En réécrivant la différentielle exacte de  $U$ , on peut identifier le premier terme ; pour le second terme, on raisonne de la même manière avec une transformation adiabatique. On trouve :

$$dU = TdS - PdV \quad (8.3)$$

## 8.2 Application du second principe

17 min

### 8.2.1 Méthode

#### Projection

Point sur la méthode de résolution d'un exercice.

Détermination de l'état d'équilibre (thermodynamique) final, calculer  $\Delta S$  sur un chemin fictif réversible, calculer  $S_e$ , déduire l'entropie créée, conclure quant à la nature de la transformation.

### 8.2.2 Cas d'une phase condensée

On imagine un solide au contact d'un thermostat, ici un bloc de cuivre d'1 kg,  $c = 0.39 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ; température initiale de  $20^\circ\text{C}$  et finale de  $80^\circ\text{C}$ .

Résolution en suivant la méthode précédente... Système bloc de cuivre,  $T_f = T_1 = 80^\circ\text{C}$

$$dS = \frac{dU}{T} \quad (8.4)$$

$$= mc \frac{dT}{T} \quad (8.5)$$

On intègre alors, on obtient une expression de  $\Delta S$  donnant  $73 \text{ J K}^{-1}$ . On calcule alors  $S_e = \frac{Q}{T}$  avec le premier principe et l'expression de U pour la phase condensée et on arrive à  $66 \text{ J K}^{-1}$ . On a donc  $S_c = 7 \text{ J K}^{-1}$ , la transformation est irréversible.

## 8.3 Phénomènes irréversibles

28 min Équation de diffusion des particules, qui sera démontrée plus tard, en L2.

$$D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2}(x, t) = \frac{\partial n}{\partial t}(x, t) \quad (8.6)$$

$$D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2}(x, -t) = -\frac{\partial n}{\partial t}(x, -t) \quad (8.7)$$

On peut alors étudier l'équation par analyse dimensionnelle

$$D \frac{n}{L^2} \propto \frac{n}{t} \quad (8.8)$$

$$L^2 \propto Dt \quad (8.9)$$

**Expérience** – Diffusion de l'ammoniaque, tube gradué par papier pH, pour la détermination de D

#### Projection

Résultats obtenus en préparation

Problème de cette expérience est majoritairement sur les incertitudes (à expliciter, pour le temps et la longueur). Pour relier le coefficient à l'entropie (?), obtenir un D positif car l'entropie créée est positive.

Il existe d'autres phénomènes irréversibles : les frottements, la réaction chimique.

## Conclusion

Le premier principe ne permet pas de comprendre les phénomènes irréversibles : on a eu besoin d'introduire un autre principe, qui permet donc de décrire le sens d'évolution des systèmes.

## Questions

Questions	Réponses
Questions	Réponses
Dans les pré-requis : isochore, isobare ; des définitions ?	
Vous dites qu'on ne peut pas mesurer l'entropie, dans l'introduction, mais pourtant vous le faites par la suite ?	C'est en TP que ce serait compliqué
Pourquoi en TP ? On peut bien mesurer l'état final, donc on peut la retrouver ?	On ne la retrouve pas aussi facilement que l'énergie interne ?
Dans les cas que vous présentez, j'ai l'impression que c'est pas forcément plus difficile...	
Dans l'expérience intro, du point de vue du premier principe, mal compris ce que vous vouliez dire	Comme il ne s'agit que de différences d'énergies entre deux états, que l'on peut inverser ?
Même énergie entre état 1 et état 2 ? Énergie potentielle est la même ?	Conversion d'énergie potentielle en interne
Sous quelle forme l'énergie potentielle devenue interne quand la balle est au sol ? Il y a plus d'énergie interne ? c'est sous quelle forme ?	(choc ?)
Quel est l'intérêt d'avoir l'un des liquides chauds, pour l'autre expérience (diffusion) ?	Accélérer la diffusion des particules, notamment en plus un phénomène de convection.
Ah mais vous en aviez pas parlé de ça. On accélère le mélange avec la convection, mais pas la diffusion... ?	
Définition du bilan d'énergie ok, qu'est-ce que vous entendez par énergie cinétique et générale ?	En général on considère être dans un système au repos, pas d'énergie cinétique et avec l'énergie potentielle négligeable.
Quelques mots sur le modèle cinétique du gaz parfait, schématiquement, comment on en arrive à déterminer... Ça vous dit quelque chose la première loi de JOULE ?	Dépendance en température seulement pour l'énergie interne du gaz parfait.

Comment vous définiriez un gaz parfait ?	Intéractions entre les particules seulement par des chocs; et les particules sont supposées ponctuelles, sans volume.
Lier l'énergie cinétique de toutes les particules dans l'énergie interne...	Oui donc l'énergie cinétique qu'on fait apparaître dans le premier principe est l'énergie cinétique macroscopique, associée à un éventuel mouvement global.
Définition de la diffusion ?	Homogénéisation d'une grandeur dans un système ? ( <i>cf</i> Dictionnaire de physique).
Ok c'est une illustration, mais qu'est-ce qui est commun à tous les phénomènes de diffusion ? Comment est caractérisé ce type de transport ? Fondamentalement ? Quelle différence entre diffusion et convection ?	Diffusion sans mouvement global ?
Autres énoncés du second principe ? Par exemple CLAUSIUS ?	
Qu'est-ce que c'est qu'une fonction d'état ?	Ne dépend pas du chemin suivi entre deux états d'équilibre thermodynamique (pour pouvoir définir la fonction d'état), et extensive.
Manque l'écriture du second principe : pouvoir le redire doucement ?	Il existe une fonction d'état S extensive (extensive c'est dans la définition de la fonction ou pas ?) telle qu'on a le bilan donné.
Vous avez écrit $S_e = \frac{Q}{T}$ , quelle hypothèse là dessus ?	Une source et un transfert uniquement où T est la température de la source de chaleur (thermostat, T constante).
Définition d'un thermostat ?	Source de chaleur avec une capacité thermique infinie (grande masse ou grande capacité thermique massique).
La fonction entropie est <i>liée au désordre</i> ?? C'est quoi l'ordre ou le désordre pour vous ?	Par exemple, entre les phases, on voit laquelle est la plus ordonnée.
La définition comme ça est un peu trompeuse... Comment on peut relier à la notion d'ordre ?	Plutôt parler d'une mesure de la quantité d'information qu'il manque pour connaître le système.
C'est quoi une phase condensée ?	
Vous avez eu l'air d'avoir une petite confusion entre $C_p$ et $C_v$ ? Pouvez-vous redéfinir les deux, avec des dérivées partielles ?	
J'ai pas bien compris pour les incertitudes, on prend <i>10 pourcent du temps</i> ?	Le temps qu'on voit le changement de couleur à la fin du tube, temps très incertain sur la lecture de <i>la bonne couleur</i> , plus on attend plus l'incertitude sur le temps sera grande.

Pourquoi 10 ?

Il manque des bilans d'entropie pour montrer que  $D$  positif est due à l'irréversibilité ? Mais bon, niveau L1...

Une des premières choses écrites/dites Dictionnaire de physique.  
*On renverse le temps ou on inverse les conditions initiales.* Vous avez trouvé ça quelque part ?

Comment vous faites le lien entre l'entropie et le coefficient de diffusion ? Apparaît dans les lois phénoménologiques.

## Debrief

Écrire plus au tableau, et surtout aller plus vite. Encadrer plus les résultats. Attention pour l'expérience, il faut vraiment prendre au moins un point devant le jury, à exploiter le jour J. De plus, elle ne montre pas légitimement que  $D$  est positif. On montre bien la loi d'échelle, mais comme il s'agit de proportionnalité après l'analyse dimensionnelle, on ne peut pas déduire légitimement le signe avec cette expérience. Pas mal de conclusions et résultats à écrire. Détails de langages, plus de couleurs.

La convection, ce n'est pas que ça agite plus fort : c'est due à l'agitation thermique. Cependant, la diffusivité elle a bien une dépendance en température.

Concernant l'élément imposé, il est possible d'aller plutôt du côté de la marche aléatoire, deux cases et une particule.

Attention, la leçon est ici considérée comme second principe, il faut être capable de défendre la leçon si elle est en L1. La diffusion c'est un mode de transport de proche en proche sans déplacement de matière.

## Leçon 9

# Gravitation et poids (secondaire)

Leçon de physique

LP13 – Gravitation et poids (secondaire)

Discussion des vignettes de *Tintin, on a marché sur la Lune*.

Présentée par Arthur LASBLEIZ (Solène LEGRAND), corrigée par Karine BRAGANTI

Le 14/11/2019

### Ressources utilisées

- DEBOECK, dictionnaire de physique
- DURUPTY, Terminale S, physique-chimie, enseignement
- SIRIUS, Terminale S, physique-chimie

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau Terminale :

- Loi de la mécanique classique
- Notions de position, vitesse accélération
- Référentiel communs
- Intégration de polynômes

Ces trois premiers pré-requis doivent être abordés dans un cours introductif à la mécanique de NEWTON

**Difficultés** Développement mathématique (interdisciplinarité) ;

Différence entre poids et masse (confusion au quotidien).

### Objectifs

Comprendre les concepts de gravitation et de poids et quelques exemples associés.  
Faire le lien entre ces deux notions.

# Introduction

2 min Quand on lâche une gomme... elle tombe. On a vu dans le dernier cours qu'il y avait donc une accélération : comme il y a accélération, il y a force, et c'est cette force qui va nous intéresser aujourd'hui.

**La masse** est une propriété fondamentale d'un corps lié à son inertie.

**Le poids** est la force qui lui est associée. On reviendra plus tard sur cette définition, qui est ici loin d'être rigoureuse.

## 9.1 Interaction gravitationnelle

### 9.1.1 Force gravitationnelle

| **Remarque** – Différence entre interaction et force ?

4 min [Dessiner un système double A, B]

$$\vec{F}_{grav,A/B} = -\mathcal{G} \frac{m_A m_B}{r_{AB}^2} \vec{u}_{AB} \quad (9.1)$$

[Parler des unités, définir  $\mathcal{G}$  et donner sa valeur.]

**Remarques** : la force gravitationnelle est attractive et sa norme décroît en  $\frac{1}{r^2}$

Projection

Vignette de *Tintin*, *objectif Lune*, capitaine en apesanteur.

Par la troisième loi de NEWTON, la force qu'exerce A sur B est égale, vectoriellement, à l'opposé de la force qu'exerce B sur A.

### 9.1.2 Promenons-nous dans les champs...

11 min Qu'est-ce qu'un champ ?

**Un champ** est une quantité qui prend une valeur en tout point de l'espace. Pour la gravitation ? L'idée et l'objectif est d'exprimer la force en fonction de la masse et d'un champ :

$$\vec{F}_{grav} = m_p \vec{\mathcal{G}} \quad (9.2)$$

On réécrit la force pour un point M et un point P : et par identification, donc

$$\vec{G}_M(P) = -\frac{\mathcal{G}m}{d_{MP}^2} \vec{u}_{MP} \quad (9.3)$$

Exemple de la Terre en faisant le calcul [hauteur par rapport à la surface de la Terre est faible par rapport au rayon de la terre], on arrive donc à

$$\vec{g} = -\frac{\mathcal{G}m_{Terre}}{R_{Terre}^2} \vec{e}_z \quad (9.4)$$

et on peut alors écrire :

$$\vec{F}_{Terre/P} = m_p \vec{g} \quad (9.5)$$

calculé sur la Terre, mais qu'on peut aussi calculé sur d'autres planètes ou astres ! Par exemple, sur la Lune :

Projection

Vignette de *Tintin, objectif Lune*, DUPONT sur la Lune, sauts de dizaines de mètres.

On peut exprimer  $\vec{G}_{Lune}$  puis faire le rapport des force sur la Terre et sur la Lune : on arrive à un rapport de 6, on « pèse 6 fois moins lourd » sur la Lune. Bien faire attention ici, on parle de poids, ce qui est ressenti par l'objet, pas de masse qui elle est inchangée !

## 9.2 Chute libre

20 min

### 9.2.1 Problème et mise en équation

[Dessiner, schéma d'un système à une hauteur  $z$ ]. Pour mettre en équation, on a besoin de se donner un repère et préciser le système (ici le point matériel M). Le bilan des forces est constitué uniquement du poids et on peut alors appliquer le principe fondamental de la dynamique. Cela donne une expression de l'accélération, qu'on peut intégrer sur le temps pour obtenir la vitesse puis la position. Pour résoudre entièrement le problème, il nous reste à nous donner les conditions initiales, qui sont ici seulement une vitesse selon  $z$  et une position selon  $z$ . On obtient  $x$  et  $y$  nuls en fonction du temps... et  $z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + vt - h$  indépendant de la masse.

Projection

Vidée de chute libre d'une boule de bowling et d'un paquet de plume.

Alors effectivement, peu importe la masse, dans le vide, les corps chutent tous à la même vitesse ! On attire ici votre attention sur la simplicité du modèle et comment expérimentalement cela a été reproduit : aucun frottement, chambre à grand vide...

Si l'on reprend l'exemple de la plus grande chute libre d'un être humain... application numérique qui amène à une chute, pour 42 km, de 91 s !

Tous ces calculs sont possibles car on connaît précisément la valeur de  $g$ . Mais comment la mesurer ?

### 9.2.2 Mesure de $g$

| **Expérience** – Chute libre d'une bille pour la mesure de  $g$ .

Comment on arrive à mesurer  $g$  avec ce dispositif [Le présenter]. Ici il s'agit d'une différence de vitesses moyennes divisé par le temps que la bille a mis à parcourir la distance entre les deux capteurs.

Ici, on obtient  $g = 12 \text{ m/s}^2$  En préparation, on a répété l'expérience plusieurs fois et on a effectué des incertitudes de types A [ici dit écart-type, mais faire les incertitudes...]. On arrive à  $g = 9.31 \text{ m/s}^2$ .

La barre n'est pas exactement verticale et il existe des frottements ce qui explique une différence par rapport à la valeur attendue

Ici, la force était dirigée selon l'axe  $z$ ... mais que se passe-t-il si la force est orientée différemment ?

### Projection

Boulet de canon de NEWTON.

Dans le cas de l'astronomie, on ne peut plus considérer avoir un champ de pesanteur constant et il faut revenir à l'expression fondamentale de la gravitation.

### Projection

Étoiles qui tournent autour de la tête du capitaine...

## 9.3 Mouvement des astres

On peut décrire ces mouvements grâce aux lois de KEPLER. Les astres ont des trajectoires elliptiques

### Projection

Première loi de KEPLER  
Deuxième et troisième loi de KEPLER

## Conclusion

38.5 min Bilan de la leçon. Retour sur les objectifs. Lien entre poids et gravitation fait avec l'expérience de pensée du boulet de NEWTON. Amélioration de l'expérience pour déterminer  $g$ , plus adapté à un vrai TP avec les élèves. En TD, on pourra s'apesantir sur la troisième loi de KEPLER ou appliquer les lois vues dans des cadres plus complexes (selon d'autres directions, avec d'autres conditions initiales).

## Questions

Questions	Réponses
Questions	Réponses
Comment est-ce qu'on définit la verticale, dans un référentiel terrestre ?	On prend un fil, fixé en haut, avec une masse au bout, la verticale est donnée par le fil ? Sur la Terre, on a le poids, la force axifuge, et les forces gravitationnelles du Soleil et de la Lune.
Définir la force axifuge	$\vec{F}_{axifuge} = ??$
On peut le retrouver ?	Oui... Composition des vitesses et compositions des accélérations
Donner la composition des accélérations ? Quels termes ?	Axifuge (entraînement), CORIOLIS et terme d'EULER.
Quel est le lien entre l'accélération d'entraînement et la force d'inertie ? Est-ce qu'il y a un signe ?	$\vec{F} = -m\vec{a}_e$

Définition du poids à savoir refaire!

Pourquoi faire le choix de définir les champs en terminale?

D'un point de vu pédagogique, étrange d'envoyer les incertitudes de types A s'ils ne sont pas dans les pré-requis ou sans en parler...

Quelle définition pour le référentiel galiléen?

Quelle autre méthode, si un élève ne comprend pas, comment expliquer l'intégration...

C'est quoi l'apesanteur?

Différence entre force et interaction?

Plus simple comme expérience pour des élèves de terminale?

Pourquoi avoir rapproché autant les calculs et pas les avoir éloignés un peu plus?

Si les élèves n'arrivent pas à manipuler les grandes formules ou les unités, comment y remédier, en tant réel, pour détecter les soucis avec les élèves?

Pouvoir parler de la différence entre terre/lune et faire le lien entre force gravitationnelle et chute libre sur la Terre.

Élèves doivent être initié tout au long de l'année, suivant les activités traitées... la leçon là se place à un niveau où on peut considérer qu'ils sont déjà un peu familier des incertitudes.

Réfléchir à l'envers...

Forces gravitationnelles auxquelles on est soumis sont négligeables. Différence avec l'impesanteur, ne pas ressentir de force gravitationnelle.

À chercher.

Un pointage vidéo peut être envisagé, après cette expérience est, à traiter, assez facile... Cela dit, ici, dispositif à éviter car gros ampérage.

## Debrief

De la troisième jusqu'à la terminale, où l'on rajoute chaque année une couche. Pour cette leçon en TS, et rappeler ce qui a été fait en 1re et 2nd.

De manière générale, 40 min, ok, aller vite mais en restant précis! Dans la façon de faire; il y a des choses à dire. Le vecteur possède plein d'informations dont la norme, c'est à la norme qu'on donne le sens physique et en particulier les unités. Pour la mise en équation de la chute libre, les élèves ont besoin d'une structure! C'est bien qu'on définisse le système, le référentiel, puis l'inventaire des forces... Faire les choses dans l'ordre et le présenter explicitement aux élèves.

En terminale on parle de la quantité de mouvement donc on introduit le PFD avec sa dérivée par rapport au temps. On doit donc préciser les hypothèses, ici que la masse est constante. Attention, on parle des équations paramétriques, pas du mouvement... On peut remonter à l'équation de la trajectoire dans certains cas. Prendre plus le temps pendant le développement mathématique, notamment le passage de vecteurs à normes, surtout si c'est précisé dans les difficultés.

Parlé d'orbites circulaires, elliptiques, mouvement des axes... d'où est-ce que ça sort? Il faut savoir refaire les calculs, retrouver l'excentricité *etc.* Préciser que le mouvement circulaire c'est une ellipse

particulière. Quand vous montrez la mise en orbite du boulet de canon : à l'oral on peut vous faire parler beaucoup plus de ça, de développer.

Au niveau du plan : la chute libre, j'aurais fait une chute parabolique, c'est une partie compliquée pour les élèves mais on peut en parler. Le mouvement des astres, on peut en parler pour introduire la leçon qui suit. Donc pas forcément nécessaire d'en parler.

Questions qu'on peut poser... différences masses inerte et grave, déviation vers l'est, calculs supplémentaires...

# Leçon 10

## Conservation de l'énergie (secondaire)

Leçon de physique

LP8 – Conservation de l'énergie  
Performances physiques et métabolisme  
Présentée par Manon LECONTE (Joachim GALIANA), corrigée par J. SAUTEL  
Le 21/11/2019

### Ressources utilisées

- TAILLER, Dictionnaire de physique ;
- BELIN, TS (programme 2012) ;
- NATHAN, 1<sup>er</sup> enseignement scientifique (programme 2019) ;
- HACHETTE, TS (programme 2012) ;
- HACHETTE, 1<sup>er</sup> S (programme 2012).

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau Terminale S :

- Dynamique : notion de force [Seconde] ;
- Interactions fondamentales : poids et force coulombienne [1S] ;
- Énergie et puissance [1S] ;
- Incertitudes [TS].

Dans le cadre des anciens programmes. Cette notion est déjà vue en première, mais on va un peu plus loin en terminale S pour comprendre les phénomènes. Pour exprimer les travaux, il nous faudra les deux premiers pré-requis, alors que le troisième est essentiel pour comprendre les résultats qu'on cherche à atteindre.

Se place juste après les cours de dynamique.

Plan : travail d'une force, calculs simples d'énergie puis résolution de problèmes simples par utilisation tu TEM.

Bilan thermique du corps humain, en lien avec l'élément imposé : résonance avec les nouveaux programmes (enseignement scientifiques). On pourra aussi insister sur la méthodologie à mener pour les élèves, savoir définir un système, présenter un bilan des forces et travaux...

**Difficultés** Ne pas confondre travail, énergie et puissance, liés mais différentes.

Faire attention aux unités.

En exercice, application simple du cours, avec des situations quotidiennes, alors qu'en travaux pratiques, on mettra en place des expériences qui sont vues dans cette leçon : chute libre, oscillations calorimétrie.

## Introduction

En première S, vous avez vu que l'énergie se conservait notamment au travers de conversions entre différents types d'énergie.

### Projection

Slides 2 et 3, les différents types d'énergies ; insister sur aliments, travail musculaire et chaleur rayonnée par le corps.

Cadre du cours, une application très courante qui vous touche directement : le bilan thermique du corps humain. Comment est acquises l'énergie dont vous avez besoin pour faire bouger vos muscles ?

### Objectifs

Comprendre et savoir appliquer le principe de conservation de l'énergie.  
Comprendre les origines microscopiques et macroscopiques de l'énergie.

## 10.1 Notion de travail

### 10.1.1 Travail d'une force constante

6 min

**Le travail** un échange d'énergie dû au déplacement, à la déformation ou à la modification interne du système sous l'effet d'une action extérieure. Définition mathématique :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{AB}\| \cdot \cos \alpha \quad (10.1)$$

### Projection

Slide 4, types de travaux

Il existe trois types de travaux (énoncé les conditions sur l'angle) :

- moteurs
- résistants
- nuls

### 10.1.2 Travail d'une force conservative

Cadre plus concret, et cas particuliers de cas que vous avez déjà rencontrés :

**Travail du poids** on se place dans un repère avec  $\vec{g}$  vers le bas.

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} = mg\vec{e}_z(z_A - z_B)\vec{e}_z = mg(z_B - z_A) \quad (10.2)$$

On reconnaît l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur, donc :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = E_{pp}(A) - E_{pp}(B) \quad (10.3)$$

**Travail de la force électrostatique**

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_e) = \vec{F}_e \cdot \vec{AB} = q(V(B) - V(A)) \quad (10.4)$$

et donc de même :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_e) = E_{pe}(A) - E_{pe}(B) \quad (10.5)$$

### 10.1.3 Travail d'une force non conservative

On se limite dans le cadre de la terminale à l'étude d'un mouvement selon une trajectoire rectiligne :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB} \quad (10.6)$$

[Dessiner trajectoire rectiligne entre A et B inclinée] On a une force qu'on appelle la réaction normale  $\vec{R}$ , qui est normale à la trajectoire et ne travaille donc pas, comme on l'a vu au début du cours. Si une autre force de frottements est prise en compte, elle donnera forcément lieu à un travail résistant ou nul.

## 10.2 Conservation de l'énergie

### 10.2.1 Théorème de l'énergie mécanique

17 min

L'an dernier vous avez vu l'énergie cinétique et l'énergie potentielle [Rappeler les expressions] ; ainsi que l'énergie mécanique.

À celle-ci s'applique un théorème qui décrit un principe de conservation.

**Théorème de l'énergie mécanique**

$$\Delta E_m = \sum W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{NC}) \quad (10.7)$$

On remarque ici :

- s'il n'y a pas de force non conservative ou si elle ne travaille pas, l'énergie mécanique se conserve.
- le travail s'exprime en Joule, mais ce n'est pas une énergie ! C'est un échange d'énergie.

### 10.2.2 Chute libre

On va essayer de comprendre pourquoi un plongeur qui plonge dans une piscine peut ne pas toucher le sol de la piscine.

**Méthode** à bien noter et à appliquer systématiquement !

- Système : le plongeur ;
- référentiel : terrestre ;
- repère : cartésien ;
- bilan des forces :  $\vec{P}$  ;
- calcul du travail : TEM,  $\Delta E_m = 0$ .

À noter qu'en présence de frottements (dans l'eau en particulier),  $\Delta E_m$  est différent de 0.

### Projection

Chute libre dans l'air et dans l'eau, vidéos  
Tracés dans les deux cas des énergies cinétiques, potentielles et mécaniques.

On remarque que la chute dans l'air est plus rapide et que l'énergie mécanique ne se conserve pas dans l'eau.

## 10.2.3 Pendule simple

**Expérience** – Acquisition angle du pendule en fonction du temps par Latis Pro, avec et sans frottements  
Export regressi, calcul énergie cinétique, potentielle et mécanique, tracé de l'énergie mécanique.

### Projection

Refaire la méthode (système, référentiel...), calcul de l'énergie potentielle de pesanteur  
Calcul de l'énergie cinétique (ne pas retenir, non exigible)  
Calcul de l'énergie mécanique et du TEM

Pendule pesant, normalement sans amortissement : ce qu'on observe ici c'est qu'on a mis des frottements, donc les oscillations s'arrêtent (acquisitions par Latis Pro). Sans frottements, on remarque qu'on perd quand même en amplitude mais que c'est bien moins important que dans le cas avec frottements Ici, on voit que l'énergie mécanique ne se conserve pas...

**Remarque** – À reprendre

## 10.3 Du macroscopique au microscopique

29 min

**Remarque** – Transition dont je n'ai plus le souvenir

### 10.3.1 Énergie interne et conservation

On introduit l'énergie interne :

**Énergie interne** énergie qui prend en compte les phénomènes microscopiques. Pour un solide ou un liquide, on notera  $U$  telle que  $\Delta U = C\Delta T$  où  $U$  est en joule et  $C$  est la capacité thermique du composé.

Comme pour l'énergie mécanique, on peut énoncer un principe de conservation d'énergie, plus fort que celui de l'énergie mécanique.

$$\Delta E_m + \Delta U = Q + W \quad (10.8)$$

où  $Q$  est un transfert thermique qui fera l'objet du prochain chapitre et  $W$  un travail.

### 10.3.2 Bilan d'énergie du corps humain

L'apport d'énergie du corps humain, c'est ce qu'on mange : vous le verrez plus précisément en SVT.

Aliment → énergie chimique, effort → énergie mécanique (sachant que 1 L de O<sub>2</sub> donne 4.8 kJ (?))

Projection

Activité : apport de l'énergie par deux repas (calculs)  
effort effectués par l'individu : volume de O<sub>2</sub> inspiré en fonction de l'effort.

On a l'apport d'énergie au corps et l'énergie mécanique résultants des efforts de l'individu.

**Calorie** énergie à apporter à un gramme d'eau pour passer de 14.5 °C à 15,5.

On peut alors calculer la puissance thermique dégagée par le corps en considérant l'énergie lors du repos de l'individu.

Projection

Puissance thermique et bilan total

## Conclusion

Bilan de la leçon.

Projection

Formulaire de la leçon

Prochain chapitre, s'intéresser à Q, le transfert thermique : quels en sont les différents types et comment les quantifier ? 39 min

## Questions

Questions	Réponses
Questions	Réponses
Notion d'incertitudes dans les pré-requis : tu t'en sers à quel moment ?	Pour le pendule, évaluer les sources d'incertitudes.
Premier principe, il est fait en lycée ? Avec la notion de capacité calorifique ?	Dans les anciens comme les nouveaux programmes.
Première slide : énergie rayonnante ? Cette expression vous plaît ?	Non pas du tout.
Comment on modélise l'énergie thermique perdue par rayonnement ?	Le modèle du corps noir ?
Par rapport à ce graphe, vous connaissez d'autres types d'énergie ?	L'énergie nucléaire.

Chaleur rayonnée : attention au vocabulaire, plus de chaleur dans les nouveaux programmes, parler de transferts thermiques uniquement

Se méfier sur la définition du travail : une partie des modifications internes du système sont comptées dans Q. Distinction entre W et Q : regarder le bouquin de thermodynamique de René SWARNET.

Slides sur les types de travaux : s'en tenir à résistant, pas résistif, garder le même terme.

Puis travail du poids dans les travaux conservatifs : pourquoi ne pas l'avoir mis directement dans constante ?

Commenter le calcul de la force du poids ?

Vous avez pas détaillé les calculs pour la force électrostatique : q en interaction dans un champ  $\vec{E}$ . Petite arnaque sur le calcul non ?

Dire pour la culture : vous allez considérer des frottements solides, mais préciser qu'il y a d'autres formes de frottements, qui ne seront pas constants.

Deuxième partie : le travail n'est pas une énergie ?

Le plongeur : n'attend pas le fond parce qu'il y a des frottements... c'est tout ?

La poussée d'ARCHIMÈDE, comment on l'exprime ?

Valable quand ça ?

Et il se passe quoi en dynamique

Pourquoi on subit une poussée microscopiquement ?

Quand l'eau bouge, qu'est-ce qui lui arrive à l'eau ?

Repère : se repérer dans l'espace. Référentiel, il y a une horloge associée.

C'est important ici ?

Pour regrouper les forces conservatives.

Ne dépend pas du chemin suivi : c'est le plus important pour la force conservative.

Oublie de marquer  $\vec{E} \cdot \vec{AB} = V(A) - V(B)$ .

C'est une variation d'énergie.

Non, il a aussi un mouvement pour remonter... bilan poids, frottements... poussée d'ARCHIMÈDE.

Poids du volume déplacé (comme notre poids mais avec la densité du fluide).

En statique des fluides

Pression diminue... donc la poussée diminue un peu quand on Différence entre le repère et le référentiel ?

Mécanique galiléenne donc le temps est le même dans tous les référentiels.

C'était bien de présenter une méthode générale.

Slide sur la chute des billes : quelles sont les sources d'erreurs sur cette manip ?

Problème de résolution temporelle ou spatiale

Remarque : achat d'iPhone par le département parce que bonne résolution temporelle, voir si vous pouvez les utiliser

Slide sur les oscillations du pendule : il y a rien qui vous choque ?

Slide suivante : la vitesse est pas à connaître ?

Expérience sans frottement, mais il y a quand même une décroissance : ça vient d'où ?

Pourquoi l'énergie cinétique devient négative ?

Attention, jamais un frottement fera osciller  $E_m$ . Plutôt parler des erreurs de l'expérimentateur dans ce cas.

Qu'est-ce que ça change d'avoir un pendule pesant ?

Pour un solide ou un liquide pour l'énergie interne

Non, si le liquide bouge à une vitesse comparable à la vitesse des ondes acoustiques, ce n'est pas compressible.

Attention à l'oral : la puissance c'est le transfert thermique, non.

Faire la remarque sur les calories en physique et les calories en nutrition

Donner des ordres de grandeurs *etc.* c'est bien pour ce genre d'activité...

Comment interpréter le bilan total là ?

Pointage vidéo, source d'erreur très importante.

Plutôt spatiale

Il manque la tension du fil ! La définir très rapidement même en terminale, qu'ils comprennent pourquoi la masse ne tombe pas.

Perte dans la carcasse, perte énergétique dans le potentiomètre... Il faut changer le sens de l'aimant.

Oublie du carré dans l'énergie cinétique. Oublie du  $l$  dans l'énergie potentielle. Angle en degré alors qu'il doit être en radian. Encore des problèmes... Revoir le préfacteur de conversion, qui a l'air faux : toujours vérifier avant d'appliquer.

On a le  $J$  de la tige qui rentre dans les équations, mais ça ne devrait pas changer grand chose.

valable pour les gaz réels aussi, mais dans des cadres différents. C'est toujours vrai pour les liquides ? Toujours incompressible ?

L'individu a dépensé plus qu'il n'a mangé.

Dire plus tôt qu'il y a dissipation d'énergie thermique ?

Force exercée par la roue sur le sol, et que ça chauffe : il y a besoin qu'il y ait un frottement pour que ça chauffe ?

Non, pas nécessaire, mais forcément ça chauffe plus.

Dans la conclusion, dans la slide, mettre la méthode puisqu'elle était vraiment bien.

Valeurs de la république : est-ce que vous pensez que le fait que tout le monde n'ait pas la même épreuve de TP au bac contredit le principe d'égalité à l'examen pour les élèves ?

Définir une force de frottement, de contact, liens ?

Remarque, il y a des mots clés : équité, très bien ; parler des « contingences techniques » imposent qu'il n'y ait pas les mêmes profs, pas les mêmes équipements, pas les mêmes TP...

Définition de l'énergie ?

Regarder l'article de Hervé GAYVALLET.

Penser à regarder le site culturescience.

## Debrief

Introduction pédagogique : un peu courte. L'ancien programme est toujours en vigueur, peut-être faire attention. Notion d'incertitudes dans les pré-requis : tu t'en sers à quel moment ? (Normalement) Sur les applications, dès qu'il y a une variation d'altitude ce sera effectivement bien pour les élèves. Encore un autre système plus simple que le pendule simple : le ressort (mais pas au programme). Nouveau programme : pluridisciplinarité, oui... en même temps ils ont supprimé les TPE. Insister plus sur ces pluridisciplinarités si c'est vraiment visible dans la leçon.

Pour la leçon, première slide : le même schéma peut être trouvé dans le dictionnaire et est probablement mieux que celui-ci...

# Leçon 11

## Mouvements, interactions et notion de champ (secondaire)

Leçon de physique

LP – Mouvements, interactions, notion de champ

Vidéo

Présentée par Théodore OLLA (Luc PONTOGLIO), corrigé par Karine BRAGANTI

Le 28/11/2019

### Ressources utilisées

- TAILLET, Dictionnaire de physique ;
- BORDAS, Manuel de physique-chimie 2de ;
- BORDAS, Manuel de physique-chimie 1<sup>er</sup> ;
- BELIN, Manuel de physique-chimie 1<sup>er</sup> .

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau première :

- Notion de force [2]
- Principe des actions réciproques [2]
- Interaction gravitationnelle [2]
- Poids [2]
- Notion d'ion monoatomique [1]
- PFD sous forme approchée (vitesses moyennes) [1]

Choix de niveau pour cette leçon qui prend en compte le fait que les différents outils nécessaires sont abordés à trois temps différents, en seconde, première et terminale. On ne parlera donc pas de mouvement d'un point de vue cinématique mais on aura une idée qualitative des mouvements.

Précédé d'un cours sur le PFD approché, la forme plus exacte avec accélération instantanée et dérivées temporelles.

## Objectifs

Comprendre la notion de champ, nouvelle notion de cette leçon ;  
Saisir les différences et analogies entre les champs gravitationnel et électrostatique.

**Difficultés** Différence entre force et interaction, manipulation de vecteurs, PDF approché (la notion d'accélération restant inconnue).

## Introduction

4.5 min Interaction entre les objets : s'exerce sous une forme, la force. Un exemple est le poids.

**Force et interaction :** l'interaction est un phénomène physique (attractive entre deux masses, par exemple). Entre les deux objets s'exerce : une force, qui est la traduction mathématique de l'interaction.

Dans le dernier cours, on a vu un lien entre la force et de mouvement pour un système

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (11.1)$$

## 11.1 Forces et interactions

### 11.1.1 Interaction électrostatique

Découvert dès l'antiquité par THALÈSE

Projection

THALÈS DE MILET

Frotter de l'ambre avec de la laine... ou ici pour nous, frotter une paille en plastique avec du coton ou de la laine.

**| Expérience** – Aimantation d'une paille en plastique

Il s'agit d'un exemple d'interaction électrostatique. En frottant la paille, on a arraché des charges et on a chargé la paille en conséquence. Les charges de même signe vont se repousser et celles de même charge s'attirer : vous avez vu des choses similaires en cours de chimie. Comment mettre cela en équation ?

### 11.1.2 Loi de COULOMB

La grandeur physique pour la charge est notée  $q$  exprimée en C. L'interaction entre deux charges va être régie par une loi de la même forme que l'interaction gravitationnelle :

$$\vec{F}_{A/B} = \frac{kq_Aq_B}{d^2} \vec{e}_{A/B} \quad (11.2)$$

et le sens de cette force dépend alors du signe du produit  $q_Aq_B$ . [Schéma.]

### 11.1.3 Analogies avec l'interaction gravitationnelle

Projection

Tableau récapitulatif Force ; origine ; constante ; direction ; sens pour l'interaction électrostatique et l'interaction gravitationnelle.

16 min

## 11.2 Champ et mouvement

### 11.2.1 Notion de « champ »

Il y a une forte dépendance de la force en la position relative entre l'objet qui subit la force et l'objet à son origine.

**Un champ :** est une grandeur qui prend une valeur donnée en fonction de sa position dans l'espace. Une première façon de le comprendre, c'est de façon mathématique :

$$\vec{F}_{A/B} = \frac{kq_A}{d^2} \vec{e}_{A/B} q_B \quad (11.3)$$

où on a séparé les parties en lien avec l'origine de la force (le champ) et celle en lien avec l'objet qui subit cette force. [Dessiner en 2D un exemple, objet avec une masse dans un champ gravitationnel]. Mais un champ n'est pas forcément lié à une force ! Ni n'est forcément vectoriel.

Projection

Champ électrique  
Champ du vent, carte météorologique  
Peut aussi être une grandeur scalaire ! Champ de température

### 11.2.2 Détermination du champ de pesanteur

On a déjà commencé à faire le travail pour la force et le champ électrostatique, on peut faire pareil pour la force gravitationnelle.

**Expérience** – Détermination de  $g$  avec la chute d'une bille en acier entre différents capteurs, mesure d'une différence de vitesse.  
Prise d'un point supplémentaire.  
Calcul sur le tableur  
Incertitudes de type A

L'expérience nous donne un bon ordre de grandeur mais la modélisation du système est très loin de la réalité : on verra l'an prochain comment traiter plus correctement cette résolution et comment faire une mesure plus précise de l'accélération de la pesanteur.

Une autre application, s'intéresser au mouvement.

### 11.2.3 Effet d'un champ sur le mouvement

Se renseigner sur les propriétés de l'espace : mathématiques et espace réel.

## Projection

Étude du mouvement des étoiles, vidéo = élément imposé

Le mouvement global est assez compliqué, mais on s'aperçoit d'abord que les mouvements ne sont pas rectilignes et ne sont pas à vitesse constante. Une conclusion qu'on en tire c'est qu'il y a une force qui s'exerce sur eux. Il y a donc une interaction gravitationnelle qui est à l'œuvre, qu'on peut essayer de comprendre qualitativement. On se sert de cette méthode, du champ gravitationnel, pour déterminer la position d'un trou noir qu'on n'arrive pas à observer directement avec nos télescopes.

## Conclusion

### Projection

À retenir : propriétés de l'interaction électrostatique, force de COULOMB, analogies et différences entre interaction électrostatique et gravitationnelle  
En particulier, il faut retenir cette nouvelle notion, la notion de champ.

## Questions

### Questions

Questions

Quelle différence entre champ de pesanteur et champ de gravité, pour les élèves?

### Réponses

Réponses

## Debrief

Parler de champ de pesanteur avant de parler de champ, peut-être un peu dommage sur cette leçon : peut-être parler d'intensité de la pesanteur.

Pour les forces, les vecteurs d'une manière général : présenter la formule en vectoriel, donner la norme, le sens...

A-t-on le droit de présenter des leçons niveau terminale??

## Leçon 12

# Interactions lumière–matière (secondaire)

# Leçon 13

## Conservation de l'énergie (supérieur)

Leçon de physique

LPX – Conservation de l'énergie  
Évolution du système Terre-Lune  
Présentée par Fénril MONTORIER, corrigée par  
Le 12/11/2019

### Ressources utilisées

- GRÉCIAS, PCSI
- HECHT
- COMINS, à la découverte de l'univers

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau L1 :

- Principe fondamental de la dynamique [L1]
- Notion sur puissance, travail et énergie [Secondaire]
- Le pendule simple [L1]
- Force gravitationnelle [Secondaire]
- Notions de base en astrophysique [L1]
- Coordonnées polaires [L1]
- Orbite circulaire [Secondaire]

Cours essentiels dès la première année de l'enseignement supérieur

On va ajouter ici l'exploitation de l'énergie, pour retrouver des expériences que les élèves connaissent, viennent de voir avec notamment le PFD. On va aussi compléter ce qui change en terme d'énergie par rapport à la terminale (l'énergie mécanique ne se conserve pas, pourquoi, comment ?)

Rester très mécanique pour pouvoir approfondir et traiter facilement le système Terre-Lune qui est l'élément imposé de cette leçon. Pour cela on parlera donc de la force gravitationnelle et ses conséquences, les phénomènes mais sans y passe trop de temps puisque ce n'est pas l'objectif de la leçon.

**Difficultés** Difficultés mathématiques : différentielles, dérivées partielles... pour des élèves de première années.

TD : refaire l'étude énergétique sur des systèmes autres que le pendule mais déjà vus en cours avant ; étude de documents plus complexes : forces de marée... TP : refaire le pendule, le ressort...

### Objectifs

Comprendre les variations de l'énergie mécanique.

## Introduction

Transformation de l'énergie mécanique, constante, avec transformation de l'énergie cinétique en énergie potentielle... exemple du skieur ! Mais dans le cas d'une voiture qui freine sur une ligne horizontale ?

Qu'est-ce qui fait qu'on a des transformations d'énergie ? Commençons par nous intéresser à ce qui se passe en terme de forces appliquées à un système.

## 13.1 Conservation de l'énergie

### 13.1.1 Travail des forces

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}; \quad (13.1)$$

$$W = fAB \cos(\vec{f}, \vec{AB}) \quad (13.2)$$

Expression du travail... qui est un peu erronée ?

$$\delta W = \vec{f} \cdot d\vec{l} = \vec{f} \cdot \vec{v} dt = P dt \quad (13.3)$$

On a des forces qu'on va appeler conservatives ou non conservatives

Preuve [à faire] que

$$\delta W = dE_c \quad (13.4)$$

On voit bien qu'en appliquant une force, on donne de l'énergie cinétique à un objet, à un système.

De même, on peut voir une variation d'énergie potentielle en fonction des travaux.

### 13.1.2 L'énergie mécanique

$$E_m = E_c + E_p \quad (13.5)$$

vu en terminale mais on peut écrire l'analogie en infinitésimal :

$$dE_m = dE_c + dE_p = \delta W_C + \delta W_{NC} - \delta W_C = \delta W_C \quad (13.6)$$

[Courbe d'une trajectoire  $z(x)$  avec un état libre et un état lié sur un minimum local]

$$E_p(x) = E_p(x_0) + (x - x_0) \frac{\partial E_p}{\partial x}_{x_0} + \frac{1}{2} (x - x_0)^2 \frac{\partial^2 E_p}{\partial x^2}_{x_0} \quad (13.7)$$

Retrouver l'équation du mouvement d'un oscillateur harmonique :

$$\ddot{X} + \omega_0^2 X = 0 \quad (13.8)$$

## Projection

### Schéma du pendule simple et équation en $\theta$

[Faire le calcul pour le pendule simple de l'énergie mécanique puis de sa dérivée par rapport au temps.]

**Expérience** – Pendule acquis sur LATIS PRO

Relier la sinusoïde en tension à une sinusoïde en angle (en radian)

Tracer la dérivée, l'énergie cinétique

Capteur renvoie une tension que l'on peut relier à l'angle que fait le pendule avec la verticale. [Commenter chacune des courbes tracées]

Ok à l'échelle du laboratoire, mais à une échelle bien plus grande?

## 13.2 Au niveau des planètes

29 min

### 13.2.1 Force centrale

[Schéma Terre-Lune, force orientée selon le vecteur entre la Terre et la Lune].

$$\vec{F} = \text{gravitation} \quad (13.9)$$

Et sur une orbite circulaire, la force ne va pas travailler [calcul du travail nul]. L'énergie mécanique se conserve donc en fonction du temps.

Orbite circulaire pour la Lune autour de la Terre :  $R_{TL} = \text{cste}$

Or, pour le système Lune

$$E_m = \frac{1}{2}M_L v^2 - \mathcal{G} \frac{M_T M_L}{R_{TL}} \quad (13.10)$$

et on peut écrire le PFD dans le repère de FRENET (?) donnant lieu à

$$v = \sqrt{\frac{\mathcal{G} M_T}{R_{TL}}} \quad (13.11)$$

Puis calcul de  $E_m$ ,  $3.8 \times 10^{28}$  J à comparer avec l'énergie d'une voiture d'une tonne à  $100 \text{ km h}^{-1}$

### 13.2.2 Influence de la Lune

On a ce qu'on appelle des forces de marées. [Schéma de la Terre, point P à sa surface, attiré par la Terre ET par la Lune ET force centrifuge (dans le référentiel de la Lune)]

$$\vec{F}_{\text{axifuge}} = +\mathcal{G} \frac{M_T m}{R_{TL}^2} \quad (13.12)$$

## Projection

### Force de marées : seulement avec la lune puis avec le soleil, déformations de la Terre

40 min

## Conclusion

### Projection

Tableau récapitulatif de la leçon : forces cons., non cons., énergie mécanique, potentielle sur Terre, gravitationnelle.

## Questions

Questions	Réponses
À quoi sont dues exactement les forces de marées alors ?	Référentiel non galiléen, bilan
En déduire facilement la période entre deux marées ?	Toutes les 12 h
Pourquoi en France on connaît et voit plus facilement les phénomènes de marées d'entraînement	À discuter en débrief Autre nom de la force axifuge :
D'autres formes de potentielles qui donnent des trajectoires fermées ?	Cas du pendule ou OH : potentielle en $x^2$ , autre type ?
Quelles quantités sont conservées ?	Moment cinétique total conservé
Quelle conséquence de ça ?	Mouvement plan.
Expliquer à un élève quand est-ce qu'on met des $d$ et un $\delta$ ?	
Si un élève vous demande quel est l'intérêt de ces théorèmes de conservation de l'énergie ? Si on connaît déjà les PFD...	L'énergie est parfois bien plus simple à utiliser
Est-ce qu'une puissance peut être négative ?	
Expliciter l'expression de la pulsation explicitée pour lorsqu'on retrouver l'équation d'un OH.	$w_0 = \sqrt{\frac{1}{m} \frac{\partial^2 E_p}{\partial x^2} x_0}$ Capteur dans le pendule ?
Pontentiométrique	
Citer d'autres lois de conservation en physique ?	Masse, charge, nombre de particules, moment cinétique... Applications, industrielles ou non, de la conservation de l'énergie ?
Roues à inertie sous les trains : quand ils freinent, au lieu de freiner sur les rails, ils transfèrent l'énergie à une roue sous le train, qui est relancée ensuite.	
Question élèves :	

Au lycée on a vu que l'énergie mécanique se conserve toujours, tu es sûr ?

Non, ils ont vu les forces non conservatives.

Définir ce qu'est une force centrale, rigoureusement ?

Force orientée selon la droite reliant l'objet qui exerce et celui qui subit la force

## Debrief

Dans l'introduction pédagogique, essayer de coordonner plus, d'organiser plus ce qu'on va traiter et ce qu'on va pas traiter. Rester cohérent entre ce qu'on dit dans l'IP et ce qu'on justifie, ce qu'on exploite dans la leçon.

Un peu ambitieux de parler de marées si rapidement et à savoir très bien justifier. La période à calculer permet de donner une application numérique et à montrer qu'on est loin d'une interprétation naïve où l'on dirait que l'eau est attirée par la lune. Marnage : les côtes en France font qu'on a une résonance qui fait qu'on a plusieurs mètres au lieu de 50 cm dans la plupart des autres pays. Chercher des animations sur les marées.

Penser à toujours parler des unités à la première introduction. Insister sur l'utilité d'utiliser les lois de conservation : utilisation d'intégrales premières du mouvement ! On s'épargne une intégration. Ça permet de considérer que ce qui se passe au début ou à la fin : exos type avec un astéroïde dans le PEARSON. Exo orienté thermo, mains qui chauffent quand on frotte : à trouver dans le PEARSON notamment. Un exemple pour changer du skieur : saut à l'élastique...

Définition de l'électronvolt : électron accéléré avec un volt, exo pas mal non plus avec théorème de l'énergie cinétique dans le PEARSON toujours.

Remarque pour l'expérience, ne pas hésiter à modéliser en sinus puis dériver.

# Leçon 14

## Images et couleurs (secondaire)

Leçon de physique

LP10 – Images et couleurs

RGB vs. CMYK

Présentée par Arthur LASBLEIZ (Solène LEGRAND), corrigée par H. PIOT-DURAND

Le 17/12/2019

### Ressources utilisées

- DURUPHTY, 1<sup>er</sup>
- HOLLAS, optique
- Optique expérimentale
- SEXTANT

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau première :

- Optique géométrique (lentilles convergentes, diaphragme, foyers, relation de conjugaison) []
- Un peu de culture musicale []

On parle pas vraiment ni d'images ni de couleurs en terminale, on en parle en première. On y traite d'optique géométrique et en particulier comment on forme les couleurs et comment l'œil les voit.

Les pré-requis nécessaires sont l'optique géométrique : lentilles minces convergente et divergente, foyers... ainsi que la relation de conjugaison.

**Difficultés** Optique géométrique majoritairement : en général peu maîtrisé avec peu de pratique !

Faire la différence entre la synthèse additive et synthèse soustractive (on parlera donc d'applications directes pour ancrer les élèves dans le réel).

Cours doit suivre une séance de TD sur l'optique géométrique, après un cours complet sur celle-ci.

#### Objectifs

Comprendre de fonctionnement de l'œil pour former une image nette et colorée

Difficultés pour trouver une expérience quantitative :

## Introduction

3 min

**Expérience** – [Montrer une image floue et en noir et blanc sur l'écran.]  
Régler la netteté

Première chose : la netteté premièrement [la régler]. Autre problème ici, la couleur de cette image !  
On va essayer de distinguer et travailler aujourd'hui la netteté et les couleurs.

### 14.1 Formation de l'image dans l'œil

Projection

Schéma de l'œil : iris, cristallin et rétine, schéma optique équivalent : diaphragme, lentille et écran

Iris modélisée par un diaphragme. Cristallin quant à lui est particulier : relié à des muscles qui permettent de modifier la focale de la lentille.

Projection

Modification de la focale du cristallin, avec rétine fixée, PR et PP

On a donc toute une plage possible de vision pour l'œil.

**Définitions** PP : *Punctum Proximum*, point le plus rapproché de l'œil qui puisse être distingué nettement.

PR : *Punctum Remotum*, point le plus éloigné de l'œil qui puisse être distingué nettement.  
Deux extrêmes de la plage de vision de l'œil.

**Expérience** – Mesure du PR d'un modèle d'œil.  
Lumière blanche, filtre anti-calorique, diaphragme, modèle de l'œil  
Cristallin gonflable par les seringues

On constate que quand on bouge l'œil, la netteté de l'image (un A ici) change.  
[Dessiner schéma associé pour le PP]. On peut calculer avec la relation de conjugaison :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} \quad (14.1)$$

avec  $OA' = 26(2)$  cm avec  $OA = -69(2)$  cm

qui donne donc  $f' = 19(2)$  cm [avec calcul d'incertitudes sur  $f'$  en ayant celles sur les longueurs].

Lumière d'un objet à l'infini, avec l'œil qui est à l'autre extrémité de sa focale. (visualisation du PR).

On a donc réussi à comprendre comment l'œil permet de former des images nettes.

### 14.2 Perception des couleurs

Quelle est l'origine des couleurs ?

## Projection

Album des Pink Floyd, il y a 50 ans.

La lumière blanche en entrée est décomposée... Est-ce que cet album est physiquement correcte ?

### 14.2.1 Composition de la lumière blanche

**Expérience** – Utilisation d'un prisme à vision directe : ensemble de trois prismes avec angle de sortie identique à l'angle incident.  
Observation à l'infini.

On observe bien une décomposition de la lumière blanche en toutes les couleurs du visible. Dans la nature, les couleurs viennent de l'interaction entre la lumière et les objets.

### 14.2.2 Interactions entre la lumière et les objets

On distingue trois types d'interactions :

— diffusion : phénomène par lequel un objet réfléchit une lumière incidente dans toutes les directions de l'espace ;

| **Expérience** – Illustration de la diffusion avec de la poussière de craie

— transmission : phénomène par lequel un objet transmet une lumière incidente ;

| **Expérience** – Cuve d'eau devant la lumière, elle transmet la lumière

— absorption : phénomène par lequel un objet absorbe une partie de la lumière incidente.

| **Expérience** –  $\text{KMnO}_4$  dans un bécher, coloré, une partie de la lumière est absorbée

Comment ça fonctionne dans l'œil : on va parler de synthèse de couleurs.

### 14.2.3 Synthèses additive et soustractive

Il existe deux modes de composition des couleurs : on parle de couleurs élémentaires à partir desquelles on peut former toutes les couleurs.

Peut-on recomposer de la lumière blanche à partir d'un ensemble de couleurs restreint.

**Système RVB** rouge, vert, bleu.

## Projection

Synthèse additive, superposition des couleurs rouge, vert et bleu : différentes couleurs et blanc au centre

On définit les couleurs primaires à partir desquelles on peut avoir toutes les autres ; on peut aussi parler de couleurs complémentaires lorsqu'en combinant celles-ci, on obtient une lumière blanche.

**Système CJM** cyan, jaune, magenta.

## Projection

Synthèse soustractive, superposition de filtres colorés

| **Expérience** – Superposition des trois filtres, observer qu'on obtient une image bien plus sombre

On peut de la même manière définir des couleurs primaires et complémentaires.

En comparant ces systèmes, on remarque que le RVB donne une lumière blanche, on parle de synthèse additive ; alors que le CJM donne du noir, on parle de synthèse soustractive.

Les écrans (ordinateurs, smartphone) utilisent la synthèse additive : on applique des intensités différentes entre rouge vert et bleu pour reproduire des millions de couleurs. En revanche, en peinture ou en dessin, on utilise plutôt le système CJM.

32 min

### 14.2.4 Fonctionnement de l'œil

La rétine est tapissée de cônes et batonnets.

## Projection

Absorbance relative pour les différents cônes

Ce qu'on peut faire pour simuler ce qui se passe dans l'œil :

| **Expérience** – Caméra monochromatique, nuances de noir

Régler la netteté

Placer un filtre rouge et observer une modification d'intensité (pour la couleur complémentaire du rouge) ; faire une capture d'écran

Faire de même pour le bleu et pour le vert

Recomposer alors, à l'aide de IMAGEJ, en réattribuant à chaque intensité sa couleur complémentaire

On peut faire l'analogie entre cette recombinaison et ce qui se passe dans l'œil, avec le cerveau qui réattribue correctement les différentes couleurs.

Une question qu'on peut se poser : qu'est-ce qui se passe quand on est daltonien-ne ? Il s'agit en fait souvent du déplacement de la courbe d'absorption (le *medium*) qui se superpose au *large*.

## Projection

Différents types de daltonisme

Ce qu'on peut faire ici aussi, en enlevant simplement l'un des filtres.

39 min

## Conclusion

Pour conclure sur cette leçon, ce à quoi on s'est attaché à faire c'est à montrer comment l'œil forme une image nette ET une image colorée : on reprendra ça en TD et en TP ; en expliquant notamment les phénomènes de myopie *etc.* lié à la formation d'image nette...

40.5 min

## Questions

Questions	Réponses
Questions	Réponses
Qu'est-ce que les élèves connaissent on optique géométrique à ce stade de la leçon	Lentille convergente, focale, iels savent tracer les rayons particuliers ainsi que la leration de conjugaison.
Une expérience simple pour faire comprendre l'accomodation de l'œil ?	En proposant aux élèves de regarder quelque chose de proche et de lointain depuis la même position
Quelque chose qui vous gêne sur l'image du prisme là ? Qui pourrait perturber les élèves ?	Les images sont séparées dès le premier diotre...
Pourquoi cette différence (raison physique) entre les deux systèmes de couleurs ?	Absorption pour la synthèse soustractive alors que ce sont des phénomènes inverses pour l'additive.
Ordre de grandeurs pour l'œil et pour la focale du cristallin, taille de l'iris ?	De l'orde du millimètre pour l'iris ?
Sur les récepteurs de la rétine : combien ?	Calcul fait dans le DURUPHTY ; wikipédia, une centaine de millions...
Tu penses qu'il existerait plus que trois types de récepteurs ?	
Est-ce qu'on voit toutes les couleurs avec la même intensité ?	
Quel est la plage du spectre du visible ?	
Qu'est-ce qu'on peut avoir comme sources de lumière ? Comment la créer ?	Désexcitation d'atomes...
Parler du corps noir ? Loi de STEPHAN ?	Quand on chauffe, ça va changer quelque chose à la lumière, autre que l'intensité ?
Loi du déplacement de WIEN	
Pour cela qu'on place un filtre anti-calorique accessoirement.	
C'est quoi la couleur fluo ?	
Pourquoi le ciel est-il bleu ? Diffusion RAYLEIGH ?	
Pourquoi les nuages sont blancs ?	Diffusion par les particules d'eau ?
Qu'est-ce qu'une dioptrie ?	C'est une unité de mesure associée à une focale, l'inverse d'une longueur... utilisé pour les corrections de l'œil
Développer ce qu'est la myopie, c'est quoi un œil myope ?	Focale avancée, entre le cristallin et la rétine.

On corrige comment ce défaut alors ?	Convergente ?? (faire le raisonnement)
Et pour un œil hypermétrope ?	
Est-ce que l'œil peut grandir pendant notre vie ?	on naît tous-tes hypermétrope
Et la presbitie ?	Rigidité du cristallin ??
Point aveugle de l'œil ?	
Quels défauts peuvent avoir les lentilles ?	Aberrations chromatiques, géométriques (lentilles non minces)
Comment le corriger	Lentilles achromats ? Doubles achromatiques... <i>cf.</i> TD
Est-ce que l'œil pourrait souffrir d'aberration chromatiques ?	(Oui, très rare)
Est-ce qu'il existe des systèmes parfaitement stigmatiques ?	
Un instrument en optique qui le serait ?	Un miroir plan.
Énoncer les conditions de GAUSS	
Plusieurs types de daltonisme : sur quoi porte la différence entre deux daltonismes ?	Déplacement du <i>medium</i> et intensité de ce déplacement.
D'autres problèmes sur d'autres cônes ?	Plus lié à des malfonctionnement plus qu'à des décalages de leur absorption.
Est-ce qu'il est possible de voir en noir et blanc pour les humains ?	Utilisation des bâtonnets plutôt que les cônes.
Tu as prévu de faire une sortie dans une centrale nucléaire, et l'un des parents d'élèves est absolument contre le nucléaire et refuse que son enfant s'y rende	Lui expliquer que le choix est purement éducatif, cela fait partie du programme... son opinion politique ne doit rien avoir à voir dans la démarche éducative qu'est la visite d'une centrale nucléaire.
Le prisme à vision directe, ça marcherait comment ? Capable de faire le schéma ? Pourquoi trois prismes ?	

## Debrief

Plutôt bien. Utiliser plus de couleurs sur le tableau.

Pour l'expérience quantitative : calcul de focale avec un montage d'œil en faisant calculer la correction à ajouter *etc.*

Tu as beaucoup répéter sur les objectifs, attention... marquer plus le passage à la leçon.

Montrer des photos d'iris rétrécie *etc.*

# Leçon 15

## Instrumentes d'optique (secondaire)

Leçon de physique

LP11 – Instrumentes optiques (secondaire)

VLT

Présentée par F nrl MONTORIER, corrig e par Karine BRAGANTI

Le 19/12/2019

### Ressources utilis es

- GRÉCIAS, Physique PCSI
- DULAURONS, Physique première
- HOVARD, Optique, une approche expérimentale
- HECHT, Physique.

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau Terminale STL :

- lentille convergente [] ;
- tracé de rayons lumineux [] ;
- relation de conjugaison et formule de NEWTON du grandissement [] ;
- notion de diffraction ;
- l'œil (modélisation optique).

Choisi en TSTL car assez appliqué : on parlera seulement d'instrumentes optiques. C'est une filière où l'on fait plus d'optique en terminale alors qu'en générale il s'agit seulement de notions avec peu d'applications en seconde et première seulement.

Les élèves doivent savoir ce qu'est une lentille (convergente) et possèdent des bases d'optique géométrique. On essaiera ici d'ancrer la leçon dans le réel (instrumentes, lunettes) pour montrer que l'optique ne se réduit pas à des lentilles sur un banc d'optique.

On abordera les limites des instrumentes optiques, c'est la raison pour laquelle il aura fallu déjà parler de diffraction.

**Difficultés** Comprendre comment un ensemble de quelques lentilles et une source peut correspondre à un instrument réel.

Le tracé des schéma et des rayons lumineux à travers plusieurs lentilles : pédestre mais on ira pas à pas.

Comment on « regarde l'objet » et notion d'images réelles et virtuelles mais vu précédemment.

On essaiera de détailler au mieux lors du montage du microscope, qui pourra être refait en TP voire avec la lentille astronomique. Étude de document possible sur HUBBLE par exemple : objectifs et principe du télescope.

### Objectifs

Comprendre le fonctionnement des instruments ainsi que leur limites.

## Introduction

5 min Instruments optiques : le première que vous connaissez, c'est votre œil. Comme vous l'avez déjà vu en première, il peut être modélisé par une lentille convergente, au travers de laquelle les rayons lumineux passent... L'œil nous permet de voir dans la vie courante, mais il ne nous permet pas de tout faire !

### Projection

Oignon et cellules végétales

Comment fonctionnent ces instruments optiques qu'on utilise ? Loupe dans la vie de tous les jours, microscopes pour les biologistes...

## 15.1 Voir plus grand

### 15.1.1 La loupe

Une loupe nous permet de lire ou voir plus facilement des objets plus petits.

**Remarque** – Pourquoi grand-mère n'arrive pas à voir de près ?

La loupe est une lentille, pour laquelle on va tracer des rayons lumineux... [Schéma objet AB, lentille L, images A'B'; tracé des rayons lumineux] L'objet est-il vraiment plus gros pour nous ? En plaçant l'œil à droite, calcul du grossissement :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} \simeq \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} = \frac{AB/f'}{AB/dm} = \frac{dm}{f'} \quad (15.1)$$

(application numérique)

### Projection

Images en fonction de la distance comparée à  $f'$ , Optique, une approche expérimentale

## 15.1.2 Le microscope

Projection

Schématisation d'un microscope

Oculaire : une lentille. L'objectif : une deuxième lentille.  
Un microscope, c'est simplement deux lentilles convergentes.

Projection

Modèle et tracé des rayons pour le microscope.

| **Remarque** – Tracer les rayons sur une flexcam ?

Méthode : on fait l'image de l'objet par la première lentille puis par la deuxième lentille. Comme précédemment, calculer le grossissement.

On a comme précédemment :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} \simeq \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} = \frac{A_1 B_1 / f_2'}{AB / dm} = \gamma_1 \frac{dm}{f_2'} \quad (15.2)$$

avec

$$\gamma_1 = \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{F_1' A_1}{f_1'} = \frac{F_1' F_2}{f_1'} \quad (15.3)$$

donc

$$G = \frac{dm \Delta}{f_1' f_2'} \quad (15.4)$$

Application numérique : 300.

Pour vous convaincre sur la simplicité d'un microscope : en voici un [Présenter le montage].

Projection

Gum MC pour le calcul du grandissement avec le modèle de microscope ; incertitudes

## 15.2 Voir plus loin

### 15.2.1 Lunette astronomique

Comment ça fonctionne ?

En fait, c'est exactement la même chose qu'un microscope...

Projection

Lunette astronomique de NICE

Au lieu de séparer les foyers optiques comme pour le microscope, ici on a le foyer image 1 confondu avec le foyer objet 2.

Projection

Schémas et rayons lumineux, déjà tracés.

Système afocal (rayons à l'infini arrivent à l'infini). Schéma synoptique :

$$\infty \rightarrow F'_1 = F'_2 \rightarrow \infty \quad (15.5)$$

donc

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1 B_1 / f'_2}{AB / f'_1} = \frac{f'_1}{f'_2} \simeq 200 \quad (15.6)$$

Très compliqué à construire en réalité : lunette astronomique assez obsolète. En plus de cette limite, limite due à la diffraction : planètes trop proches...

Projection
Diffraction : principe et formule/ordres de grandeur

### 15.2.2 Télescope

Projection
Télescope : ELT en cours de fabrication. Fonctionnement du microscope. Miroirs

Plutôt que de fabriquer des lentilles de plus en plus grosses, on va se concentrer sur des lentilles de plus en plus grosses.

Projection
Tailles des miroirs

Application numérique pour l'ELT...

## Conclusion

Énormément de limitations possibles (diffraction et matériel).

## Questions

Questions	Réponses
Questions	Réponses
Aberrations géométriques sur votre montage : quelles sont-elles et comment les diminuer sur ce montage?	Elles viennent du fait qu'on est pas dans les conditions de GAUSS à tout endroit.
Le diagramme on le met n'importe où?	(Diagramme donne différentes aberrations)
Quoi contre les aberrations chromatiques?	Achromats
D'autres modèles de télescopes?	NEWTON...

Est-ce que vos systèmes sont stigmatiques ?	Non, par rigoureusement ; tous du stigmatisme approché.
Conditions de GAUSS ?	
Vous avez montré les limitations de la diffraction... c'est quoi ces courbes que vous montrez ?	
Critère de RAYLEIGH, qui dit quoi ?	Maximum d'intensité de l'un correspond au minimum de l'autre.
Quelles sont les fonctions responsables de ces courbes ?	Pas des sinus cardinaux
Sinus cardinaux correspondent pour les pupilles rectangulaires, pour les circulaires ce sont les fonctions de BESSEL (1,22 qui traîne)	
La lumière elle fait quoi quand elle passe dans une lunette astronomique ?	Diffraction, aberrations... dispersion ?
Encore autre chose	Perte de luminosité à chaque dioptre
Cercle oculaire, qu'est-ce que c'est ?	L'image de la monture de l'objectif par l'oculaire.
Définir PR et PP ; pareil pour tous les yeux ?	
Vous sauriez redémontrer la relation de conjugaison pour une lentille ?	
Parfois on utilise des capteurs en sortie plutôt qu'un écran, une idée de comment ça fonctionne ?	Capteur CCD, mesurer l'intensité.
Il y a quoi sur la dalle de votre capteur ? le pas du capteur ?	Pixel

## Debrief

STL, bien placé, seul endroit où le faire facilement (sinon première, images photos...). Pour la loupe, l'amener petit à petit en parlant d'objets réels et images virtuelles, dans le même sens ou opposé... revenir à ce qu'ils ont vu en première (entre le foyer et le centre).

Ne pas hésiter à faire plus systématiquement les schémas synoptiques. Pourquoi pas faire le schéma optique sur flexcam et faire les calculs au tableau.

## Leçon 16

# Phénomènes acoustiques (secondaire)

Voir fiches

## Leçon 17

# Écoulements de fluides (supérieur)

Leçon de physique

LP – Écoulements de fluides

Sonde PITOT

Présentée par Solène LEGRAND (Arthur LASBLEIZ), corrigée par Lucile FAVREAU

Le 23/01/2020

### Ressources utilisées

- FRUCHART, physique expérimentale
- TAILLET, dictionnaire de physique

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau L2 :

- Statique des fluides (force volumique de pression) [L1]
- Outils de la dynamique des fluides (ligne de courant, notion de particule fluide, dérivée partielle) [L2]
- Analyse vectorielle [L2]
- Introduction à la dynamique des fluides (différentes classes d'écoulements, conservation de la masse...) [L2]

Élément imposé a guidé la leçon vers les écoulements parfaits, les écoulements réels seraient vus dans un prochain cours. Exemples fondamentaux aujourd'hui : effet VENTURI et sonde PITOT, et en TD, d'autres exemples de l'application de BERNOULLI...

**Difficultés** Retenir les hypothèses associées aux différents théorèmes.

#### Objectifs

Comprendre le théorème de BERNOULLI.  
Savoir l'appliquer dans des cas simples.

3.6 min

## Introduction

Rappel à l'oral de ce qu'est la statique des fluides, or en général, fluide en mouvement : comment les décrire ? Comment expliquer par exemple que, lorsqu'on souffle entre deux feuilles, on les rapproche ? [le faire].

## 17.1 Relations de la dynamique des écoulements parfaits

### 17.1.1 Équation d'EULER

On s'intéresse à une particule de fluide  $d\tau$ , dans un écoulement [le dessiner].

— système : particule de fluide de masse  $dm = \rho d\tau$ .

— Référentiel supposé galiléen

— Bilan des forces : de pression,  $d\vec{f}_v = -\vec{\nabla}P d\tau$  et force volumique  $d\vec{F}_v = \vec{F}_v d\tau$ .

Projection

Définitions : écoulement parfait, écoulement où les phénomènes diffusifs sont négligés.

— PFD :

$$\rho d\tau \frac{D\vec{v}}{Dt} = -\vec{\nabla}P d\tau + \vec{F}_v d\tau. \quad (17.1)$$

Deux expressions de la dérivée particulaire, amènent à :

$$\rho \left[ \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \vec{v} \right] = -\vec{\nabla}P + \vec{F}_v. \quad (17.2)$$

ou

$$(17.3)$$

Équation compliquée à première vue, on va faire quelques hypothèses pour pouvoir la résoudre.

### 17.1.2 Théorème de BERNOULLI

Hypothèse : seul le poids dans les forces volumiques,  $\vec{F}_v = \rho \vec{g}$ . On peut réécrire, en choisissant  $z$  vers le haut,  $\vec{g} = -\vec{\nabla}(gz)$ .

Aussi, on fait l'hypothèse qu'on est en écoulement stationnaire ( $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \vec{0}$ ) et écoulement incompressible ( $\rho$  sort du gradient).

Projection

Définitions : écoulement stationnaire et écoulement incompressible.

**| Remarque** – C'est l'écoulement ou le fluide qui est incompressible ?

On réécrit alors :

$$\vec{\nabla} \left( \rho \frac{v^2}{2} + P + \rho gz \right) = -\rho (\vec{\nabla} \wedge \vec{v}) \wedge \vec{v}. \quad (17.4)$$

On distingue ensuite deux cas :

1. Écoulement irrotationnel : constante dans tout le fluide
2. Sinon, on intègre sur une ligne de courant, donc sur  $d\vec{l}$  parallèle à la vitesse. L'expression est constante sur une ligne de courant.

Interprétation énergétique :

- $\rho \frac{v^2}{2}$  énergie cinétique
- $\rho g z$  énergie potentielle
- $P$  énergie de pression

## 17.2 Application pour les mesures de vitesse

23 min

**Expérience** – Expérience de VENTURI. Mesure de la pression à l'aide de tubes verticaux à différents endroits du tube

[Schéma du tube avec section rétrécie en son centre.]

Écoulement incompressible, donc  $Q_v$  est constant, égal à  $vS$ . On peut donc écrire cette égalité entre la section 0 et la section  $x$  puis utiliser le théorème de BERNOULLI pour remonter à la pression, sur une ligne de courant toujours.

Remarque, ce n'est pas ce qui est utilisé aujourd'hui : sonde PITOT.

### 17.2.1 La sonde PITOT

[Schéma de la sonde, deux lignes de courant, OS et O'A.] Calcul entre O et S, application du théorème de BERNOULLI, puis de même entre O' et A. [calculs...] amène à

$$u = \sqrt{\frac{2(P_s - P_a)}{\rho}} \quad (17.5)$$

**Expérience** – Sonde PITOT, soufflerie...

Sonde calibrée en préparation à l'aide de la soufflerie et d'un anémomètre à fil chaud.

Pression ici mesurée en mm d'eau, donc il faut d'abord faire la conversion en Pa.

## Conclusion

Grâce au théorème de BERNOULLI, on peut remonter à la vitesse de plusieurs façons. Il est important de se rappeler que celui-ci s'applique dans le cadre d'écoulement parfait, on verra dans la suite le cas réel.

## Questions

Questions	Réponses
Questions	Réponses
Définir ce qu'est une particule fluide ?	Entre l'échelle microscopique (libre parcours moyen) et l'échelle macroscopique (grandeur caractéristique de l'écoulement) où on ne peut pas rendre compte des variations qui nous intéressent.

Quels noms des différentes accélérations dans la dérivée particulaire ?	
Qu'est-ce que c'est un champ lagrangien et eulérien ?	Lagrangien, un objet suivi ; on s'intéresse à un point donné.
Différence entre écoulement et fluide incompressible ?	Dérivée particulaire nulle pour le fluide incompressible.
Quand on considère un écoulement irrotationnel, on considère quoi ?	Que la particule de fluide n'est pas en rotation.
Lien entre le théorème de BERNOULLI et le premier principe de la thermodynamique ?	Énergie interne conservée (énergies cinétique et potentielle microscopiques conservées, car parfait et incompressible.)
Quels sont les problèmes de la sonde PITO ?	Peuvent se boucher, geler...
Comment on trouve cette condition subsonique pour un gaz, pour avoir un écoulement incompressible ?	Revenir au $\chi_s$
Comment elle fonctionne la turbine/soufflerie ?	
Une idée de pourquoi il y a une grille en sortie ?	
Comment fonctionne l'anémomètre ? Une idée de son temps de réponse ?	
Tu peux expliquer pourquoi il y a un point d'arrêt au bout de la sonde de PITO ?	
Pourquoi quand on a un écoulement autour d'une aile d'avion, on a une force verticale ?	Force de portance [à revoir, revenir aux lignes de courant, surpression en bas et dépression en haut].
Pourquoi le diamètre d'un filet d'eau quand on ouvre un robinet devient de plus en plus petit ?	Parce que l'altitude diminue
Est-ce que tu peux expliquer ce que représente physiquement la viscosité, et à petite échelle ce qu'il se passe ?	Forces tangentielles entre deux particules fluides ; diffusion de quantité de mouvement, qui se fait dans une direction orthogonale à l'écoulement.
Comment on fait pour savoir s'il faut ou non prendre en compte la viscosité dans un écoulement ?	Revenir au nombre de REYNOLDS, comparer les termes diffusif et convectif.
Réécrire l'équation de NAVIER-STOKES.	
Quelles limites pour ce nombre ?	

Quelle zone de l'écoulement laminaire nous intéresse particulièrement ?

Couche limite. (elle est toujours là, mais dans un écoulement laminaire elle est très importante)

## Debrief

Introduction pédagogique très bien ; j'aurais tendance à dire deuxième année de l'enseignement supérieur plutôt que L2 (le plus large possible). Intéressant de faire tous les cas de BERNOULLI (remarque prise de note, garder le cas non stationnaire pour les questions ? en tendant une perche). Rajouter une slide, après la première partie, avec le ou les théorèmes de BERNOULLI qu'on va appliquer pendant toute la deuxième partie.

## Leçon 18

# Description d'un fluide au repos

# Leçon 19

## Mouillage (supérieur)

Leçon de physique

LPX – Mouillage

Larmes du vin

Présentée par Théodore OLLA (Luc PONTOGLIO), corrigé par

Le 04/02/2020

### Ressources utilisées

- P. G. DE GENNES, Gouttes, bulles, perles et ondes.
- GUYON, ce que disent les fluides.
- LA NOINDRE, TI K475 V1
- LIDON, Cours sur la capillarité, archives-ouvertes.fr/cel-01332274
- Épreuve de physique-chimie aux concours E3A, filière PC.

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau L2 :

- PFD [secondaire]
- Mécanique des fluides, forces de pression et nombres adimensionnés [L2]
- Physique des interfaces (tension superficielle, lois de LAPLACE et JURIN) [L2]
- Équilibres binaires liquide/liquide [L2]

Notion vue en L2 ou L3 à l'Université, même si peu de pré-requis. Plusieurs interprétations : soit très générale pour les phénomènes aux interfaces entre des fluides ; soit plus dirigé, en faisant suite aux cours sur la tension superficielle et les lois classiques de ce domaine. La seconde interprétation permet de concentrer réellement sur le mouillage, comme on l'entend dans l'industrie, à l'interface entre les trois phases qui interviennent dans le problème.

Elle se place très bien dans un programme de BTS « Métiers de la chimie »

Projection

BO, Phénomène de mouillage et angle de raccordement, loi de YOUNG-DUPRÉ.

## Objectifs

Comprendre la manière dont la tension superficielle et la gravité déterminent les propriétés de mouillage.

5 min

## Introduction

Par rapport à ce qu'on a vu précédemment, on va introduire une nouvelle phase dans le problème qui est la phase solide.

### 19.1 Principe de mouillage

#### 19.1.1 Mouillage et étalement

**Mouillage** , phénomène d'étalement d'une goutte liquide sur une surface solide.

[Schéma tension solide/gaz et solide/liquide/gaz], on définit alors un nouveau paramètre :

$$S = E_{\text{surfacique}}(1) - E_{\text{surfacique}}(2) = \gamma_{sg} - \gamma_{sl} - \gamma_{lg}. \quad (19.1)$$

On parle alors :

- mouillage total si  $S > 0$
- mouillage partiel si  $S < 0$

Intéressons-nous d'abord au mouillage partiel.

#### 19.1.2 Loi de YOUNG-DUPRÉ

##### Projection

##### YOUNG et DUPRÉ

[Schéma mouillage partiel, goutte déposée sur surface solide, définition de l'angle de contact.] L'angle de contact est l'angle à l'intérieur de la goutte ; zoom sur cet angle là [Schéma].

$$d\mathcal{A}_{sg} = -dxdl \quad (19.2a)$$

$$d\mathcal{A}_{lg} = -dxdl \cos \theta \quad (19.2b)$$

$$d\mathcal{A}_{sl} = dxdl. \quad (19.2c)$$

On a donc :

$$\Delta E = \dots \quad (19.3)$$

qui amène à la loi de YOUNG-DUPRÉ :

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{sg} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lg}}. \quad (19.4)$$

##### Projection

##### Mesures d'angle de contact.

**Expérience** – Mesures d'angle de mouillage, sur plusieurs solides, à l'aide l'ImageJ et d'une caméra.

Allons vers plus compliqué, que se passe-t-il si on prend en compte la gravité ?

## 19.2 Compétition avec la gravité

**Expérience** – Mise en évidence en augmentant la taille la goutte.

[Scéma goutte très étalée] On aura toujours la loi de YOUNG-DUPRÉ au niveau de la ligne triple, mais la goutte au contre est aplatie.

On peut montrer que, avec l'ajout des forces de pressions sur les côtés de la goutte, en faisant un calcul sur une portion de la goutte, l'épaisseur de la goutte :

$$e = 2 \underbrace{\sqrt{\frac{\gamma_{lg}}{\rho g}}}_{l_c} \sin \frac{\theta}{2}. \quad (19.5)$$

où  $l_c$  est appelée longueur capillaire.

On peut aussi introduire le nombre de BONDE,

$$Bo = \frac{\Delta E_{\text{pesanteur}}}{\Delta E_{\text{surfactive}}} = \frac{\rho g R^4}{\gamma_{lg} R^2} = \left( \frac{R}{l_c} \right)^2 \quad (19.6)$$

Lien avec la loi de JURIN...

Projection

Loi de JURIN.

## 19.3 Effet MARANGONI – ou les larmes du vin

Projection

Vidéo, source : youtube « Time Lapse, Legs of Wine »

Effet compliqué, pas encore totalement compris. Cependant, on peut le décomposer en plusieurs étapes :

- le vin monte inhabituellement haut, dans le verre. [Représenter la surface du vin et la surface latérale du verre] L'éthanol mouille sur cette surface mais l'éthanol s'évapore, en haut de cette goutte; le haut de la goutte est donc plus concentrée en haut, la tension superficielle augmente et donc la goutte monte.
- Cependant, on observe un bourlet, ce qui s'explique cette fois-ci avec la loi de YOUNG-DUPRÉ.
- Le bourlet est alors assez gros pour retomber, sous l'effet de son propre poids.

On peut montrer que, sur la dynamique de croissance des gouttes, celle-ci est exponentielle et fait intervenir la longueur capillaire : ce qui montre qu'on retrouve la compétition entre tension superficielle et pesanteur.

## Conclusion

Pour vraiment quantifier ce qui se passe physiquement, comprendre la tension superficielle ne suffit pas : il faut la comparer avec les autres interaction en jeu. Un autre effet MARANGONI dont on aurait pu parler se base sur une différence de température et pas de concentration comme on l'a vu ici.

## Questions

Questions	Réponses
Questions	Réponses
Pourquoi le vin remonte ?	
Pourquoi on va avoir des gouttes, des larmes, et pas juste le bourlet qui tombe ?	Modèle plus compliqué.
Ça indique quelque chose sur le vin ?	Non pas vraiment, ça se retrouve même dans d'autres alcools comme le cognac ou le whisky.
Des applications ?	Dans le vin non pas vraiment, mais l'effet général se retrouve aussi dans certaines situation en météorologie.
Et dans l'industrie	Nettoyer de petites surfaces
Des critères qui vont favoriser au non cet effet ?	
Ordres de grandeur de la tension superficielle pour l'eau, l'éthanol, le mercure... ?	
Est-ce qu'il y a des hypothèses sur la loi de JURIN, où est-ce que c'est toujours applicable ?	
Et sur le fluide, si on prend de la maizena ?	D'autres forces, internes au fluide, rentrent en jeu.
Comment abaisser la tension de surface d'un fluide ? Comment ça marche ?	Utilisation de tension acitfs.
Comment mesurer une tension de surface ?	Arrachement d'un anneau.
Industriellement, comment on s'y prend ?	
Qu'est-ce que le phénomène d'électromouillage ?	
Comment s'y prendre pour créer des surfaces hydrophobes ?	

## Debrief

Très bien menée ; l'effet les larmes de vin un peu moins facile à suivre, manque de temps pour en parler. Ne pas hésiter à passer plus vite sur d'autres parties.

Très bien d'introduire historiquement les scientifiques... Très bien vu par les membres du jury.  
Attention au vocabulaire scientifique de temps en temps.

# Leçon 20

## Spectres (secondaire)

Leçon de physique

LP1 – Spectres

Types spectraux des étoiles

Présentée par Bénédicte GREBILLE (Lucile BRIDOU), corrigée par Christophe WINISDOERFER

Le 05/02/2020

### Ressources utilisées

- BORDAS, 1<sup>er</sup> enseignement de spécialité
- BORDAS, 1<sup>er</sup> enseignement de scientifique
- LELIVRESCOLAIRE, 1<sup>er</sup> enseignement de scientifique
- BORDAS, 2<sup>nd</sup>, 2019
- TI, BE8578 V2
- NATHAN, Terminale S, 2012

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau Première, enseignement de spécialité :

- Ondes électromagnétiques [Seconde]
- Spectres d'émission [Seconde]
- Modèle ondulatoire et particulaire de la lumière [Première]
- Loi de BEER-LAMBERT, spectroscopie UV-visible [Seconde]
- Incertitudes de type B [Seconde]

Ce niveau puisque c'est là que les élèves commenceront à les utiliser pour en tirer des informations. On s'intéresse ici uniquement au spectre de la lumière, qui constitue la plus grosse partie traitée en première.

Informations : composition chimique ou concentration (utilisation de la loi de BEER-LAMBERT) ou la température de l'étoile par exemple (EI).

**Difficultés** Savoir quels sont les états initiaux et finaux (on fera des schémas) pour différencier absorption et émission.

Unités à savoir utiliser (nm à convertir, énergie en eV).

Cours peut-être suivi d'un TP utilisant différentes lampes spectrales ou des pyromètres optiques (température). On pourra aussi faire des études de documents pour que les élèves s'habituent à chercher et exploiter des informations dans des documents : pour les étoiles ou le vivant avec la photosynthèse.

4.5 min

Objectifs

## Introduction

### Spectre

Projection

Définition du spectro, lien avec la lumière et spectre de la lumière.  
Présentation historique : NEWTON.

Définition : figure colorée lors du passage de la lumière au travers d'un prisme ou un réseau.  
Qu'est-ce qu'un spectre et que peut-on en tirer ?

## 20.1 Analyse spectrale

### 20.1.1 Interaction lumière-matière

C'est cette interaction qui permet de construire des spectres.

Projection

Diagramme énergétique de l'atome d'hydrogène, absorption et émission d'un photon, NATHAN, Terminale 2012 ; BORDAS, 1<sup>er</sup>, ES<sup>pe</sup>.

$$E_{\text{photon}} = \Delta E = |E_f - E_i| \quad (20.1a)$$

$$E_{\text{photon}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (20.1b)$$

donc

$$|E_f - E_i| = \frac{hc}{\lambda} \quad (20.2)$$

où l'on décrit  $h$ ,  $c$  et  $\lambda$  ainsi que leurs unités.

Tout cela nous permet de lire un spectre, comme celui que vous avez déjà vu pour l'hydrogène.

### 20.1.2 Spectre d'émission et d'absorption

Projection

Diagramme énergétique de l'atome d'hydrogène ; spectre d'émission pour l'atome d'hydrogène, spectre d'absorption, BORDAS, 1<sup>er</sup>

Pourquoi des raies ?

Si l'on revient au diagramme énergétique de l'hydrogène, en passant du niveau 2 au niveau 1 (on rappelle qu'on est en émission !)

$$\lambda_{2-1} = \frac{hc}{|E_f - E_i|} = 121 \text{ nm.} \quad (20.3)$$

Cette raie là on ne la voit pas ! elle est dans le domaine de l'ultraviolet... Par contre, pour l'émission de 3 vers 2, on trouve 655 nm, dans le rouge : correspond à ce que l'on voit dans le spectre.

On vient de voir le spectre d'émission, où l'on a que l'énergie de l'état final est plus faible que celle de l'énergie initial. L'électron est descendu d'un état vers un autre. Le phénomène opposé existe, où l'on aura que l'énergie de l'état final sera plus grande que celle de l'état initial, mais les différences d'énergie sont les mêmes.

Cela donne donc, en émission ou en absorption, une signature pour chaque atome !

On utilise donc les spectres des objets pour en déduire leur composition : par exemple pour le soleil.

Projection

Spectre du soleil, BORDAS, 2<sup>de</sup>, 2019

En plus de nous donner une information sur la composition, ces interactions lumière-matière peuvent nous indiquer une concentration.

### 20.1.3 Détermination d'une concentration

Projection

Loi de BEER-LAMBERT, spectre d'absorption du permanganate de potassium.

Loi de BEER-LAMBERT :

$$A = \epsilon l C \quad (20.4)$$

**Expérience** – En préparation, courbe d'étalonnage,  $A = f(C)$ , faire le blanc. Prélèvement du permanganate, prise de mesure.

## 20.2 Analyse thermique

### 20.2.1 Loi de WIEN

Projection

Définition du corps noir, présentation de WIEN.  
Spectres d'émission du corps noir à différentes températures.

Corps noir : objet idéal à une température  $T$  absorbant toute l'énergie électromagnétique qu'il reçoit.

Lien entre maximum d'absorption et température.

$$\lambda_{\max} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{T} \quad (20.5)$$

Projection

Spectre d'émission du soleil

Calcul de la température du soleil avec  $\lambda_{\max} = 480 \text{ nm}$

## 20.2.2 Types spectraux des étoiles

Utilise la loi de WIEN.

Projection

Classification de HARVARD, source wikipédia, source LELIVRESCOLAIRE, 1<sup>re</sup> ESci.

Caractéristiques des étoiles :

- température;
- gravité à la surface;
- masse;
- luminosité.

Et la caractéristique retenue est la température pour la classification de HARVARD.

Quel est le type de notre étoile, le soleil? Avec le calcul fait précédemment, type G!

## 20.2.3 Une application : les panneaux solaires

Projection

Principe des panneaux solaires, source [hellowatt.fr](http://hellowatt.fr).

Rayonnement récupéré : pas directement celui du soleil, il y a l'atmosphère entre les deux.

## Conclusion

35 min

Projection

Slide conclusion : spectre > interaction lumière matière et corps noir.

## Questions

**Questions**

**Réponses**

Questions

Réponses

On connaît vraiment la composition d'une étoile?

Non, composition de son atmosphère.

## Debrief

# Leçon 21

## Aspects ondulatoires en optique (secondaire)

Leçon de physique

LP4 – Aspects ondulatoires en optique  
Présentée par Estelle MEYER (Max ROOSE), corrigée par Karine BRAGANTI  
Le 06/02/2020

### Ressources utilisées

- DUFOURNET, TS, Hachette
- SIRIUS, TS
- HOUARD, Optique

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau Terminale S :

- Optique géométrique [1<sup>er</sup> ]
- Caractéristiques des ondes [Terminale]
- Sources lumineuses mono et polychromatiques [2<sup>nd</sup> ]
- Incertitudes [2<sup>de</sup> ]
- Analyse dimensionnelle [1<sup>re</sup> ]

Projection

Bulletin officiel TS 2011

**Difficultés** Définition de la lumière de façon ondulatoire peut être abstrait pour les élèves : on fera des analogies avec les ondes mécaniques.

Saisir les aspects corpusculaires et ondulatoires de la matière.

## Objectifs

Comprendre les phénomènes de diffraction et d'interférences.

3 min

## Introduction

Nature corpusculaire d'abord supposée pour la lumière... même si HUYGENS avait proposé une interprétation ondulatoire, qui ne sera acceptée qu'à partir de YOUNG.

### Projection

Approche historique : NEWTON, HUYGENS, YOUNG, FRESNEL.

Parralèle avec les ondes mécaniques.

### Projection

Diffraction dans une baie.

## 21.1 Phénomène de la diffraction

### 21.1.1 Démarche expérimentale et modélisation du phénomène

**Expérience** – Phénomène de diffraction, laser sur banc optique, diffraction par une fente arrivée sur un écran.

### Projection

Schéma pour l'obtention d'une figure de diffraction.

On peut définir plusieurs paramètres d'études : la largeur de la fente  $a$ , la distance de la fente à l'écran  $D$ , la largeur de la tache centrale  $L$  et la longueur d'onde du laser  $\lambda$ .

**Expérience** – Faire varier la largeur de la fente, la distance à l'écran...

La largeur de la tache centrale diminue quand  $a$  augmente, et augmente quand la distance de la fente à l'écran augmente.

Cela laisse supposer que :

$$L \propto \frac{1}{a} \text{ et } L \propto D. \quad (21.1)$$

On peut alors écrire que

$$L \propto \frac{D}{a} \text{ et donc par homogénéité } L \propto \frac{\lambda D}{a}. \quad (21.2)$$

Le coefficient de proportionnalité, lui, peut-être déterminé expérimentalement. On trouve ici 1.67, et théoriquement on devrait trouver 2.

### 21.1.2 Conditions d'observation

Diffraction : modification de la propagation sans changement de fréquence au passage d'un obstacle. On appelle  $\theta$  l'écart angulaire entre le milieu de la tache centrale et le milieu de la zone sombre.

On peut écrire :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}, \quad (21.3a)$$

$$\tan \theta = \frac{L}{2D} \simeq \theta \quad (21.3b)$$

et on peut alors écrire :

$$L = \frac{2\lambda D}{a}. \quad (21.4)$$

Les conditions d'observation sont donc :  $\lambda \simeq a$ .

### 21.1.3 Application : détermination de l'épaisseur d'un cheveu

Équivalence fente/obstacle.

Application numérique et calcul d'incertitudes.

## 21.2 Phénomène d'interférences

### 21.2.1 Définition des conditions d'interférences

| **Expérience** – Utilisation de double fentes.

Projection

Figure d'interférences.

On définit d'interfrange comme étant l'écart entre une bande sombre et une bande éclairée. Interférence : phénomène de superposition d'onde dont l'intensité observée est modifiée localement.

Projection

Signaux en phase et en opposition de phase, interférences constructives, destructives et différence de marche.

On définit la différence de marche  $\delta$  telle que :

$$\delta = S_2M - S_1M, \quad (21.5)$$

où l'on aura, avec  $k$  entier :

$$\delta = k\lambda \text{ pour des interférences constructives ;} \quad (21.6a)$$

$$\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ pour des interférences destructives.} \quad (21.6b)$$

Les conditions d'observation sont que les sources secondaires doivent être cohérentes, c'est à dire de même fréquence.

Comme pour la diffraction, on peut montrer que :

$$i = \frac{\lambda D}{a}. \quad (21.7)$$

## 21.2.2 Irisation des bulles de savon

Projection

Irisation des bulles de savon : bulle, décomposition de la lumière par diffraction...

## Conclusion

Projection

Bilan de la leçon : diffraction et interférences.

## Questions

Questions	Réponses
Questions	Réponses
Comment on explique à un élève l'équivalence entre fente et obstacle pour la diffraction ?	
C'est lié à un théorème, quel est son nom	Théorème de BABINET.
Quelle limite pédagogique à l'utilisation de l'analyse dimensionnelle ?	
D'où vient l'équation $\theta = \frac{\lambda}{a}$ ?	En fait c'est un sin, ça se démontre
Ça se démontre comment	
Cohérente et synchrone ?	

## Debrief

Deuxième partie

Après écrits



## Leçon 22

# Oscillations (supérieur)

Leçon de physique

LP23 – Oscillations

Élément imposé

Présentée par F nrl MONTORIER, corrig e par P. RIGORD

Le 26/03/2020

## Ressources utilis es

— Physique tout-en-un PCSI SALAMITO

## Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau L1 :

- Mécanique du point
- Force de frottement fluide
- Le pendule simple
- Résolution d'équation différentielles
- Conservation de l'énergie
- Notion d'équilibres stable et instable
- Développement limités
- Portrait de phase
- Utilisation de la notation complexe.

Outils essentiels en mécanique. Après un cours sur la mécanique, en particulier le PFD et les notions énergétiques.

Ici, seulement un cours de mécanique, mais on pourrait traiter ce cours dans le cadre de l'électrocinétique : en effet, cela sera plus facile à illustrer pour des élèves.

Ils connaissent l'oscillateur harmonique et la résolution du pendule dans les oscillations faibles. On le reprendra en ajoutant notamment des frottements.

Ce cours permettra d'aborder ensuite plus facilement l'électrocinétique.

## Objectifs

Savoir modéliser un système oscillant avec et sans frottements.  
Faire la différence entre les différents régimes.  
Savoir utiliser des logiciels d'acquisition.

**Difficultés** Tout d'abord calculatoire : établissement et résolutions d'équations différentielles.

Autre difficulté : savoir faire la différence entre régimes transitoires et permanents même si dans les deux on retrouve des oscillations.

En TD et exercices, on mettra cela en application d'abord avec des exemples communs aux cours de mécanique déjà faits, puis des exemples concrets.

Études de documents autour d'oscillations très utilisées.

## Introduction

Définition de oscillations.

Vous en voyez tous les jours : un lustre, c'est un pendule, objet simple qu'on a déjà vu.

## 22.1 Oscillations libres non amorties

### 22.1.1 L'oscillateur harmonique

[Tracé d'une courbe d'énergie potentielle] Par exemple, oscillations dans une cuvette d'énergie potentielle.

Énergie potentielle : faire un développement limité à l'ordre 2!

$$E_p(x) = E_p(x_e) + (x - x_e) + \frac{1}{2}(x - x_e)^2 . \quad (22.1)$$

Où le terme d'ordre 1 est nul puisqu'on est sur un minimum local.

On peut alors écrire l'énergie mécanique... (reprendre les notes de Fënril).

On obtient l'équation d'un oscillateur harmonique, que l'on connaît bien.

#### Projection

Pendule simple, oscillateurs harmoniques, portrait de phase.

### 22.1.2 Oscillations dans une bouteille

#### Projection

Résonateur de HELMOHLTZ

#### Projection

Schéma et colonne d'air dans le goulot de la bouteille.

On va appliquer le PFD sur la colonne d'air déplacée.

On arrive à

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} + \frac{P_0 A \gamma}{\rho V L} \xi = 0 \quad (22.2)$$

ce qui amène à une fréquence de

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{P_0 A \gamma}{\rho V L}}. \quad (22.3)$$

| **Expérience** – Fréquence de la bouteille en fonction du volume, utilisation d'un accordeur...

Projection

Fréquence de la bouteille

## 22.2 Oscillations libres amorties

### 22.2.1 Pendule avec frottements

Les questions à se poser : combien d'oscillations ? Combien de temps ? Comment déterminer cela ?  
On reprend le PFD, en ajoutant des forces de frottement fluide.

Projection

Discussion des différents régimes : apériodique, pseudo-périodique et critique

Plus Q, le facteur qualité est grand plus on a d'oscillations : c'est ce qu'on verra en TD.

## 22.3 Oscillations forcées

Qu'est-ce que c'est ? Déjà, on est maintenant en régime permanent.

Projection

Système masse-ressort : avec frottement et bâti en mouvement.

Au début, on a d'abord un régime permanent avant que la masse soit en résonance avec le bâti. Si on écrit l'équation, on obtient la même chose qu'avant, mais avec un second membre !

$$\text{reprendre} \quad (22.4)$$

Notation complexe...

Oscillations forcées en régime permanent, imposées par le mouvement du bâti

Forme du régime transitoire pas étudiée ici, c'est ce qu'on verra en TD.

## Conclusion

### Projection

Courbes classique pour oscillations : libres sans frottements, libres avec frottement, forcées en régime permanent.

## Questions

### Questions

Questions

### Réponses

Réponses

## Debrief

Attention en parlant de régime transitoire : régime entre deux régimes permanents.

Exemples types d'oscillateurs à regarder aussi : pont de WIEN et laser.

Bien fait de ne pas parler du système masse-ressort si on parle déjà d'oscillateur harmonique en première sous partie. Essayer d'apporter des systèmes physiques résonants ou oscillants, originaux...

## Leçon 23

# Transmission de l'information (secondaire)

Leçon de physique

LP9 – Transmission de l'information  
Physique du cabla ethernet  
Présentée par Max ROOSE (Estelle MEYER), corrigée par P. RIGORD  
Le 27/03/2020

### Ressources utilisées

—  
—  
—

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau TS :

- Optique, lois de SNELL-DESCARTES
- Onde électromagnétiques

Projection

Extraits de Repère formations B.0. TS

Chapitre d'ouverture, moins de connaissances à retenir mais des généralités à garder en tête sur les différents concepts : propagation, transmission, stockage...

On s'intéressera dans cette leçon plus particulièrement à la transmission et aux composantes d'une chaîne de transmission.

Concernant l'évaluation, on se basera sur une évaluation en deux temps : restitution de connaissances avec des questions de cours autour des deux formules étudiées puis analyser et résoudre à l'aide d'activités documentaires.

**Difficultés** Sur les formules utilisées, conversion et unités.

TD : cours revu et activités documentaires + raisonnement sur leurs outils de tous les jours (établir une chaîne de transmission).

## Introduction

Depuis la nuit des temps, l'homme cherche à développer des moyens de communication, qui se sont particulièrement améliorés les derniers siècle et dernières décennies, jusqu'à l'apparition de la fibre optique, qui intervient dans de nombreux domaines (télécom et médical, par exemple).

Dans cette leçon, étudions d'abord la transmission de l'information, puis les différents modes de transmission.

Qu'est-ce que l'information, d'abord ? Élément de connaissance, codé par un ensemble de règles mises au point par un groupe de personnes souhaitant se la transmettre.

### 23.1 Comment l'information peut-elle être acheminée

Une information, entre son émission et sa réception, passe par une chaîne de transmission.

Projection

*Hachette 2012, TS, p.522*, chaîne de transmission.

Les différents éléments sont donc : l'encodeur, l'émetteur, le récepteur et enfin le décodeur. L'encodeur est un dispositif permettant de convertir l'information en signal électrique ; le canal de transmission est le dispositif par lequel les informations sont transmises de l'émetteur au récepteur...

Projection

Illustration de la chaîne de transmission : symphonie de BEETHOVEN ou le téléphone.  
Encodeur = microphone, émetteur = système électronique, nature du signal/milieu = analogique/fil électrique, récepteur = système électronique, décodeur = haut-parleur.

### 23.2 Comment les informations sont-elles transmises ?

Deux modes de transmission nous intéressent ici.

#### 23.2.1 Propagation libre

On qualifie cette propagation de libre car il n'y a pas de fil de transmission, la transmission se fait sans forcément de milieu matériel ou de système de guidage.

Projection

Transmission hertziennes, applications, *Microméga 2012, TS, p.558*

**Expérience** – Transmettre des informations par ondes hertziennes, *Hachette 2012, TS, p.542*  
Oscilloscope pour observer le signal émis par une antenne, oscilloscope pour observer le signal reçu par une seconde antenne.  
Étude sur l'amplitude reçue par rapport à l'amplitude émise.

Les principaux avantages de ce type de propagation tiennent dans le fait qu'il n'est pas nécessaire d'avoir un milieu matériel. L'inconvénient principal réside dans les perturbations que peuvent subir les signaux en traversant le milieu de transmission, et qu'on ne peut donc transmettre que sur de courtes distances.

Autre paramètre à prendre en compte, les bandes de fréquence.

### 23.2.2 Propagation guidée

Milieu de transmission = câble : de différentes sortes! Les câbles USB, qui s'oppose aux réseaux Bluetooth par exemple.

Encore deux types de propagations ici : câbles torsadés et câbles coaxiaux.

Projection

Propagation guidée, câbles torsadés et câbles coaxiaux, *Microméga 2012, TS, p.558*

Blabla sur la constitution des câbles.

Enfin, un autre type de propagation : les fibres optiques.

Projection

Fibres optiques, *Microméga, 2012, TS, p.559*

L'avantage de ce type de câble : propagation sur de très longues distances.

| **Remarque** – Il manque des ordres de grandeur!!!

L'inconvénient de la FO : difficultés de production et donc chères!

| **Expérience** – Transmettre des informations par fibre optique *Hachette 2012, TS, p.544*, mettre en valeur des éléments de la chaîne de transmission!

L'expérience, qualitative, consisterait en la conversion d'un son en une onde lumineuse.

On distingue plusieurs types de fibres optiques :

Projection

Fibres optiques à saut d'indice, à gradient d'indice ou monomodale, *Hachette 2012, TS, p.547*

| **Remarque** – Peut-être expliquer qualitativement ce qu'il se passe aux élèves, s'ils connaissent les lois de la réflexion et de la réfraction! Ça apporte quelque chose...

## 23.3 Qualité de la transmission

Discussion sur la puissance et sur les amplitudes en sortie, sur la dernière slide toujours. Un signal est toujours atténué au cours de sa propagation : par absorption (perte d'énergie dans le milieu de propagation) ou par diffusion (interaction avec obstacles).

| **Expérience** – Expérience : étude de l'atténuation de la ligne, *Microméga, 2012, TS, p.554*, tracé de diagramme de BODE mais sans le dire...

Caractériser cette atténuation comme :

$$A = 10 \log \frac{\mathcal{P}_e}{\mathcal{P}_s} = 20 \log \frac{U_e}{U_s} \quad (23.1)$$

en décibels

On peut aussi définir l'atténuation linéique, définie comme l'atténuation sur la longueur du câble étudié.

Projection

Exercice d'application, *Microméga*, 2012, TS, p.557

## Conclusion

Projection

Slide de conclusion, rappeler les différents modes de transmission

Ouverture : stockage de l'information.

## Questions

Questions	Réponses
Première expérience : quelle fréquence de travail usuellement ?	Longueur d'onde autour de 2 km
Pourquoi la propagation libre on en parle pas plus ? Il n'y a que le fait que ça se fasse dans l'atmosphère ?	Problème est plutôt qu'il s'agit d'onde sphérique ! On peut faire une simple application numérique pour des élèves avec un calcul de puissance... pertes en $\frac{1}{r^2}$ .
Est-ce qu'on ne peut pas, en propagation libre, faire mieux que des signaux qui se dispersent en $\frac{1}{r^2}$ ?	Diffraction : antenne très très grande par rapport à la longueur d'onde, on peut émettre de façon très directive : un faisceau parallèle restera parallèle longtemps.
Concernant l'atténuation linéique, ça ne peut pas être caractéristique si ça dépend de la longueur... ?	En divisant par la longueur, ça ne devrait plus dépendre de cette longueur ?
Qu'est-ce qui est plus déterminant comme inconvénient pour la fibre optique que le prix ?	La fragilité.
Pour l'expérience de l'atténuation de la ligne, quel récepteur il faut mettre ?	Récepteur avec une impédance égale à celle du câble pour qu'il n'y ait pas de réflexion (pour simuler un câble infini, en fait).
Pourquoi le multimode est un problème dans les fibres optiques ?	Dépendance de l'indice avec la longueur d'onde ? Interférences ? En fait, dispersion du fait des vitesses de propagations différentes !

Pourquoi le coax dissipe beaucoup plus que la fibre optique ?

Le coax, dissipation par effet joule (courant dans un fil, une résistance), mais reste difficile à comparer à la propagation d'une onde électromagnétique dans la fibre (une partie de l'onde non réfléchi dans la gaine)... en fait, pas du tout la même nature d'atténuation.

Avantage du numérique ou de l'analogique ? Type de question qui peut être posée

La manipulation sur la fibre optique, en pratique, qu'est-ce qu'on fait ? Qu'est-ce qu'on encode, quelle grandeur physique on modifie ? La grandeur physique qui porte l'information ?

## Debrief

Première expérience ne semble pas montrer la propagation... (pas compris). (histoire de longueur d'onde, bien plus grande que la distance entre les antennes.)

Vraiment, penser à trouver et ajouter des ordres de grandeurs ! Ajouter des applications numériques simples, qui marquent, en particulier sur l'atténuation.

Sans les connaissances adaptées, on risque de faire tirer aux élèves des conclusions fausses.

Revoir modulation/démodulation de fréquences, porteuses *etc.*

une animation pour illustrer la conversion analogique / numérique.

Une animation pour les fibres à saut et gradient d'indice.

## Leçon 24

# Transferts thermiques (secondaire)

Leçon de physique

LP14 – Transferts thermique

Un verre de soda et un glaçon sur une terrasse en été.

Présentée par Lucile BRIDOU (Bénédicte GREBILLE), corrigée par Guillaume LAIBE

Le 30/03/2020

## Ressources utilisées

- Hachette, enseignement spécifique TS, 2012
- Microméga TS 2012
- Nathan 1<sup>re</sup> STI2D/STL
- Bellier

## Pré-requis

- Énergie d'un système (interne, mécanique) [1<sup>er</sup> STI2D]
- Capacité thermique [1<sup>er</sup> STI2D]
- Rayonnement électromagnétique [seconde]
- Incertitudes [1<sup>re</sup> ]
- Résistance équivalente en électricité [1<sup>re</sup> STI2D]

## Éléments imposés possibles

Glaçon dans une boisson fraîche à la terrasse d'un café ; isolation d'une maison ; étude du réfrigérateur ; analogie électro-thermique.

## Introduction pédagogique

**Niveau** 1<sup>re</sup> STI2D, thème « habitat »

**Difficultés** Comprendre à quelle échelle se fait chaque type de transfert, signes des transferts énergétiques dans un bilan

**Travaux dirigés** Études de transferts thermiques dans une salle de cours/une pièce; étude de document (chauffe-eau solaire, réfrigérateur).

**Travaux pratiques** Calorimétrie, mesure de résistance thermique.

Niveau de première STI2D, dans le grand thème habitat, un thème très concret. Ici on va continuer à utiliser des connaissances des élèves sur des exemples du quotidien : les notions utiles ayant été vues au cours d'avant.

Pour que ces notions restent faciles à exploiter, on reste dans des applications réelles; c'est à ça aussi que nous amène l'élément imposé.

Première partie générale sur les modes de transferts ainsi que sur le flux et la résistance thermiques (exemple sur l'isolation d'une maison). Deuxième partie sur les bilans d'énergie, où l'on appuiera sur la méthode utilisée, que l'on appliquera directement.

Difficultés gérées en insistant sur des schémas et tableaux récapitulatifs. TD pour approfondir, approche documentaire pour aller vers les machines thermiques. En TP, refaire l'expérience du calorimètre.

## Introduction

Dans une leçon précédente, l'énergie interne dans laquelle se cache deux termes : travail et transfert thermique. C'est ce dernier qu'on va étudier aujourd'hui.

**Remarque** – Suivant le niveau, donner des caractéristiques des deux termes : ordonné ou désordonné, *etc.*

Ressenti tous les jours : par exemple, quand on marche pieds nus sur du parquet ou sur du carrelage... d'autres questions : comment fond un glaçon, pourquoi le soleil nous réchauffe, comment isoler une maison...

### Objectifs

Comprendre les différents types de transferts thermiques; savoir faire un bilan d'énergie et tirer différentes grandeurs physiques (flux, résistance...).

## 24.1 Transferts thermiques

### 24.1.1 Les différents modes de transfert

#### Projection

Différents types de transferts : conduction thermique à l'échelle microscopique, Hachette TS spécifique. Seconde slide avec diffusion de l'agitation thermique...

**Expérience** – Tremper différentes barres métalliques de l'eau chaude.

On observe que la barre à l'air libre voit sa température augmenter, c'est la conduction thermique : transfert thermique par contact de proche en proche, sans transport de matière.

En mesurant la température au bout de chaque barre, la température est plus élevée pour celle de cuivre que celle d'aluminium que celle de bois! La conduction va donc dépendre du matériau, ce qui est quantifié par la conductivité :

## Projection

Conductivité du cuivre, de l'aluminium, du verre, du béton et du bois. Source : ?

Cependant, sans toucher le feu, si on s'en approche, on sent quand même la chaleur, pourquoi ? Un deuxième type de transfert.

**Expérience** – Tube en U coudé : à une extrémité, du colorant, et on place un briquet. On observe que le colorant remonte et se déplace.

L'eau chaude remonte et laisse place à l'eau froide, ce qui s'explique par la convection : transfert thermique par mouvement macroscopique de la matière au sein d'un fluide.

**Remarque** – Attention à la subtilité : l'eau se déplace par différence de densité entre eau chaude et froide ! Mais elle déplace la chaleur en se déplaçant...

Enfin, pour comprendre pourquoi le soleil chauffe notre peau, il faut s'intéresser au dernier transfert : le transfert par rayonnement électromagnétique. Tout corps chauffé à une température  $T$  émet un rayonnement qui cause un transfert thermique. On peut quantifier ce transfert thermique par la loi de STEPHAN

$$\phi = \sigma ST^4. \quad (24.1)$$

Comprendre comment ces transferts agissent dans des cas réels. Pour cela, il faut définir deux notions : le flux thermique et la résistance thermique.

### 24.1.2 Flux et résistance thermiques

## Projection

Flux thermique à travers une paroi

**Flux thermique** Énergie transférée à une surface à ...

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} \quad (24.2)$$

**Résistance thermique** qui décrit le fait qu'un matériau s'oppose au transfert thermique.

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda e} \quad (24.3)$$

On a alors :

$$\phi = \frac{\Delta T}{R_{th}}. \quad (24.4)$$

Formule que vous connaissez pour l'électricité avec la résistance électrique où  $I = U/R$ . L'intensité correspond au flux et la tension correspond à la différence de température.

On retrouve alors les mêmes lois d'association des résistances ! En série, par exemple, avec deux murs... Comparaison entre un simple et un double vitrage.

Dans le premier cas, une vitre d'épaisseur  $e = 4$  cm et une surface de  $1 \text{ m}^2$

Pour un double vitrage, supposons qu'on veuille la même épaisseur totale : deux vitres de 1 cm. La résistance totale est la somme des résistances, qui est bien plus importante que dans le cas du simple vitrage (faire les applications numériques...)

On va maintenant essayer de comprendre comment relier les notions d'énergie interne et de transferts thermiques.

## 24.2 Bilan d'énergie

### 24.2.1 Méthode

Projection

Bilan d'énergie, schéma!

1. Définir le système (bulle du milieu, système macroscopique).
2. Identifier les différents transferts thermiques et travaux mis en jeu (reçus ou cédés).
3. Repérer le sens des transferts et leur attribuer un signe. Lorsque le travail ou transfert thermique est reçu (resp. cédé) sera compté positif (resp. négatif).
4. Conservation de l'énergie :

$$\Delta E + \Delta U = W + Q \quad (24.5)$$

Mettre en pratique cette méthode sur un exemple.

### 24.2.2 Un glaçon dans un verre...

Projection

Verre avec glaçon, étapes de la méthode...

L'énergie à fournir est la chaleur latente de fusion, pour faire fondre le glaçon. Comment la déterminer.

1. Le glaçon.
2. Transfert thermique du pastis chaud vers de glaçon.
3. Le glaçon gagne un transfert thermique (transfert du chaud vers le froid).
4.  $\Delta U = Q$

Modéliser cette situation par une expérience :

**Expérience** – Calorimètre dont la capacité thermique a été mesurée précédemment.

On y met 250 d'eau à 40 °C ainsi qu'un glaçon à la température  $-23$  °C, que l'on pèse par différence de masse avant et après glaçon.

On attend la fusion complète du glaçon ainsi que le retour à l'équilibre, on notera alors la température finale  $T_f$ .

Développement du calcul :

Système : eau + glaçon + calorimètre, isolé,  $\Delta U = 0$ . Le transfert thermique est donc nul.

Sous-systèmes : 1 (eau + calorimètre) et 2 (glaçon).  $\Delta U_1 = m_{eau}c_{eau}\Delta T_1 = Q_1$  et  $\Delta U_2 = m_{glaon}c_{eau}\Delta T_2 + m_{glaon}l_{fus} + m_{glaon}c_{eau}\Delta_2 = Q_2$

**Remarque** – Avec les bonnes différences de températures... penser à faire des découpages thermodynamiques avant d'explicitier les calculs!

On peut alors réarranger l'expression pour trouver :

$$l_{fus} = \dots \text{faire le calcul.} \quad (24.6)$$

Valeur tabulée :  $3.34 \times 10^{-5} \text{ J k}^{-1}$  où les différences par rapport à l'expérience seraient dues à l'agitation manuelle apportée ainsi qu'au fuites du calorimètre.

## Conclusion

Reprendre la leçon, revenir sur les objectifs.

Ouverture sur la possibilité d'étudier des machines thermiques ou l'isolation d'une maison par exemple.

## Questions

Questions	Réponses
Définition de ce que vous appelez la chaleur ?	
Comment expliquer physiquement ce qu'est l'enthalpie ?	$H = U + PV$
Est-ce qu'il est pertinent de parler d'enthalpie dans cette leçon ?	Non, pas au programme, on utilise seulement le terme de chaleur latente...
Marches sur du parquet ou du carrelage, comment vous y avez répondu ?	Ça revient à la notion de flux thermique, le flux thermique avec du carrelage sera plus important qu'avec du bois, on va céder plus facilement du transfert thermique au carrelage.
Quelle quantité physique quantifie la sensation de chaud ?	Modèle conducto-convectif ici ??
Concernant l'image où l'on voit quelqu'un-e s'approcher du feu avec une barre. Historiquement, ça vous rappelle quelque chose cette barre qu'on met dans du feu, une expérience scientifique connue ?	
Sur la pertinence de ce schéma... il a des défauts, quels pourraient-être ces défauts, physiquement et pédagogiquement ?	Chaleur ressentie en fait d'abord à cause de la convection ;
C'est vraiment de la convection ?	Déplacement d'air chaud...
Qu'est-ce que c'est si c'est pas la convection ??	Rayonnement ! Comme les radiateurs...
Concernant l'expérience avec l'eau chaude, il se passerait quoi dans l'ISS ?	Pas de notion de gravité ?

Est-ce que c'est possible de faire bouillir de l'eau dans l'ISS

Quelques éléments physiques sur le rayonnement d'équilibre, le corps noir...

| **Remarque** – À reprendre clairement, HECHT p. 1118

À un niveau secondaire, d'où vient l'existence du flux électrique? Comparer les situations...

Différence de potentiel pour la différence de température, le potentiel électrique (relié au champ par un gradient, comme dans la loi de FOURIER pour la température!)

Définition du flux électrique?

D'où vient l'énergie là dans le pastis

Qu'est-ce qui est le plus facile : refroidir son pastis avec de l'eau froide à 0 ou la même quantité de glace à 0?

Pour l'expérience de calorimétrie, comment évaluez-vous les incertitudes?

Type A pour la capacité du calorimètre.

Concrètement, comment vous feriez les incertitudes de types A?

Moyenne et écart-type... revoir.

## Commentaires

Erreur tout au long de la leçon : terminologie et vocabulaire... Au démarrage de la leçon, dire qu'on va faire des transferts d'énergie, sous forme microscopique. Il est essentiel de séparer énergie, température et chaleur. (à ajouter aux difficultés!) Chaleur est un mode de transfert d'énergie sous forme microscopique.

Choix du plan et des exemples. Le plan tient la route. Autre façon, faire la résistance au moment de la conduction, puis enchaîner sur les autres modes de transfert. Sur les exemples, ça manque d'originalité. Use et abuse de la physique de tous les jours que tu as vendu au début.

L'élément imposé met l'accent sur le changement d'état. Donc transfert thermique sans forcément de variation de température. Confusion sur d'où vient le transferts : de l'air ou du liquide? Ce dont il fallait parler, c'est le rôle du changement d'état. Attention, bilan avec  $\Delta U$ , pas possible ici... Il faut parler d'enthalpie, mais comme on ne peut pas, il faut faire autrement! « La contribution pertinente au transfert thermique s'écrit telle que... » Il ne faut pas hésiter à prendre des pincettes puis attendre les questions pour préciser...

Sur les manipulations : les incertitudes, tu as très bien répondu, mais il faut le faire pendant la leçon! En particulier si on avance dans les calculs, type A ou type B.

Suggestions pour la leçon : Au niveau de la forme, avec le jury, le ton doit être un peu moins professoral qu'avec des élèves. Avec les élèves, insister sur le story-telling de la physique du quotidien!

Suggestions sur les questions : L'enthalpie permet d'intégrer le fait que les matériaux se dilatent. Autre question qu'on peut poser : second principe utilisé dans la leçon? Sur la différence parquet/carlage, la quantité est l'effusivité, une combinaison entre diffusivité, conductivité... L'expérience de la barre, c'était un problème fondamental en métallurgie. C'est cette expérience que FOURIER a utilisé pour dériver l'équation de la chaleur et pour introduire la transformée de FOURIER. Exemple à double tranchant car on a aussi un transfert entre la flamme et le bout de la barre (rayonnement!). Sur les associations de résistances, c'est une partie où traditionnellement on s'ennuie... contextualiser plus, faire des ordres de grandeur, ce qu'on gagne à augmenter en épaisseur ou à changer de matériau,

en ajouter... Essayer de faire plusieurs applications numériques !

# Leçon 25

## Filtrages (supérieur)

Leçon de physique

LP28 – Filtrages

Conception d'un filtre passe-bande

Présentée par Luc PONTOGLIO (Théodore OLLA), corrigée par Patrick RIGORD

Le 31/03/2020

### Ressources utilisées

### Pré-requis

- Régime sinusoïdal forcé et notation complexe, circuit RLC
- Trouver et résoudre une équation différentielle simple
- Principe fondamental de la dynamique, forces

Élément imposé : conception d'un filtre passe-bande. Placé au niveau BCPST2, pour lequel on a besoin de pré-requis

Difficulté de cette leçon : très calculatoire et peu paraître abstraite. Il faudra donc mettre du contexte, ancrer dans le réel les notions vues Aussi, il faudra que les élèves comprennent qu'on peut décomposer un signal périodique en somme de signaux sinusoïdaux. (utilisation de geogebra pour cela) Une dernière difficulté est le tracé des diagrammes de BODE

Choix pédagogique de faire un passe-bas d'ordre 1 et un passe-bande d'ordre 2. Alors en TD on pourra s'intéresser à d'autres En TP, travailler sur le tracé des diagrammes de BODE

### Objectifs

Comprendre le fonctionnement des filtres en électrocinétique  
Analogie électro-mécanique

### Introduction

Dans la vraie vie, on a des filtres de toute sorte!

Les chercheurs d'or cherchaient à l'aide d'un tamis ; nous, tous les jours, radio : sélectionner une chaîne parmi plein.

Dispositif qui permet de séparer les constituants d'un système selon une propriété physique. La taille pour un tamis, la fréquence pour la radio !

On s'intéresse aujourd'hui aux filtres en électrocinétique, qui filtre les fréquences.

## 25.1 Filtre passe-bas du premier ordre

### 25.1.1 Notions utiles

On introduit un circuit électrique : un générateur BF relié à une résistance de 10 kohm et une capacité de 10 micro farad On va observer à l'aide d'un oscilloscope le signal aux bornes du condensateur.

#### | **Expérience** – Le faire ?

On se rend compte que le signal sera atténué aux hautes fréquences.

[Circuit RC] un circuit RC est un filtre passe-bas. Ok, ça se voit expérimentalement. Mais est-ce qu'on peut le prévoir ??

On sait qu'à haute fréquence, un condensateur s'apparente à un fil [circuit équivalent, sortie = 0] ; et à basse fréquence, c'est un interrupteur ouvert [circuit équivalent, sortie = entrée]. Il s'agit ici d'une étude qualitative... Mais on peut étudier plus précisément ces filtres, avec notamment :

#### **Fonction de transfert**

$$\underline{H}(w) = \frac{U_s}{U_e} \quad (25.1)$$

que l'on peut calculer pour le circuit RC [le faire]. On peut alors poser une fréquence particulière  $\omega_0$

#### **Gain** qui s'exprime en décibels

$$G = 20 \log \left( |\underline{H}(w)| \right) \quad (25.2)$$

#### **Phase** l'argument de la fonction de transfert [expression]

**Diagramme de BODE** la donnée des graphes du gain et de la phase en fonction de la fréquence. Expliquer la prise de point expérimentale.

### 25.1.2 Représentation graphique

Tracer les diagrammes expérimentaux, tracer le comportements asymptotiques.

On observe bien ici que le gain diminue effectivement à haute fréquence. [Commenter la pente du gain en filtrage]

#### | **Remarque** – Pas seulement utiliser en électrocinétique, c'est aussi utilisable notamment en traitement de signal ou d'image ! pour flouter une image, on lui applique un filtre passe-bas.

Ok, en filtre les fréquences basses... mais c'est pas ce qui nous intéresse pour sélectionner une station de radio !

## 25.2 Filtre passe-bande d'ordre 2

Projection

Circuit RLC

| **Expérience** – Oscilloscope pour observer la tension aux bornes de la résistance.

On fait varier R de 10 à 1000 ohm.

| **Remarque** – On attire l'attention sur pourquoi c'est la résistance qu'on fera varier...

L'étude théorique se fait de la même façon ! on écrit la fonction de transfert... [Retrouver la fonction de transfert simplement avec les impédances complexes...]

Cette fois-ci, on introduit la pulsation propre ainsi que le facteur de qualité Q.

$$\frac{H(\omega)}{H(\omega_0)} = \frac{1}{1 + jQ \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)} \quad (25.3)$$

avec facteur qualité et  $\omega_0$  à exprimer !

Il s'agit alors ici d'un dispositif qui sélectionne une partie des fréquences, en coupant les basses et les hautes fréquences !

Décomposition d'un signal carré en somme de signaux sinusoïdaux.

Projection

Geogebra pour tracer des signaux carrés... s'entraîner à le faire rapidement.

| **Expérience** – En entrée, un signal carré, donne dans le RLC : ...

On observe qualitativement que le circuit permet de passer d'un signal carré à quelque chose de plus sinusoïdal (?). De plus, on remarque qu'en faisant varier seulement R, on ne modifie que le facteur qualité, et on peut observer ce qu'il se passe sur l'oscilloscope.

Reprendre le calcul du gain et de la phase.

[Tracé les diagrammes de BODE en vertical] Si R augmente, Q diminue, le diagramme est moins piqué !

Expérimentalement, lorsque R augmente, la largeur du pic varie, on est donc moins sélectif. Or ce qu'on veut pour la radio, c'est que le gain soit maximum pour une fréquence.

Définir la bande-passante.

Intéressant à faire expérimentalement : comparer les valeurs caractéristiques théorique du filtre aux valeurs que l'on détermine expérimentalement, avec incertitudes comprises

| **Expérience** – À faire.

## 25.3 Analogie électromécanique

Roue de voiture sur une route cabossée ; roue reliée à un amortisseur (un ressort et un amortisseur)  
Frottement dans l'amortisseur en :

$$F = -\lambda(z_{point} - z_{point_0}) \quad (25.4)$$

Mener le PFD... Calcul de la fonction de transfert...

Projection

Analogie électromécanique, tableau

Tout l'enjeu est de trouver un amortisseur dont la fréquence de résonance n'est pas dans la gamme de la fréquence de variation de la route. On veut aussi que ce filtre y soit piqué, pour que toutes les fréquences liées aux variations de la route ne soit pas sélectionnées.

## Conclusion

## Questions

Questions	Réponses
C'est vraiment un passe-bande le résultat que vous obtenez à la fin ?	Passe-bas
Quel facteur qualité on a intérêt à chercher pour l'amortisseur de voiture ?	
Comment fonctionne, en terme de schéma électrique, l'oscilloscope ?	Résistance en parallèle...
Donc la fonction de transfert de filtres en cascade est-elle vraiment le produit des fonctions de transfert	Non...
Il faut ?	Adaptation d'impédance ! Suiveur...
La résistance du RLC, on l'a comment ?	Sommer la résistance choisie, les résistances autres (générateur, inductance...).
Définition du facteur qualité et de la bande passante... c'est valable tout le temps $\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q}$ ?	Non il faudrait définir comme différences des fréquences de coupures...
D'où sort le 20 dans la définition du gain en dB ? Pourquoi des dB ?	Rapport des puissances fait apparaître le 2 ! et le 10 vient du fait qu'on est en déci, le log en bell.
Qu'est-ce que tu voulais montrer avec le signal carré et <code>geogebra</code> ?	

## Débrief

Il manquait les comportements asymptotiques.

Pour faire dans le détail si on veut vraiment aller si loin, peut-être ne pas traiter les deux filtres. Prendre le passe-bas en pré-requis puis travailler précisément sur le passe-bande d'ordre 2.

| **Remarque** – Relire l'optique de FOURIER pour filtrage de fréquences spatiales

## Leçon 26

# Ondes mécaniques (secondaire)

Voir fiches

## Leçon 27

# Sources de lumières (secondaire)

## Leçon 28

# Phénomènes de polarisation en optique (secondaire)

Voir fiches

## Leçon 29

# Effet DOPPLER (supérieur)

Leçon de physique

LP18 – Effet DOPPLER supérieur  
Détection des planètes extrasolaires  
Présentée par LASBLEIZ (LEGRAND), corrigée par SAUTEL  
Le 15/04/2020

### Ressources utilisées

- Microméga TS
- FRUCHART, Physique Expérimentale
- geogebra
- phychim.ac-versailles.fr
- blogpeda.ac-bordeaux.fr

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau PC/PC\* :

- Spectres d'émission d'une étoile ; raies d'absorption et composition de l'atmosphère [Terminale S]
- Loi de composition des vitesses dans le cas de référentiels en translation rectiligne uniforme [PCSI]
- Développements limités [PCSI]
- Filtres passe-bas [PCSI]
- Effet DOPPLER au lycée

Ici, définition plus rigoureuse de la formule associée par développement limité ; on passera relativement vite sur le principe, connu, pour aller vers la mise en place d'une démarche expérimentale.

La difficulté réside dans la manière d'aborder le sujet : ici, expérience puis modèle mathématique choisis, on se rattache à l'expérience.

# Introduction

## Objectifs

Effet DOPPLER : phénomène selon lequel une onde acoustique émise à une fréquence  $f_e$  est reçue par un récepteur à une fréquence  $f_r$  différente.

## 29.1 Comprendre l'effet DOPPLER

### 29.1.1 Démarche expérimentale

L'émetteur se rapproche du récepteur. Montage du FRUCHART, p. 543.

**| Remarque –** L'émetteur est un piézoélectrique qui émet une onde acoustique à  $41.0 \pm 0.1$  kHz

On remarque expérimentalement une dépendance linéaire de la différence de fréquence en la vitesse de l'émetteur et une dépendance linéaire en la fréquence de l'émetteur.

Cela amène à

$$\delta f = D f_e v_e. \quad (29.1)$$

Par analyse dimensionnelle, on peut proposer que  $D = \frac{1}{c_{\text{son}}}$  et donc :

$$\delta f = \frac{f_e}{c_{\text{son}}} v_e. \quad (29.2)$$

Permet à partir de la première expérience de remonter à la célérité du son, avec incertitudes... On trouve  $A = 116 \pm 3 \text{m}^{-1}$  avec  $f_e$  comme précédemment ; par propagation des incertitudes pour un produit, on arrive à :  $c_{\text{son}} = 353 \pm 9 \text{m s}^{-1}$ .

**| Remarque –** Attendu du programme est plutôt une mesure de vitesse que de célérité.

On a ici réussi à retrouver la relation associée à l'effet DOPPLER par l'expérience ; quelles sont les conséquences de cet effet sur le monde qui nous entoure ?

## 29.2 Application de l'effet DOPPLER

### 29.2.1 Principe d'un radar routier

On est dans un cas différent du précédent car l'onde se réfléchit sur l'objet en mouvement pour : l'équation sera différente.

Première étape. La période perçue par la voiture est alors :

$$T_v = t_1 - t_2 = T_e + \frac{d' - d}{c_{\text{son}}} \quad (29.3)$$

or :

$$\cos \alpha = \frac{d - d'}{v_v T_e} \quad (29.4)$$

d'où enfin :

$$T_v = T_e \left( 1 - \frac{v_v \cos \alpha}{c_{\text{son}}} \right). \quad (29.5)$$

Deuxième étape. La voiture renvoie l'onde reçue : dans ce cas là, on peut se placer dans le référentiel de la voiture. La vitesse de la voiture est nulle, le radar a une vitesse  $v_v$ , c'est la même situation :

$$T_{\text{reçue}} = T_e \left( 1 + \frac{v_v \cos \alpha}{c_{\text{son}}} \right)^2. \quad (29.6)$$

On effectue alors un développement limité avec  $\frac{v_v \cos \alpha}{c_{\text{son}}} \ll 1$ .

**| Remarque –** Revenir sur l'hypothèse, est-elle raisonnable ?

On arrive alors à :

$$T_{\text{reçue}} = T_e \left( 1 - 2 \frac{v_v \cos \alpha}{c_{\text{son}}} \right). \quad (29.7)$$

**Remarque –**

- dépendance en l'angle  $\alpha$
- si on reprend l'onde reçue pour la voiture avec  $\alpha = 0$ , on retrouve ce qui précède.
- si  $\alpha$  dépasse  $90^\circ$ ...

Mais l'effet DOPPLER n'a pas que des applications à notre échelle : il permet aussi d'observer l'univers.

### 29.2.2 Effet DOPPLER-FIZEAU

Étude de la vitesse d'une étoile.

Spectre d'émission : raie d'absorption est toujours à la même longueur d'onde car dépend de la composition de l'atmosphère de l'étoile.

On constate pourtant que ces raies peuvent être décalées : vers le rouge ou vers le bleu. On peut utiliser cela pour mesurer la vitesse d'une étoile par rapport à la Terre !

Pour la raie du sodium par exemple... on arrive à

$$v_e = \lambda_e c \left( \frac{1}{\lambda_e} - \frac{1}{\lambda_r} \right) = 24.8 \pm 0.1 \text{ km s}^{-1}. \quad (29.8)$$

Cependant, on observe d'autres choses (voir animation ac-bordeaux) : à quoi cela peut-il être dû ? La vitesse varie périodiquement comme si l'étoile s'approchait et s'éloignait de nous. On peut comprendre cela comme un problème à deux corps (gif wikipédia).

C'est un outil donc très puissant : en plus de mesurer la vitesse d'une étoile, il nous permet de prouver l'existence d'un second corps proche de l'étoile en question, qui n'émet pas de lumière.

On peut alors tracer l'évolution de la vitesse mesurée en fonction du temps et remonter à la période de rotation : ici, on a alors une demi-période de rotation de 5.2 jours...

## Conclusion

L'effet DOPPLER nous permet d'obtenir des informations précieuses sur les systèmes qui nous entourent (particulièrement ceux en mouvement) : vitesses de voitures, d'étoiles, présence d'exoplanètes...

## Questions

Questions

Réponses

## Debrief

## Leçon 30

# Effet DOPPLER (secondaire)

Leçon de physique

LP5 – Effet DOPPLER (secondaire)

Écho DOPPLER

Présentée par Bénédicte GREBILLE (Lucile BRIDOU), corrigée par Lucile FAVREAU

Le 16/04/2020

## Ressources utilisées

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau Terminale S (thème Observer) :

Les élèves voient les ondes depuis la seconde, avec notions de signal périodique, de fréquence... En première, les élèves ont continué à travailler sur les ondes avec notamment les ondes électromagnétiques. En terminale S, les ondes progressives et sinusoïdales sont introduites, pour expliquer les ondes mécaniques et ondes sonores.

Ce cours suivrait ce cours, qui aurait présenté la hauteur et la vitesse du son dans l'air. Ces connaissances sont utiles pour que les élèves puissent comprendre et expliquer un effet qu'ils ont déjà entendu, vécu... tous les jours ! On leur montrera alors comment est-ce qu'on l'utilise, quelle technologie on en sort.

On retrouvera la formule du décalage Doppler au travers d'une démarche expérimentale qui utilisera des notions d'

**Difficultés** Utilisation du décalage en fréquence ; mouvement relatif entre l'émetteur et le récepteur, illustré par des schémas.

Après ce cours, études de documents sur l'effet Doppler-Fizeau ; refaire un TP, utiliser le banc Doppler pour des mesures de vitesse.

### Objectifs

Connaître la formule du décalage Doppler et son domaine d'utilisation, et savoir l'appliquer.  
Avoir une démarche expérimentale.

## Introduction

Tous déjà entendu que lorsqu'une ambulance s'approche et s'éloigne, la hauteur du son qu'on entend est différentes.

Effet Doppler : phénomène selon lequel une onde émise (fréquence  $f_e$ ) sera reçue à une fréquence différente  $f_r$  lorsque émetteur et ambulance sont en mouvement relatif.

Projection

Histoire de l'effet DOPPLER, en 1842, expérience de BALLOT en 1845 puis FIZEAU en 1848.

Pourquoi le son est plus aigu lorsqu'elle se rapproche et grave lorsqu'elle s'éloigne ? Comment cela peut-il être exploité ?

### 30.1 Présentation de l'effet DOPPLER

Projection

Hachette TS, ambulance

La longueur d'onde reçue est plus faible lorsque l'ambulance s'approche du récepteur. Et vous connaissez le lien entre fréquence et longueur d'onde : cela amène à une fréquence plus grande donc un son plus haut, plus aigu.

$$f_r - f_e = \Delta f \quad (30.1)$$

On sent bien comment cela se passe avec les schémas : essayons de le reproduire avec l'expérience.

**Expérience** – Tapis roulant pour l'émetteur, récepteur fixe en face, relié à un système de traitement du signal permettant de remonter à la différence de fréquence : FRUCHART.

On trace alors la différence de fréquence en fonction de la vitesse de l'émetteur. On obtient une droite, donc la différence de fréquence est proportionnelle à la vitesse de l'émetteur.

$$\Delta f \propto v. \quad (30.2)$$

Faisons varier un autre paramètre : la fréquence émise, à une vitesse constante. En traçant cette courbe, on obtient à nouveau une droite :

$$\Delta f \propto f_e. \quad (30.3)$$

Donc finalement,

$$\Delta f = \text{Constante} \cdot f_e v. \quad (30.4)$$

Quelle est cette constante de proportionnalité ? Par analyse dimensionnelle : il s'agit de l'inverse d'une vitesse ! Mais laquelle ? Il faut regarder la pente de la droite à  $f_e$  connue, on trouve... [calculs, application numérique] :  $c = 353 \text{ ms}^{-1}$ . On retrouve : la vitesse du son ! Si l'expérience a été faite à  $20^\circ\text{C}$ , la valeur tabulée est de  $347.5 \text{ ms}^{-1}$ . On a un écart, mais on ne peut pas conclure car on a pas donné d'incertitudes !

Incertitudes sur la vitesse, sur la fréquence émise...

Finalement, la relation de décalage Doppler est

$$\Delta f = \frac{f_e v}{c}, \quad (30.5)$$

[Unités] où  $c$  est la célérité de l'onde considérée ! (valable pour les ondes lumineuses).

Comment utiliser cette différence de fréquence : mesures de vitesse.

## 30.2 Application : mesures de vitesse

### 30.2.1 Sur la route : le radar routier

La première chose à laquelle on peut penser : un radar routier, comment cela fonctionne-t-il ?

Les radars sonores utilisent les micro-ondes (ondes électromagnétiques). Le radar émet l'onde (il est l'émetteur, immobile) ; l'onde se réfléchit sur la voiture et revient sur le radar (il est aussi le récepteur).

L'onde devra faire le double du trajet, on a un facteur 2 qui apparaît dans la relation précédente. De plus, le radar n'est pas en face du véhicule ! mais décalé d'un angle  $\alpha$ .

Projection

Radar routier et angle  $\alpha$ .

$$\Delta f = \frac{2f_e v_v \cos \alpha}{c}, \quad (30.6)$$

ce qui permet de remonter à la vitesse de la voiture, connaissant l'angle et mesurant la différence de fréquence.

### 30.2.2 En médecine : l'échographie Doppler

Projection

Échographie DOPPLER.  
*cf.* document en ligne.

Cet examen médical permet de détecter des anomalies dans le système cardiovasculaire humain (anévrisme, artères encombrées...) En réalité, comment cela se passe ? Il y a deux types d'échographie DOPPLER : la continue ou la pulsée.

Projection

Échographie DOPPLER.  
*cf.* document en ligne.

La continue permet de mesurer une plus grande gamme de vitesses de son. (mesure de vitesse)

La seconde permet de s'intéresser plutôt à la profondeur à laquelle on sonde ! (mesure de profondeur)

L'effet DOPPLER est également utilisé en recherche, moins dans la vie de tous les jours mais en recherche.

### 30.2.3 En astrologie : effet DOPPLER-FIZEAU

Découvert en 1848.

Permet de remonter à la vitesse d'une étoile. Une étoile émet un spectre

Projection

Spectre étoile

En observant le spectre, on va pouvoir déterminer si l'étoile s'approche ou s'éloigne...  
 On va pouvoir montrer que :

(30.7)

(lien entre les longueurs d'onde... cf. notes de Bénédicte.)

## Conclusion

Projection
Slide conclusion

## Questions

Questions	Réponses
Domaine de fréquence de l'audible pour l'humain ?	Entre 20 Hz et 20 kHz
Et comment on sait la dangerosité d'un son ? Des ordres de grandeurs	Une salle de classe bruyante, au plus 70 dB ; seuil de risque : 85 dB, seuil de douleur est à 100 dB. Boîte de nuit, limite à 105 dB.
Comment vous faites varier expérimentalement la fréquence du GBF ? Quel domaine de variation ??	Problème, c'est que le matériau piézoélectrique agira comme un passe-bande si on n'en éloigne trop.
Sur les expériences : pourquoi 41 kHz sur le GBF ?	Résonnance du piézoélectrique.
En fait, pas si évident de faire varier la fréquence émise...	
Multiplier le signal suivi d'un passe bas, ça s'appelle ?	Détection synchrone.
Qu'est-ce qu'on peut dire lorsque la vitesse de l'émetteur est supérieure à la célérité de l'onde ?	Cône de MACH ? Les ondes ne peuvent s'y propager que là dedans du coup.
Quelle gamme de fréquence pour les ondes du radar routier ?	Dizaine de GHz, longueur d'onde autour du centim.
Gamme des ultrasons pour l'échographie ?	Jusqu'à 10 MHz ?
Comment on mesure l'angle $\theta$ pendant l'échographie DOPPLER ?	
Coupler l'échographie DOPPLER à l'échographie classique.	
Comment fonctionne l'échographie classique ?	Penser à parler d'adaptation d'impédance...

Quelle vitesse pour la célérité des ondes dans les tissus du corps humain	$1500 \text{ m s}^{-1}$ .
C'est quoi la vitesse radiale mesurée pour l'étoile ?	Vitesse de déplacement de l'étoile selon l'axe observateur-étoile. Faire attention avec ce terme, on en parle pas tellement en secondaire...
Quelle autre application pour l'effet Doppler pour les ondes lumineuses ?	Détection d'exoplanètes (pour des masses assez importante) et expansion de l'univers.

## Debrief

Sur l'introduction pédagogique : on peut insister dans l'intro péda qu'on refera un TP pour la mesure de vitesse, parce que c'est ce qui ressort le plus dans le programme. La chose qui a un peu manqué dans les difficultés, l'angle  $\alpha$  et son influence... surtout qu'on insiste bien au moment du radar routier.

Dans la définition de l'effet DOPPLER, l'onde est perçue à une fréquence différente ! Le terme est pas reçu... Lors de la présentation de l'effet, montrer sans aucun mouvement relatif, pour montrer qu'on observe pas l'effe. Sur l'historique de l'effet DOPPLER, parler peut-être de la première utilisation ! (ou au moment de l'échographie, contextualiser...)

Sur l'effet FIZEAU, il faut insister sur le fait que c'est encore une autre forme d'onde (ondes électromagnétiques, ondes sonores et maintenant ondes lumineuses...). Insister sur le fait l'effet DOPPLER est caractéristique des ondes. C'est une partie un peu bonus, pas sûr que ça passe dans la leçon le jour même (surtout en faisant l'expérience). Attention par ailleurs, on y utilise par la formule simplifiée du décalage DOPPLER...

Peut-être aller moins vite pour faire un peu moins de contenu, pour montrer ce qui est vraiment maîtriser et à maîtriser par les élèves !

## Leçon 31

# Phénomènes de polarisation en optique (supérieur)

# Leçon 32

## Viscosité (supérieur)

Leçon de physique

LP30 – Viscosité  
Expérience de la Maizena  
Présentée par Solène LEGRAND (Arthur LASBLEIZ), corrigé par Lauren ROSE  
Le 21/04/2020

### Ressources utilisées

— ,  
—

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau BCPST2

—

Juste après un cours sur la dynamique des fluides parfait, dans une séquence de mécanique des fluides (statique, dynamique parfait, dynamique réel). Les élèves sont familiers avec les notions de mécanique des fluides (descriptions, BERNOULLI). L'idée est d'ajouter la viscosité pour pouvoir décrire un fluide visqueux, le sang par exemple. L'équation de NAVIER-STOKES n'est pas au programme, on n'attend donc certainement pas des élèves qu'ils puissent calculer un champ de vitesse. On s'attachera donc aux applications et calculs autour...

Viscosimètre de U., chute d'une bille dans un fluide visqueux... mais cette dernière n'est pas étudiée ici.

Il est demandé que les élèves connaissent la résistance hydraulique...

**Difficultés** Comprendre l'importance de chaque hypothèse qui est faite.

En TP : loi de POISEUILLE, chute d'une bille...

En TD : calculs de débit, activité documentaire (sédimentation)...

### Introduction

Jusqu'ici, uniquement fluides parfaits...

## Projection

Vidéo de Christophe FINOT : perte après étranglement

La dynamique des fluides parfaits laisse penser que la pression est la même avant et après étranglement... ce qui n'est pas le cas ! On doit alors considérer la viscosité du fluide étudié.

Un fluide est dit visqueux s'il existe des forces de frottements internes.

## Objectifs

Comprendre l'influence de la viscosité sur un écoulement.  
Savoir mesurer la viscosité d'un fluide.

## 32.1 Viscosité d'un fluide

### 32.1.1 Forces de viscosité

Prendre en compte les forces internes du fluide... vitesse d'une particule de fluide dépend de celles des particules du dessus et du dessous. La vitesse n'est pas homogène. Écoulement entre deux parois, une fixe et une mobile, au dessus, qui se déplace avec une vitesse  $V$ .

On fait plusieurs hypothèses :

- fluide soumis uniquement à son poids, aux forces pressantes et à la viscosité ;
- RTSG ;
- pas d'échanges de travail avec la paroi (il ne pousse pas la paroi).

Le fluide adhère au paroi : on peut écrire les conditions aux limites  $v(y = H) = V$  et  $v(y = 0) = 0 \text{ m s}^{-1}$ .

[...] voir notes, pas assez de concentrations pour en prendre en direct.

Arriver au taux de déformation

$$((\text{point})) = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{dv}{dy} \quad (32.1)$$

| **Remarque** – Attention!!! À vérifier, où sont les infinitésimaux...

### 32.1.2 Étude de la viscosité dynamique

Interprétation par la diffusion de quantité de mouvement...

| **Expérience** – Viscosimètre du Ubbelohde.  
Mesure de la viscosité cinématique du glycérol.

## 32.2 Écoulement de POISEUILLE

Volonté : modélisation de la circulation sanguine.

## Projection

Schémas de principe de l'écoulement de POISEUILLE, 1844.

Études des symétries/invariances...

Pas au programme : on peut montrer qu'on a pour le profil de vitesse : ...

On peut alors calculer le débit volumique associé...

| **Expérience** – Vérifier que débit volumique proportionnel à  $r^4$ .

Projection

Retour sur le viscosimètre de Ubbelohde.

## Conclusion

## Questions

Questions	Réponses
Définir ce qu'est un fluide ?	Phase telle qu'elle s'adapte à la forme du volume qui la contient...
Quel est le nom de la première expérience ?	

## Debrief

## Leçon 33

# Phénomènes de transport (supérieur)

Voir fiches

# Leçon 34

## Transferts thermiques (supérieur) 2

Leçon de physique

LP21 – Transferts thermiques (supérieur)  
Profil thermique de l'atmosphère terrestre  
Présentée par F enril MONTORIER, corrigée par Lauren ROSE  
Le 23/04/2020

### Ressources utilisées

- 1001Q, GARING
- Tout-en-un PC/MP
- FRUCHART, Physique expérimentale
- Un BUP sur l'effet de serre *etc.* : BUP

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau L2 :

- Conduction, convection et rayonnement (notions de)
- Loi de WIEN et modèle du corps noir
- Loi d'OHM
- Résistance électrique
- Description microscopique de la température
- Premier principe de la thermodynamique

De nombreuses notions de physique nécessaires qui tiennent de la L1... Dans le secondaire, certaines notions auront déjà été abordées, mais seulement d'un point de vu descriptif : le cours du supérieur a pour objet de modéliser et mettre en équations ces notions. De plus, une démarche expérimentale pourrait permettre, dans l'idéal, d'ancrer dans le réel les phénomènes  etudi es.

Le choix est fait de mener les démonstrations en 1D puis de les généraliser en 3D.

**Difficultés** Aspects calculatoires : les bilans seront donc faits au tableau, étape par étape.

Nouvelles notions, flux et densité de courant... abstrait pour l'élève, donc faire des exemples et illustrer au mieux.

Élément imposé du profil thermique impose de traiter de la convection et du rayonnement particulièrement.

En TD : bilans et notions de résistances thermiques (isolation d'une maison) et modèle d'ailette de refroidissement...

TP : introduction à la diffusion de particule

Étude de document sur le ressenti des température au toucher...

## Introduction

Transferts thermiques : les modéliser thermiquement.

**Expérience** – Barre de cuivre chauffée à une extrémité, capteurs à intervalle régulier dans la barre...

Comprendre le profil de température qu'on va obtenir...

Projection

Déjà vus en terminale : les trois modes de transferts. Conduction, convection et rayonnement.

Objectifs

Comprendre et savoir modéliser les phénomènes de transferts thermiques.

Pourquoi on a un échauffement à l'autre bout de la barre ? C'est de la diffusion.

## 34.1 Diffusion thermique

### 34.1.1 Flux thermique

Projection

La conduction : phénomène de transport d'énergie de proche en proche sans déplacement macroscopique de matière.

Comment caractériser ce transport de proche en proche ? On introduit le vecteur densité de flux thermique : caractériser la quantité d'énergie qui traverse une surface  $S$  par unité de temps. On schématise une surface, ainsi que le vecteur.

$$\delta^3 Q = \vec{j} \vec{n} d^2 S_n dt \quad (34.1)$$

Le vecteur densité de flux thermique modélise donc une puissance ! Le flux thermique est alors la puissance :

$$\phi_{th} = \iint \vec{j} \vec{n} d^2 S \quad (34.2)$$

On a donc une puissance qui est transmise de proche en proche dans la barre... Mais quelle expression du vecteur densité de flux thermique ?

### 34.1.2 Loi de FOURIER

Érigée en 1822 :

$$\vec{j} = -\lambda \vec{\text{grad}} T \quad (34.3)$$

Bilan à une dimension, en utilisant le premier principe sur une tranche  $mathrmdx$  entre  $t$  et  $t + dt...$   
 Arriver à l'équation de conservation d'énergie dans la barre. Ajouter alors la loi de modération/la loi de FOURIER ! et retomber sur l'équation de diffusion. Définir le coefficient de diffusion... parler des unités...

### 34.1.3 Profil de température

| **Expérience** – Étude de la barre de cuivre en régime permanent.

Dérivée par rapport au temps est nulle.

Pourtant, si on attend encore plus longtemps, la température ne sera pas égale à la température attendue...

## 34.2 Rayonnement

### 34.2.1 Lois de WIEN et STEFAN

Modèle du corps noir...

### 34.2.2 Application : le profil thermique de l'atmosphère

## Conclusion

## Questions

### Questions

### Réponses

Est-ce que la notion de couche limite thermique vous parle ?

En donner une expression, par analyse dimensionnelle ?

Quelle différence entre la température et la chaleur ?

Quelle est la troisième loi du rayonnement ?

Hypothèse de validité de la loi de FOURIER ?

## Debrief

## Leçon 35

# Acquisition et traitement de données (supérieur) 2

# Leçon 36

## Mesures et contrôle (supérieur) 2

Leçon de physique

LP24 – Mesures et contrôle  
Métrologie de la corde de MELDE  
Présentée par F niril MONTORIER, corrig e par Samuel BOURY  
Le 05/04/2020

### Ressources utilis es

— ,  
—

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau L1 :

- PFD
- pendule simple
- signal analogique et numérique
- ondes stationnaires

Importante pour le physicien, dès le début de ses études ; c'est d'ailleurs pour cette raison que certaines notions qu'on verra ici sont déjà abord es dans le secondaire. Cependant, pour avoir un minimum de phénomènes à discuter, on placera cette leçon plutôt en milieu de première année : ici on s'appuie sur la corde de Melde.

Aller jusqu'à la longueur de la corde, mais on va voir quel intérêt à a de le faire de façon compliqu e plutôt que seulement en mesurant.

**Difficultés** Ne pas prendre pour acquis les valeurs mesur es : comprendre pourquoi on a besoin des incertitudes.

Suite du cours : TD sur le calcul d'incertitudes, les propagations... mais surtout des TP : mesures de la pesanteur, importance de la métrologie en physique...

## Introduction

Pour pouvoir étudier un phénomène, on va faire des mesures sur le système qui le subit. Par exemple, mesure de la température : l'instrument utilisé est un thermomètre...

Ici, on va s'intéresser à une corde, en voulant connaître la longueur de la corde sans la

### 36.1 Du mesurande au signal

Qu'est-ce qu'un mesurande ? c'est une grandeur physique, objet de la mesure.

La mesure, c'est l'ensemble des opérations expérimentales permettant l'attribution d'une mesure au mesurande.

Voyons sur un système... la corde de MELDE

Projection

La corde de MELDE.

Objectifs

Comprendre de principe d'une mesure et la nécessité du contrôle de sa validité.

### 36.2 Mesure de la longueur de la corde

| **Expérience** – Mesure avec une règle

| **Expérience** – Mesure avec les ondes stationnaires : faire une mesure de fréquence puis relier à la longueur de la corde.

Faire plusieurs mesures avec plusieurs ventres (ordres supérieurs) ; et faire une régression linéaire.

### 36.3 Contrôle de la mesure

#### 36.3.1 Erreur et incertitude

#### 36.3.2 Incertitudes de type A

#### 36.3.3 Incertitudes de type B

## Conclusion

## Questions

Questions

D'où sort les 95% de l'élargissement des incertitudes ?

Réponses

Vient de la distribution gaussienne...

L'écart-type, d'un point de vue mathématique, ça sort d'où ?

L'éclatement des valeurs...

On peut parler des moments de distribution, l'écart type/la variance ça vient de là. L'espérance ça vient du moment d'ordre 1 ; la variance c'est un moment d'ordre 2... si on regarde les moments d'ordre supérieur, 3 ou 4 : en fait ces deux là sont utiles en traitement de données. Typiquement le moment d'ordre 3 est un coefficient d'asymétrie, ça donne une idée de la symétrie de la répartition... le moment d'ordre 4, ça donne un coefficient d'aplatissement d'une courbe.

Comment marche un LC-mètre ?

Générateur de courant, en fonction de la résistance, on mesure une tension... En fait c'est un RLC-1. (mesure une fréquence de résonance).

D'où vient l'erreur systématique ?

Souvent du matériel, parfois peut venir de quelque chose de plus problématique : un phénomène physique ; en fait c'est pas une erreur. Exemple type, une cavité dont on cherche les fréquences de résonance ; on peut avoir un décalage entre mesure et théorie, en fait, du à un *detuning*, c'est un phénomène physique.

## Debrief

C'est une leçon où on passe du tableau aux mesures et inversement très souvent ; il faut insister sur l'expérience et le traitement de données sur ordinateur... en le discutant.

Quelque chose qui peut être pas mal : faire un tableau de « budget » des incertitudes. Un tableau où chaque ligne correspond à un élément du dispositif, valeur mesurée, incertitude, type A et type B... pour recenser toutes les sources. (se fait éventuellement avec GUM?)

Remarque : erreur systématique sur la mesure de la longueur avec la règle, le matériau se dilate.

Pour parler capteurs et corde de MELDE, plutôt que d'utiliser un stroboscope, la récupérer à l'oscillo avec un laser qui passe à travers la corde qui vibre et arrive sur une photorésistance ! On prend alors sa tension sur l'oscillo...

Attention, quand on fait des régressions linéaires, on fait gaffe au coefficient de corrélation...

À la fin de la leçon, ça peut être bien, sur les deux mesures de la corde, de faire un graphique très simple avec les barres d'erreurs.

Autres manipulations possibles : diapason, mesure de la fréquence avec deux diapasons...

Autre chose sur de la mesure de longueur : distance par rapport à un obstacle, télémétrie acoustique. Émetteur et récepteur ultrason...

Toujours faire des mesures, ne jamais se fier directement à ce qui est marqué sur les composants électrique...

## Leçon 37

# Interactions lumière–matière (secondaire) 2

Leçon de physique

LP15 – Interactions lumière–matière  
Pression de radiation

Présentée par Manon LECONTE (Joachim GALIANA), corrigée par S. BOURY  
Le 07/05/2020

### Ressources utilisées

- TAILLET
- Hachette TS, collection DULAURANS
- Microméga TS
- Site web « tout est quantique »
- Site Web TP Détermination du pas du sillon d'un CD/DVD par interférences à ondes multiples
- Site Web Pression de radiation, application aux voiles solaires

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau TS :

- Niveaux d'énergie de l'atome [1<sup>re</sup> ]
- Spectroscopie UV-visible
- Interaction lumière-matière (émission spontanée absorption, spectres)
- Sources de lumière
- Notions de puissance et de pression
- Spectroscopie IR
- Interférences
- Relation entre célérité, longueur d'onde et fréquence
- Dualité onde-corpuscule (longueur d'onde de DE BROGLIE)
- Conservation de la quantité de mouvement
- Incertitudes et chiffres significatifs

Leçon Interactions lumière-matière au niveau terminale S dans l'enseignement spécifique

## Projection

### Bulletin officiel

Plan en deux parties par rapport à ce programme : d'abord décrire les transferts quantiques d'énergie et faire le lien avec les spectres. Ensuite, présentation du LASER qui est au programme, pour lequel on fait appel aux connaissances de la première partie et des pré-requis.

La définition de la lumière est ici élargie au proche infrarouge et au proche UV-Vis pour expliquer les transferts élec. et vibratoires.

En terme de séquence pédagogique

L'élément imposé n'est pas explicitement au programme mais peut servir d'exemple d'application puisqu'on illustre les notions de quantité de mouvement et sa conservation mais aussi la dualité onde-particule. On y reviendra à deux fois dans le leçon, notamment avec une application sur le LASER (refroidissement).

La dernière partie ira vers le stockage optique, avec une expérience qu'on mènera devant les élèves.

**Difficultés** L'émission stimulée n'est pas évidente.

La pression radiative : une particule sans masse peut posséder une quantité de mouvement et donc une force... Faire attention à ne pas confondre avec la définition de la quantité de mouvement en mécanique.

Exercices sur la télémétrie mais aussi analyse documentaire sur des effets quantiques (photoélectrique)

TP sur la télémétrie, un autre moyen d'investigation ; ou encore, expérience de transmission d'informations, avec codage en bit par le laser.

## Introduction

La vision classique de la physique est insuffisante pour décrire les lasers ou la spectroscopie. On va ici décrire par des notions de physique quantique les interactions entre lumière et matière, qui sont de trois types.

### Objectifs

Connaître les trois types de transferts quantiques d'énergie ; comprendre le fonctionnement d'un laser.

La première partie de ce cours traite explicitement de l'interaction entre un rayonnement et la matière.

## 37.1 Interactions entre un rayonnement et de la matière

### 37.1.1 Le photon, une particule quantique

Particule que l'on a déjà entrevue dans le cours précédent.

### Projection

1900, PLANCK, l'énergie de la lumière est quantifiée  
1905, EINSTEIN, postule l'existence de grains d'énergie  
1926, LEWIS popularise le terme de photon

Un photon est une particule non chargée de masse nulle associée au rayonnement électromagnétique. L'énergie d'un photon est donnée par :

$$E = h\nu \quad (37.1)$$

On donne les unités...

Ce photon peut interagir avec la matière et provoquer ce qu'on appelle des transferts quantiques d'énergie (TQE).

### 37.1.2 Transferts quantiques d'énergie

Les atomes et les molécules possèdent des niveaux d'énergie quantifiés ; et vous connaissez *a priori* les transferts que peuvent faire les photons (absorption et émission spontanée).

#### Projection

Absorption d'un photon  
Émission spontanée d'un photon  
Émission stimulée d'un photon, postulé par EINSTEIN

L'émission stimulée est une désexcitation radiative d'un système d'un état d'énergie  $E_2$  vers un état d'énergie  $E_1 < E_2$  sous l'effet d'un photon incident.

La particularité de ce TQE, c'est que le photon incident et le photon émis ont les mêmes caractéristiques : même énergie, même quantité de mouvement (même direction, même sens), même phase.

**Remarque** – Nais on parle de quantité de mouvement... pour une particule de masse nulle ? On y reviendra !

#### Projection

Niveaux énergétiques électroniques et vibratoires ; représentation de la molécule d'eau et ses deux elongations, sa déformation.

On voit en fait que les transitions entre les niveaux d'énergie électroniques sont grandes par rapport aux transitions vibratoires.

#### Projection

Spectre du visible et proches IR / UV, transitions électroniques et transitions vibratoires.

Ces transitions sont utilisées en spectroscopie UV+Vis et IR.

### 37.1.3 Pression de radiation

Il n'est pas demandé de connaître avec précision cette partie, mais il s'agit d'une belle façon de réinvestir ce que vous connaissez à l'issue de la terminale S !

La pression de radiation est la pression exercée par une onde électromagnétique sur une surface due au fait que les photons transportent de la quantité de mouvement.

Bien qu'ils n'aient pas de masse, on peut donner, à l'aide de la relation de DE BROGLIE, la quantité de mouvement du photon.

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c} = \frac{E}{c}. \quad (37.2)$$

## Projection

Pression de radiation : lumière incidente sur la surface

On étudie le système photon + surface pour un impact. Il est isolé, la quantité de mouvement du système est donc conservée.

À l'état initial, la quantité de mouvement du système est celle du photon seulement (la surface étant fixe) et décrite ci-avant.

En revanche, lors de l'impact, le photon est absorbé.

$$\vec{p}_{\text{surface}} = \frac{E}{c} \vec{e}_x. \quad (37.3)$$

Le photon induit une force sur la surface, par variation de sa quantité de mouvement.

Si on considère tous les photons de la lumière incident, on peut écrire que cette force est proportionnelle au nombre d'impact et à la surface. Il s'agit donc d'une force pressante, et la pression associée, appelée pression de radiation, est :

$$p_{\text{radiation}} = \frac{\|\vec{F}_{\text{rad}}\|}{S}. \quad (37.4)$$

Ce phénomène permet d'expliquer les queues de comètes mais aussi un exemple d'utilisation du LASER... que l'on étudie maintenant.

## 37.2 Le laser

LASER, c'est un sigle!

### Projection

Amplification de la lumière par émission stimulée d'un rayonnement.

On peut le définir comme un dispositif optique émettant de la lumière très cohérente grâce au processus d'émission stimulée. Intéressons-nous au fonctionnement du laser

### 37.2.1 Fonctionnement du laser

Il s'agit d'une cavité possédant deux miroirs à ses extrémités. Les étapes sont les suivantes :

1. pompage optique : les atomes absorbent les photons qu'on apporte par apport d'énergie, au niveau excité  $E_1 \rightarrow E_3$
2. émission spontanée de  $E_3 \rightarrow E_2$  : on parle d'inversion de population, l'émission spontanée étant plus rapide.
3. désexcitation par émission stimulée

### Projection

Vidéo sur le laser.

Un laser possède alors une lumière très cohérente car tous les photons sont en phase. Cela est dû au fait que la cavité possède une longueur :

$$L = n\lambda \quad (37.5)$$

pour éviter leur interférence. La lumière est monochromatique et est aussi très directive : grâce à l'émission stimulée. Aussi, la concentration spatiale du rayonnement est très élevée.

Finalement, le rayonnement pourra enfin sortir car l'un des deux miroirs est semi-transparent, ce qui permet de garder les propriétés observées.

### 37.2.2 Refroidissement d'atomes par laser

Un application recherche, qui utilise la notion de pression de radiation.

Projection

Refroidissement d'atomes par laser

On sait que la lumière, par les photons, exercent une pression sur les surfaces. Cette surface, ça peut être celle d'un atome, que l'on considère ayant une vitesse  $\vec{v} = -v\vec{e}_x$ , et celle du photon est comme décrite ci-avant. Si on fait un bilan de quantité de mouvement sur le système isolé constitué du photon et de l'atome : ...

$$\vec{p}_{\text{atome}} = \left( \frac{E}{c} - mv \right) \vec{e}_x \quad (37.6)$$

À l'état final, on ne considère plus que la quantité de mouvement de l'atome : l'atome a été ralenti. Ensuite, l'atome se désexcite par émission spontanée puisque le photon émis le sera dans une direction aléatoire (en moyenne, la vitesse diminue donc).

La température est reliée à l'agitation thermique donc au mouvement des particules ! Donc, si l'on ralentit un atome, on le refroidit... On peut atteindre alors des systèmes avec des températures de l'ordre de quelques  $\mu\text{K}$ .

En pratique, l'atome n'a pas une vitesse unidirectionnelle ; si l'on veut le ralentir dans toutes les directions, on doit donc placer 6 lasers pour empêcher le mouvement dans toutes les directions et tous les sens.

Le laser peut aussi s'utiliser dans un champ plus quotidien, comme outil d'investigation.

### 37.2.3 Utilisation d'un laser comme outil d'investigation

Quelle est la distance entre deux sillons d'un DVD ou d'un CD ?

Un DVD est constitué d'une piste creuse, en spirale : un sillon.

Projection

Sillon d'un CD/DVD

Projection

Dispositif expérimental

Le DVD agit comme une fente d'YOUNG et joue aussi le rôle de miroir.

On observe deux franges d'interférences : la distance entre les deux permet de remonter à la distance entre les sillons. On peut appliquer la formule des réseaux pour

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{a} \quad (37.7)$$

Ensuite, on peut appliquer les formules de trigonométrie pour obtenir l'expression du  $\sin \theta$ .

On arrive donc au résultat :

$$a = \frac{\lambda}{\sin \theta} = \frac{2\lambda}{x} \sqrt{d^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2} \quad (37.8)$$

Application numérique ; sources d'incertitudes (longueur d'onde du laser, négligée ; mesure de la distance sur la feuille ; distance  $d$ ) et propagation. On note que finalement  $a = 1.6 \mu\text{m}$ .

| **Remarque** – On pourrait, si on fait l'expérience, propager les incertitudes.

On pourrait également faire la mesure sur un CD et non pas un DVD : dans un DVD, elle est plus petite, on peut y mettre plus d'informations! c'est l'objet du prochain chapitre.

## Conclusion

Projection

Slide bilan : Interactions lumière-matière par TQE ou pression de radiation.

Projection

Slide bilan : Laser : fonctionnement repose sur TQE émission stimulée, donnant ses propriétés particulières ; utilisation par pression de radiation...

Par la suite, on pourra comprendre comment sur un CD ou un DVD, on peut stocker de l'information... (longueur de la piste.)

## Questions

Questions	Réponses
Pourquoi 6 Laser ?	
Pourquoi présenter cette application, quel intérêt pédagogique ?	
Est-ce que la première sous-partie est vraiment dans le thème de la leçon ?	
Pourquoi en parler avant de parler du CD ?	
Pourquoi parler de l'IR ?	
Quand tu as présenté le photon ; à part sur le photon, qu'ont fait ces scientifiques ?	PLANCK « résoud » le problème de la catastrophe ultraviolette prévue par RAYLEIGH ; EINSTEIN, relativités restreinte et générale, effet photoélectrique ; LEWIS modèle de la liaison covalente et modèle de LEWIS.
Transferts d'énergie au travers de trois mécanismes ; l'absorption, est-ce que c'est utilisé, est-ce qu'il y a une loi qui s'y rattache ?	La loi de BEER-LAMBERT pour relier l'absorbance à la concentration d'un soluté en solution
Émission spontanée ; est-ce que la désexcitation a toujours la même probabilité de se faire ou est-ce qu'il y a une durée à partir de laquelle c'est plus probable ?	Coefficient d'EINSTEIN ? Règle d'or de FERMI ? Réponse : temps de demie vie, décroissance exponentielle.

Sur la partie émission, deux lois qui donnent le comportement haute et basse fréquence ?	Négligeable à haute fréquence (WIEN et prédomine à BF (RAYLEIGH-JEANS lien avec corps noir...))
Domaine du visible ?	
Est-ce que la pression radiative est différente ou non d'une vraie pression physique ?	Force appliquée sur une surface, donc non ? S'exprime aussi en Pascal... la seule différence par rapport à la pression cinétique est que les photons sont absorbés (et éventuellement réémis).
D'où vient la quantité de mouvement du photon ?	Vient de la relativité : on a des quadrivecteurs ! La masse est nulle mais on a quand même une impulsion car la norme du quadrivecteur est non nulle.
Est-ce qu'il y a une ou d'autres applications de la pression de radiation ?	Voiles solaires ou queues des comètes ; pinces optiques...
Ça a été inventé quand le LASER ?	Le premier laser était un laser à Rubis (milieu du XXme siècle, en 1961).
Et avant le LASER ?	Il y avait le MASER mais avec des ondes micro-ondes, MASER à ammoniacque...
Quand le laser est décrit, dans quoi est fait le pompage ?	C'est dans la cavité...
D'un point de vue optique, il y a un truc particulier ?	C'est un matériau non linéaire, qui sert d'amplificateur (le pompage se fait dans ce matériau).
Un autre exemple de cavité optique qui fonctionne un peu sur le même principe ?	FABRY-PERRO (laser = ça + milieu amplificateur).
Pourquoi trois niveaux dans le fonctionnement du laser ?	En fait bien plus que ça, mais l'idée c'est d'exciter plus que celui où les atomes s'accumulent...
On peut montrer qu'avec deux niveaux, le laser ne marche pas.	
Le photon est « beaucoup plus petit que l'atome »... quelle est la taille du photon ?	Photon considéré comme une particule fondamentale, au même titre que les phonons <i>etc.</i> par contre, pour définir la taille... on ne peut pas, c'est ponctuel (c'est un modèle) et c'est plus ou moins localisé par la fonction d'onde.
Sur les laser, quelles longueurs d'onde usuelles ?	Le rouge en général autour de 630 nm ; aussi laser vert vers 532 nm et enfin vers le proche UV/bleu 365 nm et 440 nm.
Parler des classes de laser ?	Dangerosité de plus en plus grande en fonction de la classe qui augmente.
Entre le rouge et le vert, lequel est le plus dangereux ?	Généralement les rouges sont moins dangereux que les verts qui le sont moins que les bleus ?

Quel lien entre les classes et la physique ?	Normes et puissances... mais en fait c'est pas tellement physique. Basé sur l'humain et sur la perception que nous on a des LASER. Temps avant de dégrader comparé au temps de réaction qu'on a par rapport au LASER.
Une des applications des classes élevées ?	Découpe LASER...
Autre chose analogue aux sillons des DVD/CD ?	Réseaux.
C'est quoi la différence entre CD et DVD ?	Plus de mémoire sur le DVD.

## Debrief

Beaucoup de choses dans la leçon, est-ce que ça peut être reproché ? Pas vraiment, c'est même bien de ramener aux élèves ce qu'ils ont vu avant. Par ailleurs, l'élément imposé est très bien intégré mais la leçon se tiendrait très bien sans.

Question de Manon : en préparant la leçon, dans le programme, ils disent que le laser est un oscillateur optique. Réponse : c'est un oscillateur (par le fait qu'on aie les deux miroires dans la cavité, l'onde oscille entre les deux).

## Leçon 38

# Oscillations (supérieur) 2

## Leçon 39

# Phénomènes de polarisation optique (supérieur) 2

Leçon de physique

LP33 – Phénomènes de polarisation optique (supérieur) 02

Angle de BREWSTER

Présentée par Estelle MEYER (Max ROOSE), corrigée par H PIOT-DURAND

Le 12/05/2020

### Ressources utilisées

- HOUARD
- HECHT
- SEXTANT
- FRUCHART

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau L1 :

- Ondes électromagnétiques
- Molécules chirales, excès énantiomérique
- Indice optique
- Loi de SNELL-DESCARTES

Thème des ondes électromagnétiques, juste après un cours sur la structure des ondes électromagnétiques. Permet de placer les bases importantes de la polarisation et faire le lien avec le cours de chimie.

Pré-requis à présenter.

Choix de travailler avec un LASER : veiller à respecter les règles de sécurité, mais au moins on se soustrait aux problèmes autres.

**Difficultés** Notion de polarisation abstraite dans un premier temps, on s'appuiera au mieux sur des schémas.

Angle de BREWSTER, ici une approche avec les mains.

En TP : utilisation de la loi de BIOT, en TP : étude documentaire sur des applications de la polarisation optique (écrans LCD et verre polarisant).

## Introduction

| **Expérience** – Filtre polarisant ou verre polarisé

Comment ça fonctionne ?

### Objectifs

Comprendre le phénomène de polarisation de la lumière et comment on peut l'utiliser (dans la vie de tous les jours ou) pour la mesure de concentration.

## 39.1 D'une lumière non polarisée à la polarisation rectiligne

### 39.1.1 Description

La lumière est une onde électromagnétique composée d'un champ magnétique  $B$  et d'un champ électrique  $E$ , qui se propage selon un vecteur d'onde  $\vec{k}$

#### Projection

Propagation d'une onde électromagnétique

Ces trois vecteurs forment un trièdre direct.

Concernant les lumières que l'on connaît, par exemple la lumière du soleil ou celle de la salle... ces lumières ont-elles une polarisation ?

La lumière naturelle, ou non polarisée, a un champ  $E$  de direction aléatoire au cours du temps.

La polarisation est alors définie comme la direction du champ électrique  $E$  au cours du temps. On définit par la même le plan de polarisation, qui contient le champ  $E$  et le vecteur d'onde  $\vec{k}$ .

Il existe plusieurs types de polarisation :

— polarisation rectiligne

#### Projection

Polarisation rectiligne, avec un angle  $\alpha$ .

— polarisation elliptique : en fait la plus générale !

#### Projection

Polarisation elliptique

— polarisation circulaire : cas particulier de la polarisation elliptique :

#### Projection

Polarisation circulaire, droite et gauche, en fonction du sens de rotation.

### 39.1.2 Obtenir une lumière polarisée rectilignement

Matériau dichroïque : matériau qui atténue la composante du champ dans une direction, la lumière de sortie est donc polarisée. Par exemple : polariseur !

Projection
Polariseur

Mais comment savoir, à l'œil nu on ne peut pas savoir si la lumière est effectivement polarisée.

| **Expérience** – Polariseur et analyseur.

On va donc mettre un second polariseur, appelé analyseur, permettant d'analyser la lumière polarisée.

Définition de polariseur : dispositif capable de polariser rectilignement la lumière.

Il existe cependant d'autres façons de polariser la lumière, par exemple la polarisation par réflexion vitreuse :

Projection
Polarisation par réflexion vitreuse, angle de BREWSTER. (HECHT.)

| **Remarque** – À revoir...

À cet angle...

Une autre propriété On peut alors utiliser les lois de SNELL-Descartes.

Application : si on regarde une flaque d'eau (1.33), air (1).  $i = \arctg...$

Angle de  $53.4^\circ$  pour qu'on ait une lumière polarisée en réflexion.

Historiquement, c'était la façon qu'on avait pour obtenir une lumière polarisée (lames de Brewster).

### 39.1.3 Intensité lumineuse d'une lumière polarisée : loi de MALUS

L'intensité s'exprime comme étant proportionnelle à l'éclairement au carré.

Projection
Animation Univ-Lemans.

La loi de MALUS est :

$$I = I_0 \cos^2 \alpha. \quad (39.1)$$

## 39.2 Application à la mesure d'une concentration

Étude de substances chirales.

### 39.2.1 Vers la loi de BIOT

Projection

Montage expérimental.

**Remarque** – Pourquoi la substance chirale peut faire varier le plan de polarisation ? En fait, onde polarisée rectilignement peut être décomposée comme la somme de deux polarisations circulaires (une droite et une gauche).

Projection

Évolution des champ E gauche et droit dans un milieu biréfringent.

### 39.2.2 Dosage par étalonnage

**Remarque** – Peut aussi être utilisée pour déterminer un excès énantiomérique.

## Conclusion

Projection

Bilan.

Ouverture : écran LCD, verres polarisants...

## Questions

### Questions

### Réponses

Lasers : comment fonctionne un laser ?

Émission stimulée et inversion de population (trois états, au moins).

Est-ce que un Laser peut être polarisé

Pas forcément.

Donc faire attention à si le laser est polarisé... en réalité, souvent mieux d'avoir une lampe QI, qu'on polarise en suite.

Ça veut dire quoi un laser de classe I ?

Si le laser arrive dans les yeux, le réflexe humain est suffisant pour qu'on s'éloigne du faisceau. (apparemment, classe I par dangereux du tout, classe II, on a encore le réflexe de s'en éloigner.)

Un laser de précaution 1, il faut donc faire attention à tout ?	Pas nécessairement, mais c'est toujours mieux d'être le plus sécuritaire possible avec les élèves.
Polarisation, tu es dit que c'était l'étude de la polarisation du champ électrique ? Donc c'est juste une invention humaine ?	En fait, c'est l'orientation du champ.
Est-ce qu'il y aurait un intérêt pédagogique de parler de l'angle de BREWSTER à des élèves en L1 ?	
Définition de l'éclairement ?	
Définition de l'intensité lumineuse	Constante fois l'éclairement au carré.
Domaine dans la vie de tous les jours ou dans les domaines de recherche où la polarisation joue un rôle ? Est-ce qu'il existe des ondes polarisées ailleurs qu'en optique ?	Oui, ondes sismiques par exemple.
Qui a commencé à l'étudier et quand ?	1800 et quelques, MALUS.
Est-ce qu'on peut expliquer la couleur du ciel avec la polarisation ?	Diffusion RAYLEIGH.
Exemples de lumière polarisée que l'élève peut rencontrer dans la vie de tous les jours ?	Écrans LCD.
Est-ce qu'il pourrait lui-même faire des expériences chez lui ?	Lunettes de ski, permettent de couper la réflexion de la lumière sur la neige, ou verres polarisés en général...
Différence entre un analyseur et un polariseur	Utilisation seulement, c'est le même objet.
Est-ce que l'efficacité d'un polariseur dépend de la longueur d'onde de la lumière ?	Oui, ça en dépend (voir la loi de BIOT). Dépend de la longueur d'onde oui.
Si on parle de lame d'onde, demi et quart d'onde, ça vous dit quelque chose ?	Demi onde inverse, quart d'onde change entre rectiligne et circulaire.
Quand vous avez présenté les différents types de polarisation, pourquoi le faire dans cet ordre ?	On pourrait présenter l'elliptique en premier puis dire que les autres sont des cas particuliers.
Quand vous avez fait l'expérience sur la loi de BIOT, pourquoi faire des moins concentrées vers les plus concentrées pour le tracé de la droite d'étalonnage ?	En cas de mauvais rinçage ? Ou j'ai mal compris la question ?
Rappeler les unités utilisées pour la loi de BIOT ?	degré, $\Sigma nL/g/dm$ .

Expliquer un peu plus ce qui fait que les insectes peuvent voir la polarisation ?	Voir HOUARD ?
En fait avant les marins utilisaient les mêmes techniques, pour avoir une façon de s'orienter en fonction de la polarisation de la lumière ?	Une bonne partie de l'année où le soleil passe vite en dessous de l'horizon ; avec un cristal de spath, on peut quand même repérer la direction du soleil, car c'est pas elle qu'on a directement mais sa réflexion, elle est donc polarisée.
Connaissez-vous d'autres types de polariseur que celui fait de polymères ?	Grille métallique.
On utilise encore les lames de BREWSTER pour polariser la lumière ?	
Quelle est la définition d'un milieu diélectrique ?	Milieu isolant. Charges non séparées, mais qui se déplacent sous l'effet d'un champ (se polarisent).
Est-ce qu'une lumière peut être polarisée d'une seule façon ? (??)	(??)
Est-ce qu'une polarisation est forcément totale ?	Non, elle peut être partielle (quand on est pas à l'angle de BREWSTER par exemple).
Est-ce que vous sauriez donner un protocole pour déterminer la polarisation ou non d'une lumière inconnue ? Question très difficile	
Faire l'expérience de pensée pour une polarisation rectiligne et polariseurs croisés	
Et si ce n'est pas rectiligne ?	Minimum d'intensité mais pas extinction totale, on sait donc si rectiligne ou non
Et ensuite ?	Utilisation de lame quart et demi onde... voir SEXTANT.
Pourquoi avoir besoin de mettre un filtre anti-calorique après la QI et pas après un laser ?	
Pédagogiquement, quel est l'intérêt de montrer ce type de spirale dans le cas de la polarisation elliptique ?	
Qu'est-ce que c'est qu'un axe rapide et un axe lent ?	Lié à l'indice optique de l'axe. Lumière n'a pas la même vitesse selon la direction dans la lame.

## Debrief

Leçon à vraiment placer en L2 si possible

## Leçon 40

# Mouvements, interactions et notion de champ (secondaire) 02

Leçon de physique

LP16 – Mouvements, interactions et notion de champ (secondaire) 02  
Tube cathodique  
Présentée par Max ROOSE (Estelle MEYER), corrigée par J. ROLLAND  
Le 12/05/2020

### Ressources utilisées

- TAILLET
- Hachette 2012, TS
- Microméga 2012, TS
- Hachette 2019, 1<sup>re</sup> nouveau programme
- Hachette 2019, seconde

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau Terminale S :

- Notion de force, référentiel, position, vitesse, quantité de mouvement
- Interaction gravitationnelle, poids
- Principe des actions réciproques
- Principe fondamental de la dynamique

**Difficultés** Définition du système et transposition mathématique des énoncés.

Mathématiques : intégration et dérivation...

Projection

Bulletin officiel

Choix pédagogique : s'inscrit dans le thème *Comprendre*. En seconde, mécanique abordée de manière qualitative, puis en première ; le tout réexploiter en terminale avec outils et raisonnements systématiques.

Pré-requis seraient réévalués à l'aide de QCM notamment, éventuellement d'exercices croissants en difficultés (surtout pour les mathématiques, en fait).

Le cours se situe après un cours qui décrit les mouvements (vecteurs position, vitesse, accélération, rectiligne, circulaire).

Méthodologie abordée sur un cas simple : la chute libre ; cas plus compliqués notamment avec tirs paraboliques abordés en exercice. Deux types d'étude au programme : dans un champ uniforme gravitationnel ou électrostatique. Premier cas plus proche des élèves, plus facile de s'y rattacher, donc abordé en premier avant d'aborder le second.

## Introduction

Interaction : phénomène qui traduit le fait que la présence d'un système entraîne la déformation d'un autre système.

Il existe quatre interactions fondamentales.

Projection

Faible, forte, gravitationnelle, électrostatique.

[Décrire rapidement les différentes interactions, leurs domaines, en insistant particulièrement sur les deux dernières.]

On associe alors à deux systèmes en interaction la notion de mouvement : dans un référentiel donné. Aujourd'hui, on expliquera pourquoi le mouvement d'un objet en chute est tel qu'on l'observe.

Objectifs

Comprendre la notion de champ et saisir les analogies et différences entre le champ gravitationnel et électrostatique.

Faire le lien entre les notions d'interaction et de mouvement.

## 40.1 Outils de la mécanique classique

### 40.1.1 Notion de champ

Projection

Champ scalaire (de température), champ vectoriel (vitesse, du vent ici).

Champ gravitationnel.

Projection

Hachett 2019, Seconde et première p. 172 et 180.

Application numérique, calcul du champ à la surface de la terre...  $9.77 \text{ N kg}^{-1}$  ; on parle aussi d'accélération de la pesanteur...

Champ électrostatique.

Projection

*idem*

### 40.1.2 Lois fondamentales de la mécanique classique

Ces lois requiert quelques hypothèses : cadre de la mécanique classique, vitesse « faibles » et on considère les référentiels galiléen.

Projection

Les lois... voir Hachette 2012 Tle p. 140-141.

**Principe d'inertie** système isolé ou pseudo-isolé : mouvement rectiligne uniforme.

**Principe fontamental de la dynamique** avec masse constante :

**Principe des actions réciproques**

| **Remarque** – C'est quoi une action ?

## 40.2 Étude du mouvement dans un champ gravitationnel uniforme

### 40.2.1 Méthode d'étude du mouvement

Projection

Référentiel, système, bilan des forces, PFD, intégration, homogénéité.

### 40.2.2 Chute libre d'une balle

Projection

Hachette, 2012, Tle, p. 172.

## 40.3 Étude du mouvement dans un champ électrostatique uniforme

### 40.3.1 Mise en situation : le tube cathodique

Projection

Hachette 2012, Tle, p. 172.

### 40.3.2 Mouvement d'une particule chargée : bilan de forces

### 40.3.3 Mouvement d'une particule chargée : équation du mouvement et de la trajectoire.

## Conclusion

Projection
Bilan...

## Questions

Questions	Réponses
Cohésion des noyaux : est-ce que vous pouvez en dire plus, les ordres de grandeurs, tailles caractéristiques... ?	
Interaction faible, réactivité beta... quels différents types de réactivité existent et comment on les caractérise, note ?	Réactivité alpha (noyau d'hélium), beta (moins, neutron qui se désintègre entre un proton, un électron et un neutrino ??), gamma (rayonnement, donc photon). Dépend de la particule émise ou du rayonnement émis.
Champ scalaire et vectoriel : qu'est-ce que c'est qu'un scalaire, un vecteur, aux étudiants ?	
Est-ce qu'il n'y a pas plus général que l'interaction électrostatique ?	Interaction électromagnétique ?
Dans quel cas on utiliserait le champ gravitationnel ; l'accélération de la pesanteur ?	
Constante de COULOMB alternative de celle-ci ?	$\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$
Champ E uniforme entre un condensateur... comment on fait pour passer du champ E électrostatique qu'on a entre deux charges à celui d'un condensateur ?	Champ créé par une surface chargée...
Faire le lien entre le champ électrique, le potentiel, la tension ?	
Quel type de TP pour illustrer le principe d'inertie ?	Table à coussin d'air...
Parachutisme : c'est pertinent de le décrire comme une chute libre ?	

## Debrief

# Leçon 41

## Irréversibilité (supérieur) 02

Leçon de physique

LP32 – Irréversibilité 02

Frottements

Présentée par Arthur LASBLEIZ (Solène LEGRAND), corrigée par J. ROLLAND

Le 14/05/2020

| **Remarque** – Non passée en conditions normales, seulement discutée.

### Ressources utilisées

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau XX :

Donner une définition claire de ce qu'est l'irréversibilité, c'est pas évident...

Une leçon qui aurait été un peu compliquée à tenir en 40 min

### Introduction

#### Difficultés

Objectifs

### 41.1 Principe d'évolution

#### 41.1.1 Mise en évidence

Mise en évidence expérimentale, en montrant que le premier principe ne suffit pas.

Définir l'entropie, en parler dans la culture...

### 41.1.2 Second principe

Caractéristiques de l'entropie... puis énoncé du second principe.

### 41.1.3 Identités thermodynamiques

## 41.2 Exemples d'application

### 41.2.1 Forces de frottement

Conclure sur le fait que les frottements sont une source d'irréversibilité.

### 41.2.2 Compression d'un gaz parfait

Conclure qu'on tend vers une transformation réversible. (masse faible)

### 41.2.3 Chauffage par effet JOULE

## Conclusion

## Questions

Questions	Réponses
Décrire l'expérience pour l'effet JOULE	
Sur l'expérience, comment on détermine I et R avec suffisamment de précision ?	Ohmètre pour R, ampèremètre pour I ?
R sera grande ou petite ? Quel problème peut arriver ?	Si R est trop petite : ohmètre au borne d'une petite résistance, parasite par les fils... donc en être conscient au moins.

## Debrief

- faire l'application numérique sur le mélange de l'eau froide et de l'eau chaude, pour montrer vraiment le résultat du premier principe... Et on peut faire le calcul de la variation d'entropie. Ça peut faire un exemple un peu plus suivi ;
- en L1 avant on introduisait l'entropie statistique...
- les calculs ont l'air plus simples sur la dernière partie, peut-être plus pratique à présenter. De plus, l'effet JOULE, c'est pas un frottement mécanique, mais c'est une dissipation, on peut l'en rapprocher... C'est peut-être plus dans le thème que la deuxième sous-partie ;
- sur la préparation des transparents, toujours mettre un titre, assez concis mais explicite.
- attention, une transformation quasistatique n'est pas forcément réversible ; quasistatique c'est une chose vers laquelle on peut tendre ;
- Est-ce que l'irrenvarsibilité et l'irréversibilité sont comparables, identiques, similaires ? Par exemple, cas stationnaire avec équation de STOKES, irréversible mais renversible dans les équations... Voir les définitions du TAILLET : réversible, c'est le renversement du temps ; renversible, c'est les modifications inverses.

## Leçon 42

# Phénomènes de transport (supérieur) 02

Leçon de physique

LP28 – Phénomènes de transport 02

Convection de RAYLEIGH-BÉNARD

Présentée par Lucile BRIDOU (Bénédicte GREBILLE), corrigée par H. PIOT-DURAND

Le 14/05/2020

## Ressources utilisées

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau XX :

Niveau L2 dans une séquence sur les phénomènes de transport : il s'agit du premier cours de cette séquence. L'élément imposé étant la CRB, impose de parler de convection et de convection thermique.

Le choix est fait de parler de conduction et de convection, traité avec le cas du transfert thermique. On pourra alors comparer les deux et faire comprendre aux élèves dans quels cas l'une ou l'autre est prédominante.

**Difficultés** Notion de gradient qui est introduite, et particulièrement la notion de flux. Les bilans thermiques seront les premiers bilans vus, donc on ira pas à pas avec les élèves.

Faire comprendre dans quel cas on a convection ou conduction, sachant que dans les deux cas, on a un gradient de température.

CRB sera introduite de façon qualitative seulement ; on utilisera un nombre, celui de  $R$ , pour différencier deux régimes.

En TD : conduction électrique, avec modèle de DRÛDE, analogies (dont on parlera à peine ici).

En TP : barre calorifugée... avec une résistance chauffante à l'extrémité ; étude du RT et RP.

## Introduction

On parle aujourd'hui de phénomènes de transport qui concernent plusieurs domaines de la physique. On aborde un premier cours sur ceux-là, et nous étudierons dans d'autres cours d'autres domaines/phénomènes de transport.

Il existe différents types de transport.

Projection

Transport au repos.  
Transport convectif.

Objectifs

Comprendre et savoir modéliser différents modes de transport.

## 42.1 Diffusion

Phénomène de transport de proche en proche d'une quantité sans mouvement macroscopique de matière.

Projection

Conduction thermique, Hachette, 1<sup>re</sup> STI2D.

Le phénomène de diffusion a lieu lorsque qu'il y a une inhomogénéité dans le système étudié.

### 42.1.1 Flux et densité de courant

On s'intéresse à une surface  $\mathcal{S}$ , on définit le flux à travers cette surface.

Par exemple, intensité du courant électrique : flux de courant à travers la surface ; flux thermique, flux de l'énergie interne à travers la surface.

Le flux thermique, qui nous intéresse ici, est en  $W$ . Ces vecteurs de densité caractérisent un transport d'une quantité, qui est due à une inhomogénéité dans le système...

| **Remarque** – Voir fiche site perso, LP28, conduction...

### 42.1.2 Cas de la conduction thermique

Due à l'agitation thermique des particules au niveau microscopique, plus forte dans les zones chaudes.

Historiquement, FOURIER en 1822...

[Donner la loi de FOURIER...] On a bien une relation entre le vecteur densité de courant thermique et une inhomogénéité : le gradient de température.  $\lambda$  est donc la conductivité thermique, en  $W m^{-1} K^{-1}$ .

Pourquoi on utilise une cuillère en bois plutôt qu'en aluminium ?

Projection

Tableau de valeurs de  $\lambda$

Les limites de la loi sont :

- gradient ne doit pas varier trop
- température ne doit pas varier trop rapidement
- matériau isotrope

| **Remarque** – Analogie : transport de charge, transport d'énergie thermique.

Maintenant, comment établir le profil de température.

[Schéma d'une barre calorifugée, axe  $x$ .] On effectue un bilan local d'énergie, avec les hypothèses :

- unidirectionnel ;
- pas de transport macroscopique ;
- fermé, indéformable, barre calorifugée.

| **Remarque** – Ici, bilan fait en régime non permanent !

On effectue alors un bilan d'énergie pour le système { section de la barre entre  $x$  et  $x + dx$ }.  
Premier principe de la thermodynamique...

| **Expérience** – Barre calorifugée en régime permanent...

Écart avec le modèle : pertes thermiques (ET conducto-convectif à l'extrémité libre ?)

## 42.2 Convection

### 42.2.1 Principe

Le transport par convection est un transport associé à un déplacement macroscopique de fluide.

**Convection forcée** provoquée par la circulation artificielle d'un fluide. Par exemple : circulation sanguine.

**Convection naturelle** induite par une inhomogénéité au sein du fluide. Par exemple, chauffage de l'eau d'une casserole.

Le gradient de température va induire une différence de densité dans le fluide : alors, les poussées d'ARCHIMÈDE sont différentes.

La poussée est prépondérante par rapport au poids...

C'était aussi le cas pour la conduction thermique... comment savoir quel mode de transport est prépondérant ?

### 42.2.2 Convection de RAYLEIGH-BÉNARD

| **Expérience** – Tube de Tièle, chauffé, le fluide tourne, et la sciure de bois se met en mouvement aussi.

Comprendre la formation de ces rouleaux.

BÉNARD d'abord, huile de baleine dans de l'eau bouillante.

Projection

Cellule de BÉNARD.

Il a estimé que c'était dû à une différence de densité. RAYLEIGH théorie ces rouleaux, qu'on appelle instabilité de RB.

Projection

Couche de fluide avec conditions limites, froid en haut, chaud en bas.

Apparition des rouleaux qu'à partir d'une certaine différence de température.

La différence de température critique pour laquelle ce phénomène est observé peut être déterminé à l'aide l'un nombre, le nombre de RAYLEIGH donné par le rapport de la poussée d'ARCHIMÈDE sur les dissipations :

$$Ra = \frac{\text{Poussée d'ARCHIMÈDE}}{\text{Viscosité et gravité}} = \frac{L^3 g \beta \Delta T}{\nu D_{th}}. \quad (42.1)$$

Projection

Organisation en cellules.

Cela permet d'expliquer comment on chauffe l'air dans une pièce : on chauffe en bas...

## Conclusion

Projection

Analogies entre les conduction électrique et thermique, ainsi que la diffusion de particules.

## Questions

Questions	Réponses
Qu'est-ce qu'une particule de fluide ?	Portion de fluide à l'échelle mésoscopique : assez grand pour moyenner les grandeurs physiques, mais assez petit pour découper la description du fluide et de l'écoulement.
Est-ce que le choix du fluide a une expérience pour les instabilités de RB ?	Viscosité entre en jeu, donc oui ; plus le fluide est visqueux, plus la convection sera difficile à voir.
Est-ce que la conductivité thermique dépend de la température ou non ?	Dans les conditions utilisées, non ? (conditions d'application de la loi de FOURIER) ? Variation assez faible en réalité, variation de 5% entre 0 et 100 °C.
Est-ce qu'on peut parler de vitesse de diffusion ? Est-ce que ça a un sens ?	On peut parler de temps caractéristiques d'établissement d'un régime diffusif...
Si on compare avec une onde, est-ce que la diffusion a une vitesse de la même façon qu'une onde se propage à une certaine vitesse ?	On peut pas définir de célérité comme pour une onde, mais on peut définir une vitesse de propagation du front, qui diminue au cours du temps...
Qu'est-ce que c'est qu'une loi phénoménologique ?	
Rappeler les premier et second principes ?	
Et le troisième principe ?	Entropie d'un corps cristallisé à 0 K est nulle.

Comment on mettrait expérimentalement en évidence la diffusion de particule ?	
Quel est le principe d'une dialyse ? ou d'un rein artificiel ?	Gradient de concentration
Pourquoi doit-on mettre les châteaux d'eau en hauteur ? En pensant aux conséquences de la viscosité ?	Avoir une pression plus importante à l'arrivée ; perte de charge au cours de l'écoulement.
De quoi dépend la viscosité d'un fluide ?	
C'est quoi la chaleur ?	
Comment on fait pour refroidir un appareil électrique en fonctionnement ?	Ailette de refroidissement, ventilateur... transfert thermique diffuse dans l'ailette + transfert conducto-convectif ?
Est-ce qu'il y a un lien entre le nombre de RAYLEIGH et le nombre de REYNOLDS ?	
Résumer les différences entre convection et diffusion ?	Mouvement macroscopique ou non...
Est-ce que les deux peuvent se faire dans les mêmes milieux ?	
Un métal est considéré comme un bon conducteur électrique et un bon conducteur thermique, pourquoi ?	Électrons libres, peuvent se déplacer.
Est-ce que les deux sont liés ?	Arrive que ce soit lié, mais c'est pas toujours le cas.
Les volets sont faits avec des trous, une idée de pourquoi on fait ça ? En été particulièrement ?	
KELVIN avait imaginé que la Terre ne faisait que refroidir, et avait estimé son âge avec la loi de FOURIER ?	Réactions et sources de chaleur au centre de la Terre.
Comment estimer le temps caractéristique ?	$\frac{L^2}{D}$ .
Une idée des ordres de grandeurs de D dans des gaz, liquide, solide ?	
Utilisation industrielle des phénomènes de diffusion ?	Déssalement de l'eau de mer, des neutrons dans les centrales nucléaires.
Ordres de grandeurs de viscosité dans certains fluides ?	
Outil mathématique lorsqu'un certain chercheur a cherché les solutions de la loi de FOURIER ?	Les transformées de FOURIER.

Comment on fabrique un matériau isolant ?	Matériaux avec du vide ou de l'air, pour avoir peu d'agitation thermique de proche en proche.
Pourquoi on fait les cuillères en bois et les casseroles en métal ?	Cuillère pour pas se brûler, casserole pour que la conduction soit plus rapide.
En quoi une équation de diffusion diffère d'une équation de propagation de D'ALEMBERT ?	Pas le même ordre temporel.
Définir le libre parcours moyen d'une molécule ?	Distance moyenne parcourue avant de rencontrer une autre particule.
Transport au repos opposé au transport de convection ; d'autre type de transport au repos que la diffusion ?	Rien en tête...
Possible d'avoir de la CRB avec autre chose qu'un gradient de température ?	D'autres convections existent mais pas la même caractérisation...
Effet de tension de surface, qu'on appelle différemment...	

## Debrief

- Attention à ne pas dire qu'on est forcé par cet élément imposé... dire comment on l'intègre, comment on le valorise.
- Slide de conclusion avec analogies très bien.
- Plus d'ODG à donner et éventuellement à connaître.
- Assez proche des 40 min sans faire les expériences, donc faire attention sur le temps.
- Pour gagner du temps, mettre la I/A) en pré-requis ? en disant que la diffusion particulaire a déjà été traitée...
- Expérience : essayer d'en faire une sur CRB ? (regarder le QUARANTA...)

## Leçon 43

# Énergie électrique (secondaire) 02

Leçon de physique

LP7 – Énergie électrique

Réseau EDF

Présentée par Solène LEGRAND (Arthur LASBLEIZ), corrigée par Lucile FAVREAU

Le 18/05/2020

### Ressources utilisées

- 1<sup>re</sup> PC 2019, Hachette
- 1<sup>re</sup> PC 2019, Hatier

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau première, nouveau programme :

- Circuits électriques (dipôles, courant, tension)
- Résistance et loi d'OHM
- Conservation de l'énergie
- Électrons, charge élémentaire

L'énergie électrique, leçon qui se place au niveau de première dans le nouveau programme, dans l'enseignement de spécialité dans le thème « Énergie ». Premier cours est celui-ci, qui est suivi par la conservation de l'énergie et en particulier celle de l'énergie cinétique.

Les élèves sont familiers des circuits électriques, de la loi d'Ohm et des dipôles... Dans ce cours-ci, on réinvestit ces notions pour les voir d'un point de vue de l'énergie électrique.

**Difficultés** Résident dans la différence entre énergie et puissance, quand les utiliser. On s'appuie donc sur des exemples de la vie courante.

Bilans d'énergie, comprendre quelle grandeur se conserve et ne pas en oublier. Bilan sur une résistance, puis application et analogies sur d'autres exercices en TD.

Aussi, on considère ici plusieurs échelles (micro, électron ; macro, intensité, à notre échelle). On fera donc des liens entre les deux avec des schémas, des ordres de grandeur.

Enfin, d'où viennent les pertes : bilan sur une résistance, perte par effet JOULE puis application/odg sur une éolienne.

En TD : calcul de puissance, calcul de rendements... En TP : études de circuits électriques et détermination de rendements. En activité documentaire, exemples plus concrets : sources d'énergie électrique et réseaux (EDF).

## Introduction

On a tous chez nous un accès à l'électricité et des appareils qui en consomment. Ça n'a pas toujours été le cas, et le fait d'avoir dans les foyers cet accès a été en grande partie l'œuvre de deux chercheurs.

### Projection

EDISON et TESLA, acheminer l'électricité dans les foyers, dès le XIX<sup>me</sup> siècle.

Comment l'énergie électrique est produite, et acheminée vers les foyers pour une utilisation quotidienne ?

### Objectifs

Comprendre ce qu'est l'énergie électrique. Comment est-elle créée et comment est-elle transportée.  
Réaliser des bilans d'énergie.

## 43.1 L'électricité, qu'est-ce que c'est ?

### 43.1.1 Les porteurs de charge

L'électricité correspond à un mouvement de particules chargées dans un milieu (souvent un câble électrique, du cuivre...).

Porteur de charge : particule portant une charge électrique positive ou négative.

On connaît les électrons : particules à l'origine de l'électricité dans nos maisons. L'électron est porteur de la charge élémentaire qui vaut  $e = 1.602 \times 10^{-19}$ . Tous les autres porteurs de charge auront une charge multiple de celle-ci.

On comprend que l'électricité est due au mouvement de ces porteurs de charge... comment faire le lien avec la mesure d'intensité ?

### 43.1.2 Le courant électrique

En sommant les charges de tous les porteurs de charge se déplaçant :

$$Q = Ne, \quad (43.1)$$

la charge totale passant dans le câble.

Lorsqu'on s'intéresse au courant électrique, on s'intéresse au déplacement de cette charge. On calcule donc le débit de cette charge : l'intensité  $I$  :

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \quad (43.2)$$

[Unités...]

Si on s'intéresse à notre chargeur de portable, pour une intensité d'1 A, pendant 10 s, la charge apportée par le chargeur à la batterie est 10 C. Le nombre de porteurs de charge est donc :

$$N = \frac{Q}{e} \simeq 10^{20}, \text{ électrons.} \quad (43.3)$$

- Remarque** – 1. C'est très grand! plus que le nombre de grains de sable sur toutes les plages sur Terre.  
2. Les charges sont positives ou négatives : sens du courant défini comme celui du déplacement des charges positives.

#### Projection

Sens du courant, circuit électrique ou ions dans une solution de sulfate de cuivre, Hachette.

## 43.2 Puissance et énergie électrique

### 43.2.1 Définitions

**Puissance** La puissance est une grandeur indiquant l'aptitude du système à convertir rapidement de l'énergie.

Pour un dipôle électrique parcouru par un courant d'intensité  $I$  avec une tension  $U$ , la puissance est :

$$\mathcal{P} = UI \quad (43.4)$$

[unités]

#### Projection

Puissance électrique en entrée et en sortie pour certains appareils et sources ; Hachette 2019.

Mais c'est une grandeur instantanée, pas forcément pratique pour comparer sur des durées. Exemple de la bouilloire et du réfrigérateur : la bouilloire consomme beaucoup mais sur peu de temps, alors que le réfrigérateur consomme peu mais toute la journée.

**Remarque** – 2 kW h pendant 2 minutes ; 150 W toute la journée.

**Énergie électrique** L'énergie électrique s'exprime :

$$\mathcal{E}_{\text{elec}} = \mathcal{P}_{\text{elec}} \Delta t = UI \Delta t = UQ \quad (43.5)$$

[Unités] Retour sur l'exemple du réfrigérateur et de la bouilloire.

Finalement, en une journée, le réfrigérateur consomme plus que la bouilloire.

**Remarque** – On utilise un kW h = 3.6e6  
Et on sait qu'on paye 1.1506 par kW h

, on peut remonter au prix que coûte chacun des appareils.

En réalité, il y a toujours des pertes : pour les quantifier, on fait un bilan de puissance.

### 43.2.2 Bilan de puissance et rendement

Lors d'une conversion, la puissance se conserve.

On peut alors s'intéresser à la perte de puissance liée au transport de l'énergie.

**Expérience** – Perte sur un circuit électrique « long » ; on modélise la résistance interne des câbles par une résistance variable.

Si on fait un bilan sur ce circuit, le convertisseur est modélisé par la résistance : elle convertit l'énergie électrique en énergie thermique (échauffement de la résistance).

$$P_{entre} = P_{lampe} + P_{perdue}. \quad (43.6)$$

Si on trace la puissance perdue (entrée et lampe connue, mesurée), on peut la tracer en fonction de la résistance (variable).

La puissance perdue est alors proportionnelle à la résistance ; si on prend une valeur en particulier... elle vaut  $RI^2$ .

Dans le cas d'une conversion, c'est le cas ici, on peut définir un rendement :

$$\frac{\text{Puissance exploitable}}{\text{Puissance en entrée}}. \quad (43.7)$$

Projection

Bilan

Un autre convertisseur, c'est l'éolienne!

Projection

Sources d'électricité : l'éolienne et son bilan, Hachette 2019.

On calcul le rendement : 80%.

Comment est acheminée cette énergie produite vers les foyers ?

## 43.3 Production et transport : le réseau EDF

### 43.3.1 Sources d'électricité

Pourquoi avons-nous besoin de plusieurs sources d'électricité ?

Projection

Site EDF, au jour le jour, provenance de l'électricité!

On commente les sources d'énergie.

Un enjeu majeur aujourd'hui : on ne sait pas stocker de grandes quantités d'énergie. Le travail des ingénieurs EDF est donc d'équilibrer consommation et production : c'est pour cela qu'on a besoin de plusieurs sources d'énergie électrique, complémentaires et ajustables.

Par exemple, le nucléaire est peu ajustable, contrairement à l'hydraulique ; le nucléaire fournit donc une base importante, mais l'hydraulique permet d'ajuster au besoin instantané.

La consommation mondiale d'énergie est  $10^{14}$  kWh par an, contre  $10^{18}$  kWh pour l'énergie solaire qui arrive sur la Terre. Cependant, les panneaux solaires ne sont pas assez efficaces pour cela...

Si on s'intéresse de nouveau au transport : sur toute la France, il y aura des pertes!

### 43.3.2 Transport et pertes

Il est nécessaire de minimiser les pertes (en  $RI^2$ ).

On veut donc avoir la puissance la plus importante mais les pertes les plus faibles : il faut donc une tension très haute!

## Projection

Réseau très haute tension, haute en France, RTE 2015.

Besoin de transformateurs : système capable d'abaisser la tension, sinon, dangereux et inutilisable.

On peut quantifier les pertes chaque année due au réseau de transport et aux conversions : de l'ordre de 2,5% de la consommation totale soit  $11.5 \times 10^9$  kWh, de l'ordre de ce que produit une centrale nucléaire...

## Conclusion

À retenir : porteurs de charge, puissance se conserve ; réseau EDF et équilibrage, lignes haute tension.

## Projection

Bilan, (éviter le bullet points...)

Importation et exportation d'électricité : un marché entre les différents pays... Par exemple, il y a deux ans, le Kosovo avait décidé de ne pas envoyer d'énergie en France, appareils électrique ont perdu 6 minutes !

## Projection

Le parisien.

## Questions

### Questions

### Réponses

Quand vous parlez du deuxième cours, sur la conservation de l'énergie, vous pensez à quoi ?

Cours sur la conservation de l'énergie en mécanique ; première approche de l'énergie dans les systèmes mécaniques.

Détailler les TP prévus en introduction pédagogique ?

Aussi, manipulation souvent faite avec le calorimètre...

Dans le monde, quelle proportion de foyers ou de la population sans accès à l'électricité ?

15% de la population, dont 63% en Afrique subsaharienne, une bonne partie en Inde aussi...

Le mouvement des charges induit une énergie électrique ?

On parle d'abord plutôt de courant créé, d'autant qu'ils n'ont pas encore de notions d'énergie...

À quel niveau est introduite la notion d'énergie ?

Au collège, avec l'énergie cinétique. Réponse : en 4<sup>me</sup>, l'énergie et ses conversions (les formes d'énergie...)

Pourquoi le prix de l'électricité varie ?

Heures creuses ou non...

Ordre de grandeur de la résistance des fils utilisés par rapport à la résistance introduite ?

Expliquer comment ça fonctionne l'énergie nucléaire ?

Et l'énergie hydraulique ?

C'est quoi le point commun entre toutes ces sources d'énergie ? Comment on arrive à avoir de l'énergie électrique finalement ?

Qu'est-ce que ça implique le fait qu'on utilise des turbines/alternateurs ?

Dans la nature du courant ou de la tension obtenue à partir de l'alternateur ?

Et votre chargeur, il a besoin d'un courant alternatif ou continu ?

Comment on fait ce passage d'alternatif à continu ?

Une idée de la puissance électrique consommée en France à un instant  $t$  ? OdG ?

Pertes sur le réseau importante, comment les ingénieurs travaillent pour réduire ces pertes ? Quelles technologies ?

Préciser l'ouverture, pourquoi ça change la fréquence du courant électrique ?

Pourquoi on a choisi une fréquence de 50 Hz ?

Pourquoi les lignes haute tensions sont autant en hauteur ?

C'est quoi cette énergie qui rayonne ?

De nombreuses conversions, dans les grandes lignes : l'énergie est produite par fission nucléaire, énergie thermique qui chauffe de l'eau, passe en phase vapeur, turbine (énergie mécanique) qui est convertie en énergie électrique.

Barrages, eau retenue (et donc débit ajustable), énergie potentielle de pesanteur...

On utilise toujours une turbine, un alternateur.

Pertes par frottements ?

Courant alternatif...

En fait, à la prise, alternatif en 220 V, donc d'abord réduire la tension, puis convertir de l'alternatif en continu.

Redresseur (à partir d'un pont de diode, di-pôle actif), pour avoir uniquement des oscillations positives ; ensuite, un condensateur pour lisser/filtrer le courant pour récupérer seulement la partie continue.

De l'ordre de 50 000 MW. Dépend de la journée, de la saison... (pics hivernaux)

Fréquence trop faible : persistance rétinienne (ampoule qui scintille) mais si on augmente on joue aussi sur l'effet de Peau dans les câbles...

Énergie qui rayonne...

Champ électrique très important autour du fil.

Une idée de comment on répare les lignes haute tensions s'il y a un problème sur celle-ci? On peut couper le courant comme ça?	Si on coupe, l'électricité va aller ailleurs, autres lignes ne vont pas supporter. Les techniciens travaillent en hélicoptère, loin du sol, combinaison en fil d'argent qui fonctionnent comme une cage de FARADAY, se mettent au même potentiel que la ligne et peuvent alors travailler dessus.
Une idée de longueur du réseau EDF?	100 000 km, spécificité c'est qu'il est interconnecté avec d'autres pays. Réseaux très haute, haute, moyenne et basse tension (400 000, 225 000, 65 000 ?, 220)
Quand on parle de 220 V, c'est la valeur maximale du courant alternatif?	Tension efficace.
Définition de la tension efficace?	Tension max divisée par racine de 2
Ça vient d'où?	Valeur moyenne... (RMS).
Quand on branche des appareils domestiques, il sont branchés en série ou en dérivation?	En dérivation (pour avoir la même tension à chaque prise).
Qu'est-ce qui fait que les plombs peuvent sauter? Quel est le dispositif de sécurité?	Disjoncteurs...
Différents types de disjoncteurs?	À maximum de courant, protège surtout les installations (juste un interrupteur); à fusibles (petites parties du réseau domestique), même principes mais sur la phase d'une certaine partie (coupe pas toute la maison et fusible à changer); disjoncteur différentiel : mesure la différence de courant entre la phase et le neutre (les deux trous), s'il y a une différence, danger possible de personnes, arrête donc le courant.
Est-ce que EDF c'est le seul fournisseur d'électricité?	Plusieurs fournisseurs mais pas forcément producteurs d'électricité, mais on parle de réseau EDF parce que c'est forcément le réseau EDF.
Est-ce que tu sais pourquoi quand on électrocute, on serre l'objet qu'on électrocute	Muscle du corps soumis à un courant... système nerveux fait que si on prend un courant électrique important, on contracte le muscle. Plus le courant électrique est important, plus les muscles sont touchés (mains, puis diaphragme, puis cœur).

## Debrief

- Dans les pré-requis : tu as parlé de la conservation de l'énergie, mais tu dis qu'elle sera traitée dans le cours suivant, donc à harmoniser ou préciser.
- Difficultés bien ciblées, bien traitées (attention à aller un peu plus vite sur les porteurs de charge, mais c'est bien). Aussi, première difficulté c'est de comprendre qu'il y a des pertes, avant de

comprendre d'où elles viennent.

- Difficulté de la leçon sur le nouveau programme... très peu de choses finalement par rapport à avant ; si jamais, penser à regarder les anciennes ressources de STL.
- Ordre de grandeurs très bien choisi, notamment pour le chargeur électrique.
- Quelque chose qui manque : convention générateur ou récepteur... quand on traite une éolienne, c'est la convention générateur qui est à appliquer...
- C'est bien d'introduire d'unité du kWh.
- Très bien de présenter les bilans et le calcul des rendements.
- Très bien d'aller voir le site EDF.
- Notions de transformateur plus vraiment haut programme mais peut tomber en questions

## Leçon 44

# Spectres (secondaire) 02

Voir fiches

Troisième partie

Après annonce des 30 min / 30 min



# Leçon 45

## Description d'un fluide au repos (secondaire) 02

Leçon de physique

LP17 – Description d'un fluide au repos

Profondeur d'un geyser

Présentée par Bénédicte GREBILLE (Lucile BRIDOU), corrigée par L. FAVREAU

Le 28/05/2020

### Ressources utilisées

- Hatier, 1re PC
- Hachette, 1re PC
- Lelivrescolaire
- TAILLET

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau 1re enseignement de spécialité PC :

- État de la matière + masse volumique (collège)
- Échelle micro et macroscopique [seconde]
- Analyse dimensionnelle [seconde]
- Compressibilité et incompressibilité [seconde]
- Notion de force [seconde]
- Incertitudes [seconde]

Se place en première PC, dans le thème « Mouvements et interactions » du nouveau programme. Pré-requis à présenter : collège bien sûr pour la constitution de la matière, mais déjà aussi quelques notions plus compliquées comme les différentes échelles ; ainsi que la compressibilité et incompressibilité (statique des fluides).

Choix : traiter uniquement l'évolution de la pression dans un fluide incompressible, dans les liquides.

**Difficultés** Lien entre description macro et description micro : faire des schémas, vidéos.

Signe de  $z$  (orientation de l'axe vertical) pour la loi de la statique des fluides.

Activité documentaire : plongée sous-marine, barrages...

## Introduction

### Objectifs

Étudier un fluide d'un point de vue micro et macroscopique. Comprendre la loi de la statique des fluides et savoir déterminer le profil de pression au sein d'un liquide.

La matière est constituée de particules (atomes, molécules, ions...). Dans cette leçon : étude de certaines formes de la matière, à l'état liquide et gazeux que l'on rassemble sous le terme de fluide.

Définition (tableau) – Fluide : état de la matière dans lequel un corps peut changer de forme et épouser celle de son contenant.

Dans ce cours, uniquement fluide au repos : globalement immobile par rapport aux parois et autres éléments en contact avec lui. Il n'y a pas de mouvement d'ensemble. (l'écrire)

## 45.1 Caractéristiques d'un fluide au repos

### 45.1.1 Descriptions microscopique et macroscopique

À l'échelle macroscopique : fluide au repos, pas de mouvement d'ensemble. Mais à l'échelle microscopique : mouvement incessant et désordonné!

#### Projection

Vidéo fluide gaz ou liquide, source : Hachette.

Impossible de connaître le comportement de chaque entité, mais on peut comprendre la nature microscopique avec des grandeurs macroscopiques!

Rappel sur la différence liquide/gaz :

#### Projection

Comparaison gaz/liquide, particules proches/éloignées, mouvement facile/désordonné.

Si on compare maintenant l'échelle microscopique et l'échelle macroscopique :

Questions	Réponses
Pas de mouvement d'ensemble	Mouvement incessants
Masse volumique $\rho = m/V$	Traduit la proximité des entités

**Remarque** – Masse volumique d'un liquide bien plus grande que celle d'un gaz, donner les ordres de grandeurs  $1 \times 10^3$  kg

Température (en K), conversion en Celsius, mesurée avec un thermomètre	Traduit l'agitation des entités : agitation augmente avec température élevée.
--	---

| **Remarque** – Pour la température, revenir sur l’animation/vidéo!

Pression (en pascal) mesurée avec un manomètre      Chocs des entités, entre elles mais surtout avec les parois

| **Remarque** – Lien entre pression et agitation?? Oui! on le verra plus tard.

### 45.1.2 Action d’un fluide sur une surface : force pressante

Action du fluide sur la surface.

À retenir : force modélisant l’action mécanique du fluide sur la surface. Comme pour les forces étudiées avant, il faut donner la direction, le sens et la valeur!

Projection

Hatier, 1re PC, force pressante.

Direction perpendiculaire à la paroi, sens du fluide vers la paroi et une norme... Plus la pression est forte, plus la force est importante (plus de chocs) ; et plus la surface est grande, idem :

$$\|\vec{F}\| = pS, \text{ donc } p = \frac{F}{S}, \quad (45.1)$$

la pression est donc une force surfacique.

| **Remarque** – Sur les unités : analyse dimensionnelle, pascal, newton et introduction du bar et de l’atmosphère.

Comment cette pression évolue dans un fluide? On s’intéresse ici uniquement à un fluide incompressible, c’est à dire pour lequel la masse volumique est constante.

## 45.2 Étude de l’évolution de la pression dans un fluide

### 45.2.1 Loi fondamentale de la statique des fluides

On va étudier l’évolution de la pression en fonction de la profondeur dans l’eau, par exemple.

Projection

Tube en U manomètre, descente dans une éprouvette.

Qu’est-ce qu’il se passe? Plus l’expérimentateur descend le tuyau, plus une force importante s’applique sur le tube en U. Cela correspond à une plus grande pression.

Projection

1re SPÉ, description d’un fluide au repos, partie 1 sur Youtube.

Observation : plus on est en profondeur, plus la pression est importante. On peut par ailleurs voir qu'il s'agit d'une relation affine entre les deux grandeurs...

Pour un fluide incompressible, la différence de pression entre deux points A et B du fluide est donnée par la relation :

$$p_B - p_A = \rho g(z_A - z_B), \text{ loi de la statique des fluides} \quad (45.2)$$

avec une convention z vers le haut.

**Remarque** – Faire très attention! z pris vers le haut, H pris vers le bas.

Pression en A et B en pascal, masse volumique en  $\text{kg/m}^{-3}$

Est-ce que c'est cohérent : il faut toujours le vérifier pour voir si les signes sont bien : si on a  $z_B > z_A$ , B au dessus de A, la pression en B est bien inférieure à la pression en A.

Aussi, avec la pente donnée par cette expression, on peut retrouver la masse volumique. [voir calculs...]

Sources d'incertitudes si l'on faisait l'expérience. La plus importante certainement sur la règle utilisée : en particulier la lecture. Autres sources d'incertitudes : le manomètre, qu'on peut considérer comme négligeable.

### 45.2.2 Application à l'étude d'un geyser

Vous avez déjà entendu ou vu des geysers.

Projection

Vidéo, geyser en Island, en directe ou alors à Yellowstone.

Il s'agit de grandes colonnes d'eau bouillante qui sortent de terre.

Fonctionnement ? <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/eau-liquide-vapeur-atmosphere.xml>

Projection

Température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression. Diagramme p,T.

L'eau du geyser sort à  $200^\circ\text{C}$ , ce qui correspond alors à une pression de 15 bar ou  $15 \times 10^5 \text{ Pa}$

On peut alors appliquer la loi de la statique des fluides :

$$p_b = p_0 + \rho gh, \quad (45.3)$$

qui permet de remonter à h, la hauteur de la colonne! On trouve : 142 m.

Avec ces calculs et ces hypothèses...

## Conclusion

Projection

Hatier, PC

Caractériser le système à l'aide de grandeurs macroscopiques pour comprendre le comportement microscopique (masse volumique, température, pression).

Aussi, étude de la pression par statique des fluides.

## Questions

Questions	Réponses
Trois unités de pression... d'autres unités de pression encore ?	Le millimètre de mercure.
Qu'est-ce que ça représente, d'où ça vient ?	Dans les anciens manomètres, fonctionnant au mercure, tube en U, un côté avec pression faible, l'autre ouvert vers la pression atmosphérique ; à partir de la différence de hauteur, on retrouver un lien entre la hauteur et la pression.
Du coup, un atmosphère, ça fait combien en millimètre de mercure ?	760 mm de mercure ? vérifier sur Google...
Quand a été inventé le baromètre a mercure, qui l'a « découvert » ?	TORICELLI, 1643.
D'autres types de baromètre ? Ou le mode de fonctionnement d'un manomètre de façon générale ?	Mesure la force que les particules exercent sur la surface, connue...
Et comment on mesure cette force ?	Baromètre électronique... déformation d'un objet qui donne une réponse électronique par exemple...
Encore d'autres	Baromètres à eau, à gaz (dilatation ou compression)...
Donner une généralisation de la loi de la statique des fluides dans le cas d'un fluide compressible ?	$\vec{\text{grad}}p = \rho\vec{g}$ .
Comment on a démontré cette loi en partant de la mécanique ? (on est en local là hein)	PFD sur une particule fluide cubique, voir les forces qui s'appliquent sur chaque face...
Qu'est-ce qu'une particule de fluide ?	Particule mésoscopique, permet de décrire le fluide et de faire des moyennes macroscopiques.
Si on prend un fluide compressible, par exemple un gaz parfait, en redonner la définition ?	Modèle dans lequel il n'y a pas d'interactions entre les particules et uniquement des chocs élastiques avec les parois, entités ponctuelles.
Quelle équation d'état alors, quelles unités de chaque terme ?	$PV = nRT$
Évolution de la pression avec l'altitude dans ce cadre là ?	Trouver équation différentielle en pression... ou faire l'intégration, enfin, résoudre quoi... on arrive a une exponentielle...

Retour sur le diagramme p,T, en dire un peu plus, citer les points particuliers, ce que représentent les courbes	Courbes = conditions d'équilibre pour avoir deux phases, entre chacun des états. Point triple, équilibre entre les trois phases; point critique au delà duquel on observe plus de différence entre liquide et vapeur (fluide super-critique).
Si on prend une des lignes horizontales : système chauffé isobare depuis la glace jusqu'à la vapeur, décrire ce qu'il se passe en fonction des courbes rencontrées	Que de la glace, puis sur la courbe équilibre, puis que du liquide au delà etc.
Tracer l'évolution de la température dans ce cas ?	Augmentation, palier, augmentation, palier, augmentation.
Qu'est-ce qu'un diagramme de CLAPEYRON ?	Pression en fonction du volume massique (molaire ?); plusieurs courbes, on peut tracer des isothermes, autour d'une courbe de « saturation (?) ».
Qu'est-ce que la vapeur saturante, et la pression associée ?	Vapeur lorsque la première goutte de liquide apparaît, pression de vapeur saturante est à une température donnée...
Une idée d'une expérience assez simple permettant d'illustrer facilement la force pressante ?	Sac plastique ou ballon gonflable... réponse : ballon gonflé très légèrement, mis sous une cloche à vide. En faisant le vide, le ballon « se gonfle ».
Et historiquement ?	Au XVII, deux demi-sphères mises l'une contre l'autre, puis en faire le vide : et il a fallu 16 chevaux pour les séparer à nouveau.
Comment on mesure la masse volumique ?	Densimètre : aspire un peu du fluide, qui passe dans un tuyau mis en vibration ; on mesure la fréquence de résonance et on remonte à la masse volumique.
Si on se place dans le cas d'un fluide en écoulement (vidange d'un réservoir); est-ce qu'il y a quand même une loi pour relier pression en sortie et en entrée ?	Parfait, incompressible et en écoulement stationnaire : théorème de BERNOULLI, sur une ligne de courant, une certaine quantité constante...
Et cas pour que ce soit dans tout le fluide ?	Écoulement irrotationnel permet d'avoir la constante dans tout le fluide.
Activité documentaire sur la plongée; expliquer pourquoi c'est nécessaire de faire des paliers de décompression ?	D'abord pour les tympans, il ne faut pas remonter trop rapidement; également, air dans les poumons, avec la loi des gaz parfaits...
Aussi histoire de solubilité de gaz dans le sang, éviter que des bulles se forment...	

## Debrief

- Très bien de redéfinir les termes du titre dans l'introduction.
- Suivant l'élément imposé, le temps, penser à parler des gaz et de la loi de MARIOTTE
- Bien de parler de force pressante et pas de force de pression! Manque cependant dans la définition, action mécanique d'un fluide SUR les parois qui l'entourent. Ça pourrait être l'occasion de montrer une expérience là dessus (cloche à vide, autre...).
- Bien d'avoir de l'analyse dimensionnelle.
- Quand la loi de la statique des fluides est introduite... gênée par la convention de z vers le haut, faire un schéma, l'axe au tableau, insister, surtout si c'est dans les difficultés pointées.
- Bien de présenter le p,T même si c'est pas au programme, dans le cadre de cet élément imposé.
- Il y a un BUP sur les geysers

Animations utilisées :

Première animation

Vidéo pression

Geyser from iceland

Geyser vidéo

Leçon 46

Ondes mécaniques (secondaire) 02

# Leçon 47

## Gravitation et poids (secondaire) 02

Leçon de physique

LP13 – Gravitation et poids

Le Mississippi coule-t-il vers le haut ?

Présentée par Lucile BRIDOU (Bénédicte GREBILLE), corrigé par Lauren ROSE

Le 09/06/2020

### Ressources utilisées

- Hachette TS
- Hachette Première S
- Hachette Seconde
- planet-terre.ens-lyon.fr

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau Première PC :

- Force, caractéristiques
- Énergie potentielle de pesanteur
- Interactions fondamentales
- Champ vectoriel, champ de pesanteur
- Notion de poids

Dans le nouveau programme : mouvements et interactions. Déjà eu la notion de champ (introduite simplement) et notion d'énergie et énergie potentielle en particulier. Choix de seulement parler de la gravitation et son lien avec le poids (donc pas d'études de mouvements ici ! pour le cours suivant)...

Quel est le haut, quel est le bas... qu'est-ce que c'est physiquement ?

**Difficultés** Notion de norme et vecteur... schémas et application numériques.

Différence entre poids et masse.

Faire la distinction entre altitude et distance au centre de la terre.

TD : calculs de champs de gravitation ; calculs plus difficiles avec le cas de la lune, champ résultant, avec soleil et terre...

2 min

## Introduction

Si on lâche un stylo, il tombe. Pourquoi...

Fait partie des quatre interactions fondamentales : la gravitation.

Répondre à plusieurs questions

### Projection

Tintin sur la Lune.

Mississippi, sa source est plus proche du centre de la Terre que sa fin ! Son écoulement est-il alors vers le haut ?

### Objectifs

Relier l'interaction gravitationnelle à la notion de poids.

Comprendre les variations de l'intensité de pesanteur.

## 47.1 Une interaction fondamentale : l'interaction gravitationnelle

### 47.1.1 La loi de l'attraction gravitationnelle

Histoire : ...

S'intéresser à la loi qui régit l'interaction gravitationnelle entre deux corps. [Dessiner deux corps A et B, leurs masses...] Comment s'exprime cette force, de A sur le corps B ?

- Point d'application : en B
- Sa direction : sur la droite AB
- Son sens : de B vers A
- Sa norme :

$$F = \frac{\mathcal{G}m_A m_B}{d^2}, \quad (47.1)$$

dont on précise toutes les unités, avec  $\mathcal{G}$  la constante gravitationnelle.

Tout cela nous permet de réécrire cela sous la forme vectorielle, en reprenant chacun des points précédents.

### 47.1.2 Champ de gravitation et poids

Un champ est, pour rappel, une grandeur physique (scalaire ou vectoriel) associée à chaque point de l'espace.

### Projection

Champ vectoriel, associé à chaque point de l'espace.

Si l'on reprend l'expression de la force, vectorielle : il y a un terme qui dépend seulement de A et de la position de B. Avec ce terme, on peut définir le champ de gravitation, exercé par A sur tous les points de l'espace.

Ce champ est défini par

$$\vec{G}(\vec{r}) = \frac{\mathcal{G}m_A}{r^2} \vec{u}_r. \quad (47.2)$$

Pourquoi Tintin parle d'un champ de pesanteur six fois moindre sur la lune que sur la Terre ? Faisons l'application numérique :

Projection

Tintin et données, masse et rayon de Lune et Terre.

On calcule la norme de chacun des champs, et on retrouve bien ce facteur 6!

Pourquoi le capitaine peut alors « voler » à la surface de la Lune ? Analyse dimensionnelle : l'unité du champ est aussi l'unité d'une accélération, qui correspond au poids!

La masse du capitaine est constante, mais le champ est moindre, donc le « poids » est moindre, il est moins attiré par le sol ! On met bien en lumière le fait que la masse du capitaine est la même, mais que le poids peut varier !

Ce champ de pesanteur, on vous a dit qu'il était constant à la surface de la terre, autour de 9.81... Qu'en est-il vraiment ?

## 47.2 Pesanteur à la surface de la Terre

On peut utiliser l'expression de  $G(r)$ , en gardant le même  $r$  : valide seulement si la Terre est réellement sphérique. Pourtant, ce n'est pas le cas, elle est aplatie aux pôles!

### 47.2.1 Influence de l'aplatissement des pôles

Projection

Forme réelle de la Terre, différence de 21 km entre le rayon au pôles et le rayon à l'équateur.  
Source : ?

On peut donc calculer les différentes valeurs du champ, aux pôles ou à l'équateur. L'intensité de pesanteur au pôle vaut alors ... aux pôles et ... à l'équateur.

Cette prédiction était déjà faite par NEWTON et a été vérifiée au XVIII siècles par des expéditions. Déjà un début d'explication sur la question posée au début...

Projection

Mississippi, source plus au nord de l'équateur que l'embouchure.

Le rayon de la Terre est plus faible au niveau de la Terre que l'embouchure. Il y a donc une intensité plus forte à la source...

Est-ce qu'il coule vers le haut ? on a toujours pas répondu à la question... Définir ce qu'est la verticale, l'horizontale, le haut et le bas.

Projection

Définition de la verticale.

Le verticale : direction d'un fil plombé. Elle dépend donc du lieu, et on fait l'approximation pour la suite qu'elle est dirigée vers le centre de la Terre. On remarque sur la slide une verticale non dirigée vers le centre, on y reviendra.

Horizontale : deux façons de le présenter. Soit c'est la perpendiculaire à la verticale. Soit c'est une équipotentielle de pesanteur : ie une surface pour laquelle le potentiel est constant. L'énergie potentielle :

$$E_p = mgz + \text{Constante} \quad (47.3)$$

Pourtant, il existe des inhomogénéités dans le manteau terrestre, donc cette énergie potentielle doit être corrigée (hors du cadre de ce cours).

Quel est le lien avec le haut et le bas ?

Projection

Boules vertes, rouge et bleu

Pour un individu donné, le haut et le bas va être donné par rapport à une équipotentielle. Appliquons cela au Mississippi.

Projection

Deux points peuvent se retrouver à la même altitude mais pas à la même distance au centre de la Terre.

Comme le rayon à la source est plus faible qu'à l'embouchure, l'intensité de pesanteur y est plus importante : on peut seulement dire que le Mississippi coule d'un point où la pesanteur est élevée vers un point où elle est faible.

## Conclusion

Projection

La force Gravitationnelle.  
Lien avec le poids.  
Sur Terre, approximation d'un champ de pesanteur uniforme.

Prochain cours : étude de mouvements.

## Questions

### Questions

La force est une des quatre interactions, quelles sont les trois autres ?

Qui représentent ?

NEWTON a trouvé la loi de l'interaction grav... quelles sont les trois lois de NEWTON.

La force que A exerce sur B, vous avez donné la formule; ça veut dire que B exerce sur A une force de même intensité... ça veut dire que l'élève attire autant la Terre que l'inverse : s'il vous dit que c'est pas possible, vous répondez quoi ?

### Réponses

Interaction électrostatique, forte et faible.

Forte : correction au sein du noyau; faible : radioactivité (?)

Principe d'inertie, principe fondamental de la dynamique, principe d'action/réaction ou des actions réciproques.

Un ordre de grandeur pour l'attraction qu'on a sur la Terre ?	Même ordre de grandeur que le poids, de l'ordre de 500 N.
Et l'ordre de grandeur de l'interaction qu'on a sur un stylo ?	environ $3 \times 10^{-12}$ N.
Pour faire ce calcul, on est dans quel référentiel, et comment il est considéré ?	Référentiel Terrestre, considéré Galiléen.
Quelle définition	En translation uniforme par rapport aux autres référentiels galiléens.
Donc on définit galiléen par galiléen ?	Système isolé est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme. (revoir)
D'autres référentiels ?	COPERNIK, centre ? et trois étoiles éloignées pour les axes ; KEPLER mais centre est celui du centre du soleil ; géocentrique : centre est celui de la Terre ; et Terrestre (revoir).
Et ces référentiels sont galiléens ?	Dépend des échelles de temps considérées ?
Et quels sont ces échelles ?	Temps de l'expérience inférieur à celui de la rotation du soleil autour de la Terre pour le géocentrique ; un jour pour le Terrestre...
D'où vient l'aplatissement ?	Rotation de la Terre sur elle-même.
Si on décrit le champ de pesanteur dans le référentiel terrestre en prenant en compte le caractère non galiléen, il faut quoi ?	Force d'inertie d'entraînement, qui vaut $-2m\Omega^2 HM$ ? (revoir)
Qu'est-ce qu'on peut prendre en compte en plus dans le champ de pesanteur, en plus de la force d'inertie d'entraînement ?	L'influence du terme de marée ? C'est l'influence due aux autres astres : la Lune et le Soleil.
On l'écrit comment alors l'influence de la Lune, par exemple ?	
Comment on appelle la mesure du champ de pesanteur ?	Gravimétrie.
Domaines de physique analogue au champ gravitationnel, similitudes...	Avec le champ électrique. Constante masse/charge, force signes, théorème de GAUSS...
Bien distinguer le poids et la masse ; est-ce qu'on peut donner une différence entre masse inertielle et masse gravitationnelle ?	(revoir)
Les forces définies dans la tableau, comment les qualifier ?	Forces centrales.
Et une force centrale newtonienne, c'est quoi ?	

Différence entre les deux horizontales données ?	Normalement pas de différence, comme la verticale dépend de la direction de $g...$ tout est lié.
Inhomogénéité en surface et sous terre, sur quel élément ces inhomogénéités vont jouer ?	Sur le fait que la masse volumique sera pas constante partout; donc si on retourne au théorème de GAUSS, on voit bien que ça dépend d'elle et pas de la masse totale.
Une équipotentielle particulière ?	Soit des sphères soit des ellipsoïdes qui correspondraient partout au niveau de la mer si elle n'avait pas de mouvement.
Sur quel point de la surface on a un plus grand écart entre le champ de pesanteur et le champ de gravitation ?	$\cos \lambda$ max, donc à l'équateur... (revoir)
Quel est le mouvement de la Lune autour de la Terre ?	Ellipse autour de la Terre, et elle tourne aussi sur elle-même.
Si vous deviez faire une expérience dans cette leçon, laquelle vous présenteriez ?	Manip pour introduire le suivant avec la mesure de $\vec{g}$ avec une chute libre d'une bille entre quatre capteurs. (mesure de deux vitesses... forme approchée de la 2LN avant les mouvements)...

## Debrief

- Bien dans l'ensemble, bien gérée, trajectoires peuvent pas être traitée en effet avec cet élément imposé...
  - Encadrer les résultats.
  - Utiliser des couleurs.
  - Les Tintin sont appréciés... pour introduire le calcul, c'est bien.
  - Attention, être plus clair sur l'horizontale : bien préciser que les deux définitions se correspondent.
  - Inhomogénéité en surface et en volume; dire pourquoi ça a un impact sur  $g...$  l'introduire reste compliqué niveau première en effet.
  - Si on sait, pour le Mississipi! Dire que ce qui compte, c'est le champ de pesanteur, et que c'est comme ça qu'on définit le haut et le bas!
  - En pré-requis, mettre les notions de référentiel... (pour l'aplatissement, ça peut servir...)
- Sur les questions :
- Être plus au point sur les forces d'inertie en non galiléen.
  - Les lois de NEWTON! 1. Il existe un référentiel galiléen; 2. PFD; 3. AR.
  - Définition d'un référentiel galiléen : c'est pas seulement en MRU, mais en translation rectiligne uniforme! (tourne pas...); ou au repos.
  - Terme de marée, pas tout à fait; c'est la différence entre champ de la lune au point M moins champ de la lune au centre de la Terre (c'est toujours une différence!). Parfois pris en compte dans certains champ de pesanteur...
  - Définition du géoïde, il y a qu'un seul géoïde : c'est le niveau 0 de la mer, par rapport à ça qu'on mesure l'altitude (niveau moyen...). (voir Wikipédia)
  - Masse inertielle,  $m$  devant l'accélération. (résistance qu'oppose un corps à toute accélération ou modification de mouvement).??
  - Force centrale : radiale; force centrale newtonienne : en  $\frac{1}{r^2}$ .
  - Mouvement de la Lune, croit qu'il est circulaire... on attendait surtout la rotation propre, à la même période que sa translation circulaire (même face qu'on voit...).

— Comme manipulation : mesurer  $g$  c'est pas mal...

# Leçon 48

## Instruments optiques (secondaire) 02

Leçon de physique

LP11 – Instruments optiques

James WEBB Space Telescope

Présentée par Joachim GALIANA (Manon LECONTE), corrigée par H. PIOT-DURANT

Le 18/06/2020

### Ressources utilisées

- Ressources SPCL, ac. de Montpellier
- Houard

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau Terminale SPCL :

- Lentille convergente, tracé des rayons lumineux
- Miroir plan, miroir sphérique
- Grandissement
- L'œil humain (PP et PR)
- Loupe et grossissement commercial

**Difficultés** Tracé de rayons lumineux → on utilisera des schémas synoptiques.

La leçon se place dans la séquence pédagogique "Des ondes pour observer" du cours de T STL SPCL. Le cours précédent a pour objet l'étude des objets optiques de base (lentille convergente, miroirs) permettant un socle de connaissances autour du tracé de rayons. On réinvestit ces notions dans ce cours autour des instruments optiques.

On s'attache à introduire du nouveau vocabulaire commun aux instruments optiques : objectif, oculaire, pouvoir de résolution. On fait le choix de n'introduire que le grossissement pour caractériser les instruments optiques, mais on pourrait également introduire le pouvoir de séparation. Avec plus de temps, on aurait introduit la loupe dans ce cours (comme première sous-partie), car il s'agit d'un instrument optique plus simple que le microscope.

**Exemples de TD** : étude de la loupe, du microscope, des télescopes (en étude de documents).

Le cours comme le TD devraient être en relation avec l'expérimental, pour rendre les instruments optiques moins abstraits.

## Introduction

Dans le cours précédent, on a vu comment utiliser une lentille convergente pour former une loupe.

### Projection

#### Tracé de rayons pour la loupe

On a ainsi défini le **grossissement commercial** :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{d_m}{f'} \quad (48.1)$$

où  $d_m = 25$  cm est le punctum proximum et  $f' = 10$  cm la distance focale de la lentille. Si  $f' = 10$  cm, le grossissement commercial vaut  $G = 2,5$ .

Cependant, ce grossissement est faible si l'on souhaite observer des objets très petits, par exemple des cellules végétales, qui ont une taille de l'ordre de 10 à 100  $\mu\text{m}$ .

**Objectifs** – Comprendre le principe de fonctionnement d'instruments optiques comme le microscope ou le télescope.

## 48.1 Voir plus grand (6'10'')

### 48.1.1 Présentation du microscope

#### Projection

Schéma d'un microscope (**Source** : ac. de Montpellier).

On place l'échantillon sur le plateau qui est éclairé par la source de lumière. On définit l'**oculaire** comme la partie optique derrière laquelle l'observateur place son œil. L'**objectif** est la partie optique qui recueille la lumière issue de l'objet observé.

### 48.1.2 Modélisation du microscope (8'10'')

On dessine au tableau le schéma optique du microscope.

#### Projection

Schéma synoptique :  $A_0B_0 \xrightarrow{\text{objectif}} A_1B_1 \xrightarrow{\text{oculaire}} A_2B_2$ .

Pour que l'image  $A_2B_2$  soit à l'infini - de sorte que l'observateur la voit sans accommoder, il faut que  $A_1B_1$  soit dans le plan focal objet de l'oculaire.

Tracer les rayons pas à pas.

On définit le **grossissement** :

$$G = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \quad (48.2)$$

On suppose que  $\alpha_2$  et  $\alpha_1$  sont très faibles donc on a :

$$\alpha_2 \simeq \tan \alpha_2 = \frac{A_1B_1}{f'_2} ; \alpha_1 \simeq \frac{A_0B_0}{d_m} \quad (48.3)$$

Ainsi,

$$G = \frac{A_1 B_1}{A_0 B_0} \frac{d_m}{f'_2} = \gamma_{obj} \times G_{oc} \quad (48.4)$$

Que l'on peut réécrire en utilisant le théorème de Thalès :

$$G = \frac{\Delta d_m}{f'_1 f'_2} \quad (48.5)$$

où  $\Delta$  est l'intervalle optique du microscope : la distance entre le point focal image de l'objectif et le point focal objet de l'oculaire.

Si  $\Delta = 52$  cm,  $d_m = 110$  cm,  $f'_1 = 50$  mm et  $f'_2 = 200$  mm, on trouve un grossissement commercial  $G = 57$  (**Source** : Houard (p. 166)).

La dépendance en  $\gamma_{obj}$  est exploitée sur le microscope optique : on observe généralement quatre objectifs différents de grossissements 4, 10, 40 et 100.

#### Projection

Observation d'images au microscope optique pour lesquels le grossissement de l'objectif augmente (**Source** : Houard (p. 155)).

## 48.2 Voir plus loin (20')

#### Projection

Galilée invente en 1610 le premier instrument optique permettant de "voir plus loin" : la lunette astronomique. Newton corrigea ses défauts en 1668 en inventant le premier télescope à miroir sphérique.

### 48.2.1 Le télescope de Newton

#### Projection

Présentation du télescope de Newton (**Source** : ac. de Montpellier).

Si l'oculaire est une lentille comme pour le microscope, l'objectif est cette fois un miroir sphérique, appelé **miroir primaire**.

On dresse le schéma synoptique pour pouvoir tracer les rayons :

$$A_0 B_0 \xrightarrow{\text{miroir primaire}} A_1 B_1 \xrightarrow{\text{miroir secondaire}} A_1' B_1' \xrightarrow{\text{oculaire}} A_2 B_2$$

#### Projection

Tracé des rayons (à commenter).

On définit de nouveau le grossissement :

$$G = \frac{\alpha_2}{\alpha_0} = \frac{f'_1}{f'_2} \quad (48.6)$$

Pour  $f'_1 = 900$  mm et  $f'_2 = 15$  mm, on a  $G = 60$ .

Le grossissement augmente avec  $f'_1$ , qui correspond au rayon de courbure du miroir. Pour l'augmenter, il faut augmenter la taille du miroir, mais ça pose des contraintes techniques. En outre, si le télescope est situé sur Terre, l'atmosphère est une autre limite à la visualisation d'une image nette car elle peut interférer et perturber le front d'onde. C'est pourquoi les astronomes développent des télescopes dans l'espace.

### 48.2.2 Space telescope (27')

Hubble est un télescope spatial qui fut lancé en 1990. Il a pu prendre des clichés de l'espace très célèbres.

Projection
Hubble et ses clichés.

Ce télescope a une utilisation prévue jusqu'en 2030. Pour le succéder, le télescope James Webb Space Telescope (JWST) devrait être lancé en 2021.

Projection
Visualisation 3D du JWST.Site du JWST.

Le miroir du télescope est trois fois plus grand que celui de Hubble et composé d'oxydes de béryllium recouverts d'une fine couche d'or (100 nm). Les oxydes de béryllium étant très léger, le JWST est plus léger de 100 kg que Hubble.

Projection
Comparaison des tailles d'un être humain, du miroir de Hubble et du miroir du JWST.

## Conclusion

Projection
Bilan : comparaison microscope/télescope

*Fin : 30'33"*

## Questions

Questions	Réponses
<i>Le microscope.</i>	
Que se passe-t-il si $A_0B_0$ se trouve entre $F_1$ et $O_1$ ?	On a une loupe. On ne peut donc pas voir l'image à travers l'oculaire.

Citer d'autres exemples de microscopes non optiques.	AFM (force atomique), microscope à effet tunnel, microscope à transmission électronique (quelle est la différence entre les trois?). On approche une pointe chargée sur une surface à sonder.
--	---

Quelles sont les limites du microscopes ?

---

*Voir plus loin.*

De quoi est constituée la lunette astronomique ?	Deux lentilles convergentes.
Quelle est la spécificité des télescopes et lunettes par rapport au microscope ?	Ils sont afocaux.
Quelle lunette possède une lentille divergente ?	Celle de Galilée ou d'approche.
Quel est l'ordre de grandeur du diamètre des télescopes terrestres ?	Jusqu'à 10 m pour des miroirs primaires (VLT, 4 miroirs de 8 m, pour l'ELT en construction (au Chili), il possèdera 40 m de diamètre.
Quelles sont les limites du télescope ? Quel défaut lui est caractéristique par rapport à une lunette ?	Il possède plus d'aberrations géométriques.
Comment diminuer les aberrations chromatiques ?	Doublets achromatiques.

---

*Autres.*

Comment faire la différence entre lentille convergente et divergente expérimentalement ?	On peut regarder un texte à travers la lentille. S'il apparaît plus petit, elle est divergente ; sinon elle est convergente (à condition que $A_0B_0$ soit avant F). Une autre manière est de chercher une inversion de l'image, qui ne peut se produire que si la lentille est convergente (voir le Houard).
Quels sont les défauts classiques de l'œil (les expliquer) ?	La myopie, l'hypermétropie, ...
Comment appelle-t-on un œil sain ?	Un œil emmétrope.

---

## Débrief

**Situation de la leçon :** on pourrait également évoquer l'œil et la loupe, mais on ne peut présenter tous les instruments optiques en 30 min. Les choix de Joachim étaient les bons.

Les pré-requis sont bien ciblés.

Le plan de la leçon est cohérent. C'est bien de commencer par le microscope car la loupe vient d'être vue.

Il faut essayer de tracer au maximum les schémas au fur et à mesure.

**Microscope :** Il manque un angle  $\alpha$  sur le premier schéma.

Il faut changer la photo du montage optique pour ne pas faire apparaître le modèle de l'œil. Cela complexifie trop le montage sinon.

On pourrait ajouter un point historique sur le microscope. De manière générale, *il faut ajouter des*

*historiques dans les LP* car le jury en est friand.

**Télescope :** Il faut faire attention aux ordres de grandeurs du diamètre des télescopes terrestres. De manière générale, *il faut bien se renseigner sur l'élément imposé* (s'il est culturel) avant la leçon. Pour cela, on peut utiliser les pages *Wikipédia* en anglais.

**Autre :** il faut bien être au point sur les lentilles convergentes et divergentes. Pour cela, on peut consulter le Houard.

## Leçon 49

# Sources de lumières (secondaire) 02

Leçon de physique

LP12 – Sources de lumières

Spectre d'un laser

Présentée par Solène LEGRAND (Arthur LASBLEIZ), corrigée par Hélène PIOT-DURAND

Le 18/06/2020

### Ressources utilisées

- Physique Chimie, Hachette, 2019, Première
- Physique Chimie, Hachette, 2015, Première S
- Physique Chimie, Hatier, 2019, Première
- scpyhiques

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau 1re :

- Dualité onde-corpuscule, quantification des niveaux d'énergie [1re]
- Ondes électromagnétiques (longueur d'onde, célérité) [1re]
- Notion de spectre [seconde]
- Images et couleurs [1re]

Fin de première, dans la partie sur les ondes et les signaux. Se place juste après un cours sur la dualité onde-corpuscule et les niveaux d'énergie : on met cela en application en introduisant les interactions lumière-matière.

Les élèves seront familiers avec les notions de spectre, ici on s'intéresse aux phénomènes physiques qui sont responsables des spectres de différentes sources.

**Difficultés** Distinguer différents types de sources : parties séparées.

Faire le lien entre micro et macroscopique : animation.

Bien sûr, conversion difficile, on fait les calculs ensemble.

Choix de parler d'émission stimulée bien que ce ne soit pas explicitement au programme, mais ce sera revu bien sûr en terminale.

Se place après ce cours onde-corpuscule mais avec plus de temps, on aurait préféré l'intégrer à la même leçon.

## Introduction

Dans le cours précédent, on a parlé de la couleur des objets. On a vu les phénomènes de diffusion, transmission et absorption : mais l'objet doit être éclairé. Dans ce cours, on s'intéresse alors aux sources de lumières.

Quels sont les principes associés à l'origine de la lumière ? On prend la définition que la lumière est l'onde électromagnétique entre 400 et 800 nm.

### Projection

Spectre lumière visible.

Quelles sont alors les différences entre différentes sources de lumières, comme le soleil et un laser ?

### Objectifs

Comprendre l'origine de la lumière et savoir différencier les sources chaudes et sources froides.

Vous avez vu précédemment le caractère corpusculaire de la lumière. La lumière est transportée par un corpuscule qui est le photon, et on sait que les niveaux d'énergie associés sont quantifiés : à partir de cela, comment comprendre l'origine de la lumière que l'on perçoit ?

## 49.1 Les sources froides

### 49.1.1 Les interaction lumière–matière

#### Projection

Niveaux d'énergie et spectre de l'atome d'hydrogène, Animation.

Cas où l'énergie finale est supérieure à l'énergie initiale : c'est l'absorption d'un photon ! Cela se traduit par une raie sombre dans le spectre d'absorption, telle que :

$$\Delta E = h \frac{c}{\lambda} \quad (49.1)$$

Mais il n'y a pas d'émission de lumière de la part de l'atome !

Cas contraire où l'énergie initiale est supérieure à l'énergie finale : c'est l'émission d'un photon ! On a alors une source de lumière, pour laquelle on a un spectre avec une raie d'émission, telle que :

$$\Delta E = h \frac{c}{\lambda} \quad (49.2)$$

C'est le principe des lampes spectrales : tube rempli d'un gaz, atomes excités par un courant électrique. Les atomes émettent alors tous aux mêmes longueurs d'onde.

#### Projection

Tube néon.

On retient alors : le spectre d'une source froide est un spectre de raies ! Plusieurs raies... plusieurs couleurs. Comment faire pour avoir une seule longueur d'onde alors ?

On utilise un LASER.

Projection

Spectre d'un laser He-Ne, source wikipédia.

### 49.1.2 Une source froide particulière : le LASER

[donner acronyme LASER]

Il s'agit d'une source monochromatique !

Projection

Émission d'un photon, spontanée et stimulée, Hachette PC Terminale S.

L'émission stimulée est à la base du principe d'un LASER. L'émission stimulée est l'émission d'un photon à la même longueur d'onde et dans la même direction que le photon incident. Revu en Terminale !

Mais pour avoir un LASER, il faut plusieurs caractéristiques :

- un milieu amplificateur ;
- apport d'énergie extérieur ;
- cavité fermée par des miroirs.

Projection

Fonctionnement d'un LASER, cea.fr

Toutes ces caractéristiques permettent d'obtenir une source monochromatique.

Mais si on observe le spectre de différentes sources de lumière, comme le soleil, on a pas un spectre de raie : quelle autre source possible de la lumière, autre que l'émission de photon entre atomes excités ?

## 49.2 Les sources chaudes

### 49.2.1 Spectre d'une sources chaude

Projection

Source chaude, lampe à incandescence. Source : science étonnante.

Lorsqu'un corps est porté à haute température, il peut émettre de la lumière.

Modèle du corps noir : objet idéal qui absorbe toute les radiations, il n'en transmet et réfléchit aucune. Lorsqu'il chauffe, il émet des ondes électromagnétiques par rayonnement.

Il y a comme exemple la lampe à incandescence, pour laquelle on voit le spectre.

Projection

Lampe à incandescence, filament dans un bulbe ; LINDSAY et commercialisée par EDISON en 1779

La lampe à incandescence consiste en un filament de tungstène chauffé à haute température !

À retenir ici : le spectre d'une source chaude est continu.

Si on note alors  $\lambda_{\max}$  la longueur d'onde pour laquelle l'intensité est maximale, on peut la prévoir en connaissant sa température ou inversement, à l'aide de la loi de WIEN.

### Projection

Spectre d'une étoile, modélisée par un corps noir, variation en température. Animation

La longueur d'onde à laquelle l'intensité est maximale diminue avec la température.

### Projection

Loi de WIEN, portrait de WIEN.

$$\lambda_{\max} = \frac{2.9 \times 10^{-3}}{T}, \quad (49.3)$$

où  $T$  est la température en K et  $\lambda_{\max}$  en m.

On note que cette loi ne donne que le maximum du spectre et pas l'allure du spectre totale!

Appliquer : avec le soleil.

### Projection

Spectre du soleil, source : PC 1reS 2015, Hachette.

Il faut tout d'abord penser à convertir : les nanomètres en mètres; la température est alors  $6.04 \times 10^3$  K qu'il convient de convertir en celsius, soit  $5.75 \times 10^3$  °C. Il s'agit de la température à la surface du soleil (attention!).

Il y a des écarts dûs au modèle du corps noir.

## Conclusion

### Projection

Source froide : émission d'un photon par désexcitation d'un atome, spectre de raies, quantification de l'énergie.

Source chaude : émission d'onde électromagnétique par rayonnement, spectre continu, loi de WIEN.

En réalité, source chaude avec spectre continu : possède des raies d'absorption comme on l'a vu au début. Cela nous permet d'étudier la composition du soleil! En effet, on retrouve les raies dues aux atomes, qui leurs sont caractéristiques!

## Questions

### Questions

La température du cœur du soleil ?

Reconnaître source chaude ou froide, regarder le spectre continu... mais le soleil a bien des raies, il n'est pas continu, comme vous l'avez dit... comment le faire voir à un élève? cette différence entre source froide et source chaude ?

### Réponses

De l'ordre de  $5 \times 10^6$  K.

Loi phénoménologique pour la loi de WIEN, c'est quoi une loi phénoménologique ?	Loi basée sur l'expérience ((ça c'est empirique...)).
Retour sur l'émission stimulée ; serait-il possible d'avoir plusieurs photons émis lors d'une telle photon émis ? Plus exactement, possible d'avoir lors d'une désexcitation plusieurs photons émis plutôt qu'un seul ?	
Sur le spectre du laser, est-ce que c'est tout les laser, qui ont toujours une seule longueur d'onde ?	En général, toujours une petite fenêtre (?)
Sur le spectre électromagnétique ; pour-quoi on voit dans cette gamme du visible et pas dans l'infrarouge ?	Lors de l'évolution, yeux sensibles à la lumière du soleil, sensible au maximum d'intensité du soleil.
Un instrument qui permettrait de voir dans l'infrarouge ?	Lunettes thermiques.
Modèle du corps noir, il en existe dans la nature des corps noirs ?	Non. C'est un modèle ; même le soleil s'en écarte et ne répond pas aux hypothèses du corps noir.
Quelles sont-elles ?	Toutes les radiations sont absorbées et équilibre thermodynamique (c'est pour ça que le soleil n'en est pas un).
Pourquoi le terme de corps noir alors ?	Absorbe tout, donc n'en diffuse et transmet pas, noir.
Comment le soleil créer son énergie et cette lumière ?	Fusions nucléaire au sein du noyau solaire.
Avec quelle formule on quantifie cette énergie ?	$E = mc^2$
Pourquoi on verrait le soleil jaune en journée et plutôt rouge en fin de journée ? D'ailleurs pourquoi on le voit jaune le soleil, ce serait plutôt blanc non ?	Atmosphère, diffusion ?
Sur le LASER ; est-ce qu'on peut parler de la sécurité autour du LASER ?	Différentes classes : classe 1 ou 2 en cours. Dépend des sécurités à employer ; jusqu'à 2, on a le temps (réflexe) de s'éloigner du danger.
Utilisation de LASER de classe 4 ?	Découpe ou gravage d'objets.
C'était l'une des premières utilisation du LASER ?	
Lorsqu'on parle de diode LASER ; ça fonctionne de la même façon ?	Semi-conducteurs ; l'énergie est due à un gap entre bande de conduction et valence. LASER de semi-conducteurs, par de cavités et pas de miroirs.

LASER dans les pointeurs, quels type de fonctionnement de LASER ?	?
Qu'est-ce que la fluorescence ?	Absorption de photons par des atomes/molécules; émettent alors par fluorescence, selon certaines règles de sélection.
Quelle est la différence avec une simple émission de lumière ?	
La différence avec la cavité LASER par exemple ?	Absorption et émission ne se font pas à la même longueur d'onde pour la fluorescence.
Et la phosphorescence ?	Transition électronique, sur des temps bien plus longs, puisqu'il y a d'abord un croisement inter-système qui est une transition interdite.
Température d'une lampe à incandescence, ou autre, une bougie ?	
Si on reprend l'animation sur le corps noir.	
Animaux capables d'émettre de la lumière ? Comment ils s'y prennent ?	Lucioles (réaction entre deux molécules, autre molécule qui se désexcite), (plonctons?)
Est-il possible d'avoir une particule qui va plus vite que la lumière ?	
Quelle est la limite de la vitesse de la lumière, elle est où ?	Dans le vide
Effet CERENKOE, la particule, en rattrapant la vitesse la lumière, émet un photon !	
Quelle forme a la raie d'un LASER	Une lorentzienne.
Pourquoi il y a un étalement alors ?	
Pédagogiquement, pourquoi parler des sources froides en premier ?	Donner une application au pré-requis dualité onde-corpuscule.

## Debrief

- Plan OK, bien pouvoir défendre l'ordre (les deux se font).
- Être plus précise sur le vocabulaire, faire attention...
- Miroir semi-réfléchissant pour le LASER... revoir.
- Plus de couleurs au tableau.
- Équilibre entre écriture et dialogue bon.

## Leçon 50

# Phénomènes de polarisation en optique (secondaire) 02

Leçon de physique

LP6 – Phénomènes de polarisation en optique

Écrans LCD

Présentée par Bénédicte GREBILLE (Lucile BRIDOU), corrigée par L. DEMEURE

Le 23/06/2020

### Ressources utilisées

- HOUARD
- HECHT
- TAILLET
- NATHAN TSTL

### Introduction pédagogique

Introduction des différentes notions en première partie d'un cours, puis en seconde partie, étude d'applications (loi de BIOT, utilisée, et applications technologiques : écrans LCD...).

### Introduction

Que se passe-t-il si on place des lunettes devant un écran et qu'on les tourne ?

## 50.1 De la lumière naturelle à la lumière polarisée

### 50.1.1 Caractéristiques d'une lumière polarisée ou non

Focus sur la polarisation rectiligne.

## 50.1.2 Obtention d'une lumière polarisée

Expliquer birévement le principe d'un polariseur à grilles...  
Comment savoir si la lumière est bien polarisée ?

## 50.2 Application de la lumière polarisée

### 50.2.1 En chimie : détermination d'une concentration

On dit que les molécules chirales sont optiquement actives : elles font tourner le plan de polarisation de la lumière.

Présenter des ODG de pouvoirs rotatoires spécifiques de différents sucres.

D'après le schéma, vient que le pouvoir rotatoire est proportionnel à la longueur de la cuve ; d'après la courbe expérimentale, vient qu'il est proportionnel à la concentration. Arriver finalement à la loi de BIOT, insister sur les unités.

Expliquer la lecture d'un pouvoir rotatoire sur un polarimètre de LAURENT ; utiliser ensuite la droite d'étalonnage pour déterminer la concentration en saccharose du sirop ; déterminer l'équivalent en morceaux de sucre d'une posologie...

Méthode qui est utilisée dans l'industrie (contrôle qualité).

### 50.2.2 Dans la vie de tous les jours : écrans LCD

Liquid crystal display ; expliquer le principe jusqu'à obtention des couleurs.

## Conclusion

Revenir sur lumière naturelle non polarisée, fonctionnement du polariseur ; applications (contrôle qualité et technologie).

Ouvrir sur cours suivant : diffraction.

## Questions

Questions	Réponses
Comment polariser autrement la lumière ?	Réflexions, lames biréfringentes.
Décrire ce qu'est l'angle de BREWSTER.	
Quelles expériences de polarisation faire à la maison ?	Lunettes polarisées.
À quoi servent-elles ?	Réduire les reflets.
Préciser quel type de dosage est en pré-requis, quand cela est-il vu par les élèves ?	Dosage par étalonnage, dès la seconde.
Pourquoi une onde électromagnétique est-elle transverse ?	
Discussion didactique de l'expression « direction invariante du champ $\vec{E}$ ».	

Est-ce que la notation en double flèche d'une onde polarisée peut prêter à confusion ?	Confusion avec les lentilles convergentes.
Et empêcher que les élèves confondent ?	Mettre le champ élec. à côté et signaler que ça n'a rien à voir.
Compléter la définition de polariseur	
De quoi est fait un polariseur ?	
Les élèves peuvent-ils comprendre son fonctionnement ?	Oui si l'absorption est en pré-requis.
Quelle est l'origine historique des unités de la loi de BIOT ?	
Y a-t-il un domaine de validité à la loi de BIOT ?	Il ne faut pas que l'angle dépasse 180/90 degrés (en fonction du quadrant du polarimètre).
Pourquoi a-t-on dilué le sirop d'un facteur 2 pour la mesure de polarimétrie ?	
Comment les cristaux liquides sont-ils répartis entre les deux plaques ?	

## Debrief

Il faut savoir répondre aux questions sur l'angle de BREWSTER.  
 Il faut donner les unités dès qu'on définit une nouvelle grandeur.  
 Il faut mieux expliciter le pré-requis « Dosages ».

# Leçon 51

## Aspects ondulatoires en optique (secondaire) 02

Leçon de physique

LP4 – Aspects ondulatoires en optique  
Commenter des images de « diffraction spikes » pour des clichés d'étoiles  
Présentée par Luc PONTOGLIO (Théodore OLLA), corrigée par L. DEMEURE  
Le 23/06/2020

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau XX :

**Difficultés** Caractère ondulatoire de la lumière moins facile à saisir que le caractère corpusculaire (?)  
TP : mesure du diamètre d'un cheveu par diffraction d'icelui. Mesure de la longueur d'onde d'un laser.  
Si possible, toujours faire le lien entre la lumière et les ondes mécaniques.  
Attention à ne pas prendre comme file conducteur la cuve à ondes car ce n'est pas de l'optique.

### Introduction

Objectifs

### Conclusion

### Questions

Questions

Réponses

---

## Debrief

# Leçon 52

## Transferts thermiques (secondaire) 02

Leçon de physique

LP14 – Transferts thermiques  
Structure thermique de la planète Terre  
Présentée par Arthur LASBLEIZ (Solène LEGRAND), corrigée par J. ROLLAND  
Le 24/06/2020

### Ressources utilisées

- Microméga, PC Tle S
- Belin Physique Tle S
- svtlyceedevenne.com
- planet-terre.ens-lyon.fr

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau Terminale S :

- Loi d'OHM [lycée]
- Notion de géologie en terminale S (structure en couche, dérive des continents, zones de subduction)

Niveau de terminale S, certains pré-requis notamment en SVT... Esprit du programme de plus en plus au lycée : de plus en plus interdisciplinaire. Pousse à développer dans cette leçon certains aspects de la SVT, qu'on prend d'un point de vue physique.

Terre dans sa globalité, avec atmosphère et structure interne (« planète Terre »).

**Difficultés** Fait appel à des notions de géologie de SVT.

Dans le programme de terminale S, transferts thermiques interviennent dans les échanges énergétiques et sont décrits comme un moyen de modifier l'énergie interne d'un système. Permet d'étudier des bilans thermiques, des rendements de machines... après bien sûr avoir introduit la notion d'énergie interne.

Activités pour reconnaître et différencier les différents modes de transferts thermiques.

4 min

## Introduction

On a vu ce qu'est l'énergie interne d'un système dans les derniers cours. Comment étudier son évolution, comment la modifier ?

Aujourd'hui on s'intéresse à l'un de ces moyens : les transferts thermiques. On essaiera de se rapprocher chaque fois à l'exemple de la planète Terre, siège de nombreux échanges d'énergie.

### Objectifs

Connaître quels sont les différents modes de transferts thermiques, les identifier.  
Connaître leurs conséquences dans le cas de la planète Terre.

## 52.1 Modes de transferts thermiques

### 52.1.1 La conduction

La conduction dans un solide est un transfert thermique de proche en proche.

#### Projection

*Heat conduction*, vidéo Youtube (Conduction | Heat | Physics), conduction de chaleur dans une cuillère.

### 52.1.2 Le rayonnement

Pourquoi lorsqu'on s'expose au soleil, on « a chaud » ? Les ondes électromagnétiques émises par le soleil heurtent notre peau.

#### Projection

Vidéo youtube « transfert thermique par rayonnement », chauffage d'eau dans des tubes à essai avec et sans rayonnement.

Quel est le rayonnement qui s'applique sur la Terre ? Quelles sont les conséquences du rayonnement soleil sur la Terre ; quel rapport avec les saisons ?

Si on s'intéresse à une autre vidéo.

#### Projection

Time laps de la NASA, éclairement solaire varie selon que l'axe de la Terre varie autour du soleil.

#### Projection

Capture d'écran, hiver et été ; rayonnement qui a une intensité différente...

### 52.1.3 La convection

Mouvement macroscopique de la matière.

### Projection

technosciences.net, chauffage d'eau dans une casserole et rouleaux de convection lors du chauffage de l'eau.

L'eau en chauffant est moins dense et remonte ainsi vers le haut ; en arrivant à la surface, l'eau se refroidit à nouveau et redescend...

Quelles effets pour la Terre ? Convection existe aussi, à très long terme ! Si l'on regarde les différentes couches de la Terre...

### Projection

La naissance de la Terre, *Pour la science*, n. 329.

Couches de plus en plus profondes sont de plus en plus chaude. On parle de convection mantélique. Quelle convection dans le manteau ?

### Projection

Convection mantellique, source Wikipédia.

Cette convection fait bouger les plaques : retrouver ce qu'on connaît en SVT, dorsale se créer et lithosphère entre dans l'asthénosphère.

Explique donc les mouvements de la croûte terrestre.

16 min

On a vu ces trois modes de transferts thermiques. Une fois qu'ils sont définis, on peut s'intéresser à comment en faire un bilan et d'en trouver des applications dans la vie de tous les jours (chauffage d'une maison par exemple)...

La maison est en contact avec l'extérieur : comment qualifier les transferts thermiques et les minimiser lorsque cela nous intéresse.

## 52.2 Modèle du transfert thermique à travers une paroi plane

### Projection

sphysiques.free.fr, paroi plane séparant deux milieux de température différente (0 °C et 20 °C).

Comment quantifier et modéliser un transfert thermique ?

### 52.2.1 Flux et résistance thermiques

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}, \quad (52.1)$$

où l'on commente les unités : J sur des s, le flux est donc homogène à une puissance.

On définit alors la résistance thermique associée à une paroi :

$$R_{th} = \frac{T_e - T_f}{\phi}, \quad (52.2)$$

où l'on commente à nouveau les unités.

Analogie avec l'électricité! La loi d'Ohm donne que :

$$U = R_e I \quad (52.3)$$

que l'on réécrit pour faire apparaître les analogies! La tension est une différence de potentiel, différence de température...

On aimerait bien avoir une expression de la résistance thermique qui dépende des matériaux utilisés! C'est l'objet de la deuxième partie.

### 52.2.2 Expression de la résistance thermique

Quels paramètres vont jouer sur la résistance thermique. Retour sur la projection : on se doute qu'il y aura une influence de l'épaisseur (se comprend bien), de la surface de la paroi (pas évident! mettre en difficulté : flux est surfacique, plus la surface est grande, plus on transfère d'énergie interne) et la paroi elle-même.

On peut alors déterminer que :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda S} \quad (52.4)$$

où l'on commente à nouveau les paramètres en introduisant  $\lambda$  (donner les ordg!).

Projection

sphysics.free.fr, animation avec surface, températures ext. et int.

Retour sur ce qu'il se passe sur Terre : comment utiliser le flux et la résistance thermiques? Notion de flux géothermique.

### 52.2.3 Flux géothermique

Le flux géothermique est par définition le flux qui traverse une unité de surface de la Terre :

$$\phi_g = \frac{\phi}{S}. \quad (52.5)$$

Projection

Flux géothermiques à la surface de la croûte terrestre, source : [blog.ac-versailles.fr](http://blog.ac-versailles.fr)

Comment interpréter ces variations?

Lorsque l'épaisseur augmente, le flux diminue et donc le flux géothermique aussi; et inversement. En revenant à la carte, dans les zones rouges, on a une température élevée plus rapide quand on creuse en profondeur (?). C'est un résultat que vous connaissez en fait! Il s'agit de localiser les dorsales, qui ont une épaisseur plus faible.

Projection

Retour au schéma de convection dans le manteau terrestre...

## Conclusion

Pour conclure...

## Projection

Trois modes de transferts thermiques (conduction, rayonnement, convection).  
On peut qualifier le transfert thermique à travers une paroi par un flux thermique et une résistance thermique, qui varie selon plusieurs paramètres.

**Remarque** – Préférer conclusion sur l’analogie et vraiment donner la dépendance de la résistance avec le reste.

## Questions

Questions	Réponses
Mentionné l’atmosphère, la surface et l’intérieur de la Terre : est-ce que c’est les seuls endroits où il y a des transferts thermiques sur Terre? Qu’est-ce que vous oubliez dans ce découpage?	L’océan, transferts thermiques dans l’atmosphère d’une part et aussi les océans.
Il s’y passe quoi?	À l’intérieur des océans... dynamique du climat... voir circulation thermohaline.
Pour la conduction, uniquement pour un solide, pourquoi ne montrer que pour un solide?	La plus évidente car dans les fluides il y a en général aussi de la convection...
Vidéo avec une cuillère chauffée à un bout; est-ce que vous pourriez dire comment trouver un odg du temps nécessaire pour faire fondre les différents morceaux de cire.	Constante de diffusion thermique et la longueur caractéristique par le temps...
Quelle dimension a le coefficient de diffusion thermique? Réécrire une équation de diffusion?	$\text{meter}^2/\text{s}$ donc avec une analyse dimensionnelle... trouver les ordres de grandeurs...
Où ou comment trouver des odg de constantes de diffusion pour ce genre de métaux?	
Rayonnement : attention, ondes magnétiques?	Électromagnétiques.
Détail de ce qu’il se passe lorsqu’une onde électromagnétique se propage, à travers un gaz par exemple; comment et pourquoi elle cède de l’énergie?	(Absorption...?)

On se pose la question, pour l'expérience du rayonnement, est-ce que si on a une surface en verre, le rayonnement est toujours transmis? Autrement, est-on sûr que l'opacité ou non d'un verre permet de stopper les rayonnement?	Non, peut transmettre l'IR ou l'UV...
Comment faire la lien entre la température et le rayonnement?	Modèle du corps noir et loi de WIEN
Dans quel domaine émet un corps à 40 °C?	Dans l'infrarouge
Et pour le soleil? Pourquoi dans le visible? Quelle température à sa surface?	
Dans le transparent montrant la terre prise par la NASA; comment fait-on pour toujours capter la même image de la Terre comme ça?	Satellites géostationnaires? à une altitude donnée...
Saisons en fonction de l'axe de rotation de la Terre... est-ce que vous pourriez commenter aussi la température dans l'atmosphère (troposphère) au printemps ou en automne en fonction de la latitude? (pôles, équateur...).	
Rayonnement électromagnétique arrive du soleil; comment il fournit de la chaleur à la terre? il est absorbé? comment, pourquoi?	Effet de serre?
Est-ce que c'est la couche d'ozone qui est importante?	Vapeur d'eau, dioxyde de carbone, NOx...
Une partie absorbée et une partie réfléchit, qui se réfléchit à nouveau...	
Convection : réexpliquer un peu le phénomène de convection thermique.	
Préciser quelque chose : quelle accélération de la gravité par rapport à la température? très simplement? Si on chauffer par dessus, est-ce qu'il se passerait quelque chose?	Chauffage par conduction... ici ce qui importe est la compétition entre gravité (dont il faut préciser le sens) et agitation thermique/poussée (d'archimède?)...
Quelle taille du rouleau de convection si la profondeur est de 5 cm?	Taille caractéristique est à peu près la même dans les deux directions; jouent alors un rôle dans la convection du manteau!

Exemple du mur pour les flux ; directement donné le flux sans parler des caractéristiques et en particulier de la taille et de la surface... est-ce que c'est plus naturel de d'abord considérer la surface ou le flux ?

Est-ce que ce serait pas plus pertinent de regarder l'ensemble du bâtiment, sa variation d'énergie interne sur un temps donnée, égale à quoi ?

Q, transfert thermique, chaleur reçue, puis aller vers le flux ?

## Debrief

- Quand on passe entre les transparents et le tableau, c'est bien de préciser « On passe au transparent », « On passe au tableau ».
- Avoir une idée des convections dans l'océan et dans l'atmosphère au cas où les questions viennent dessus. Pour l'atmosphère, une convection très proche de la surface (1 km) qui s'explique simplement ; et au delà, circulation comme thermohaline, bien plus compliquée à expliquer...

# Leçon 53

## Images et couleurs (secondaire) 02

Leçon de physique

LP10 – Images et couleurs  
Principe du négatif couleur en photographie  
Présentée par Manon LECONTE (Joachim GALIANA), corrigée par J. ROLLAND  
Le 24/06/2020

### Ressources utilisées

- Belin PC 1re
- LLS PC 1re
- LLS PC seconde
- unisciel.fr
- HOUARD
- Déc. du film négatif couleur, wikipédia

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau 1re Enseignement de spécialité :

- Image d'un objet par une lentille convergente (images réelle, virtuelle, relation de conjugaison et grandissement)
- Lien entre couleur et longueur d'onde
- Oxydoréduction
- Décomposition de la lumière blanche
- Absorbance (lien entre couleur d'une solution et couleurs absorbées)
- Objets optiques

Images et couleurs et élément imposé. Leçon placée en première, enseignement de spécialité, s'inscrit dans la séquence « Ondes et signaux » avec un cours précédent sur l'optique géométrique.

On se focalise plutôt sur ce cours sur la vision des couleurs, nécessitant un certains nombre de pré-requis : optique géométrique pour le modèle de l'œil... Pré-requis d'oxydoréduction pour comprendre ce qu'il se passe sur le négatif photographique.

Choix de présenter ici le modèle de l'œil, normalement vu au nouveau programme de seconde, mais ici, vision des images et visions des couleurs.

**Difficultés** Différence entre synthèse additive et synthèse soustractive, systématiquement donner des exemples, utiliser des applications...

Comprendre que la couleur d'un objet n'est pas « absolue », dépend de la lumière (animation de même).

Élément imposé peut poser problème car superpose phénomènes physique et chimique.

En TD : déterminer avec les élèves à quoi est due la couleur d'un objet ; analyse de document sur l'imprimante, l'imprimerie en général.

En TP : reprendre les expériences issues des animations.

3.5 min

## Introduction

Couleurs nous entourent au quotidien si on peut les voir (sans pathologie); notions très utiles pour aider à la perception des choses, notamment sur des cartes (couleurs froide/chaude, notion de danger...)

Projection

Carte météo et carte canicule/inondation (danger).

Vous vous demandez peut-être comment l'œil perçoit les couleurs et pourquoi les couleurs d'un vêtement en vitrine peuvent différer des couleurs en cabine, alors que seule l'éclairage diffère.

Objectifs

Comprendre à quoi est due la couleur d'un objet.

Comprendre comment l'œil peut voir les couleurs.

On s'intéresse tout d'abord à la couleur des objets.

6 min

## 53.1 La couleur d'un objet

Pour déterminer la couleur d'un objet, on va utiliser deux outils : les synthèse additive et soustractive.

### 53.1.1 Synthèses additive et soustractive

#### Synthèse additive

mélange de lumières colorées. On parle de trois couleurs primaires : le rouge, le vert et le bleu.

Projection

Animation PHET, synthèse additive, lampes RVB.

On voit que lorsque l'œil reçoit la couleur verte, bleue et rouge, il perçoit du blanc.

On peut alors obtenir d'autres couleurs à partir des couleurs primaires : par exemple, en éteignant le rouge, on observe le cyan, composé de bleu et de vert. on dit que le cyan est la couleur complémentaire du rouge car on l'obtient en éliminant toutes les composantes rouges de la lumière.

On parle alors de trois couleurs secondaires, respectivement cyan, magenta et jaune.

### Projection

Application : écrans de télévision, pixels composés de trois couleurs (rouge, vert et bleu), voir HOUARD et LLS.

Appellation RGB ou RVB.  
10.5 min

### Synthèse soustractive

Issue de filtres ou de pigments (attirer l'attention là dessus ?) éclairés par la même source de lumière.

### Projection

Animation PHET. Trois filtres colorés, magenta, jaune et cyan.

Couleurs primaires et secondaires inversées par rapport à la synthèse additive. Cyan, magenta et jaune, que l'on peut superposer pour obtenir les couleurs secondaires... et le noir si l'on superpose les trois couleurs primaires !

Déjà manipulé lorsqu'on fait de la peinture (revenir sur les pigments ici alors ? absorption = même phénomène pigments des peintures ou filtres de couleur).

### Projection

Application : encres d'une imprimante et aussi en photographie, négatif couleur (LLS et Wid-sMob).

On peut maintenant se demander quelle couleur on peut percevoir en fonction de la lumière qui éclaire un objet ?

### 53.1.2 Couleur perçue d'un objet

Si on insiste sur le fait que la couleur est perçue, c'est parce qu'il ne s'agit pas d'un concept absolu, cela dépend de la lumière qui éclaire un objet.

On définit trois nouveaux termes :

**l'absorption** , un objet coloré absorbe sa couleur complémentaire ;

**la transmission** , un objet transmet sa propre couleur ;

**la diffusion** , un objet réfléchit une partie de la lumière qu'il reçoit.

17 min

On peut schématiser cela :

### Projection

Lumière blanche incidente sur un objet vert ; absorbe magenta et diffuse vert (?), Belin.

### Projection

Animation PHET, objet rouge éclairé par une lumière rouge...

Revenir sur la technique de photographie avec négatifs couleurs.

Œil	Modélisation
Iris	Diaphragme
Cristallin	Lentille convergente
Rétine	Écran

### 53.1.3 Photographie par négatif couleur

Photographie couleur pour la première fois en 1905, par synthèse additive : méthode insatisfaisante.

Projection

Méthode par synthèse soustractive, source : développement d'un film négatif couleur, Wikipédia.

Les couches sont composées de bromure d'argent AgBr et d'un « coupleur ». Sensibles à la lumière, l'argent peut se réduire :



et le coupleur peut s'oxyder. En s'oxydant, il relâche un colorant de couleur complémentaire à la couche.

Le négatif est aussi constitué de filtres...

Projection

Quatre images, sources wikipédia toujours...

On a vu comment obtenir des couleurs pour des objets ; comment l'œil voit-il ces couleurs ?  
22 min

## 53.2 La vision humaine

### 53.2.1 Le modèle de l'œil

Projection

LLS, œil biologique face à son modèle (iris/diaphragme, cristallin/lentille convergente et rétine/écran).

Ces objets optiques ont été vus dans le cours précédent. On peut tracer un tableau d'équivalence entre les parties de l'œil et les objets optiques correspondant.

Iris, donc diaphragme, peut connu.

Projection

Iris contracté et iris dilaté, source polevision.fr.

Environnement éclairé : iris contracté, pupille plus petite (= diaphragme fermé). Environnement peu éclairé : iris dilaté, pupille plus grande (= diaphragme ouvert).

Tout cela ne permet pas de comprendre la vision des couleurs (iris et cristallin) : il faut s'intéresser à la surface de la rétine.

## 53.2.2 Vision des couleurs

26.5 min

Projection

Rétine observée au microscope électronique HOUARD.

La rétine est tapissée de *batonnets* qui servent à détecter l'intensité lumineuse; et de *cônes* qui permettent de percevoir les couleurs.

Projection

LLS, sensibilité des différents cônes.

On parle de trichromie : il existe trois types de cônes sensible chacun à une couleur primaire de la synthèse additive.

29 min

On peut alors recréer la couleur des objets par ce qu'ils émettent par synthèse additive.

## Conclusion

Projection

Slide bilan : couleur = par synthèse additive ou soustractive; perçue d'un objet (absorption, transmission ou diffusion).

Modèle de l'œil (reprendre les équivalences, insister sur la rétine).

30.5 min

## Questions

### Questions

Mentionné les pathologie donnant des différences de perception des couleurs; développer ?

Choix des cartes de couleurs est donc assez important...

Synthèse additive et soustractive, vous parlez de « somme des couleurs », comment on peut sommer des couleurs ?

Quelle est la propriété qui indique les longueurs d'onde présentes dans le rayonnement ? Par exemple, une lampe hydrogène, comment on appelle propriété disant les longueurs d'onde ?

### Réponses

Daltonisme, la plus connue : l'un des cônes a une sensibilité moins bonne ou un maximum de sensibilité décalé. Autre pathologie : quatre types de cônes... autres espèces, dichromie...

Superposer les faisceaux lumineux de trois couleurs primaires en additive; en soustractive, effet inverse, décomposition de la lumière...

Son spectre...

Si j'émet une lumière blanche et regarde son spectre, uniquement bleu vert et rouge ou pas ?	Dépend de la source lumineuse qui est utilisée ; soleil spectre continu, LED spectres essentiellement de deux longueurs d'onde...
Il y en a qu'on perçoit comme blanche et il y en a que ont des spectres blanc ayant toutes les longueurs d'onde.	
Système RGB, utilisé en technologie... Ensemble de trois couleurs qui est plus anciens et qui permet de recréer l'ensemble des couleurs ?	??
Filtre, mentionner différents types de filtres, leurs fonctionnements, quels degrés de précision ils ont ? Obtenir du rouge à partir de blanc par exemple	Imprégner un matériau plastique dans un colorant rouge...
Autre type de filtre ?	Filtre interférentiel...
Quels avantages et inconvénients par rapport aux filtres plastiques ?	FI permet de sélectionner une longueur d'onde, lumière monochromatique, bande très fine (pas assuré de cette précision pour les filtres colorés car il s'agit d'une bande d'absorption).
Dans quelle situation un FI est moins intéressant alors ?	Prix du FI...
Si on regarde la lumière reçue, quelle autre propriété que la longueur d'onde ?	L'intensité, plus faible pour le FI que pour le filtre coloré.
Parlé du modèle de l'œil, iris comme diaphragme ; à part sur les effets de luminosité, quel autre rôle peut jouer un diaphragme, pourquoi on voudrait réduire son diamètre ?	Réduire les aberrations géométriques, rayon plus faible en sortie. Éviter aussi les phénomènes de saturation (diminuer l'intensité lumineuse)...
Sur la modélisation de l'œil ; quelle est la distance typique de l'écran par rapport à la lentille ?	Écran placé à la distance focale du cristallin pour un œil émmetrope (de l'ordre de 17 mm).
En quoi c'est intéressant ?	Image d'un objet à l'infini, image (nette) se forme sur la rétine.
Qu'est-ce qui se passe si on met un objet plus proche que le punctum proximum ?	Point le plus proche pour lequel l'œil n'accomode pas pour le voir net (au delà, tout est considéré comme à l'infini) ; plus proche, muscle autour du cristallin augmente sa convergence...
Autre point mentionné ?	Punctum remotum, pour un œil émmetrope, il est à l'infini, ce qui n'est pas le cas pour un œil myope.

Sur absorption, transmission et réflexion ; sur rayonnement réfléchi, quel type de solide va avoir tendance à réfléchir beaucoup la lumière ?

Les métaux ; ...

Couleurs des métaux

Différence d'énergie

Pourquoi un métal va bien réfléchir la lumière, contrairement à un plastique par exemple ?

Métal bon milieu conducteur électrique, propriétés de réflexion différente que pour un isolant...

Si on fait un schéma simple, vide d'un côté, interface puis métal ; rayonnement électromagnétique incident est transmise ou réfléchi. Coefficients de réflexion et transmission s'expriment pour le métal, très peu de rayonnement transmis, concentre les courants à la surface car il est très bon conducteur (?) ; une partie va être absorbée et transmise...

Partie photographie : couche d'argent réduite parce qu'un électron arrive ; est-ce que c'est intuitif ? Aussi, si on expose du métal argent au soleil, il va se passer quoi ?

Oxydation à la surface, couche d'oxyde qui noircit à la lumière.

Sel d'argent ici, réduit, d'où vient cet électron ?

Complicé pour des élèves de première, mais sous l'effet d'un photon, électron libéré de la structure d'AgBr... (c'est pas un électron qui vient du coupleur vu qu'il s'oxyde ??)

Photographie argentique ; parler rapidement de la photographie numérique ?

Écran serait un capteur CCD, image de l'objet arrive sur celui-ci. En chaque point de l'écran, capte l'intensité lumineuse (et la longueur d'onde ?)

Pourriez-vous discuter des avantages et inconvénients de la photographie numérique par rapport à l'argentique ?

Argentique : grand nombre de traitements pour le développement (parfois, peut être décevant). Moins d'étapes pour le capteurs CDD... Aussi, pas de pellicule pour le numérique... Plus simple d'utilisation pour n'importe qui.

## Debrief

- Contenu et questions bien.
- Suprenant de parler de spécialité physique chimie en première

# Leçon 54

## Conservation de l'énergie (secondaire) 02

Leçon de physique

LP8 – Conservation de l'énergie (secondaire) 02

Discussion dans différents contextes mettant en jeu des particules élémentaires (photon, neutrino, ...)

Présentée par Estelle MEYER (Luc PONTIOLIO), corrigée par Karine BRAGANTI  
Le 03/07/2020

### Ressources utilisées

- 1re spécifique, Bordas
- 1re spécifique, Hachette
- 1re S, Sirius
- Animation du pendule simple (scphysiques.free.fr)

### Introduction pédagogique

Les pré-requis sont les suivants, pour une leçon de niveau première spécialité :

- Énergie cinétique et énergie potentielle
- Travail d'une force (1re ES<sub>spé</sub>) et force conservative (1re ES<sub>spé</sub>)
- Réaction nucléaire (1re ES<sub>spé</sub>)

Programme pour la conservation de l'énergie mécanique sera le même.

Première enseignement spécifique pour l'élément imposé : conservation de l'énergie au travers des particules élémentaires !

Cette leçon intervient dans le thème Conversion et transfert et suit un cours sur le travail d'une force.

Élèves doivent être familiers des réactions nucléaires, en particulier pour l'étude du neutrino.

TD : application de la conservation de l'énergie pour des cas parlant, skieur, montagnes russes..

## Introduction

**Difficultés** Au collège, vous avez pu voir l'énergie cinétique et l'énergie potentielle de pesanteur.

Balle a une certaine hauteur, elle aura une énergie potentielle ; si on la place plus haut, son énergie potentielle sera plus grande.

### Projection

Balle en chute libre, énergie cinétique/vitesse qui augmente.

Au moment où la balle touche le sol, balle rebondit. Elle n'atteint pas alors la même hauteur après rebond ! Comment l'énergie du système se conserve ou non ?

### Objectifs

Comprendre et savoir appliquer le principe de conservation de l'énergie.

## 54.1 Étude de l'énergie mécanique

### 54.1.1 Relation entre travail et énergie

Au dernier cours, on a étudié le travail d'une force, conservative ou non. Comment relier ce travail aux différents types d'énergie ?

Relier à l'énergie cinétique : on établit le théorème de l'énergie cinétique. La variation de l'énergie cinétique d'un système est égale à la somme des travaux des forces.

$$\Delta E_{c,AB} = E_{c,B} - E_{c,A} = \sum_i W_{AB}(\vec{F}_i) \quad (54.1)$$

Peut-on relier le travail à l'énergie potentielle ? Au dernier cours, on a établi que :

$$W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B), \quad (54.2)$$

où l'on reconnaît l'énergie potentielle de pesanteur !

$$W_{AB}(\vec{P}) = E_{pp,A} - E_{pp,B} \quad (54.3)$$

que l'on peut écrire comme l'opposé ; on peut par ailleurs généraliser à toute force conservative.

$$(54.4)$$

Travail relié à l'énergie cinétique et à l'énergie potentielle ! Comment utiliser cela pour déterminer l'énergie mécanique ?

### 54.1.2 Théorème de l'énergie mécanique

$$E_m = E_c + E_p \quad (54.5)$$

On peut alors écrire que

$$\Delta E_m = - \sum_{\text{cons}} W(\vec{F}_{\text{cons}}) + \sum_i W_{AB}(\vec{F}_i) \quad (54.6)$$

$$\Delta E_m = \sum_i W_{\text{non cons}}(\vec{F}_{\text{non cons}}) \quad (54.7)$$

### 54.1.3 Conservation en non conservation de l'énergie mécanique

Projection

Pendule simple

Système : masse ponctuelle ( $m$ ) soumise au poids et à la force de tension. La force de tension est toujours perpendiculaire au déplacement ; cela implique qu'elle n'apporte aucun travail !

Si on a pas de frottements...

Projection

scphysiques.free.fr, pendule sans frottement en balancement.

Montrer la conservation de l'énergie (tracé de l'énergie cinétique et potentielle) ; montrer les points particuliers (vitesse maximale et vitesse minimale).

Que se passe-t-il si on rajoute des frottements ?

Projection

scphysiques.free.fr, pendule sans frottement en balancement.

On voit cette fois-ci que l'énergie mécanique décroît au cours du temps. En mettant un amortissement, on a pris en compte des frottements (avec l'air par exemple) ; il s'agit d'une force non conservative ! la variation de l'énergie mécanique est due à ce travail.

On pourrait penser que l'énergie est perdue ; elle se transforme en fait, et se retrouve dans une autre forme. Il y a une variation d'énergie thermique qui permet de comprendre cette non-conservation dans notre modèle de l'énergie mécanique ! (En réalité, toujours conservation de l'énergie.)

Comment évalue l'énergie pour un système mettant en jeux des particules élémentaires.

## 54.2 Conservation de l'énergie appliquée aux particules élémentaires

Qu'est-ce qu'une particule élémentaire ? Il s'agit d'une particule composant la matière et ne présentant pas de sous-structure.

Dans les particules élémentaires, on connaît l'électron, le photon et le neutrino.

**| Remarque** – Attention, c'est neutrino, pas neutrion.

### 54.2.1 Interaction lumière–matière

La lumière est une onde électromagnétique ; pourtant il faut parfois la considérer comme une particule, au travers de sa dualité onde-corpuscule.

Projection

PLANCK et EINSTEIN, puis LEWIS qui nomme le quantum d'énergie en photon.

Le premier postule que la lumière se transmet par paquets d'énergie ; théorisé par le deuxième et photon nommé par le troisième.

Photon a une énergie  $E = h\nu$ , où  $\nu$  est la fréquence en Hz que l'on peut relier à la longueur d'onde et écrire alors :

$$E = \frac{hc}{\lambda}. \quad (54.8)$$

Application numérique pour un LASER émettant à 663 nm On trouve :  $E = 3.14 \times 10^{-19} \text{ J} = 2.0 \text{ eV}$ .

La matière est constituée d'atomes qui ne peuvent exister que dans certains niveaux d'énergie.

Projection

Diagramme énergétique de l'atome d'hydrogène et animation, source [biblio.editions-bordas.fr](http://biblio.editions-bordas.fr)

Transition de  $n = 1$  à  $n = 2$ .

L'atome peut également se désexciter... mais on peut se demander : si le photon arrive avec une énergie supérieure ? va-t-il prendre l'énergie nécessaire pour s'exciter et laisser passer l'autre ? Non, ce n'est pas ce qu'on observe expérimentalement.

On voit donc au travers de cet exemple une conservation de l'énergie. On peut relier l'énergie du photon à la différence d'énergie des niveaux de l'atome et qui sert à comprendre les spectres d'ab. et d'émission des atomes (voir atmosphère d'une étoile).

Ici on a pu voir la conservation de l'énergie pour les particules élémentaires ; cependant, le principe de la conservation de l'énergie a aussi permis d'en découvrir de nouvelles ! Il fallait une autre particule pour assurer la conservation de l'énergie.

### 54.2.2 À la découverte du neutrino

En enseignement scientifique : réactions nucléaires. On les rappelle : on en considère trois.

- La désintégration  $\alpha$  : un atome donne une particule  $\alpha$  qui est un noyau d'Hélium. (exemple sur l'uranium).
- Désintégration  $\beta^+$ , exemple sur le phosphore, formation d'une particule chargée  $+$ ,  $e_0^1$  et du silicium (positron ?).
- Désintégration  $\beta^-$  sur du Cobalt, donne nickel et un électron.

On s'intéresse à la désintégration  $\beta$ .

Projection

CADWICK ;

C. met la communauté scientifique face à un problème : dans les conditions de désintégration du cobalt, il n'observe pas la conservation de l'énergie.

Ce n'est qu'en 1930 que PAULI postule l'existence d'une particule jamais observée ni prédite. C'est la seule façon pour lui d'expliquer la non conservation de l'énergie. De charge nulle et masse de l'ordre de ...

En 1932, C. découvre le neutron ; il pense d'abord que c'est celle qu'il cherche. En réalité, la masse ne correspond pas, trop lourde.

Alors, FERMI, en 1933, apporte l'interaction faible qui donne sa cohésion au noyau ; il introduit aussi le neutrino.

Mise en évidence en 19(58) ?

Le cobalt se désintègre pour donner du Nickel, un électron et un neutrino, noté  $\nu_0^0$ .

## Conclusion

Énergie convertie en énergie cinétique ou potentielle mais peut être convertie en énergie thermique par des frottements !

Ne s'arrête pas aux systèmes macroscopiques, mais pour des phénomènes autour de particules élémentaires également !

La suite : continuer en étudiant plus précisément l'énergie interne d'un système et les transferts associés, comme dans le cas des frottements.

## Questions

Questions	Réponses
D'autres choses à montrer ?	
Il y a un seul neutrino ?	Non il y en a trois. (électronique, muonique et tauique, en pair avec particule électron, muon et tau), voir aussi <a href="https://www.laradioactivite.com/site/pages/ladecouvertedunetronehad">https://www.laradioactivite.com/site/pages/ladecouvertedunetronehad</a>
Qu'est-ce que vous connaissez comme particules élémentaires ?	Deux grandes familles, les leptons et les quarks (chaque famille, actuellement insécable). Ces deux familles, régies par deux statistiques différentes (leptons, FERMI) et quarks sans statistique. Quarks, trois, qui forment proton et neutron... À côté de ça, interactions fondamentales (grav. ES, forte et faible) portés par quatre vecteurs : les bosons.
Diagramme de FEYNMAN, ça vous parle ?	Voir FEYNMAN sur wikipédia
FEYNMAN, ça vous parle ? décomplexé l'enseignement de la science...	
Dernière diapositive, cobalt formant nickel, électron et neutrino électronique, en quoi il n'y avait pas conservation de l'énergie ?	Lors de la désintégration, émission d'un électron et d'un rayon $\gamma$ ; on peut calculer l'énergie de la réaction avec la formule d'EINSTEIN ; et on observait une différence entre cet énergie et l'énergie du rayonnement plus l'énergie cinétique de l'électron.
Ok, et pourquoi/est-ce qu'on forme un $\gamma$ ? (pas compris cette question)	
La radioactivité, forcé ou spontané ?	Phénomène spontané : noyau instable qui se désintègre spontanément (une ou plusieurs particules).
Quelle énergie a un noyau père quand il est au repos ?	
Quelle est l'énergie qu'a une particule au repos ?	Énergie nucléaire, équivalence masse-énergie. Une particule au repos a donc forcément une énergie, qui est celle de masse.

Si on veut comprendre cette conservation de l'énergie; par le noyau fils, on peut imaginer qu'il soit émis au repos, sans vitesse; on éjecte pourtant un électron, qu'est-ce qui ne marche pas du point de vue de la conservation de l'énergie, pourquoi on a besoin d'une autre particule? (conservation de la quantité de mouvement?)

Si je veux écrire la conservation de l'énergie, qu'est-ce qu'on doit écrire? Il faut que l'énergie de masse soit égale à la somme des énergies après; il faut aussi la conservation de la quantité de mouvement.

**Remarque** — Mais pourquoi on dit que le noyau fils devrait être au repos? Il faut faire un calcul rapide de quantité de mouvement, et voir que la vitesse du noyau fils est très faible.

C'est le cas pour les deux désintégration  $\beta$ ...

Que mettriez-vous en œuvre expérimentalement? On peut avoir une chronophotographie ou un pendule : acquisition informatique avec Latis-Pro. Il faut avoir un pendule simple avec le capteur potentiométrique...

## Debrief

- <https://in2p3.cnrs.fr/fr/poster-les-composants-elementaires-de-la-matiere> pour toutes les particules élémentaires.
- <https://www.laradioactivite.com/site/pages/ladecouverteduneutronchadwick.htm> explique assez bien la radioactivité; trois types de réactivité (noyaux lourds pour  $\alpha$ , artificielle pour  $\beta^+$ ...) Noyau que l'on qualifie de fils souvent dans un état excité : donc désexcitation et rayonnement  $\gamma$  accompagne la désintégration.
- Attention, en radioactivité on ne parle que de noyaux, pas d'atomes. Principales familles radioactives viennent de l'uranium; par ailleurs il est fissionable et se fragmente... Penser à regarder le diagramme n-Z ou de ASHTON...
- Préciser que l'énergie se conserve « au cours du temps ».
- Penser à regarder les tirs ballistiques (courbes en cloche) par rapport à pendule (courbes (pseudo-)sinusoïdales)...
- Possible d'anticiper un peu sur les programmes de terminale... en sous-question, montrer qu'on s'y est intéressé.
- Pour comprendre les réformes, voir <http://quandjepasselebac.education.fr/>.
- Point de vue du programme, très bien.
- Attention, avoir des petits calculs numériques à faire...